

MANEJO E SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA DE SOLOS DO BRASIL: FUNDAMENTOS



José Luiz Ioriatti Demattê
José Alexandre Melo Demattê

Agosto 2024

MANEJO E SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA DE SOLOS DO BRASIL:

FUNDAMENTOS

DOI: 10.11606/9786587391502

José Luiz Ioriatti Demattê & José Alexandre Melo Demattê

Profs. Titulares do Departamento de Ciência do Solo

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Universidade de São Paulo

jlid@terra.com.br

jamdemat@usp.br

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor - Prof. Dr. Carlos Gilberto Carlotti Junior

Vice-Reitora - Profa. Dra. Maria Arminda do Nascimento Arruda

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"

Diretora - Profa. Dra. Thais Maria Ferreira de Souza Vieira

Vice-Diretor - Prof. Dr. Marcos Milan

Dados de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Demattê, José Luiz Ioriatti

Manejo e sustentabilidade agrícola de solos do Brasil: fundamentos [recurso eletrônico] / José Luiz Ioriatti Demattê e José Alexandre Melo Demattê. -- Piracicaba : LSO-ESALQ, 2024.

651 p. : il.

ISBN: 978-65-87391-50-2

DOI: 10.11606/9786587391502

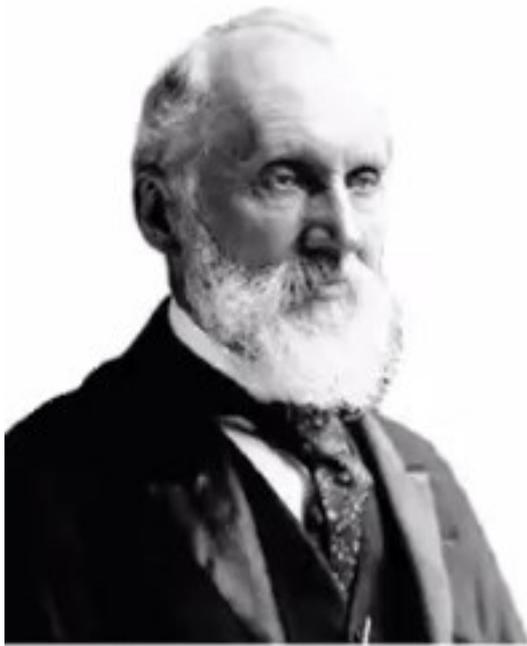
1. Manejo do solo 2. Solos [Brasil] 3. Sustentabilidade I. Demattê, J. A. M. II. Título.

CDD 631.4

Elaborada por Maria Angela de Toledo Leme - CRB-8/3359

Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e a autoria e respeitando a Licença Creative Commons.





To measure
is to know.
If you can not
measure it,
you can not
Improve it.

- Lord Kelvin



José Luiz Ioriatti Demattê

José Alexandre Melo Demattê

Agradecimento Especial

O *primeiro autor* agradece a Deus e toda a sua família, em específico sua esposa Rosalda, filhos Érica e Alexandre, netos Enzo, Thais, Matheus, e bisnetos Pietro, Enrico e Vincenzo, pelas alegrias dessa vida. O *segundo autor* agradece a Deus e toda a família em especial sua esposa Teresa pelo apoio em todos os momentos.

Agradecimento Gerais

Os autores agradecem a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz e a Universidade de São Paulo, pelas oportunidades oferecidas para ensino, pesquisa e extensão. Em específico a USP pelo apoio na publicação deste documento.

Agradecimento especial ao Departamento de Ciência do Solo, local de trabalho dos autores, cuja convivência com outros colegas permitiu o desenvolvimento crítico na temática.

Os autores agradecem a participação especial de colegas de profissão deste e de outros departamentos, que contribuíram no desenvolvimento de tópicos específicos, sendo os Professores Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, Maurício Roberto Cherubin, Fernando Dini Andreotti, Luis Reynaldo Ferracciú Alleoni, Antonio Carlos Azevedo, Jussara Borges Regitano, Miguel Cooper, Moacir Tuzzin de Moraes, Tiago Osório Ferreira, Paulo Sérgio Pavinato, Pablo Vidal-Torrado, Flávio Henrique Silveira Rabêlo, Tiago Tezotto, Simone Raposo Cotta, Selma Simões e Tiago Tavares.

Agradecimento especial aos Engs. Agrs. Lucas Rabello e Gabriel Pimenta, pela leitura e organização do trabalho. Os autores também agradecem os colegas que auxiliaram na leitura, correções e sugestões do texto: Jean Jesus Macedo Novaes, Henrique Bellinaso, Letícia Guadagnin Vogel, Lucas Greschuck, Miguel Palacio Pelaez Carvalho Neto.

Ao Grupo de Pesquisa Geotecnologias em Ciência do Solo, GEOCIS, o qual contribuiu com inúmeras figuras deste trabalho, bem como no seu desenvolvimento como um todo.

Agradecimentos ao International Plant Nutrition Institute (IPNI), que através de sua diretoria, permitiu a inserção de temas publicados (pelos autores) em seus boletins, e aqui referenciados.

Créditos figuras e tabelas: Victor Morelli

Créditos capa: Matheus Sartori e Jean Jesus Macedo Novaes

Agradecemos a todos aqueles que direta ou indiretamente participaram para que esta obra fosse possível.

Sumário

Histórico do Livro	18
Prefácio do Primeiro Autor	19
Prefácio do Segundo Autor	20
Importância do tema: Necessidade de desenvolver as opções de manejo para solo.....	23
Considerações iniciais	24
Manejo do solo e a sustentabilidade agrícola	25
Qualidade dos solos e sustentabilidade agrícola	27
1 CAPÍTULO 1: CONSIDERAÇÕES GERAIS	31
1.1 Manejo dos solos	31
1.2 Administração dos fatores de produção.....	32
1.3 Condições climáticas e solos	33
1.4 Culturas perenes, cana-de-açúcar, época de plantio	34
1.5 Cana de açúcar – condição de geada e compactação.....	36
1.6 Época de plantio e colheita das principais culturas	37
1.7 Clima do Brasil.....	38
2 CAPÍTULO 2. PROPRIEDADES RELEVANTES AO MANEJO DOS SOLOS TROPICAIS	40
2.1 Formação de cargas neutras, positivas e negativas.....	40
2.2 Capacidade de troca catiônica (CTC) e aniônica (CTA)	41
2.3 CTC permanente e CTC dependente de pH.....	41
2.4 CTC dependente de pH e da matéria orgânica	42
2.5 Capacidade de troca aniônica (CTA).....	43
2.6 Manejo do Ponto de Carga Zero (PCZ)	45
2.7 Propriedades da água.....	47
2.8 O pH da solução do solo.....	49
2.9 A construção da fertilidade dos solos	49
2.10 Disponibilidade de nutrientes e o pH do solo	50
2.11 Solução do solo.....	53
2.12 Porosidade do solo.....	53
2.13 Dupla camada difusa (DCD) e espessura	54
2.14 Solução do solo e a quantidade de íons	55

2.15	Adsorção iônica e as séries de cátions e ânions.....	56
2.16	Série liotrópica.....	57
2.17	Adsorção específica.....	58
2.18	Relação entre cátions trocáveis e o pH.....	58
2.19	Valores utilizados nas análises de solos	59
2.20	pH e saturação por bases (Índice V%).....	60
2.21	pH e saturação de alumínio (Índice m%).....	61
2.22	O pH e a saturação por bases e solos de mineralogia oxidica.....	62
3	CAPÍTULO 3: AÇÃO DE ÂNIONS, NA AGREGAÇÃO E SISTEMAS DE MANEJO ...	64
3.1	Considerações iniciais	64
3.2	Ação do SO_4^{2-} na subsuperfície de solos muito intemperizados.....	66
3.3	Ação do ânion específico na melhoria dos solos na subsuperfície	68
3.4	Equilíbrio químico.....	68
3.5	Poder tampão dos solos	69
3.6	Reação com o SO_4^{2-}	70
3.7	Uso do gesso (SO_4^{2-}).....	71
3.8	Enriquecimento de Mg em profundidade	72
3.9	Aumento da quantidade de raízes	73
3.10	Aumento da absorção de água	73
3.11	Aumento da absorção de nutrientes	74
3.12	Reação com H_3SiO_4^-	75
3.13	Efeitos do calcário, gesso e cloreto no arraste do cálcio.....	75
3.14	Reações da matéria orgânica com os coloides minerais do solo.....	76
3.15	Micro agregação e o manejo de solos.....	77
3.15.1	Formação.....	77
3.16	Manejo dos solos com micro agregados	80
3.17	Sistema de manejo na infiltração de solos argilosos.....	82
3.18	Sistemas de manejo na quantidade de água em solos argilosos.....	83
3.19	Lixiviação – remoção de nutrientes para camadas mais profundas dos solos	85
3.20	Lixiviação do nitrogênio.....	87
3.21	Retenção de umidade.....	90

3.22	Relações entre mineralogia, drenagem e estrutura	93
4	CAPÍTULO 4: MANEJO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS TROPICAIS	95
4.1	Tipos de componentes	95
4.2	Matéria orgânica das regiões temperadas e tropicais.....	95
4.3	Bases para o entendimento da matéria orgânica.....	96
4.4	Solos tropicais e remoção da floresta	97
4.5	Fatores que afetam o k	98
4.6	Manejo para manutenção e/ou aumento do teor de M.O.	100
a.	Aumento do fator b	100
b.	Redução do K	103
4.7	Dinâmica da matéria orgânica	104
4.8	Biomassa microbiana.....	105
4.9	Carbono e nitrogênio	106
4.10	Subprodutos orgânicos como substituto dos nutrientes	107
4.10.1	Torta de Filtro (TF).....	107
4.10.2	Cinzas.....	109
4.10.3	Compostagem.....	110
4.10.4	Vinhaça	112
4.11	Leguminosas como meio de incorporar e reciclar nutrientes	116
4.12	Outras aplicações da matéria orgânica	118
4.13	Considerações finais.....	118
5	CAPÍTULO 5: RESTRIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO RADICULAR	120
5.1	Restrição química	120
5.2	Alumínio e a produtividade de milho e sorgo.....	122
5.3	Regiões semi-áridas.....	123
5.4	Teor de cálcio e desenvolvimento radicular	124
5.5	Ação do calcário e a saturação por bases.....	127
5.6	Recomendação de calcário	128
5.7	Profundidade de incorporação do calcário.....	129
5.8	Calagem acima das doses recomendadas.....	131
5.9	Considerações a respeito do gesso.....	132

5.10	Recuperação química em solos com baixa saturação por bases	134
5.10.1	Solos arenosos de CTC baixa.....	134
5.10.2	Solos argilosos de CTC elevada.....	136
5.11	Procedimento do uso do calcário e do gesso	138
5.12	A dinâmica das bases em cana-de-açúcar.....	139
5.13	Reaplicações do calcário e do gesso em culturas e em cana-de-açúcar.....	142
5.14	Recomendações do calcário e do gesso em culturas semi-perenes e perenes.....	145
6	CAPÍTULO 6: DIAGNÓSTICOS EM ÁREAS COM RESTRIÇÕES QUÍMICAS E FÍSICAS AO DESENVOLVIMENTO RADICULAR.....	146
6.1	Considerações iniciais	146
6.2	Recomendação de gesso	148
6.3	Complementação da recuperação química	149
6.4	Relação Ca/Mg em solos de baixa CTC e a constante de Gapon	152
6.5	Produtividade e a relação Ca/Mg.....	154
6.6	Relação Ca/Mg em solos de alta CTC	155
6.7	Crostras superficiais e bloqueamento de poros.....	156
6.8	Influência do gesso	159
6.9	Sistemas de manejo	160
6.10	Camadas endurecidas subsuperficiais.....	162
6.11	Compactação	163
a.	Níveis de compactação	164
b.	Níveis de compactação e teores de umidade	165
c.	Absorção de nutrientes	167
d.	Níveis de compactação e desenvolvimento radicular	168
e.	Fatores que afetam os efeitos negativos da compactação.....	169
f.	Compactação em solos arenosos.....	171
7	CAPÍTULO 7. SOLOS COESOS DA REGIÃO NORDESTINA (TABULEIROS COSTEIROS).....	172
7.1	Solos Coesos - considerações.....	172
7.2	Características dos solos coesos	174
7.3	Distribuição dos solos na paisagem.....	176
7.4	Fatores limitantes ao uso agrícola.....	177

7.5	Opções de manejo.....	178
7.6	Resultados de práticas de manejo em cana-de-açúcar	179
a.	Recuperação química dos solos	179
b.	Efeitos do preparo profundo dos solos	180
c.	Efeitos do preparo profundo sobre a produtividade.....	182
d.	Uso de descompactador biológico	184
7.7	Opções de manejo de cana-de-açúcar na região Nordeste.....	186
7.8	Uso de nematicida na região de Alagoas	187
7.9	Palha e Irrigação nas soqueiras de cana-de-açúcar	189
7.10	Práticas de manejo na região Nordeste.....	190
a.	Culturas anuais	190
b.	Culturas perenes	191
c.	Cultura cana-de-açúcar	192
7.11	Recuperação de solos erodidos em áreas de São Paulo	194
8	CAPÍTULO 8: RESTRIÇÃO BIOLÓGICA AO DESENVOLVIMENTO RADICULAR	199
8.1	Considerações gerais e resultados experimentais	199
8.2	Estratégia de manejo.....	206
8.3	Processos químicos de desenvolvimento radicular.....	207
9	CAPÍTULO 9: DIAGNÓSTICO DE ÁREAS COM PROBLEMAS DE PRODUTIVIDADE	209
9.1	Histórico da cultura ao longo do tempo.....	209
9.2	Análise do sistema radicular feito em trincheiras.....	209
a.	Compactação	210
b.	Encharcamento temporário.....	210
c.	Nematoide	210
d.	Prejuízo por inseto.....	211
e.	Problemas nutricionais	211
9.3	Sintomas no colmo e nas folhas.....	211
9.4	Análises do solo.....	212
9.5	Sintomas visuais na planta devido a compactação e a estruturação pobre do solo	212
a.	Emergência lenta da planta.....	212
b.	Plantas mais baixas que o normal.....	212

c.	Folhas cloróticas ou de coloração fora do padrão da cultura.....	213
9.6	Sintomas visuais no solo da compactação e estruturação pobre.....	214
a.	Encrostamento superficial.....	214
b.	Compactação na subsuperfície.....	215
c.	Erosão excessiva pela água.....	215
9.7	Causas da má estruturação.....	215
a.	Drenagem inadequada.....	216
b.	Número excessivo de operação de preparo.....	216
c.	Sistema de cultivo.....	216
d.	Condições químicas do solo.....	216
e.	Minerais da fração argila.....	216
10	CAPÍTULO 10: GRUPOS DE MANEJO DE SOLOS.....	218
10.1	Grupos de manejo e tipos de solos.....	218
10.2	Grupos de manejo para fins de preparo convencional do solo.....	221
10.3	Operações de preparo e época de plantio para diferentes grupos de manejo.....	224
a.	Solos dos Grupos I e III de manejo, opção: Liberação cedo da área de reforma para plantio em Nov/Dez.....	225
b.	Solos dos Grupos I e III de manejo, opção: Liberação cedo da área de reforma e plantio tardio, Mar/Abr.....	225
c.	Solos do Grupo II de manejo (liberação cedo de área de reforma e plantio tardio Mar/Abr)	226
d.	Solos dos grupos II e IV de manejo (até 25% de argila).....	227
e.	Solos do Grupo IV de manejo.....	227
f.	Solos do Grupo V.....	228
g.	Solos do Grupo VI.....	228
10.4	Preparo do solo para culturas perenes.....	228
a.	Preparo convencional do solo para plantio de cultura anual.....	228
b.	Plantio direto (Ver capítulo específico ao tema).....	229
10.5	Regiões onde não se tem cartas de solos.....	229
10.6	Cultura de cobertura de “espera” como alternativa de manejo.....	229
10.7	Exercícios com cana-de-açúcar.....	229
11	CAPÍTULO 11: MANEJO DO FÓSFORO.....	232

11.1	Fósforo no solo	232
11.2	Fatores que afetam a intensidade de fixação	235
a.	Mineralogia	235
b.	Textura.....	235
c.	Cor do solo	236
d.	O pH e a eficiência do fósforo.....	237
11.3	Medidas mais eficientes para aproveitamento do fósforo do solo e dos fertilizantes 238	
11.4	Minimização da fixação do P	238
11.5	Práticas para redução das cargas positivas	239
11.6	Combinação de doses e métodos de aplicação de P em culturas anuais.....	239
11.7	Combinação de doses e métodos de aplicação de P em cana	240
11.8	Fontes de P	241
11.9	Associação de P com micorriza	242
11.10	Pastagens	243
a.	Fonte de P em pastagens.....	244
11.11	Interações com outras práticas.....	247
12	CAPÍTULO 12: MANEJO DO PLANTIO DIRETO.....	250
12.1	Considerações gerais	250
12.2	Introdução do plantio direto	251
12.2.1	Preparo convencional do solo e correção química e PD.	251
12.3	Plantio direto em culturas anuais e safrinha	252
a.	Considerações.....	252
b.	Milheto no plantio direto.....	253
c.	Braquiária no plantio direto (Integração agricultura e pecuária)	254
d.	Plantio direto e herbicida.....	254
12.4	Nutrição no plantio direto para as culturas anuais.....	255
a.	Dinâmica dos nutrientes em PD	255
b.	Acumulação da MO e demanda de nitrogênio.....	255
c.	Acumulação e demanda do fósforo	257
d.	Acumulação do K, Ca E Mg e efeitos da acidificação	258
12.5	Neutralização da acidez do solo por resíduos vegetais	260

12.6	Transporte em profundidade no solo de cátions por ligantes orgânicos	262
12.7	Neutralização do alumínio em solos através do uso de resíduos orgânicos.....	262
12.8	Análise de solo e remanejamento da fertilidade	263
12.9	Tendências no plantio direto em culturas anuais	264
12.10	Plantio direto (PD) em cana-de-açúcar.....	265
12.11	PD de cana de açúcar seguido de soja seguido de cana	265
12.12	PD em solo argiloso.....	266
12.13	História do PD em cana-de-açúcar	266
12.14	Adubação da cana planta e soqueira	267
12.15	Efeitos da palha e a quantidade de nutrientes	268
12.16	Cultivo das soqueiras de cana crua	271
12.17	O plantio direto e o sistema conservacionista.....	273
13	CAPÍTULO 13: SOLOS DE ARGILA DE ALTA ATIVIDADE DE DRENAGEM LENTA A IMPEDIDA.....	275
13.1	Principais características.....	275
13.2	Os inconvenientes do sódio	276
13.3	Resumo dos solos	276
13.4	Práticas de manejo	277
a.	Região úmida.....	277
b.	Em região semi-árida.....	278
13.5	Esquema de sistemas de plantio e drenagem superficial	278
13.6	Vantagens e limitações dos solos de argila de atividade alta.....	281
a.	Classificação.....	281
b.	Principais características.....	282
13.7	Práticas de manejo	284
a.	Região úmida.....	284
b.	Em região semiárida	286
14	CAPÍTULO 14: VANTAGENS E LIMITAÇÕES DOS SOLOS ARENOSOS	287
14.1	Considerações gerais	287
14.2	Tipos de solos arenosos	288
14.3	Vantagens e limitações	288
15	CAPÍTULO 15: MANEJO DO SOLO E APROVEITAMENTO DA ÁGUA.....	292

15.1	Considerações gerais	292
15.2	O conhecimento da planta	292
15.3	Variedades e cultivares.....	294
15.4	Veranicos.....	296
15.5	Evapotranspiração	296
15.6	Densidade de plantio	296
15.7	Compactação através do penetrômetro.....	296
15.8	Teores de cálcio, alumínio e gesso	298
15.9	Técnicas integradas de manejo de água, solo e planta.....	299
15.10	Produtividade.....	301
15.11	Desenvolvimento radicular.....	303
15.12	Práticas de manejo.....	303
16	CAPÍTULO 16: CULTIVO CONTÍNUO COMO FATOR DE DEGRADAÇÃO DE SOLOS	304
16.1	Considerações gerais	304
16.2	Cultura da cana-de-açúcar	306
a.	Operações de plantio, com preparo convencional do solo.....	306
b.	Operações de colheita e cultivo de soqueira.....	306
c.	Ambientes estudados.....	307
16.3	Dados físicos	307
16.4	Retenção de umidade.....	312
16.5	Fertilidade dos solos	315
16.6	Culturas anuais: região de Guaira, SP	320
16.7	Dados de argila e de fertilidade	322
16.8	Pastagem.....	329
16.9	Considerações finais.....	330
17	CAPÍTULO 17. REGIÕES AMAZÔNICA E CERRADOS: OPÇÕES DE MANEJO	332
17.1	Considerações gerais	332
17.2	O ambiente das regiões Amazônica e dos Cerrados	333
17.3	Fatores limitantes ao uso agrícola.....	339
17.4	Métodos de limpeza do terreno	341
17.5	Uso do fogo como meio de limpeza da área.....	342

17.6	Procedimento de limpeza sem usar o fogo	346
17.7	Métodos de limpeza com e sem fogo	347
17.8	Propriedades químicas do solo com o uso do fogo.....	349
17.9	Sistemas de manejo e a sustentabilidade da fertilidade	355
17.10	Agricultura com alto nível de investimento.....	358
17.11	Uso dos corretivos e desenvolvimento radicular dos solos tropicais	361
17.12	Outras alternativas de manejo: baixo investimento	373
17.13	Sistemas agro-silvo-pastoril (SASP)	385
17.14	Sistemas SASP com altos insumos.....	386
17.15	Pastagens – Considerações gerais.....	387
17.16	Recuperação de pastagens degradadas: níveis alto e médio de manejo.....	390
	a. Recuperação de áreas para nível elevado de manejo	390
	b. Recuperação de áreas degradadas para nível médio de manejo.....	391
	c. Efeitos dos fertilizantes nas pastagens.....	391
17.17	Considerações finais sobre Amazônia	394
18	CAPÍTULO 18. MAPEAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS – CONCEITOS E APLICAÇÕES	396
18.1	Considerações iniciais	396
18.2	Mapeamento pedológico – definição e metodologia	397
18.3	Relação dos nomes dos solos com características de produção.....	415
18.4	Classificação de solos - Contextualização.....	416
18.5	Tipos de solos.....	418
18.6	Dinâmica de solos na paisagem.....	423
18.7	Aplicações do mapa pedológico	432
18.8	Incongruências na comunicação entre profissionais da pedologia e fertilidade – na prática	433
18.9	Variabilidade de solos e impacto no planejamento e manejo	435
18.10	Pedometria.....	437
19	CAPÍTULO 19. TIPOS DE SOLOS E MANEJO	443
19.1	Solos e processos erosivos.....	443
19.2	Solos com má drenagem (ou impedida)	445
19.3	Solos pedregosos e cascalhentos	448

19.4	Cultivo em área de Plintossolos Pétricos e variações	452
20	CAPÍTULO 20. SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE TERRA COM VISTAS A PRODUTIVIDADE: AMBIENTES DE PRODUÇÃO E MANEJO	459
20.1	Introdução.....	459
20.2	As bases do sistema: solo, clima, planta.....	460
20.3	Histórico dos ambientes de produção	462
20.4	De onde vem o sucesso dos ambientes de produção? A importância da camada de subsuperfície	465
20.5	Exemplo de uma legenda pedológica para fins de manejo e ambientes	469
20.6	Solos e produtividade da cultura da cana de açúcar	472
20.6.1	Clima.....	474
20.7	Classificação dos ambientes	476
20.8	Manejo do solo e dos ambientes de produção	480
20.9	Pontos estratégicos no manejo dos ambientes de produção.....	480
20.10	Produtividade de cana de ano em função dos ambientes de produção e da evapotranspiração	484
20.11	Produtividade de cana plantada no período maio a novembro com corte em 12 meses 485	485
20.12	Manejo das soqueiras em função dos ambientes de produção e da época de colheita 487	487
20.13	Solos e produtividade	494
20.14	Ambientes de produção e planejamento agrícola	496
20.15	Uso dos ambientes de produção no diagnóstico de produtividade	499
20.16	EXCEÇÕES AO USO DOS PARÂMETROS NO MANEJO DOS AMBIENTES 500	500
20.17	Uso dos ambientes em outras culturas.....	500
20.18	Casos na prática de interpretações errôneas	501
20.19	Solos, drenagem e Ambientes	503
20.20	A dinâmica dos solos ao longo do tempo	506
20.21	Solos características, manejo e Ambientes	508
20.22	Considerações gerais	511
21	CAPÍTULO 21. A IMPORTÂNCIA DAS GEOTECNOLOGIAS NA CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO COM VISTAS AO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE..	513

21.1	Introdução.....	513
21.2	Contextualização das geotecnologias	515
21.3	Sequência de trabalho para utilização das geotecnologias	516
21.4	Os fundamentos.....	517
21.5	Análise de solos: do laboratório aos satélites	523
21.6	Visão do solo via satélite	524
21.7	Mapa Textural via Satélite.....	525
21.8	Mapeamento Pedológico	526
21.9	Ambientes de Produção	528
21.10	Agricultura de Precisão e Zonas de Manejo	529
21.11	Manejo físico	533
21.12	Análise Mineralógica.....	537
21.13	Qualidade da Amostragem de Solo	539
21.14	Índices de vegetação: o que são e como interpretá-los	540
21.15	O poder da informação geoespacial: visão sinótica	542
21.16	Limitações	543
21.17	Iniciativas atuais e futuras	544
21.18	Considerações finais.....	546
22	CAPÍTULO 22. AGRICULTURA DE PRECISÃO E O MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO	548
22.1	Contextualização	548
22.2	Produção de alimentos e consumo de fertilizantes	555
23	CAPÍTULO 23. A interdisciplinaridade do manejo com a ciência do solo: opiniões	557
23.1	A importância da gênese no entendimento do funcionamento do solo.....	557
23.2	O relevo como fator de formação, evolução e comportamento do solo.....	558
23.3	Mineralogia do solo e agricultura	561
23.4	Geoquímica do solo e agricultura	562
23.5	Importância da física do solo e seu impacto na agricultura e produtividade	563
23.6	Acúmulo de fósforo no solo em áreas agrícolas no Brasil: diagnóstico atual e potencialidades futuras.....	564
23.6.1	A dependência por fertilizantes fosfatados e eficiência de uso (PUE).....	566
23.6.2	Expansão agrícola e demanda futura de P	569

23.6.3	Fósforo residual acumulado no solo.....	571
23.6.4	Considerações finais.....	578
23.7	A importância da fertilidade do solo no manejo agrícola	578
23.8	Poluição do solo e solos	579
23.9	Pesticidas no solo e agricultura	583
23.10	Recuperação de áreas degradadas.....	585
23.11	Nutrição mineral e relação com solos e agricultura.....	588
23.12	Manejo do solo e nutrição de plantas - aquisição de nutrientes e arquitetura radicular 589	
23.13	Como é que os microorganismos podem tornar a terra mais sustentável?	591
23.14	Potencial de sequestro de carbono no solo na agropecuária brasileira	594
	a.Considerações iniciais	595
	b.Sistema de plantio direto	598
	c.Recuperação de áreas degradadas.....	599
	d.Integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF).....	600
	e.Fatores que afetam o sequestro de carbono	602
	f.Considerações finais	602
23.15	Saúde do solo: Conceitos e implicações de manejo	603
	a.O avanço do conceito de saúde do solo	603
	b.Saúde do solo em sistemas agrícolas.....	604
	c.Considerações finais	607
24	CAPÍTULO 24: O FUTURO DO MANEJO NA ERA DA MODERNIDADE	609
25	CAPÍTULO 25: CONSIDERAÇÕES FINAIS	621
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	624

Histórico do Livro

Na década de 70, o curso de Gênese e Classificação de Solos foi estruturado de acordo com as normas de classificação de solos daquela época, assim como introduzido os novos conceitos dos processos de formação de solos. Paralelamente, as aulas práticas foram montadas com o objetivo principal de fornecer aos alunos condições para permitir o reconhecimento dos solos no campo, assim como meios para possibilitar o diagnóstico dos fatores limitantes ao uso agrícola, assim como as principais opções de manejo para atenuar ou remover tais limitações. Estava aí se iniciando a formação do curso de Gênese e Manejo de Solos perdurando até 1992.

A pedido dos próprios alunos e por nós apoiados, foi separado a de Manejo de Solos da Gênese de Solos, assim criando o curso de Manejo de Solos Tropicais. Durante o ano de 2000 e motivados, principalmente, pela introdução de novas tecnologias como o sensoriamento remoto e o manejo de áreas específicas (agricultura de precisão), assim como pela necessidade de se associar ao manejo de solos o planejamento agrícola, o presente curso está absorvendo tais tecnologias.

Não temos a pretensão de cobrir toda a área de conhecimento pois não temos capacidade para tal. Entretanto, em toda a nossa vida acadêmica e profissional, participando em muitos projetos e trabalhos nas mais diversas regiões brasileiras, pudemos aprender muito e resolver alguns problemas relacionados ao manejo de solos. Pretendemos aqui neste curso transferir um pouco desta experiência.

Por outro lado, é necessário frisar que esta disciplina faz parte do elenco final dos cursos de agronomia na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Sendo assim, ela se utiliza de informações de outras disciplinas, havendo por isso necessidade prévia de tais conhecimentos que estão misturados com parte aplicada no sistema de manejo.

Este livro teve por principal objetivo juntar num único documento as principais experiências vividas pelo Professor José Luiz Demattê em relação ao manejo de solos. Face a isso, muitas das referências são antigas, mas os fundamentos são exatamente os mesmos. A participação do Professor José Alexandre Demattê, veio para contribuir na inserção de suas experiências em campo, estruturação, organização, correção, atualização, e agregar novos assuntos a temática.

Prefácio do Primeiro Autor

Sou Esalqueano, turma de 64, e fui bolsista da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo) desde o segundo ano letivo, e tive a oportunidade de aprender, no campo, os principais solos e seu manejo. Como todo jovem queria mudanças, mas aquela época não se permitia alterações, por causa do sistema vigente. Mas fui a luta e consegui alterar as disciplinas tanto nas aulas práticas como nas teóricas, assim como uma série de alternativas que envolvia o Conselho do Departamento, inclusive na contratação de um docente. Foi um fogo de palha espalhando pelo campus sendo que outros departamentos queriam fazer.

Em setembro de 1965, tornei-me professor iniciando o longo período como consultor e aprendizado, num Brasil que necessitava conhecimento e empreendimento. Fiz a livre docente com 29 anos e como todo técnico sentiu a necessidade de suprir as falhas do aprendizado, em setembro de 1973 a dezembro de 1975 fez o curso e obteve título de Ph.D pela Universidade Estadual de Ohio, USA. Em 1980, já como professor titular, agora junto ao Departamento de Solos e Nutrição Vegetal, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), e tornou-se chefe do Departamento de Solos, por 9 anos em diferentes períodos até 1996. Aposentou-se em outubro, 1999 e continuou com consultoria até 2021.

No período acadêmico criou diversos cursos tanto na graduação como na pós-graduação como o curso de Gênese e Morfologia de Solos, sempre foi muito concorrido nos 25 anos. Como professor pode ao trabalhar com alunos, transmitir as bases para um bom entendimento das características do solo, suas limitações e vantagens, assim como as melhores opções de manejo e fui professor homenageado por 26 vezes. Orientou 39 teses sendo 18 de mestrado e 21 de doutorado. Participou em inúmeras bancas de concurso, publicou livro, capítulo de livros e trabalhos científicos, assim como na elaboração, do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Havia necessidade de estruturar e fortalecer o Departamento. Auxiliou e consolidou a unificação do Departamento, que na época eram três mundos diferentes a Geologia, Solos e Química com os professores destas áreas, e um quarto, criado por mim, Microbiologia de Solos, permitindo assim a interação das áreas de conhecimento; na contratação de 9 novos professores trazendo pesquisadores de outras instituições para ministrar aulas e orientar docentes; fortalecendo assim a área de ensino e de pesquisa: na

abertura de novos rumos de pesquisa e ensino como a introdução da disciplina de Sensoriamento Remoto Aplicado a Solos; no desenvolvimento dos laboratórios tanto de apoio a pesquisa como para prestação de serviço à comunidade, permitindo assim fonte de recursos financeiros colocando o Departamento como entidade de destaque nacional. Elaborou o laboratório de Mineralogia de Solos, Difração de Raios X, Análise Térmica Diferencial, Secções Delgadas em Solos, Mineralogia Óptica.

Trabalhou nos diferentes ambientes climáticos do Brasil, desde o semiárido até o úmido na Amazônia, não somente na recuperação de solos degradados, mas também na busca do entendimento de como trabalhar adequadamente nos solos do Brasil. Como especialista em manejo de solos, foi o introdutor da recuperação química de solos em profundidade, principalmente na cultura de cana-de-açúcar.

Grande parte de minhas atividades de 1968 a 2021, em mais de três centenas de usinas, destilarias e fornecedores, foram dirigidas a cultura de cana-de-açúcar, com os testes e experimentos muitas vezes não publicados. Nesta cultura foram levados em consideração os seguintes pontos que foram desenvolvidos durante a aprendizagem: diagnóstico dos fatores limitantes envolvendo as características climáticas, do solo, varietal e práticas de manejo. Alternativas de manejo físico, químico e biológico para atenuação dos fatores limitantes. Planejamento na alocação das variedades em função de um plano preestabelecido de sequência de safra. Estabelecimento dos ambientes de produção em função dos grupos de solos. Novas áreas de produção.

Prefácio do Segundo Autor

Formado na Universidade Federal de Lavras (atual UFLA), na turma de 1990, hoje Professor Titular da Universidade de São Paulo, campus Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento de Ciência do Solo, em de Sensoriamento Remoto Aplicado à Solos (Pedologia). Referenciado como um dos 100.000 mais citados pesquisadores do mundo em 2019, 2020, 2021,2023). Possui graduação em Agronomia (Universidade Federal de Lavras, 1990), Mestrado (1992) e Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas (ESALQ/USP1995), Livre Docente 1, 3 (1999, 2012). Professor Titular em 2015. Pós-doutorado no INPE (1995-1998), Universidade do Arizona EUA (1998), INRA-França (1998), CSIRO-Austrália (2010), Universidade da Califórnia-Davis (2014), Texas AM University-College Station (2014), University of Tel Aviv (2023), University of Prague, GFZ Potsdam Alemanha, Aristoteles University e Agência

Espacial Europeia (2024). Pesquisador CNPQ desde 1997 (Atualmente 1B). Ministra as disciplinas Tecnologia do Solo (Graduação), Sensoriamento Remoto Aplicado ao Levantamento de Solos (Pós-Graduação), Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aplicados a Manejo e Planejamento do Uso da Terra (Especialização). Na prática, já mapeou mais de 15.000.000 de ha nos diferentes níveis ultra-detalhado, detalhado, semi-detalhado, reconhecimento e exploratório. Já mapeou solos no Paraguai, Colômbia, México, Ghana e Angola. Avaliou mais de 230.000 pontos de tradagens e 7500 trincheiras, incluindo as questões de manejo e ambientes, em 22 estados da federação. Ministrou aproximadamente 7000 horas em graduação, 2760 em pós-graduação e 720 em especialização, tendo transmitido a um total aproximado de 8336 alunos (todos os níveis). Orientou (contabilizados todos os tipos), 366 alunos. Publicou 302 artigos científicos em revistas e 230 em eventos. Editor associado das Revistas Brasileira de Ciência do Solo, Brasileira de Cartografia, Geoderma Regional, Remote Sensing, Scientific Report e Geoderma. Coordenador do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado a Solos e Planejamento do Uso da Terra. Como membro dos grupos de pesquisa: European Geoscience Union; World Soil Spectroscopy Group; Digital Soil Mapping; Digital Soil Morphometrics; Pedometrics; Rede Brasileira de Mapeamento Digital de Solos; Levantamento e Mapeamento de solos; Agricultura de precisão. Como Coordenador de Grupos: Espectroscopia de Reflectância de solos do Brasil (CNPq), Grupo de Pesquisa Geotecnologias em Ciência do Solo (Geocis) e Global Soil Satellite Sensing Group (GOSSATS). Envolvido em pesquisas focadas em solos e produção tendo por base as geotecnologias sensoriamento remoto, geoprocessamento, levantamento e mapeamento de solos, mapeamento digital, agricultura de precisão, planejamento do uso da terra, manejo e ambientes de produção. Atualmente adentra em saúde do solo, carbono e produtividade. Coordenador do Laboratório de Espectroscopia da ESALQ (Nível Premium-Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, FAO); Curso Nacional e Internacional (ProBASE, Programa Brasileiro de Análise de Solo via Espectroscopia-ASA, Agricultura, Solo, Ambiente); Biblioteca espectral do Brasil (com mais de 60 pesquisadores de todos os estados); coordena mapeamentos no mundo (com pesquisadores de 4 continentes). Como membro: Grupo Pronasolos (Embrapa), World Soils (Agência Espacial Européia), Proantar, Biblioteca Espectral de Solos do Mundo (FAO), Grupo SoilSpec4GG (Soil Spectroscopy for Global Good). Participa da missão Pro-Antártida. Já ministrou cursos em Israel e na Rússia. Membro Científico da Brazilian Soil Health Partnership (BSHP), iniciativa vinculada ao Centro de Estudos de Carbono

em Agricultura Tropical (CCARBON). Atualmente coordena um projeto temático sobre saúde do solo/FAPESP e é PI em Geotecnologias no CCARBON.

Iniciou na área de pedologia ainda na graduação tendo vários professores como orientadores, sendo o principal o Prof. José Luiz Demattê. Ao ser apresentado do Prof. Geraldo França, a época um conceituado pedólogo atuante na área de Fotopedologia, mostrou grande interesse pela área, tendo iniciado sua trajetória em agregar a pedologia, outras técnicas como a de sensoriamento remoto. Logo ao entrar no departamento, focou na estruturação desta área, em comunhão com pedologia, manejo e planejamento de uso da terra. Face a intensa ramificação de temas em sensoriamento remoto em solos, foi criada a área 'Sensoriamento remoto aplicado a Solos', sendo a primeira a ser desenvolvida no Brasil. Como professor da disciplina que tece ensino desde a caracterização do meio físico (o solo), a classificação do solo, o mapeamento, o planejamento, a determinação de seus fatores limitantes, e entendimento do solo como um agente vivo, um indivíduo, até chegar no manejo e produtividade, motivaram para participar no desenvolvimento deste documento.

Como pedólogo de formação, logo se interessou pelas geotecnologias iniciando em fotopedologia, em seguida com sensores terrestres e seguindo aos drones e imagens de satélite. A base do processo não é ver o sensoriamento *somente* como uma ferramenta, mas estudar e entender a interação da energia eletromagnética com o objeto (solo, planta), configurando, neste sentido, uma ciência. De fato, uma ciência deve se propor a auxiliar a resolver problemas da comunidade, e nesse sentido, relacionar solos com manejo e produção com qualidade ambiental, foram pré-requisitos elaborados ao longo de 32 anos de carreira, fornecendo subsídios ao apoio desta obra.

SUMÁRIO

Brasil é um dos maiores produtores mundiais de alimentos e além disso possui uma das maiores biodiversidades de todo o planeta. As questões ambientais e de segurança alimentar estão diretamente ligadas ao adequado manejo do solo, que pode impactar na produtividade e na degradação. Os conceitos fundamentais regem a dinâmica de um dado solo que são imprescindíveis para realizar o seu manejo. O presente livro, trata das bases dos fundamentos de boa parte dos solos ocorrentes no Brasil abordando as principais características permitindo ao leitor entender como o solo funciona. São abordadas

questões relativas as características granulométricas, químicas, mineralógicas e orgânicas sendo que os conceitos são abordados desde o fundamento estrutural de cada característica. Em uma segunda etapa, o solo é visto como um todo, apresentando seu funcionamento. Num terceiro momento, o leitor irá verificar a importância da caracterização do meio físico, para conseguir chegar ao melhor diagnóstico. Finalmente, o leitor será capaz de entender a dinâmica do manejo do solo e seu impacto na produtividade. Ao final, também são abordados vários tópicos da ciência do solo e sua importância no manejo e produtividade. Da mesma forma, são abordados os temas atuais e aprendizado de máquinas e como estes modelos podem auxiliar o homem na busca por soluções.

Importância do tema: Necessidade de desenvolver as opções de manejo para solo

Sempre se observou a necessidade de elaborar um texto que se familiarize com usuários dos sistemas de manejo de terras. Apesar das bases do conhecimento do solo, e posteriormente relacionando com manejo, claramente se observou a necessidade de clarificar técnicas que focassem no desenvolvimento mais correto do conceito.

Nas nossas andanças neste Brasil, foi de estarrecer a 'erosão' nas principais áreas do conhecimento de solos, pois algumas coisas estavam erradas ao manejar nossas terras. Alguma coisa deveria ser feita porque simplesmente copiar o que passa em outros países não seria o mais correto. Neste sistema, uma série de usuários de várias instituições do Brasil, também geram uma série de técnicas que visam o correto desenvolvimento do manejo das terras. Foi assim com o Plantio Direto na soja, lá pelos idos 1956, em Rolândia no Paraná, e assim como as culturas de cobertura na reciclagem dos nutrientes e no combate da erosão.

Com o advento das tecnologias e geotecnologias, as alterações no conhecimento humano tomaram grandes proporções. O que se observa na prática, é que os conhecedores da área agrícola, tentam se manter na vanguarda do conhecimento, porém, fundamentalmente em fertilidade do solo. Ora, se mineralogia afeta a dinâmica dos solutos do solo, por que ela é pouquíssima levada em consideração? As análises de fertilidade mais usadas só se utilizam de pH CaCl₂, próprio para recomendação de adubação, mas não dão o dimensionamento de como é o indivíduo solo. Por outro lado,

análises de pH em H₂O e KCl permitem entender a dinâmica das cargas no solo, ou até definir o caráter ácido, que impactam no desenvolvimento da planta. Em resumo, o que se observa, é que se de um lado, a tecnologia aumenta a capacidade de produção, de outro, ocorre a falta dos conhecimentos fundamentais do funcionamento do solo. O resultado pode até ser no aumento de produtividade, mas quem disse que esse aumento é o máximo possível por dado solo? É preciso, portanto, agregar os conhecimentos do solo como indivíduo no seu funcionamento, com a aplicação de fertilizantes e outras práticas culturais, permitindo atingir o teto da produtividade agrícola.

Considerações iniciais

A semente das plantas apresenta inúmeras fases relacionadas à vida, e por isso seria o sustentáculo da existência do planeta. Entretanto, sem o conhecimento de solos essa semente jamais seria colocada para o exercício pleno de suas atividades e o binômio semente/solo seria o sustentáculo da vida.

Sendo assim, este livro tem por objetivo fornecer ao usuário condições que permitam e possibilitem o diagnóstico dos fatores limitantes ao uso agrícola dos solos no sistema químico, físico e biológico, assim como as principais opções de manejo para atenuar ou remover tais limitações.

O sistema agrícola sempre evoluiu por meio de ideias, desde a genética e bioquímica até os equipamentos e geotecnologias, sensoriamento remoto e agricultura de precisão, sempre objetivando atingir relação custo/benefício compatível com o sistema empregado.

Entretanto, nos mais diversos meios, tais como, reuniões técnicas em empresas, cooperativas e dias de campo, tem sido evidente a falta de conhecimento básico dos usuários na área de solos, gerando dificuldades em utilizar tais conhecimentos de uma maneira mais técnica empregando-os no sistema de manejo. Marcante também, a falta de conhecimento sobre o comportamento dos cátions e ânions em relação a quantidade de água do solo e em diferentes profundidades sobre a translocação destes íons para camadas inférteis dos solos, as reações do pH dependente, os corretivos e o teor de matéria orgânica, o desenvolvimento do sistema radicular e a ação dos microrganismos na vida do solo.

A experiência adquirida é a principal fonte de conhecimento capaz de trazer à tona os dados neste livro, tais como projetos realizados nas mais diversas regiões brasileiras, como o Pantanal, o Sudeste, o Centro-Oeste, a Região Semiárida, o Complexo da Amazônia, a Região de Cerrados e as experiências externas ajudam a entender e aumentar o grau de conhecimento, permitindo visualizar um contexto mais amplo aos problemas relacionados no manejo de solos.

Entretanto, o leitor irá deparar com uma série de resultados de cana-de-açúcar, porém, tais dados refletem a fonte de maiores informações do autor, além do fato de que inúmeros dados desta cultura são aplicáveis para outras atividades.

O foco principal deste trabalho, são em solos intemperizados dos trópicos úmidos de argilas 1:1 e os óxidos de pH dependente.

Manejo do solo e a sustentabilidade agrícola

Devido a evolução da agricultura, principalmente a partir do século XIX e da Segunda Guerra Mundial, intensificou-se o ritmo das inovações tecnológicas, especialmente no campo da genética aplicada a agricultura, culminando na década de 70 com a chamada Revolução Verde que levava consigo além de "pacotes tecnológicos" a esperança de resolver os problemas da fome no mundo. De fato, a produção total da agricultura cresceu vertiginosamente, porém nos últimos tempos tem surgido em alguns segmentos da sociedade preocupações relacionadas a problemas socioeconômicos e ambientais provocadas por esse padrão produtivo.

Neste particular a preocupação com a erosão dos solos, a contaminação dos recursos naturais e dos alimentos, assim como a destruição de florestas e da biodiversidade genética, tem levado a um novo "paradigma" das sociedades modernas, ou seja, a da "sustentabilidade agrícola". Este "paradigma" procura transmitir a ideia de que o desenvolvimento e o crescimento da agricultura devem atender as necessidades desta e das próximas gerações, ou seja, deve ser algo benigno para o ambiente e para a sociedade durante longos períodos.

Embora a sociedade aprecie a preservação ambiental, permanece o fato, na opinião expressa por um agricultor australiano, de que "é difícil ser verde quando se está

no vermelho", indicando que viabilidade econômica e sobrevivência ainda são os principais objetivos daqueles que lidam com a terra (Doram et al., 1998).

Dentro deste enfoque surgiram várias definições procurando explicar o que se entende por "agricultura sustentável", quase todas expressando insatisfação com o padrão dito moderno da agricultura e defendendo a necessidade de um novo padrão que garanta a segurança alimentar e que não degrade a área ambiental.

Apesar das muitas contradições em torno da expectativa em relação ao teor de mudanças, há um consenso no sentido de que agricultura sustentável é, inicialmente, um objetivo a ser atingido, e que pode ser explicado por "renda para o agricultor e preservação ambiental". Neste sentido a definição de agricultura sustentável proposta pelo National Research Council dos Estados Unidos (NBC, 1991) é uma das mais aceitas e diz o seguinte:

“Agricultura sustentável não constitui algum conjunto de práticas especiais, mas sim um objetivo, que é o de alcançar um sistema produtivo de alimentos e fibras que possibilite: (1) *Aumentar a produtividade dos recursos naturais e dos sistemas agrícolas, permitindo que os produtores respondam aos níveis de demandas engendrados pelo crescimento populacional e pelo desenvolvimento econômico;*(2) *Produzir alimentos saudáveis nutritivos que permitam o bem-estar humano;* (3) *Garantir renda líquida suficiente para que os agricultores tenham um nível de vida aceitável e possam investir no aumento da produtividade do solo, e de outros recursos;* (4) *Corresponder as normas e expectativas da humanidade.* Assumindo que “para se ter uma agricultura sustentável é necessário um manejo sustentável” a Food Administration Organization (FAO) constituiu um grupo de trabalho para estabelecer a base de entendimento e desse conceito. Para este grupo (Smyth et al. 1993) o “Manejo Sustentável” alia tecnologia, políticas e atividades integrando princípios socio-econômicos com preocupações ambientais de modo que se possa simultaneamente: (1) Manter ou melhorar a produção e os serviços (produtividade); (2) Reduzir o nível de risco da produção (segurança); (3) Proteger o potencial dos recursos naturais e prevenir a degradação da qualidade do solo e da água (proteção); (4) Ser economicamente viável (viabilidade); (5) Ser socialmente aceitável (aceitabilidade). Estes cinco objetivos são os pilares sobre quais o paradigma do manejo sustentável é construído e para que seja atingido a sustentabilidade completa é necessário atingir todos os cinco objetivos. Não é fácil.

Qualidade dos solos e sustentabilidade agrícola

Qualidade do solo descreve a capacidade do solo para exercer as funções de produção biológica, qualidade do ambiente e promover a saúde das plantas e dos animais, de maneira sustentável (Santana e Bahia Filho, 1999). Ela é o vínculo mais importante entre o sistema de produção e a sustentabilidade agrícola.

Se o solo fica degradado, mais recursos em termos de tempo, dinheiro, energia, fertilizantes e corretivos vão ser necessários para produzir menor quantidade de alimentos e pior qualidade, e os objetivos da sustentabilidade da agricultura dificilmente será atingido. Por outro lado, se a degradação do solo é revertida e a qualidade do solo é mantida ou melhorada, pela utilização de métodos adequados de recuperação, a sustentabilidade da agricultura pode ser atingida.

Como se observa a qualidade do solo é um componente crítico de uma agricultura sustentável, e um sistema de produção pode ser sustentável apenas quando a qualidade do solo é mantida ou melhorada. Nas palavras de Santana e Bahia Filho e por nós endossadas, este enfoque encerra em seu conceito a grande possibilidade que nós, agrônomos e técnicos, temos com a sustentabilidade da agricultura.

Em relação a este aspecto um dos objetivos do curso de “Manejo de Solos” é o de desenvolver o conceito de sustentabilidade agrícola naquele que lhe compete.

Base fundamental: Quem é o solo e como ele funciona?

Existem várias abordagens na definição do solo, desde a mais genérica como ‘a camada inconsolidada da superfície da crosta terrestre’ até a mais pontual como ‘um corpo tridimensional, o pedon’. De uma maneira ou de outra, a questão é que o solo é um indivíduo locado na paisagem numa posição específica. Quando observamos diversos indivíduos temos o polipedon ou a população de indivíduos. A dinâmica dos solutos percorre estas duas etapas, vertical e horizontal afetando o ponto específico, o entorno e finalmente o desenvolvimento da planta. Logo, conhecer o solo no local pontual, é tão importante como conhecer sua área de atuação (o caráter espacial). O solo neste contexto, se apresenta muito além da camada arável. Toda a dinâmica de seu funcionamento ocorre até, no mínimo 1 metro, sendo o mais correto até a profundidade de classificação pedológica. O funcionamento envolve todos os atributos do solo, granulométrico, químico, estrutural, morfológico, mineralógico, que juntos, vão ditar a dinâmica dos

solutos. Portanto, todo o manejo é dependente do entendimento desse funcionamento. Este 'indivíduo', será impactado pelo manejo de maneira positiva ou negativa. Logo, compreender o seu funcionamento, é fundamental para um diagnóstico e estratégia de manejo assertiva, permitindo maior produtividade com sustentabilidade. A figura 1 ilustra o funcionamento de um perfil e impactos de manejo.

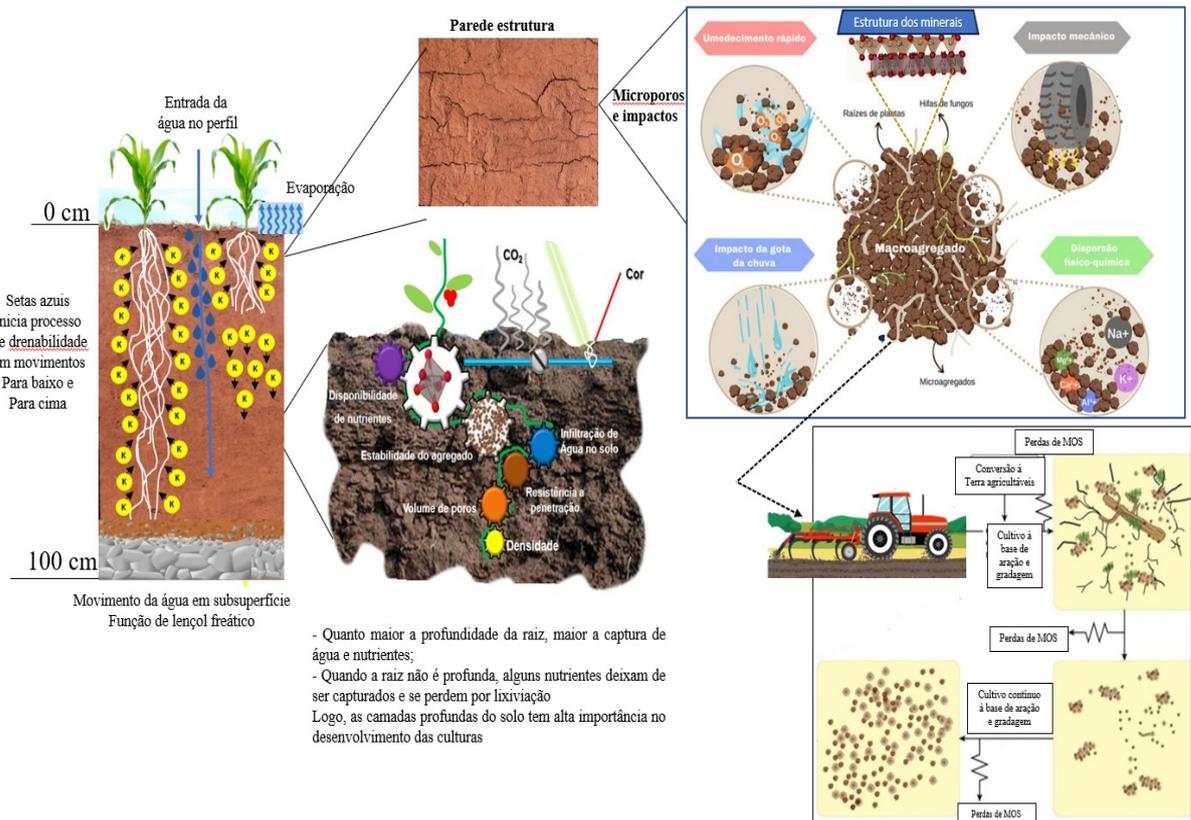


Figura 1. Ilustração da dinâmica de funcionamento de um perfil de solo e impacto de manejo.

Créditos específicos-Figura do mineral: Grupo de Pesquisa Caracterização do Solo para fins de Manejo Específico, UNESP, Jaboticabal. Figura quadro Parte dos microagregados: Schieblbein (2022)

Para uma compreensão mais assertiva, principalmente no meio agrícola entre produtores, vamos fazer uma analogia com um ser humano. Ao longo dos ensinamentos da ciência do solo, aprendemos as suas partes e funcionamento, tais como a física do solo, a fertilidade, a microbiologia, mineralogia entre outras. Tais disciplinas nos mostram a base do funcionamento, mas não ainda, como, de fato, funcionam. A disciplina gênese de solo, mostra os fatores e processos de formação, e por conseguinte, apresenta o seu funcionamento, porém, focada na ciência do solo, e raramente na planta. Por fim, a classificação pedológica dá o 'nome' ao 'indivíduo' ou seja a classe do solo. A distribuição espacial deste indivíduo na paisagem se dá através do mapeamento

pedológico. Ao colocar um profissional em frente a este 'indivíduo', o mesmo terá que entender o seu funcionamento em relação a uma série de outras co-variáveis, tais como o clima, a fisiologia da planta e a cultivar. Somente após este entendimento inicia-se o processo de manejo (ação) para avaliar a reação do solo, expresso pela sua produtividade.

Nesse sentido, observa-se um foco muito forte na camada arável, onde de fato, o ser humano consegue 'ver'. Isso explica a enorme repercussão que sempre houve na parte aérea (a planta) pelo ser humano, enquanto o solo ficou marginalizado. Isso passou para o sistema agrícola desde a década de 70. O agricultor vê resultados rápidos ao inserir fertilizantes, mas não vê a mesma coisa ao relacionar com o tipo de solo (classe pedológica). Isso dificulta o entendimento da importância da pedologia no manejo. Segue-se, portanto, a importância da área de ensino, na conexão entre a ciência básica e o manejo. Entretanto, os processos ocorrem muito além disso. Pode-se fazer uma analogia do pedon (o solo) com um ser humano (um indivíduo). Qual seja, o médico (profissional da agricultura) aprende todas as partes do indivíduo (solo), mas foca somente na parte química e geralmente superficial do solo. Isso vai não condiz com o real funcionamento do solo, e, portanto, pode levar a diagnósticos inadequados. Logo, conhecer o indivíduo (o solo, sua classificação e suas características, ou o 'ser humano individual') é base no manejo. O que se vê na prática, é que os ensinamentos da ciência do solo, não estão conectados no entendimento do indivíduo, mas somente em parte dele (geralmente até 20 ou 40 ou máximo 50 cm do solo). Tal fato leva inexoravelmente, a erro de diagnósticos. A figura a seguir ilustra o que ocorre na prática nas visões do cientista ou professor, do consultor ou profissional no mercado agrícola, da mídia e do próprio mercado. Em resumo, sabe-se muito sobre a camada arável, e quase nada na camada subsuperficial. Ainda, sabe-se muito sobre a planta, a cultivar, o clone, a variedade, a fisiologia, o clima, e quase nada sobre o solo.

Perguntado ao público numa palestra: "a mineralogia do solo é importante no manejo?", a resposta foi unânime "sim"; perguntado se alguém fazia esta análise ou relacionava a mineralogia quando se praticava o manejo, a resposta foi unânime 'não'. É comum verificar em alguns trabalhos no campo da correlação do teor de argila com produção. Ao ser verificado, essa análise está sendo realizada pela camada superficial 0-20 cm. A dinâmica da água e de solutos ocorre somente nesta camada? Logicamente que não, e, portanto, trata-se numa falha de fundamento para avaliar o que de fato ocorre na área. Pouco se conhece sobre o solo e sua relação com manejo, o que nos leva a desenvolver este documento.

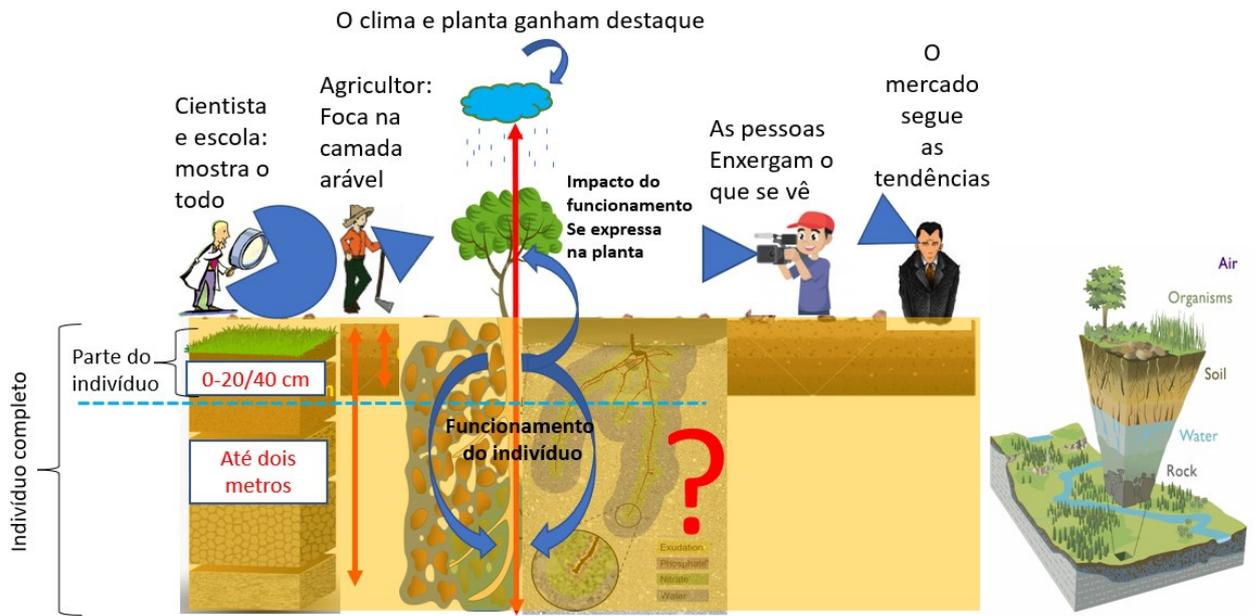


Figura. Ilustração da visão de diferentes observadores em relação ao solo; o funcionamento do solo e seu impacto na planta.

1 CAPÍTULO 1: CONSIDERAÇÕES GERAIS

Sobre o Manejo de Solos, nada é possível sem ação deste princípio que rege o sistema agrícola, inclusive no Brasil. Quanto aos níveis de manejo, ele leva em consideração ao uso de tecnologias à medida que aumenta o nível de manejo, onde uma série de conhecimentos não somente na área agrícola, mas também em relação aos devidos conhecimentos do capital, das terras e da mão-de-obra, assim como da necessidade de políticas mais contundentes, entre outros.

1.1 Manejo dos solos

O significado da palavra manejo, vem do latim 'manu' (mãos), passando a 'manusear, exercer'. Também significa 'ato ou efeito de manejar', 'fazer uso com as mãos ou equipamentos', 'fazer uso de algo' ou ainda 'técnica'. Logo, entende-se como manejo de solos como o 'uso de técnicas de manejo do sistema solo-planta com o intuito de aumentar a produtividade agrícola tendendo para um mínimo possível a degradação ambiental'. Por outro lado, é necessário entender que as práticas de manejo dependem dos níveis tecnológicos, a saber: extensivos, intermediários, intensivos e avançados. À medida que aumenta o nível tecnológico há aumento do nível de investimento e de conhecimento. As atividades de caráter extensivo ou até mesmo extrativista, predominam em muitas regiões do Brasil e se caracterizam pela exploração dos recursos naturais com baixo uso da tecnologia, de capital e de mão-de-obra. A extração de madeira e carvão e a criação de gado, exclusivamente em pastagens nativas, são os exemplos mais típicos desse nível.

No nível intermediário nota-se alguns tipos de diversificação de atividades com a introdução de culturas de caráter comercial como o arroz de sequeiro e feijão. Após o desmatamento manual ou mecânico cultiva-se o arroz por um período de dois a três anos e a seguir, instala-se pastagem. Trata-se do tradicional sistema arroz-pastagem.

Em relação ao nível tecnológico intensivo já se verifica, por um lado, o alto emprego de capital de tecnologia e, por outro, a menor importância relativa do fator terra. Nesse nível tecnológico, o manejo do solo assume grande importância. O desmatamento já feito com um mínimo de raspagem das áreas, a calagem é executada para atingir níveis razoáveis de pH. As adubações N, P, K normalmente associadas aos micronutrientes

assim como as práticas conservacionistas são empregadas inclusive o plantio direto e as plantas de cobertura. O nível avançado requer atenção em todas as práticas que compõem o pacote tecnológico de uma determinada cultura ou grupo de culturas sendo o sistema de produção da propriedade agrícola. Enfim, trata-se de um nível tecnológico em que a capacidade gerencial assume grande importância, tendo em vista equilibrar e harmonizar o emprego de todos os fatores de produção (capital, terra e mão-de-obra).

1.2 Administração dos fatores de produção

O conhecimento da tecnologia disponível é indispensável para o sucesso na atividade agropecuária. A experiência acumulada da pesquisa e a vivência dos produtores tem mostrado que o manejo do solo (correção química, fertilização, conservação, culturas de cobertura, entre outras) influi de modo significativo nos níveis de rendimento. Por outro lado, a rentabilidade da exploração agrícola está condicionada ao nível de administração rural. Por isso, uma recomendação de manejo do solo baseada exclusivamente em resultados experimentais pode ter pouco sentido. O exemplo a seguir ilustra tal caso, extraído do trabalho de Goedert et al. (1986) - Tabela 1. Tal dado reflete a situação de um empreendimento agrícola, cujo capital só permite adquirir uma quantidade fixa de adubo fosfatado. Considerando que não há limitação de terra, mão de obra e solo, deficiente em P, restando ao administrador decidir o uso mais adequado deste insumo. São escolhidas 4 opções de áreas (de 100 a 300 ha), que podem ser cultivadas em quatro diferentes níveis de P em kg/ha, de 40 kg a 120 kg/ha de alta resposta à adubação fosfatada, utilizando a mesma quantidade total de fertilizante.

Opção em área de 300 ha: Obtém-se maior produção global da empresa, contudo os custos fixos são elevados, já que é necessário preparar a terra, semear e cultivar uma área maior. A produção líquida é pequena e o empreendimento deficitário. Opção em área de 100 ha. Procura a utilização ideal dos fatores de produção obtendo maior renda líquida de 8,5 kg de soja por quilo de P_2O_5 aplicado. As demais opções indicam posições intermediárias.

Tabela 1 - Produção potencial de quatro lavouras de soja, implantadas em solo de alta resposta à adubação fosfatada, utilizando a mesma quantidade total de fertilizante.

Alternativa	Área ha	Adubação KgP ₂ O ₅ /ha	Rendimento Potencial t/grãos/ha	Produção total	Custos ¹			Produção Líquida ²	Produção/ Custo ³
					Fixos	Fosfato	Total		
A	300	40	0,9	270	210	48	258	12	1,04
B	200	60	1,3	260	140	48	188	72	1,38
C	150	80	1,6	240	105	48	153	87	1,57
D	100	120	2,2	220	70	48	118	102	1,87

Fonte: Goeden et al. (1986).

Legenda: (1) Baseados em custos fixos custo total - custo fertilizante fosfatado de 700; (2) Diferença entre a produção total da empresa e o custo total, expressos em toneladas de grãos; (3) Relação entre a produção total da empresa e o custo total, expressos em toneladas de grãos.

1.3 Condições climáticas e solos

Apesar do tema ser especificamente relacionado ao solo isto não é verdade, uma vez que para manejar adequadamente uma área é necessário conhecimento, além do solo, da planta, do clima e do mercado. Por outro lado agricultor, nenhum irá se utilizar de práticas de manejo se a relação custo/benefício for desfavorável. Em diversas regiões produtoras de soja no Brasil pode ocorrer falta de chuva em pleno período chuvoso. A longo prazo é muito difícil ou praticamente impossível estabelecer previsões de ocorrência de veranicos num determinado ano agrícola e por outro lado sabe-se que o período que vai do final de dezembro a março é o de maior probabilidade de ocorrência desta falta de umidade. Dessa forma um bom manejo da cultura de grãos é a adoção de práticas que visem o “escape” a esse período, dos estádios das culturas mais sensíveis a falta de água (floração e enchimento de grãos). Os dados dos exemplos a seguir ilustram estes casos.

- Opção 1, Plantio escalonado usando variedade de ciclo diferente Figura 1 (a). O conhecimento do clima associado ao manejo da cultura é muito mais importante do que o solo. Por melhor que o solo fosse recuperado quimicamente e manejado (sistema de preparo, plantio entre outros) o desconhecimento do clima pode fazer com que o empreendimento fracasse.

- Opção 2, Plantio numa mesma época, porém com culturas de ciclo precoce e tardia Figura 1 (b).

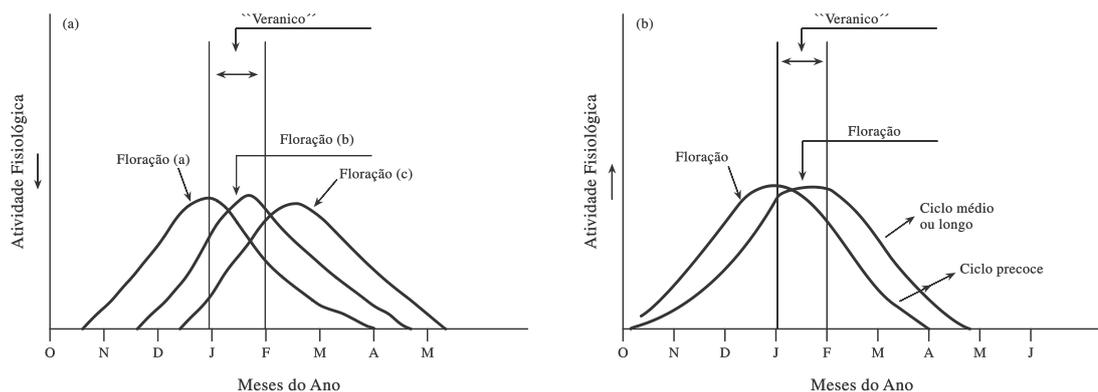


Figura 1 - (a) Opções de plantio para reduzir os danos da seca em função de data de plantio; (b) Opção de plantio na mesma data usando variedades de ciclo diferentes.

1.4 Culturas perenes, cana-de-açúcar, época de plantio

Os exemplos a seguir não tem nada a haver com as características do solo, mas sim com alternativas de manejo.

Num Latossolo Vermelho Amarelo textura média-arenosa-distrófico em São Paulo, com teor de argila de 14% na camada superficial e 19% na subsuperfície. No preparo do solo foi utilizado o sistema convencional. Foi feito calagem para saturação das bases em 60% e gessagem para melhorar quimicamente a subsuperfície. Período de preparo: set-out/2004. O plantio foi em janeiro/2005 e a adubação de 500 kg/ha da fórmula 05-25-25 + 500 kg/ha; foi realizado a fosfatagem com Yoorim BZ. Foi aplicado nematicida químico (Furadan) no plantio com 6,0 L/ha e inseticida, e variedade RB 72 454. A produtividade de primeiro corte foi de 76 t/ha em 04/06/2007 contra uma produtividade, em solo semelhante, na região de 92 t/ha. O ano agrícola civil correu normalmente com precipitação de 1.450 mm. A análise do solo, após colheita, indicada na Tabela 2 estava adequada. A questão levantada após o primeiro corte, seria o questionamento da ser produtividade baixa.

Tabela 2 - Análise química do solo feita após a colheita da cana em junho 2007.

Profundidade	pH	Ca	Mg	K	CTC	V	Argila
	H ₂ O	e.mg/1 00g solo				%	%
0-25	5,9	1,8	0,4	0,12	4,2	56	14
25-50	5,2	0,8	0,4	0,06	3,7	34	19

Analisando-se o histórico da área associado as análises de solos, conclui-se que o problema da baixa produtividade pode estar na época de plantio, ou seja, fator climático, e não no solo. A Figura 2 ilustra duas curvas de crescimento da cultura em solos arenosos, com plantio em janeiro e plantio em abril. No caso de o plantio ser realizado em janeiro a cultura se desenvolve rapidamente nos meses de janeiro a maio. No período seco (maio a setembro) já com 3 a 4 colmos visíveis (produtividade na faixa de 18 t/ha) a evapotranspiração é relativamente elevada. Como o solo é arenoso, com baixa retenção de umidade, não há água suficiente para suprir adequadamente a cultura que tende a entrar em estresse hídrico. Há formação de internódios curtos (encarretelamento), e estrangulamento dos vasos condutores de umidade e nutriente para o metabolismo da planta. Com o início das chuvas (set-out) a cultura demora para retomar o crescimento.

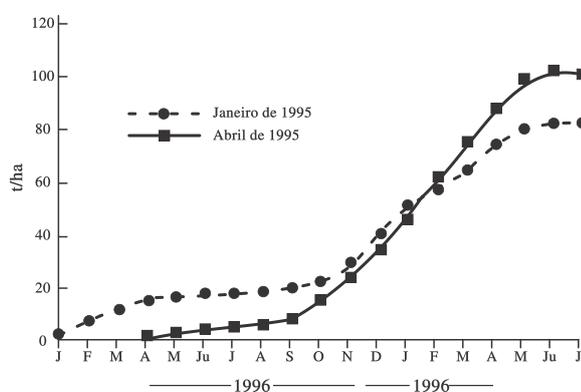


Figura 2 - Curva de crescimento da cana-de-açúcar nos períodos janeiro e abril.

No plantio de abril, contrariamente ao caso anterior, a cana-de-açúcar cresce pouco no inverno (faixa de 2-3 t/ha), não há formação de colmos, a evapotranspiração é pequena. Com o início das chuvas a retomada do crescimento é rápida e a produção final é maior do que o plantio de janeiro. Tal exemplo ilustra que neste caso o conhecimento das características da cultura (relação clima-solo-cultura) é mais importante do que o solo.

1.5 Cana de açúcar – condição de geada e compactação

Independentemente da textura do solo se a região de trabalho for susceptível a geada no período seco, a cultura deve ser obrigatoriamente plantada no final das chuvas, março/abril e não em janeiro-fevereiro, pois a geada pode atingir a planta com internódios visíveis com sérios problemas de condução da lavoura. Por outro lado, sua colheita não pode ser tardia, devido novamente a geada. Uma forma de manejo que diminui o risco da geada atingir a cana, foi observado em um estudo de caso na região de Rio Brilhante. Uma geada extremamente forte atingiu toda a região sem distinção. Entretanto, chamou a atenção, vários talhões que, lado a lado, um totalmente queimado e outro totalmente saudável. A diferença é que no segundo, a planta ainda era mais jovem e o solo recém arado estava exposto na entrelinha. Da mesma maneira, nas áreas onde foi realizado o enleiramento da palha, também não foi atingido pela geada. Tal fato se deve que a geada quando atinge a baixíssima temperatura, o solo que está mais quente retém esta temperatura em detrimento do ataque à planta. Tal exemplo ilustra a Figura 3 (a e b) indica que o conhecimento das características climáticas e de manejo como a palha, torna-se mais importante do que o solo.

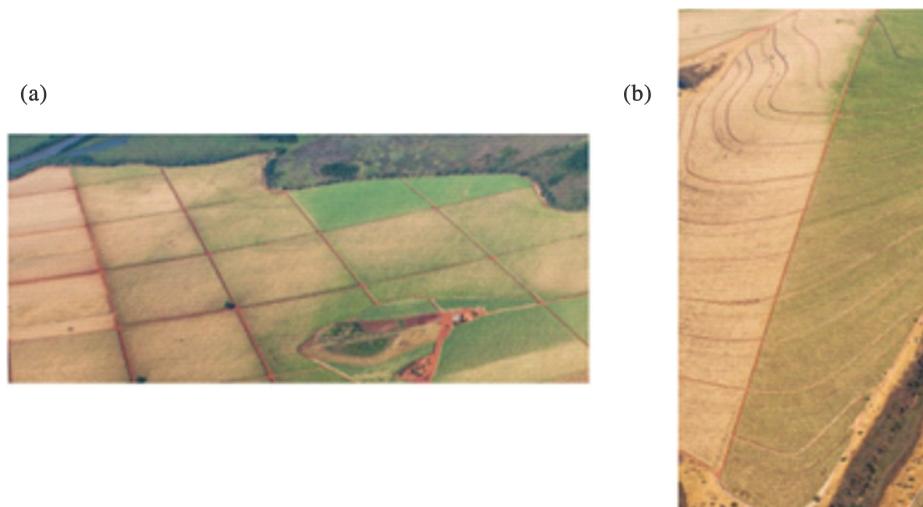


Figura 3 – (a) Ilustração áreas da região de Rio Brilhante durante geada, (b) ilustração de compactação.

No Mato Grosso do Sul e solo argiloso (Oxisol) e declivoso e devido a geada os solos devem ser plantados tardiamente e colhidos cedo. Ao mesmo tempo e independente da geada, neste caso o manejo do solo deve ser feito de tal forma que possibilite a colheita

da cultura no período seco. Colheita no período úmido, final de safra tende a aumentar a compactação do solo e reduzir a produtividade. A Figura 4 ilustra compactação detectados pelos seguintes sintomas: alto grau de dureza dos blocos, e mesmo quando umedecidos não permitem entrada de água de ar e não podem ser quebrados. Raízes finas a muito finas, achatadas.



Figura 4 – Diagnóstico e sintomas de compactação do solo no perfil de latossolo vermelho eutroférico (Lve).

1.6 Época de plantio e colheita das principais culturas

O esquema da Figura 5 ilustra o calendário agrícola das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e parte da região Norte do país. O conhecimento destas características climáticas, sem irrigação, é necessário para o bom desempenho do manejo de solos.

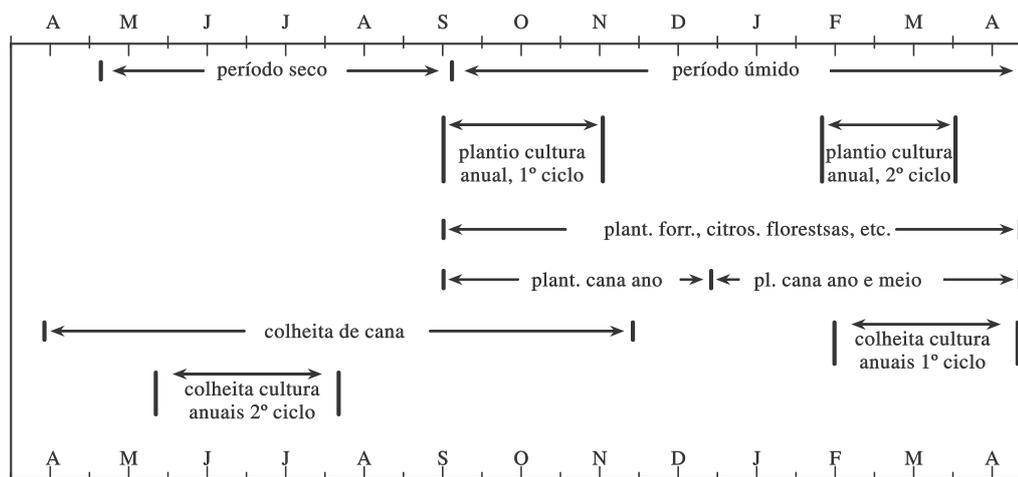


Figura 5 - Épocas de plantio das principais culturas (sem irrigação) e épocas de colheita.

A seguir exemplos de cultivos:

1. Cultivos anuais: plantio de outubro a dezembro e colheita em fevereiro a maio, culturas: soja, milho, amendoim etc., plantio de março a abril e colheita em agosto a setembro, culturas: trigo, milho, sorgo, culturas de inverno, culturas de cobertura.

2. Cultivos semi perenes: cana de açúcar e forrageiras: plantio de setembro a novembro e colheita em setembro a novembro (cana de ano), plantio de janeiro a abril e colheita em maio a novembro (cana de ano e meio), plantio de culturas de cobertura em março a maio.

3. Florestas, citros e pastagens: plantio de outubro a abril (período úmido), plantio de culturas de cobertura em março a maio, aplicação de herbicidas ou roço em set a out.

1.7 Clima do Brasil

Foram utilizados os biomas e o clima referentes aos sistemas de produção de eucalipto no Brasil. Na Figura 6 apresenta os biomas tais como: Amazônica, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica, Pampa, assim como os tipos climáticos de acordo com a classificação de Köppen, com cores em relação aos biomas.

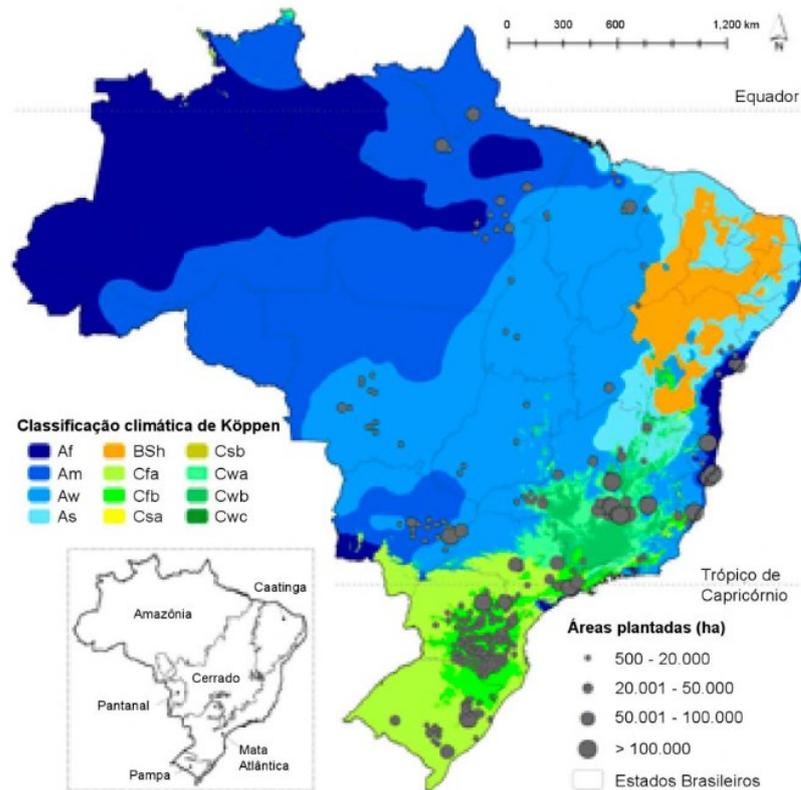


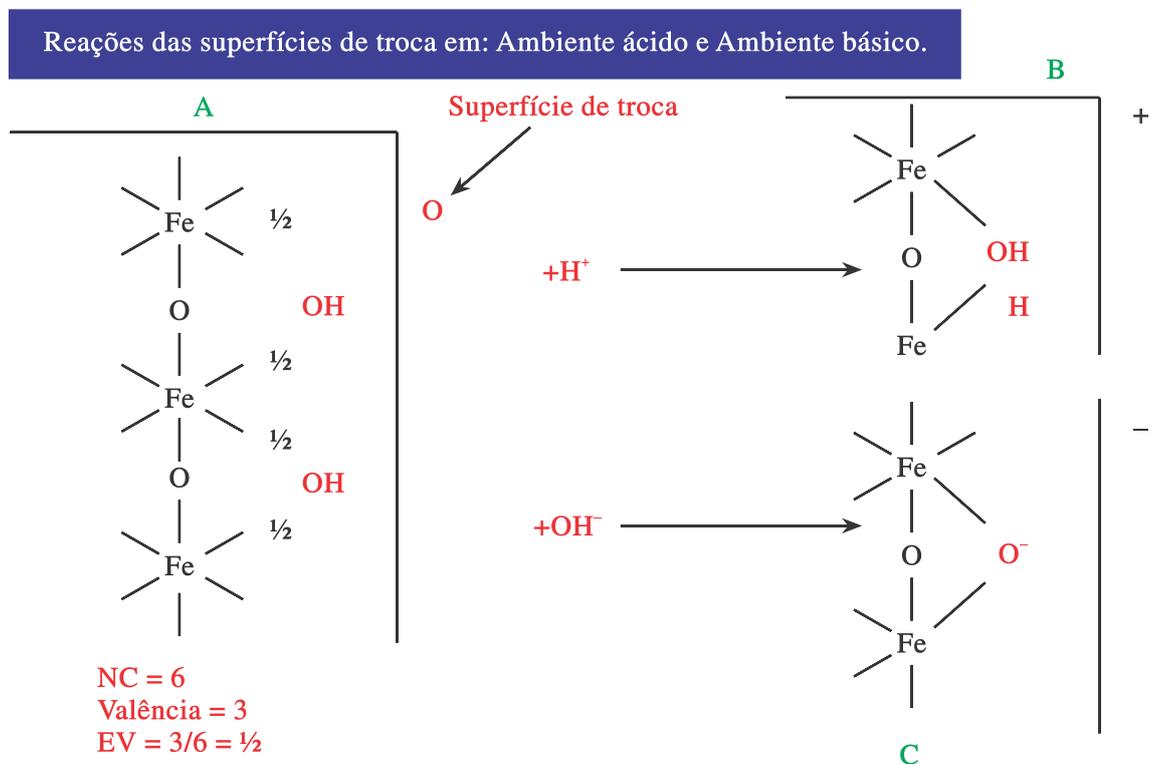
Figura 6 - Distribuição das plantações florestais nos diferentes biomas naturais e climas do Brasil, Tipos climáticos de Köppen: A = clima tropical: sem déficit hídrico (Af), monçônico (Am), com inverso seco (Aw) e com verão seco (As); BSh = clima semiárido de baixa latitude e altitude; Cf = clima subtropical úmido: com verão quente (Cfa) e verão temperado (Cfb); Cs = clima subtropical com verão seco: quente (Csa) e temperado (Csb); Cw: clima subtropical com inverno seco: verão quente (Cwa), verão temperado (Cwb) e verão curto e fresco (Cwc);

Fonte: Modificado de Abraf (2013), Gonçalves et al. (2013) e Alvares et al. (2013)

2 CAPÍTULO 2. PROPRIEDADES RELEVANTES AO MANEJO DOS SOLOS TROPICAIS

2.1 Formação de cargas neutras, positivas e negativas

Os Tópicos aqui tratados se aplicam a solos muito intemperizados, com mineralogia constituída por caulinita e óxidos de Al e Fe e com cargas variáveis. A Figura 7 ilustra este princípio da formação de cargas na superfície de um mineral, cargas neutras, negativas, positivas, constituídos nas terras brasileiras.



2.2 Capacidade de troca catiônica (CTC) e aniônica (CTA)

Como se observa, em ambiente muito ácido há formação de cargas positivas e em ambiente básico de cargas negativas. Cargas positivas nos solos não são de interesse e devem ser neutralizadas.

A Capacidade de Troca de Cátions é expressa como o número de centimoles de carga positiva (cmol) que pode ser adsorvido por unidade de massa. Um solo pode ter uma CTC de 15 cmol/kg, indicando que 1,0 kg de solo pode conter 15 cmol de ions H^+ e pode trocar este número de cargas de H^+ pelo mesmo número de cargas de qualquer outro cátion, ou seja, carga por carga e não íon por íon.

As relações entre os cátions trocáveis e na solução do solo estão em equilíbrio e pode ser observado através da equação de Gapon. A equação diz o seguinte: *“Para cátions em solução e que estão em equilíbrio com uma quantidade maior de cátions trocáveis, uma mudança na concentração da solução não perturbará o equilíbrio, se as concentrações dos cátions monovalentes variarem em uma relação e as concentrações dos cátions divalentes variarem na raiz quadrada desta relação”*

Em um sistema de manejo, no período seco, a solução do solo será reduzida em volume, pela evaporação do solo ou pela adição de fertilizantes, sendo que parte dos cátions monovalentes da solução do solo trocará com cátions bivalentes do solo, a fim de manter constante a relação. Se ao contrário, a solução do solo for diluída pela irrigação ou chuvas, haverá necessidade de troca de cátions divalentes da solução com cátions monovalentes do solo para manter o equilíbrio.

Numa provável alteração da solução do solo esta equação permite descrever as condições em que se mantém o equilíbrio iônico do solo, entre os cátions em solução e os cátions trocáveis.

2.3 CTC permanente e CTC dependente de pH

A CTC permanente é devido a substituição isomórfica nos tetraedros de Si por Al, assim como nos octaedros de alumínio, sendo substituído por Mg. Tais cargas são permanentes em relação ao pH, e não se alteram.

No caso de CTC dependente de pH a ocorrência de tais cargas se deve a protonação com um íon de H^+ (ambiente ácido) ou a desprotonação OH^- (ambiente básico) na superfície de um colóide de caulinita ou um óxido de Al ou de Fe, alterando o pH.

A CTC dependente de pH para solos intemperizados no Brasil, inclusive as terras arenosas, não deixa de ser um valor privilegiado em termos de manejo, pois ela pode ser alterada pelo calcário em função das culturas. A um pH 6,0 o alumínio estaria precipitado (pH 5,6) e não causaria inconvenientes a cultura.

2.4 CTC dependente de pH e da matéria orgânica

A Tabela 3 indica em trabalho de Hara (1974) com três tipos de solo muito intemperizados, de diferentes teores de argila e de matéria orgânica. Num pH do solo, correspondente a CTC permanente (4,41 a 1,41 cmol/kg) e ao determinar os valores a pH 7,0 e pH 8,0 verificou que os valores são crescentes de CTC devido a matéria orgânica, indicando com isso que a matéria orgânica apresenta CTC dependente de pH. A matéria orgânica apresenta cargas negativas dependente de pH até a um pH de 3,0 e abaixo deste valor pode apresentar cargas positivas.

Tabela 3 - CTC de três solos (horizontes Ap) ter valores de pH da solução extratora e teor de matéria orgânica dos solos.

Solo	pH do solo			matéria orgânica
	pH 7.0	pH 8.0	matéria orgânica	
	cmol/kg			g/kg
Argissolo V. A	4,41	8,32	11,44	52,4
Latossolo V.E. textura média	1,58	3,14	4,22	13,9
Latossolo V.E. textura argilosa	1,41	5,62	8,96	35,3

VA = Vermelho Amarelo. VE = Vermelho Escuro

Fonte: (Hara, 1974) .

2.5 Capacidade de troca aniônica (CTA)

Ocorrem principalmente em solos muito intemperizados nos trópicos e os princípios básicos da CTA são semelhantes aos de CTC, exceto pelo fato de que as cargas dos coloides são positivas e a troca ocorre entre íons de carga negativa. A CTA assim como a CTC é dependente de pH podendo apresentar cargas positivas principalmente na subsuperfície. As cargas positivas nos octaedros, principalmente nos bordos da estrutura, podem ter ânions específicos como SO_4^{2-} e não específicos como o NO_3^- e Cl^- formando os pares iônicos com cátions (no caso de ânions não específico como dois Cl^- , arrastando um Ca^{2+}) e que podem ser translocados para a subsuperfície, melhorando tais solos quimicamente.

Na Tabela 4 indica os principais minerais das frações argila dos solos de mineralogia 2:1 (como montmorilonita, micas, vermiculita) como solos de mineralogia 1:1 (como caulinita, halloysita e os óxidos) assim como os materiais orgânicos (material alofanico, turfas). Ao mesmo tempo a Tabela 4 indica valores permanentes e valores dependentes de pH indicando que os solos 1:1 e os óxidos apresentam valores dependentes e num ambiente mais ácidos apresentam uma capacidade de troca aniônica.

Nos solos há ocorrência de Capacidade de Troca Catiônica (CTC) com os coloides do solo apresentando cargas negativas e principalmente na subsuperfície há possibilidade de apresentar cargas positivas gerando a Capacidade de Troca de Ânions (CTA). Os óxidos de ferro e alumínio apresentam os maiores valores de CTA seguido pela caulinita (Tabela 4). Os minerais 2:1 apresentam cargas positivas, porém são pequenas.

Tabela 4 - Características de carga de alguns minerais da fração argila separados de solo em e.mq/100 de argila.

Material	Capacidade de Troca			Capacidade de troca de ânion
	Permanente	Variável	Total	
e.mq/100g				
Montmorilonita	112	6	180	1
Vermiculita	85	0	85	0
Ilita	11	3	14	3
Haloisita	6	12	18	15
Caulinita	1	3	4	2
Gibbsita	0	5	5	5
Goethita	0	4	4	4
Material alofânico	10	41	51	17
Turfa	38	98	136	6

Na Tabela 5 indica que os minerais de argila e dependendo das condições climáticas, podem apresentar cargas negativas (minerais 1:1) dependente de pH ou somente cargas permanentes como nos minerais 2:1.

Os óxidos de ferro e alumínio (gibbsita, goethita) apresentam 100% de cargas dependente de pH assim como húmus (moléculas orgânicas) com 90% de cargas dependentes de pH, seguido pela caulinita e posteriormente pelos minerais 2:1, estas com pequena contribuição de cargas positivas. No caso das alofanos, estas apresentam uma CTC maiores do que a caulinita, porém 90% são dependentes de pH.

Tabela 5 - Cargas negativas e positivas nos coloides de solos

Tipos de colóide do solo	Cargas negativas e positivas			
	Cargas negativas			Cargas positivas
	Total	Constante	Dependente pH	Dependente pH
	cmol/kg	%	%	cmol/kg
Orgânicos	200	10	90	0
Esmectitas	100	95	5	0
Vermiculitas	150	95	5	0
Micas	30	80	20	0
Cloritas	30	80	20	0
Caulinita	8	5	95	2
Gibbsita	4	0	100	3
Goethita	4	0	100	3
Alofana	30	10	90	15

Fonte: Novais, R. F. e Mello, J. V., 2028; Brady e Weil, 2013.

2.6 Manejo do Ponto de Carga Zero (PCZ)

O pH do solo onde o balanço de cargas positivas e negativas é zero é designado de ponto de carga zero (PCZ) e tem importância principalmente nas camadas inferiores do solo intemperizado, onde o teor de matéria orgânica é baixo, como nas terras arenosas. Os solos apresentam valores de PCZ os mais variados dependendo de sua mineralogia, do teor de matéria orgânica e do grau de intemperismo. A seguir alguns valores do PCZ de minerais da fração argila e de solos mais comuns na camada superficial e subsuperficial.

Na Tabela 6 note que os minerais de argila apresentam valores de PCZ variando de 5,0 para a gibbsita, a 6,7 para a goethita, sendo que a caulinita (mineral 1:1) assim como o húmus o PCZ seria abaixo de 4,0.

O manejo de solos óxidos principalmente com mineral goethita apresenta PCZ de 6,7 significa que acima deste pH o solo irá ter cargas negativas e abaixo cargas positivas,

complicando ainda mais o manejo, quais sejam: maior adsorção de fósforo (presença de cargas positivas); maior lixiviação de nutrientes; maior adsorção específica com outros ânions.

Nos solos indicados nota-se a importância da matéria orgânica (não indicada) que na camada superficial da maioria dos solos que apresentam valores de PCZ inferiores a um pH de 3,5 (devido a MO). Nas camadas inferiores, com teores de matéria orgânica menores, o PCZ varia de acordo com a mineralogia. Em solos arenosos, como nos Latossolos, o PCZ está na faixa de 5,5 a 6,3.

Apenas para exemplificar a ação da matéria orgânica com os dados do PCZ do Latossolo Roxo, com 3,5 na superfície e 6,0 na subsuperfície (mineralogia oxidica). Como o teor de argila deste solo não varia em profundidade assim como sua mineralogia (pois o Ki na superfície é semelhante ao da subsuperfície) o PCZ deveria também ter valores semelhantes nas duas profundidades. Tal fato, entretanto não ocorre, pois a matéria orgânica da camada superficial é suficiente para translocar o PCZ para um pH mais ácido. Na subsuperfície o teor desta matéria orgânica é menor e, portanto, a mineralogia oxidica predominou com valores de 6,3. Sendo assim, a perda da M.O. da superfície destes solos deve ser evitada, como a erosão e raspagens desnecessárias.

Tabela 6 - Valores de PCZ de alguns minerais e de solos nas camadas superficiais e subsuperficiais.

Mineral	PCZ (pH)	Solo	pH dos Horizontes	
			Superficial	Subsuperficial
Goethita	6,7	PV	1,6	4,0
Hematita	5,4	TE	1,9	2,7
Gibbsita	5,0	LVA	3,3	5,5
Caulinita	<4,0	LA	3,1	6,3
Húmus	<3,0	LR	3,5	6,0

Fonte: (Raij, 2011).

Tome como exemplo os dados da Figura 8 (a) onde o eixo do Y representando o balanço de cargas em meq/100m g e o eixo dos X representando o pH dos solos pH de 3,0 a 9,0. Observe que a faixa de 0 a -1 representa os valores de minerais 2:1, que não se alteram em relação ao aumento do pH.

A partir do pH de 4,0 até 9,0 através dos corretivos, há aumento de cargas negativas de -1,5 a -4,0 meq/100g, indicando ser as cargas dependentes de pH, aumentando as cargas negativas na medida em que o pH sobe. Ao mesmo tempo neste aumento do pH há redução das cargas positivas, ou seja, nos solos tropicais muito intemperizados a calagem aumenta as cargas negativas dos solos, sendo interessante, e ao mesmo tempo reduz as cargas positivas, que não há interesse. O sistema de manejo envolve a ação dos corretivos.

Entretanto ao se fazer a calagem há decréscimo das cargas positivas e aumento das negativas, porém o ponto do PCZ não se altera. A única maneira de se alterar o PCZ do solo seria aplicar um produto que tenha somente cargas positivas ou negativas.

Para a redução do ponto do PCZ há necessidade de se incorporar somente cargas negativas. A matéria orgânica, com pH superior a 2,5 só gera carga negativas. Ao se aplicar este produto no solo Figura 8 (b) o PCZ se deslocou do ponto 1 para o ponto 2, aumentando assim sensivelmente o saldo de cargas negativas do solo.

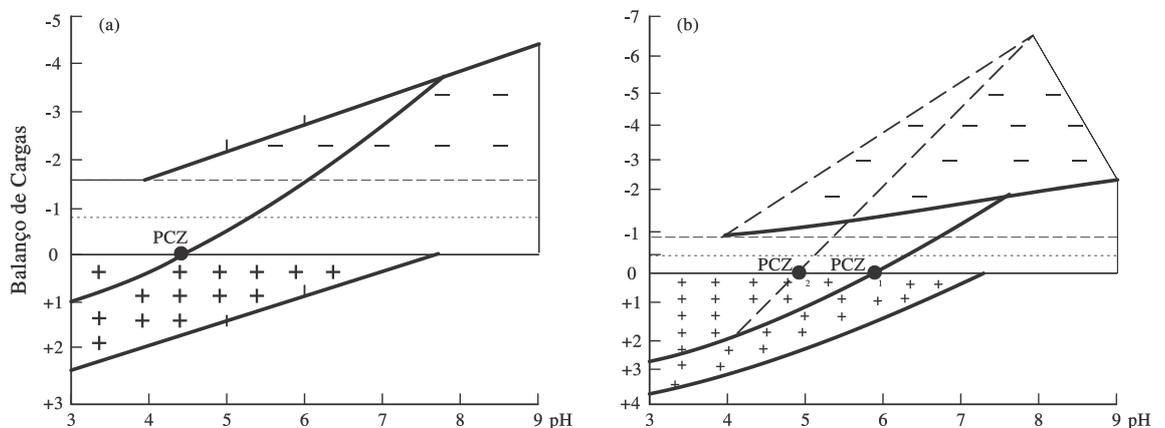


Figura 8 - (a) Cargas permanentes, dependentes e carga líquida em Oxisol. (b) Efeito da adição de matéria orgânica indicando deslocamento do PCZ do ponto PCZ (1) para PCZ (2).

2.7 Propriedades da água

As diversas reações relacionadas a água se devem a sua estrutura. Sua molécula é um composto simples, formado por um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio,

alinhado em torno do oxigênio em forma de “V” com um ângulo de 105° gerando uma polaridade positiva e negativa.

No solo, independente da textura, na água é atraída por forças eletrostáticas da superfície negativa (ou positiva) dos coloides. Na polimerização da água ou formação de uma rede de moléculas de água, um hidrogênio é atraído pelo oxigênio vizinho de outra molécula, fazendo com uma “ponte de hidrogênio”, de ligações de baixa energia, entre duas moléculas de água. Tal ligação explica duas forças básicas nos solos, tanto de atração como num coloide (adesão ou adsorção) assim como de movimentação da água (coesão), de acordo com Figura 9.

Neste meio de água, tanto cátions como ânions, circulam como um verdadeiro enxame de abelhas. Cátions como H^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} se hidratam e se ligam por meio de sua atração pelo lado negativo da molécula de água e os ânions pelo lado positivo da água.

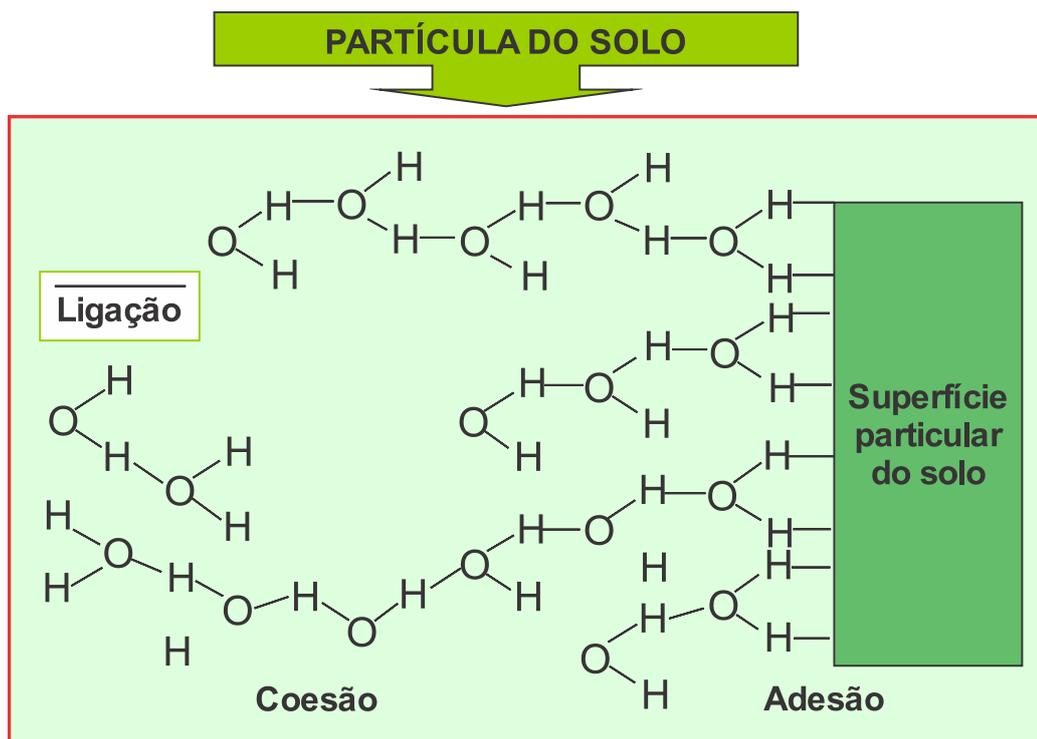


Figura 9 - Partícula carregada com cargas negativas do solo e ligações com moléculas de água com a polaridade indicando forças de coesão e adesão. **Fonte:** Brady, C.N. e Weil, R. R (2013)

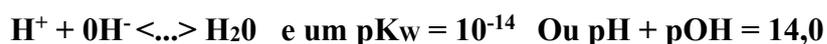
2.8 O pH da solução do solo

Quimicamente os ácidos se dissociam em solução liberando prótons (H^+), em contraste com as bases que recebem tais prótons. Num solo o sistema é aquoso, portanto, o uso das atividades de hidrogênio (H^+) e hidroxila (OH^-) é comum. A dissociação de uma ácido forte é total e ácidos fracos dissociam muito pouco. Adicionando $Ca(OH)_2$ numa solução em solo neutro haverá mais OH^- do que H^+ portanto o solo será alcalino. Da mesma maneira se for adicionado HCl a um solo neutro, o solo conterá mais H^+ do que OH^- , e o solo se tornará ácido. Nos solos domina a dissociação de ácidos fracos e ocorrem em concentrações muito baixa de íons hidrogênio e, portanto, seria inconveniente usar uma designação numérica para tal fato, seria utilizado o conceito numa escala logaritma.

Numa solução contendo $0,00001 \text{ mol/L}$ de H^+ teria na escala logaritmo um valor $\log 1/0,00005$ o que corresponde a um pH de 5,0. O mesmo raciocínio para pH 7,0

Numa escala logaritma, no caso de solos, a cada redução de unidade de pH, o H^+ aumenta de 10 vezes em concentração. Portanto, num pH de 5,0 seria 10 vezes mais ácido do que um pH 6,0 e 100 vezes mais ácido do que um pH 7,0.

A escala da água varia de 0 a 14, com o qual valores abaixo de 7,0 corresponde acidez e acima deste valor indica alcalinidade. Nos solos a variação estaria entre 3,5 e 8,5 ou mais frequente de 4,0 a 8,0. A expressão de pH é também utilizada para a constante de equilíbrio. A dissociação da água seria a expressão seguinte:



2.9 A construção da fertilidade dos solos

A construção da fertilidade do solo é iniciada pelo aumento do pH na faixa de valores de 6,0 a 6,5 e saturação de bases correspondendo estes valores de pH, complementando com os demais nutrientes e corretivos. Entretanto, o conhecimento de diversos sistemas de manejo, como a cultura, não deixa de ser um fator principal neste assunto. No solo fica a questão da profundidade a ser corrigida, principalmente, no Plantio Direto em grãos. Neste aspecto e para a grande maioria dos envolvidos, primeiro se recupera o solo, através de fertilizantes, corretivos, matéria orgânica etc. e posteriormente

a cultura. Para o eucalipto o solo seria um substrato, havendo a necessidade de se fertilizar a planta, e não o solo. São pontos de vista diferentes que devem ser respeitados.

2.10 Disponibilidade de nutrientes e o pH do solo

A disponibilidade de nutrientes é influenciada pelo pH do solo e foi desenvolvido em trabalho clássico por dois autores americanos (Arnon e Johnson) que trabalharam com tomateiro, alface e grama bermudas. Tais autores verificaram que a produção máxima foi observada com pH entre 6 e 7. Na literatura internacional foi observado que a maioria das culturas apresentavam uma produtividade máxima na faixa de 6,0 a 6,5 de pH. Munido dos resultados Malavolta (1983) divulgou as relações de pH e absorção de nutrientes, tornando o trabalho clássico.

Em resumo a forma como o pH possa influir na disponibilidade dos nutrientes está indicado na Figura 10.

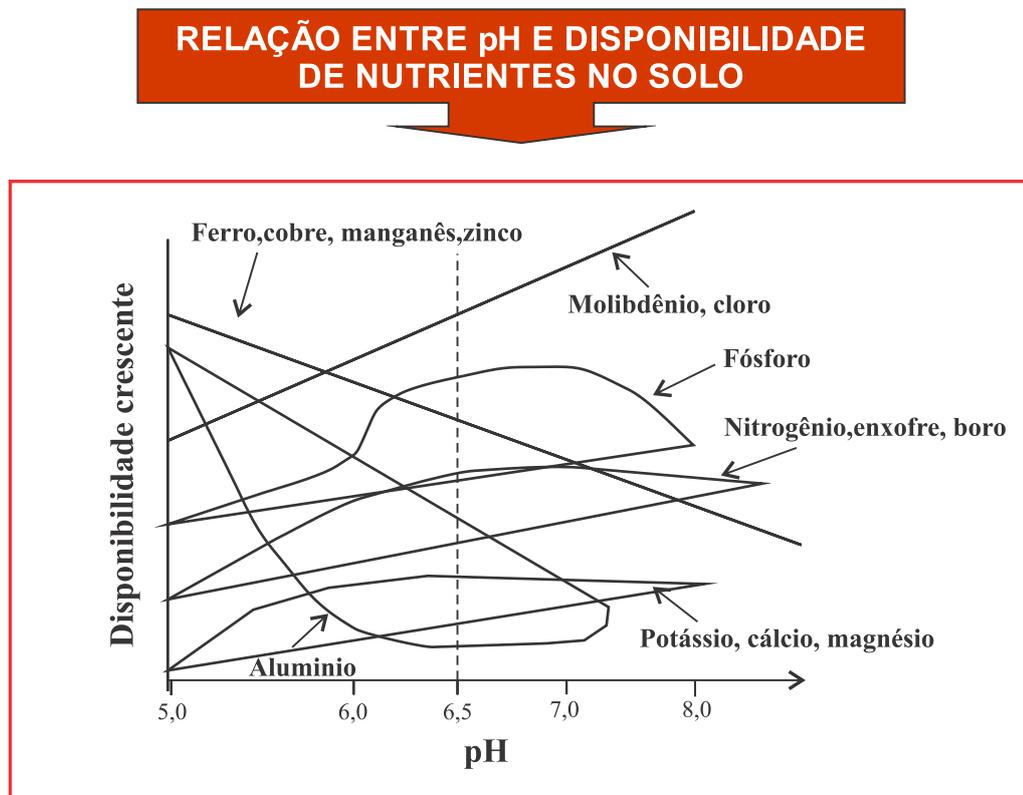


Figura 10 - Relação entre pH e a disponibilidade de nutrientes no solo (Fonte: Malavolta, 1982).

- Nitrogênio: a disponibilidade aumenta graças aos efeitos favoráveis da mineralização da matéria orgânica, com pH na faixa de 6,0 a 7,0. Por sua vez o enxofre na forma de SO_4^{2-} é adsorvido pelas formas de minerais de Fe e Al (oxihidroxidos) e liberados à medida que o pH se eleva. O Boro, tem sua base de absorção com as faixas máximas de pH entre 6,0 e 7,5.

- Fósforo: a Figura 11 ilustra o percentual de eficiência do fosforo na faixa de pH de 4,5 a 9,0. Note que a eficiência aumenta de 23% a um pH de 4,5, sempre crescente até a faixa de 95 a 100% nuns valores de pH de 6,5 a 7,0. Tal eficiência decresce a seguir com 70% a um pH de 7,5 para 30% a um pH de 8,0 culminando com uma eficiência de 5% num pH de 9,0.

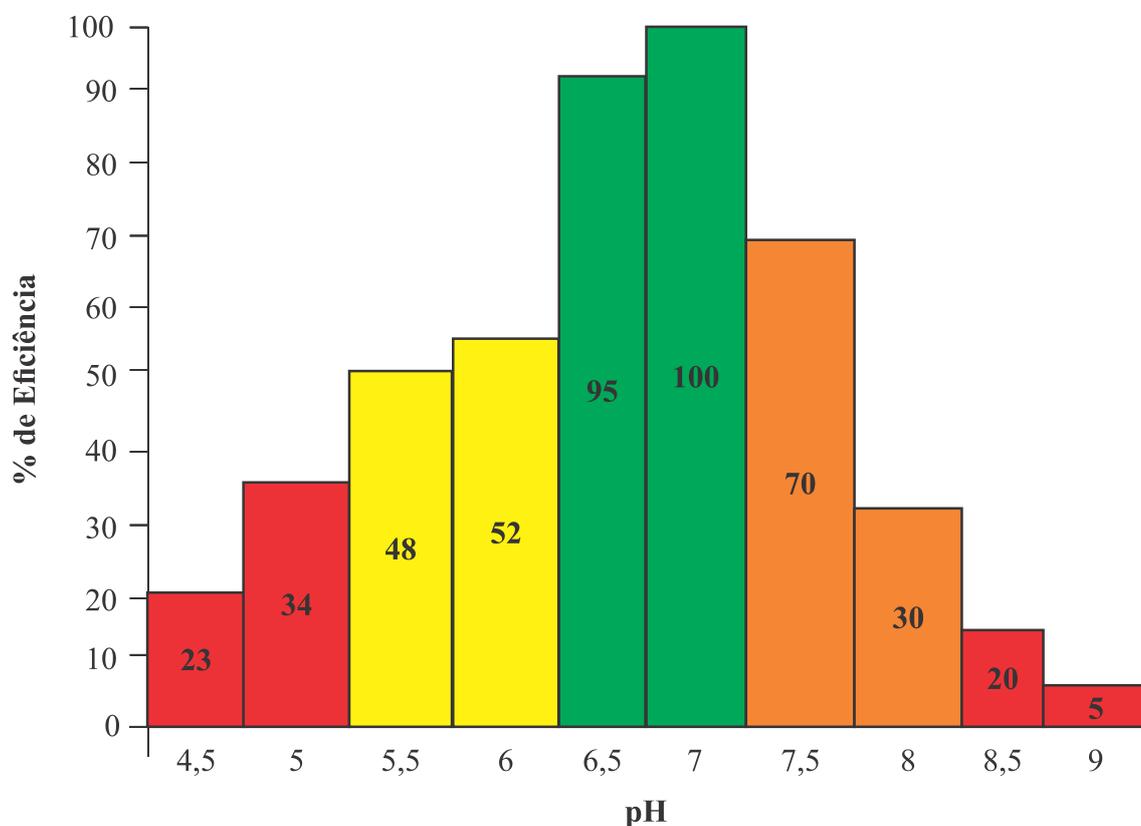


Figura 11 - Eficiência do fósforo em função do pH do solo.

- Potássio, cálcio e magnésio: a disponibilidade destes nutrientes aumenta até um pH de 5,5 e a partir daí os valores permanecem constante em relação ao eixo dos X até um valor máximo de pH 8,0 ou mais.

- Ferro, manganês, cobre e zinco: os micronutrientes positivos apresentam disponibilidade decrescentes à medida que aumenta o pH. Na cultura de soja os autores

alegam da possibilidade de imobilização destes micronutrientes positivos. Há necessidade de reposição.

- Molibdênio e cloro: o íon MoO_4^{2-} é fortemente adsorvido pelo oxihidróxido de Fe e Al, porém é deslocado pelo OH^- à medida que o pH sobe. A mesma tendência do cloro.

No caso do íon alumínio, elemento nocivo para a maioria das culturas, este constituinte do solo é precipitado na faixa de pH entre 5,5 a 5,7. Assim é que as correções químicas dos solos devem estar nesta faixa de pH para que haja uma maior eficiência de aproveitamento dos nutrientes pelas plantas.

Em relação ao silício (Si), ele é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, porém não é considerado um nutriente essencial as plantas. No solo ele é apresentado como ácido monossilício, de formulação H_4SiO_4 . As plantas absorvem silício da solução do solo e chegam ao sistema radicular por difusão e fluxo de massa. Na planta ele é absorvido pela bomba de H^+ -ATPase. No interior da planta ele é conduzido pelas enzimas específicas até a parte aérea das folhas depositada na forma de sílica amorfa, opala, principalmente nas folhas de cana-de-açúcar e do arroz. É utilizado, principalmente, no controle de doenças. Tem sido utilizado em diversas culturas na forma de silicatos, inclusive em cana-de-açúcar, devido ao fato de que eles apresentam componentes de alteração de pH. Apesar de solos arenosos contendo elevado teor de areia, no caso quartzo (SiO_2), é indecomponível quimicamente e, portanto, o silicato deve ser utilizado em solo arenoso.

Como visto o solo deve estar adequadamente corrigido em termos de pH tanto na superfície e se possível na subsuperfície. A correção do pH e conseqüentemente da saturação das bases é feita com o calcário, apesar da matéria orgânica (menos eficientes), silicatos, termo fosfato terem também tais efeitos de correção do pH. Na subsuperfície dos solos muito intemperizados o gesso é um produto utilizado para recuperação da fertilidade com efeitos positivos, principalmente, em culturas semi perenes e perenes e menos visíveis em culturas anuais. Em relação as culturas anuais o efeito do gesso é questionável justamente pelo fato de tais culturas apresentam um ciclo curto de 3 a 5 meses, porém há na literatura efeitos positivos do gesso nestas culturas.

2.11 Solução do solo

Uma série de pesquisadores salientam que a fração coloidal do solo mais a fotossíntese seria a fonte de vida na Terra. Talvez eles tenham razão, quem sabe. Entretanto, a Fração Coloidal do Solo apresenta umas inúmeras características que fica difícil não acreditar nestas afirmações.

2.12 Porosidade do solo

O solo pode ser definido com 50% de sólidos, incluindo a matéria orgânica e 50% de porosidade. A porosidade do solo pode estar suprida na sua totalidade com água ou com ar, e dependendo das condições de clima será dominado pela água, entretanto se o período for seco, o ar será dominante no solo Figura 12.

Porém tal água não é pura pois apresenta uma solução contendo solutos importantes para a planta, como cátions e ânions, compostos orgânicos dissolvidos, assim como elementos tóxicos e indesejáveis, fornecidos pelo próprio solo ou através do sistema de manejo.

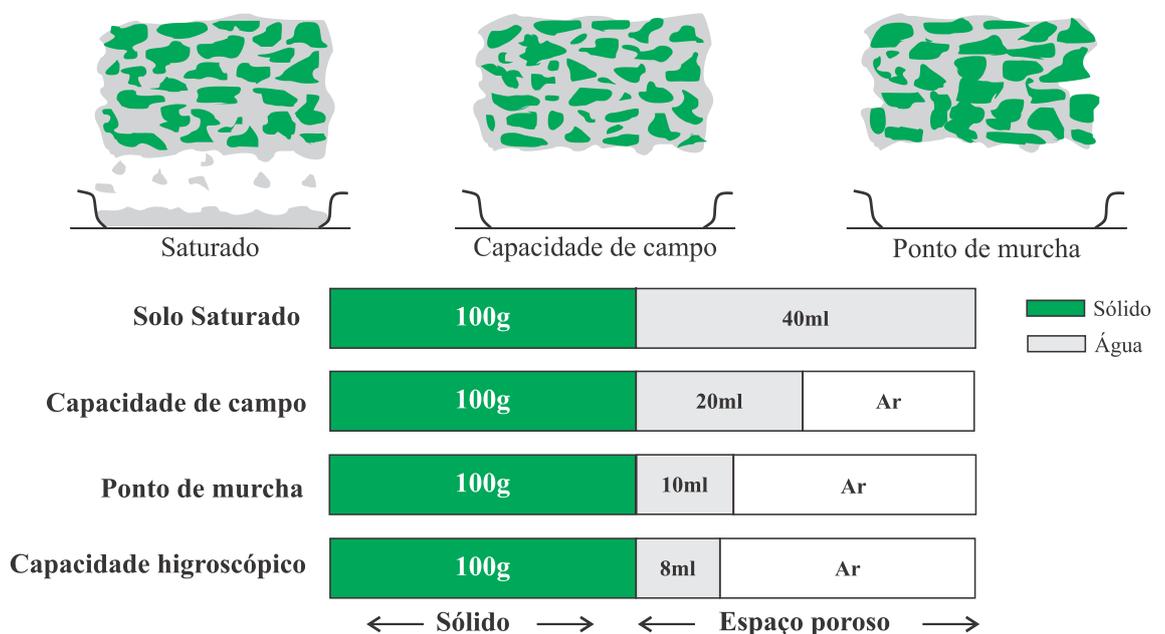


Figura 12 - Esquema ilustrando o solo com 50% da fração sólida e 50% da porosidade em água e ar de acordo com as condições climáticas. **Fonte:** (Brady & Weil, 2009)

Porém o sistema radicular das plantas absorve tanto um como outro. Os produtos na solução do solo são supridos pela superfície do colóide do solo (íons trocáveis) havendo um equilíbrio entre os íons trocáveis e íons em solução. A solução do solo constituído por íons e água, são influenciados pelo teor de umidade do solo, e consequentemente, agindo sobre a própria solução.

2.13 Dupla camada difusa (DCD) e espessura

Indica como cátions e ânions podem coexistir num solo. Os cátions bivalentes, devido à proximidade com o centro de carga do solo, apresentam maior quantidade comparado com os cátions monovalentes e ânions que ficam mais distantes do centro de carga (Figura 13). No caso de ânions a situação é diferente dos cátions, onde eles estão mais distantes do centro de cargas.

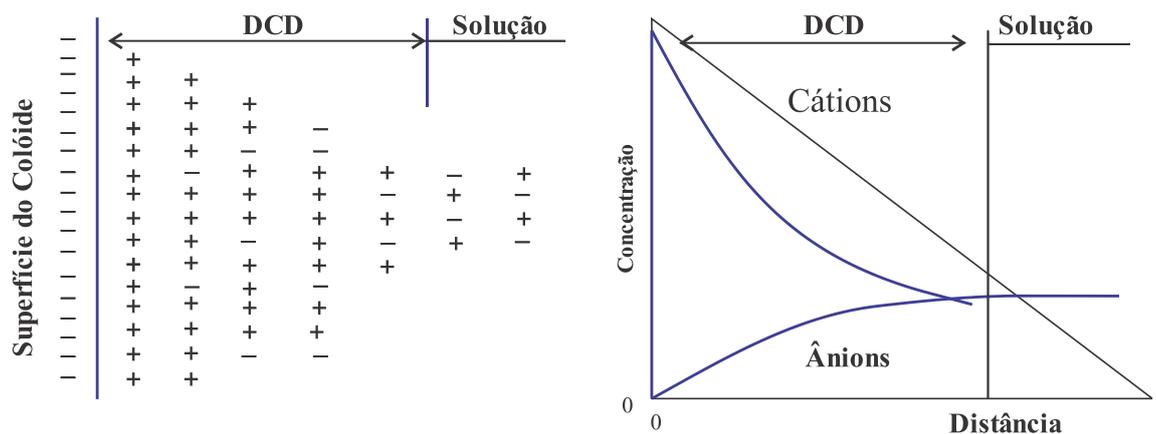


Figura 13 - Distribuição de íons a partir da superfície de colóide eletronegativo, de acordo com o conceito de dupla camada difusa (DCD). **Fonte:** Mitchell (1976).

Neste sistema a solução pode encolher ou pode esticar dependendo da quantidade de umidade do solo, alterando a relação de volumes do solo e da água. Na Tabela 7 a espessura da dupla camada de um colóide do solo, em Angstrom, indica que os íons bivalentes estão mais próximos na superfície de carga do colóide e os monovalentes mais distantes do colóide. A espessura da dupla camada decresce com a raiz quadrada da concentração salina e diretamente com o aumento da valência do cátion trocável (Bohn et al., 2001).

Tabela 7 – Espessura aproximada da Dupla Camada de um coloide do solo em função da concentração eletrolítica.

Concentração de cátions em solução verdadeira (Normalidade)	Espessura da Dupla Camada Angstrom	
	Cátions monovalentes	Cátions bivalentes
5-Oct	1000 A (1,0 mm)	500 A (0,5 mm)
3-Oct	100 A (0,1 mm)	50 A (0,05 mm)
1-Oct	10 A (0,01 mm)	5 A (0,005 mm)

Fonte: Soil Chemistry, 1979. Bohn, McNeal, O'Connor. Pg 144 – Modificado.

2.14 Solução do solo e a quantidade de íons

Na solução do solo a quantidade de íons é pequena (inferior a 10,00 mmol/L) (Novais et al., 2007) em comparação com os íons trocáveis do solo, sendo, portanto, muito difícil para a sua determinação num laboratório de rotina.

Apesar desta situação Anghinoni & Meurer (1999) trabalhando com solo do Rio Grande do Sul e num sistema para comparação de preparo direto (PD) e preparo convencional do solo (PC), obteve os seguintes valores na solução do solo indicados na Tabela 8. Verifique que em relação aos totais, o sistema de PD suplanta em muito o sistema de plantio convencional (PC), indicando que a matéria orgânica representado por carbono dissolvido tem sido bem maior no PD, onde estaria aí a grande diferença nos sistemas de preparo do solo.

Tabela 8 – Valores de pH e composição da solução de uma amostra de LV distrófico típico do Estado do Rio Grande do Sul submetido ao plantio direto e convencional.

Sistema de cultivo	pH	mmol/L									
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Al ³⁺	NO ₃ ⁻	P ₀₄ ³⁻	Total	COD
Plantio direto	5,4	1	0,6	0,8	0,2	0,55	0,14	1,5	0,0039	10,194	4,4
Plantio convencional	5,5	0,5	0,3	0,4	0,17	0,16	0,1	0,45	0,0026	7,673	2

Fonte: (Anghinoni & Meurer, 1999)

Legenda: LV= Latosso Vermelho; COD= Carbono Orgânico Dissolvido.

Por outro lado, há necessidade de ser verificado os mais importantes íons na solução do solo que estão indicados na Tabela 9.

Em solos intemperizados, ácidos, na solução do solo predominam o Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e o Al^{3+} . Num solo menos ácido, num clima semiárido, com pH faixa de 8,0 a 8,5, há considerável sais em solução e o surgimento do ânion carbonato (HCO_3^-) além de teores elevados de Na^+ SO_4^{2-} e Cl^- são comuns.

O hidrogênio tem um comportamento atípico se destacando no papel de acidez na reação do solo, assim como em grandes números de compostos e reações. No caso do alumínio, constituindo com as ligações entre si, formando polímeros, é o mais importante em relação a toxidez do sistema radicular em solos ácidos de baixa CTC dependente do pH.

Tabela 9 – Principais elementos na solução do solo.

Elementos	Íons
Potássio	K^+
Cálcio	Ca^{2+}
Magnésio	Mg^{2+}
Enxofre na forma de sulfato	SO_4^{2-}
Hidrogênio	H^+
Cloro na forma de cloreto	Cl^-
Alumínio	Al^{3+}
Sódio	Na^+
Carbono	HCO_3^-
Nitrogênio (Nitrito, Nitrato, Amônio)	NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+
Fósforo (di hidrogênio fosfato)	H_2PO_4^-
Fósforo (mono-hidrogênio fosfato)	HPO_4^{2-}

2.15 Adsorção iônica e as séries de cátions e ânions

As plantas absorvem os íons da solução do solo. Os cátions trocáveis, bem como os ânions, movem-se livremente na solução, sendo impelidos apenas pela atração elétrica

da superfície do mineral, mas sempre sujeitos a troca catiônica e podem ser absorvidos. Assim um cátion Ca^{2+} pode ser trocado por uma quantidade equivalente de qualquer cátion do mesmo sinal.

No caso da absorção pela raiz do K^+ que estava na solução do solo, outro potássio (ou outros cátions) que estava na forma trocável (próximo ao coloide) ocupa a posição do cátion que foi absorvido da solução.

Do ponto de vista dinâmico os cátions trocáveis regulam a composição da solução do solo, apesar de estarem em equilíbrio. A maior parte encontra-se na forma trocável, e apenas uma pequena parte na solução.

2.16 Série liotrópica

A seletividade do cátion nos solos segue a seguinte norma: “quanto maior a carga do cátion e menor o raio hidratado, mais fortemente ele será adsorvido pelo coloide”. Neste aspecto há uma série de cátions (série Liotrófica), do mais retido ao menos retido pelo coloide a saber:



Nesta série quanto mais próximo ao coloide mais fortemente os cátions vão ser retidos e quanto mais distantes ao centro de carga, menos os cátions serão retidos. Os cátions, como sódio, potássio localizados mais longe do centro de carga dos coloides, podem ser lixiviados, pois estão menos retidos.

Esta série de cátions foi obtida através de determinação com montmorilonita, saturando o complexo de cargas com cátions e trocado paulatinamente através de uma solução de NH_4Cl ou KCl . Na Tabela 10 observe que os monovalentes apresentam maiores raios do que os bivalentes e estes do que os trivalentes, sendo o Mg^{2+} com 32% o Ca^{2+} com 29% culminando com o Al^{3+} com 15%. O que deve ser acertado seria não em relação as relações, mas sim em função dos teores limitantes para as culturas.

Tabela 10 - Relação de cátions, raio iônico desidratado e relação percentual de retenção iônica por cargas.

Íon	raio (desidratado) em Å	% substituído por NH ₄ ou K
Na ⁺	0,97	67
K ⁺	1,33	49
NH ₄ ⁺	1,43	50
Rb ⁺	1,47	37
Mg 2 ⁺	0,66	31
Ca 2 ⁺	0,99	29
Al 3 ⁺	0,51	15

Íon de menor raio desidratado tem maior densidade de carga por volume

Fonte: (Bohn et al., 2001).

2.17 Adsorção específica

Nos ânions também ocorre através de adsorção específica sendo que o H₂P₀₄⁻, S₀₄²⁺, N₀₃⁻ e Cl⁻ agem como carregadores de cátions para a subsuperfície do solo, ou lixiviado, mantendo o equilíbrio químico. Neste aspecto há também uma relação de adsorção específica em ordem decrescente através de troca de ligantes. No caso do cloreto e parcialmente do nitrato tem sido considerado como ânions não específico.

Fosfatos > molibdato > fluoreto > sulfato > cloreto > nitrato.

Em solos inférteis com elevado teor de alumínio a translocação em profundidade com ânions específicos acompanhados por cátions como Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ pode enriquecer tais solos, sendo considerado uma alternativa segura para introduzir cátions em subsuperfície.

2.18 Relação entre cátions trocáveis e o pH

A representação esquemática envolvendo as diversas reações do solo pode ser observada com o esquema indicado na Figura 14 (Raij, 1981) onde apresenta as relações dos cátions trocáveis, o hidrogênio não dissociado e os valores de pH, em água e CaCl₂. No fundo deste reservatório contém as bases trocáveis, acima destas o Al³⁺ e na parte

superior o hidrogênio. Com a neutralização da acidez do solo ocorre o desaparecimento do alumínio num pH em água na faixa de 5,7 para a maioria dos resultados observados nos laboratórios de análises de solos, em seguida em pH mais elevado, o hidrogênio até o pH 7,0.

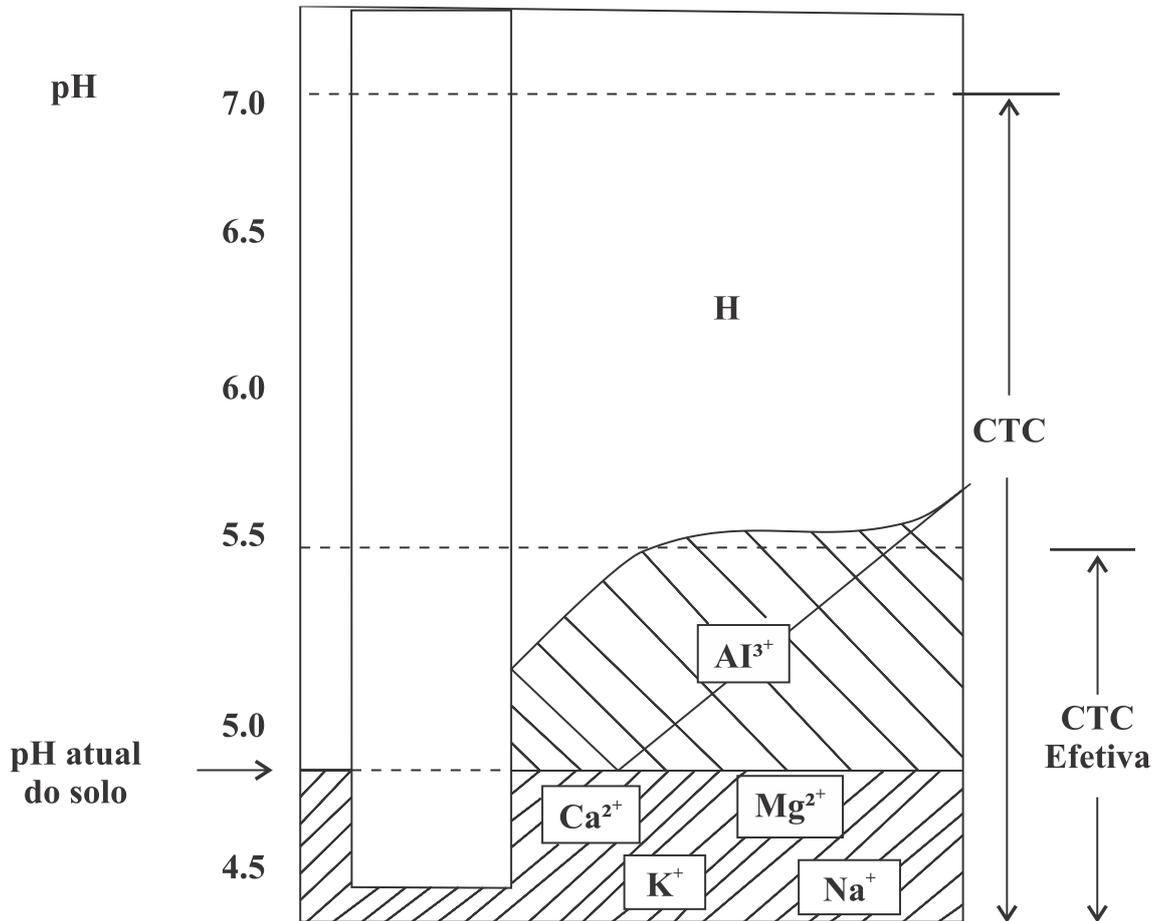


Figura 14 - A CTC pode ser visualizada como a capacidade de um reservatório, ligado à escala de pH, que indica o nível já atingido pelas bases do solo. Se a acidez do solo for neutralizada, o nível de bases sobe.

2.19 Valores utilizados nas análises de solos

Nas análises de solos a CTC a pH 7,0 é representada pela letra *T*. A CTC efetiva pela letra *t*, a saturação por bases pela letra *V* e a saturação por alumínio pela letra *m*.

A CTC da fração argila é calculada pela expressão $T \times 100/\%$ argila. Os solos de CTC elevada (Ta) com valores maiores de 27 cmol/kg de argila e solos de CTC baixa (Tb), ambos sem correção para carbono.

Os valores de delta pH são determinados pela relação de: $\text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$ e indica se há cargas positivas no solo. Se o valor for negativo há CTA, dominância de minerais muito intemperizados, tais como gibbsita e os coloides de solos que apresentam cargas positivas. Se o valor foi positivo há CTC e os coloides apresentam dominância de cargas negativas.

Soma de bases (SB): teores trocáveis de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e NH_4^+ são somados. Em regiões mais úmidas os teores de Na^+ e NH_4^+ são desprezíveis e não fazem parte da SB.

2.20 pH e saturação por bases (Índice V%)

Em trabalhos originais (Catani & Gallo, 1955) verificaram que existe uma estreita relação entre a saturação por bases e pH (Figura 15) mostrando que pode ser usado ou um ou outro parâmetro para determinação da quantidade de calcário assim como índice de acidez do solo (saturação por alumínio).

A saturação por bases, em percentagem, seria a relação constituída pela soma de bases (SB) no numerador, dividida pela CTC a pH 7,0 vezes a percentagem de 100%. ($V = \text{SB} / T \times 100$).

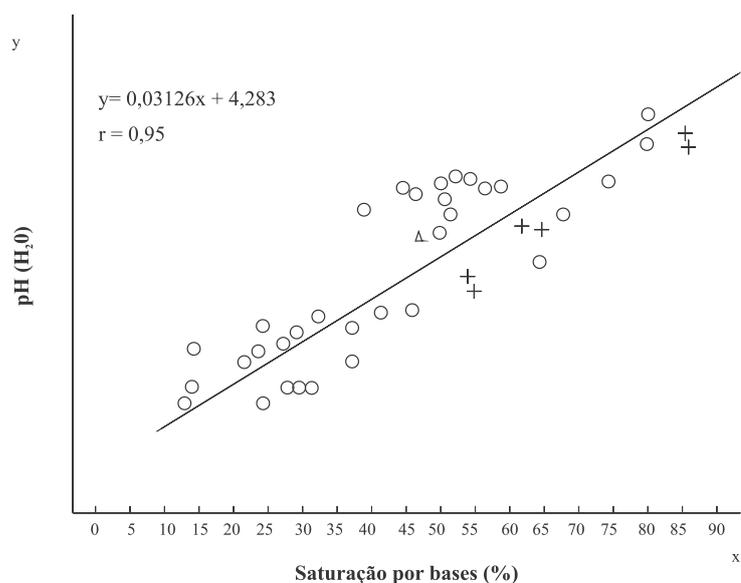


Figura 15 - Relação entre o pH e a saturação de bases (**Fonte:** Catani & Gallo, 1955)

2.21 pH e saturação de alumínio (Índice m%)

A correlação entre o pH com a saturação por alumínio (representada pela letra m) onde se verifica que os valores da saturação de bases (índice V%) se aproximam de 50% o teor de alumínio medido pela saturação, tende para zero. Tais relações se aplicam muito bem nas amostras superficiais de solos brasileiros onde a grande parte da CTC é representada pela matéria orgânica, faixa de 60 a 80%. ($m = Al / CTC \text{ específica} \times 100$)

Acidez trocável: representada pelo Al^{3+} e com menor participação por outros compostos que adicionado ao H^+ que faz parte da CTC efetiva. Este íon é de participação pequena em relação a acidez trocável (Al^{3+}) e portanto, é também denominada de acidez de “alumínio trocável”.

Acidez potencial (H + Al) ou acidez dependente do pH: esta acidez inclui o H^+ trocável, H^+ das ligações covalentes que se dissociam com a elevação do pH, assim como da matéria orgânica, o Al^{3+} trocável, assim como outras formas de Al parcialmente hidrolizáveis. A maior parte do H^+ provém das cargas negativas dependentes de pH, sendo maior do que as formas trocáveis de Al.

2.22 O pH e a saturação por bases e solos de mineralogia oxídica

A correlação entre o pH e a saturação por bases têm sido muito utilizados no Brasil, principalmente nas diferentes culturas de grãos e semi-perenes ou perenes. Entretanto, tem havido solos muito intemperizados que esta relação seja pouco aplicável, ou seja, não seguem a relação pH x V%, e, portanto, tem um sistema químico de manejo diferenciado.

O exemplo da Tabela 11 extraída do Radam do Brasil Central, indica dois solos, um com textura argilosa e outro de textura média-arenoso. Os solos são de perfis latossolos, profundos e bem drenados, com mineralogia oxídica.

Note que os valores de pH em água aumentam em profundidade, com valores de 5,7 e 5,6 para ambos os solos sendo que os teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ são extremamente baixos com valores inferiores a $0,4 \text{ mmol/dm}^3$, assim como o de potássio, com valores menores de $0,10 \text{ mmol/dm}^3$.

O delta pH é negativo de -1,0 na superfície decrescendo em profundidade atingindo valores de -0,1 para ambos os solos indicando uma mineralogia muito intemperizada. Os valores de V% estão abaixo de 10% desde a superfície e na terra mista, também menor que 10% na superfície aumentando em profundidade com valores de 11 e 14%, apesar do decréscimo de bases. Os valores de alumínio tendem a zero na subsuperfície. Os valores de CTC decrescem em profundidade estando atrelados a matéria orgânica. Os valores de CTC decresce de $10,0 \text{ mmol/dm}^3$ na superfície para 2,2 a 120 cm de profundidade enquanto no solo mais arenoso tem os valores de 4,4 a $1,2 \text{ mmol/dm}^3$ respectivamente na superfície e na subsuperfície.

O manejo destes solos seria a calagem somente para fornecer Ca e Mg, alterando pouco o pH. Quanto ao gesso seria como fonte de cálcio e como transportador de bases em profundidade através do íon específico SO_4^{2+} . O uso de fosfatos magnesianos, principalmente termofosfatos, que apresenta o Mg e podem alterar sensivelmente o pH. O uso de adubos contendo Ca, Mg e K seria adequado.

Tabela 11 – Dados analítico de solos argilosos e arenosos da região do Brasil Central com pH acima de 5,0 e baixa saturação das bases e teores de cálcio e magnésio.

Profundidade	pH H ₂ O	Delta pH	Argila	M.O.	V	Ca+Mg	K	Al	CTC
cm			%			mmol _c /dm ³			
Perfil 31 - Distrito Federal - LVE - álico, argiloso									
0-15	5,1	-1,0	88	2,5	5	0,4	0,10	1,1	10,0
15-35	5,3	-1,0	90	1,8	5	0,2	0,06	0,5	6,1
35-50	5,5	-0,7	90	1,2	5	0,2	0,02	0,0	4,1
50-120	5,7	-0,1	92	0,7	7	0,2	0,01	0,0	2,2
Perfil 33 - Distrito Federal - LVA - álico, textura média									
0-18	5,2	-1,0	19	0,9	7	0,2	0,04	0,9	4,4
18-35	5,4	-0,9	20	0,5	6	0,2	0,02	0,2	3,2
35-60	5,6	-0,6	23	0,3	11	0,2	0,02	0,0	1,8
60-105	5,6	-0,4	24	0,2	14	0,2	0,02	0,0	1,2

Fonte: RadamBrasil

3 CAPÍTULO 3: AÇÃO DE ÂNIONS, NA AGREGAÇÃO E SISTEMAS DE MANEJO

3.1 Considerações iniciais

Determinados ânions como H_2PO_4^- e SO_4^{2-} e em menor quantidade alguns cátions metálicos, tais como Zn, Cd, Cu e Pb são adsorvidos e apresentam forte afinidade com a superfície positiva de óxidos de Fe e Al e da caulinita, reagindo com eles, através de ligações de covalência. A caulinita apresenta um formato hexagonal na fração argila e as reações do fósforo estão representadas na Figura 16.

Nesta reação há formação de uma nova superfície do mineral de argila. Entretanto, esta reação é tempo dependente, ou seja, as ligações podem ser mais fortes com a superfície do mineral, fazendo com que o ânion, no caso o H_2PO_4^- , esteja “fixado”, forma não lábil (Figura 17), não absorvido.

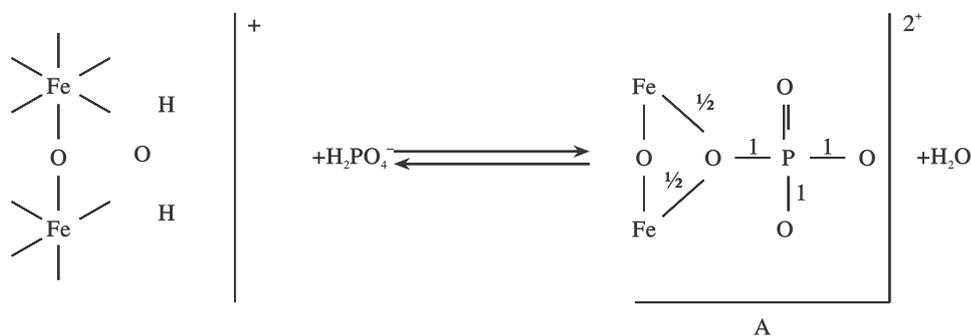


Figura 16 - Representação de reação com superfície de um óxido de Fe com fósforo.

Situação em A

No início da reação o óxido tinha balanço positivo. Em A o balanço ficou 2(-), devido as duas cargas negativas do oxigênio do H_2PO_4^- não compensadas e o P pode estar na forma lábil, podendo ser absorvido. Tal reação pode ainda continuar através do tempo e se completar com uma superfície de uma carga negativa do ânion (Sample et al., 1980).

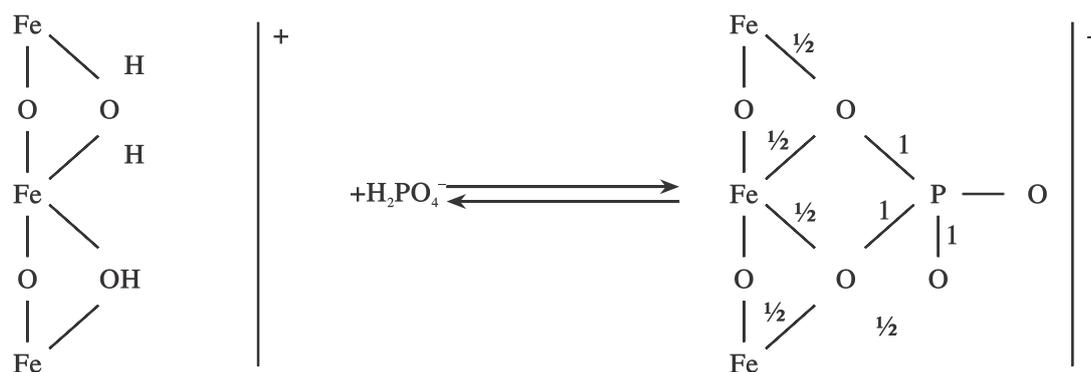


Figura 17 - Representação esquemática da reação do ânion fosfato com a superfície do óxido.

Nesta reação o fósforo tende a passar da forma lábil (forma absorvida pela planta) para a não lábil (forma fixada, não absorvida pela planta) em consequência há perda de eficiência da absorção do P pela planta. Esta reação pode ser evitada diminuindo as cargas positivas na camada superficial através da calagem, ou usando matéria orgânica ou pela ação do ácido silícico. Como se verifica a aplicação do H_2PO_4^- em solos oxidicos pode reduzir as cargas positivas e aumentar as negativas, num processo semelhante a calagem.

Os dados da Tabela 12, num solo classificado como Typic Gibbsihumox indica que a não aplicação do fosforo, a CTC e CTA na camada superficial era de 7,5 e 0,2 cmol/dm^3 respectivamente e na camada de 10-20 cm de 4,2 e 0,5 cmol/dm^3 respectivamente. Após a aplicação de 880 kg/há de P os valores de CTC e CTA para as duas camadas foram respectivamente 8,5 e 4,5 e 0,6 e 0,4 cmol/dm^3 .

Tabela 12 - Resultados de CTC e CTA em solos oxidicos com aplicação de fósforo.

Profundidade	Typic Gibbsibuosoz (P aplicado, kg/ha)			
	0		880	CTA
	CTC	CTA	CTA	
0-10	7,5	0,2	8,5	0,6
10-20	4,2	0,5	4,5	0,4

3.2 Ação do SO_4^{2-} na subsuperfície de solos muito intemperizados

A Tabela 13 indica os tipos de solos utilizados no experimento (Raij, 2011) na camada superficial e de subsuperfície, teor de matéria orgânica, assim como a mineralogia constituída por óxidos de ferro, gibbsita e caulinita, assim como a ação da adsorção específica na forma de SO_4^{2-} . Note que o SO_4^{2-} apresenta melhores resultados na translocação de íons do que o Mg^{2+} em mmol/kg de solo inclusive em solos arenosos como o Latossolo amarelo. Quanto mais intemperizados os minerais da fração argila maior seria a ação do sulfato na translocação de bases nas camadas inferiores do solo. Nas camadas superficiais a ação da matéria orgânica, com elevada CTC, bloqueando as cargas positivas, não permite a ação do sulfato.

Tem sido relatado, que o gesso, devido a dissolução de Ca^{2+} , ou seja, um efeito diluidor nos solos, pode diminuir o alumínio nos solos.

Tabela 13 - Tipos de solos argilosos, teor de matéria orgânica tipos de minerais e adsorção de íons

Solo	Matéria	Minerais			Absorção de íons	
	Orgânica	Fe_2O_3	Gibbsita	Caulinita	mmol/kg de solo	
	g/kg	g/kg			Mg^{2+}	SO_4^{3-}
LA AP	32,9	40	30	250	38,1	1,2
LA B2	4,8	60	60	370	15,8	20,2
LR AP	42,3	190	370	90	33,4	3,8
LR B2	11,4	180	330	110	3,6	30,1
TE AP	40,3	160	80	330	94,3	2,9
TE B2	16,6	170	100	430	55,3	15,5

LA= Latossolo Vermelho Amarelo; LR= Latossolo Roxo; TE = Terra Roxa Estruturada

Fonte: Raij (2011)

O SO_4^- sendo um ânion específico pode reagir com os coloides do solo de cargas positivas principalmente na subsuperfície (Figura 18). Nesta situação o sulfato ao se translocar carrega junto os cátions de Ca, Mg, K e para manter o equilíbrio químico, enriquece a subsuperfície com cátions, deixando os solos mais férteis.

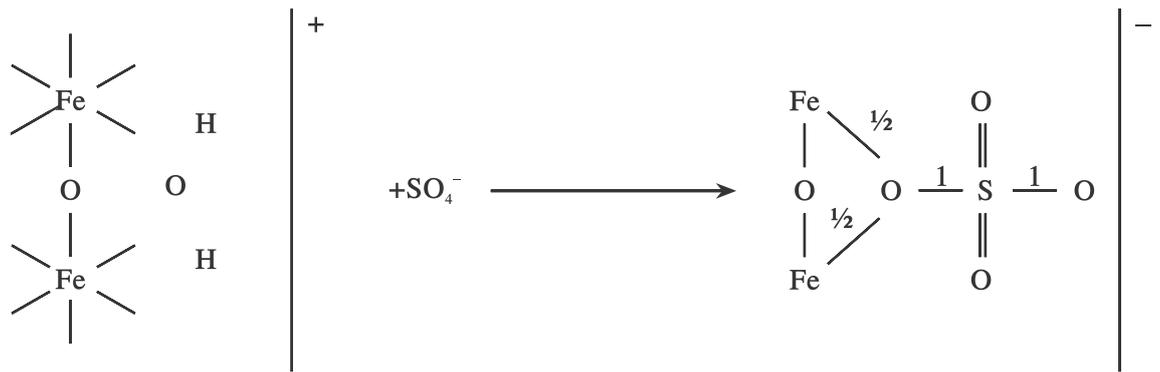


Figura 18 - Representação esquemática da reação do SO_4^{2-} com a superfície do óxido de cargas positivas.

3.3 Ação do ânion específico na melhoria dos solos na subsuperfície

A relação dos ânions específicos e não específicos (fosfatos > sulfatos > cloretos > nitratos) podem auxiliar na colocação de cátions na subsuperfície dos solos inférteis tais como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ porém como cátions acompanhantes, na forma de sais. Dentre estes ânions específicos, os menos perigosos são os fosfatos e sulfatos, este representado pelo gesso (SO_4^{2-}) ou outra molécula.

No caso do cloreto e nitrato, considerados ânions não específicos, podem carrear também bases como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ a maiores profundidades, porém, há necessidade cuidados para não haver lixiviação.

Note que na lixiviação seria sempre um sal, e não íon isolado. Numa simulação, solos argilosos e arenosos, considerando uma CTC a pH 6,0, os arenosos acidificariam mais rapidamente do que os argilosos, e devido a este motivo, a frequência de aplicação de corretivos nas terras arenosas são mais frequentes, porém com quantidades menores.

3.4 Equilíbrio químico

Sobre este aspecto há necessidade do conhecimento que os íons trocáveis, assim como na solução do solo e a superfície do mineral estão em constante modificações como a absorção de nutrientes pelas plantas e, portanto, a manutenção do sistema químico é inevitável.

Para a manutenção desde equilíbrio há necessidade de que a soma de cátions da superfície do solo, assim como os que estão em solução seria igual a soma dos ânions ou das cargas negativas. A Figura 19 indica tal fato onde o somatório de cargas positivas (as bases mais o alumínio e hidrogênio) é igual o somatório de cargas negativas (coloide do solo) a saber:

$$\sum (+)20; \sum (-) = 20$$

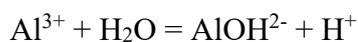
A CTC seria a soma dos cátions trocáveis, no caso igual a 12.

	Trocável		Solução	
Superfície Carga	-K	Cl ⁻	Cl ⁻	CTC = 12 Σ (-) = 20 Σ (+) = 20
	-2 Ca	K ⁺	NO ₃ ⁻	
	-2 Mg	Cl ⁻	Ca ²⁺	
	-K			
	-K	SO ₄ ⁻	K ⁺	
	-H			
	-H	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	
	-3 Al	Ca ²⁺	Ca ²⁺	

Figura 19 - Somatório dos positivos é igual ao somatório do negativo, a saber: Σ (+)20; Σ (-) = 20, mantendo o equilíbrio químico (Fonte: Raij, 1981).

3.5 Poder tampão dos solos

Considere um mineral argila carregado de Al (ácido fraco). O íon adsorvido de Al trocável estaria em equilíbrio com o Al da solução do solo. A hidrólise do alumínio tende a gerar H⁺ na solução, acidificando-a de acordo com a equação abaixo.



Se o H⁺ é neutralizado pela adição de uma pequena quantidade de bases e o alumínio for precipitado como Al(OH)₃ o equilíbrio do sistema, ou seja o pH, tenderá a ser mantido pela translocação do Al adsorvido (trocável) para a solução do solo. Estes íons de Al através da hidrólise irá produzir íons de H⁺ e o pH tenderá a se manter como no início da adição da base.

Se mais bases for adicionado ao sistema, entretanto a reação acima continuará sendo que o Al adsorvido continua a ser neutralizado sendo trocado no coloide do solo

com o cátion da adição da base. Como resultado há um gradual aumento no pH do sistema, do que uma mudança abrupta do pH, que é caracterizado em sistemas não tamponado.

Reversão do sistema: se um ácido é continuamente adicionado a um solo neutro, íons OH^- da solução do solo são neutralizados. Gradualmente a medida que OH^- são consumidos pelo adição de íons ácidos H^+ , o $\text{Al}(\text{OH})_3^+$ se dissolverá na solução do solo e gradualmente irá trocar com cátions básicos do mineral de argila. A principal consequência seria o decréscimo gradativo do pH à medida que o Al^{3+} é trocado pelos adsorvidos cátions básicos.

Tal situação seria a resistência que o solo oferece em relação a mudança de pH, pela adição de um ácido ou base. Trabalhando com solos sem a matéria orgânica, Sparks (1995) verificou os mecanismos de tamponamento em função do pH e notou que solos variando o pH de 4,5 a 5,5 o alumínio seria o responsável, assim como os silicatos em solos de pH variando de 5,5 a 7,3 e acima deste valor, os carbonatos.

Como se verifica o pH, ou a reação do solo, tem efeitos diretos ou indiretos sobre a maioria das reações do solo. Num solo argiloso ou arenoso, de minerais 2:1 tem maior efeito tamponado do que um solo oxídico também argiloso ou arenoso.

Solos arenosos no Brasil apresentam mineralogia oxídica e caulinita, portanto menos tamponado.

3.6 Reação com o SO_4^{2-}

O SO_4^{2-} também é um ânion específico e sendo assim tende a reagir com a superfície dos coloides contendo carga positiva. Tal reação tende a aumentar a CTC e diminuir a CTA (Figura 20).

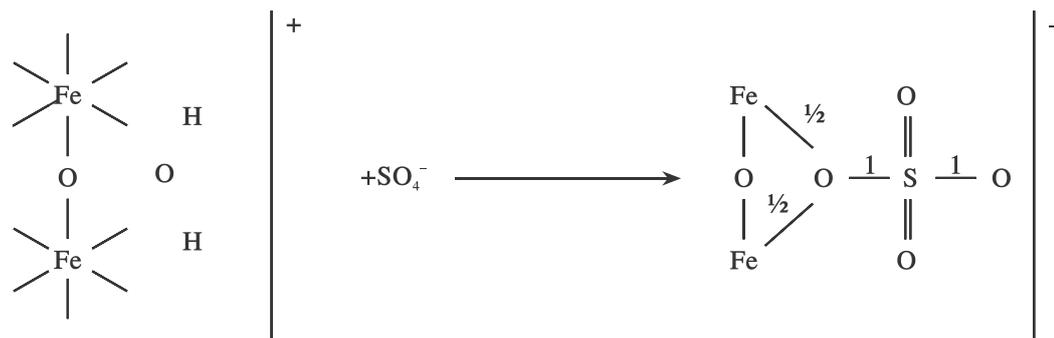


Figura 20 - Reação do SO_4^{2-} com a superfície de um oxido.

3.7 Uso do gesso (SO_4^{2-})

Como foi observado, nos solos muito intemperizados, as camadas de subsuperfície apresentam pouca matéria orgânica e, conseqüentemente, podem predominar cargas positivas. Em termos de manejo de solos, o objetivo é de reduzir a CTA e aumentar a CTC em profundidade. Dentre as práticas viáveis economicamente é a do uso do SO_4^{2-} de íons específicos. Havendo redução das cargas positivas na superfície do solo pela ação da calagem, o excesso do SO_4^{2-} aplicado no solo tende a se translocar em profundidade, reagindo com as superfícies positivas dos coloides.

Observe que a ação do gesso tende a favorecer o aumento das cargas negativas em profundidade em solos argilosos do Brasil Central (Tabela 14). Com o uso do gesso de 0 a 6 t/ha houve aumento na profundidade destes solos de 0,31 meq/100g (com doses 0) a 1,42 meq/100g a profundidade de 105-12, com 178% de acréscimo.

Tabela 14 - Aumento da CTC em profundidade com o uso do gesso.

Profundidade Solo	Carga líquida negativa	
	Dose de gesso – t/ha	
cm	0	6
	meq/100g	
0-15	2,87	1,42
15-30	1,11	1,15
30-45	1,04	1,13
45-60	0,74	1,13
60-75	0,83	0,91
75-90	0,58	0,65
90-105	0,40	0,41
105-120	0,31	1,42

Fonte: SOUSA, D.M.G. et al., dados não publicados.

3.8 Enriquecimento de Mg em profundidade

O gesso não apresenta Mg em sua constituição. Entretanto, o solo contendo tal nutriente ele promove a sua distribuição (Tabela 15).

Tabela 15 - Distribuição percentual do teor de magnésio em profundidade do solo com o uso do gesso, em LE argiloso.

Profundidade do solo	Doses de gesso (t/kg)			
	0	2	4	6
0-15	75	54	39	33
15-30	4	16	14	10
30-45	2	9	16	15
45-60	3	3	9	13
60-75	4	4	6	7
75-90	4	5	5	8
90-105	4	4	6	6
105-120	4	4	5	6

Fonte: SOUSA, D.M.G. et al., dados não publicados.

3.9 Aumento da quantidade de raízes

A Figura 21 ilustra a distribuição de raízes de milho até 75 cm de profundidade com o uso de diversas doses de gesso em LE argiloso do Brasil Central.

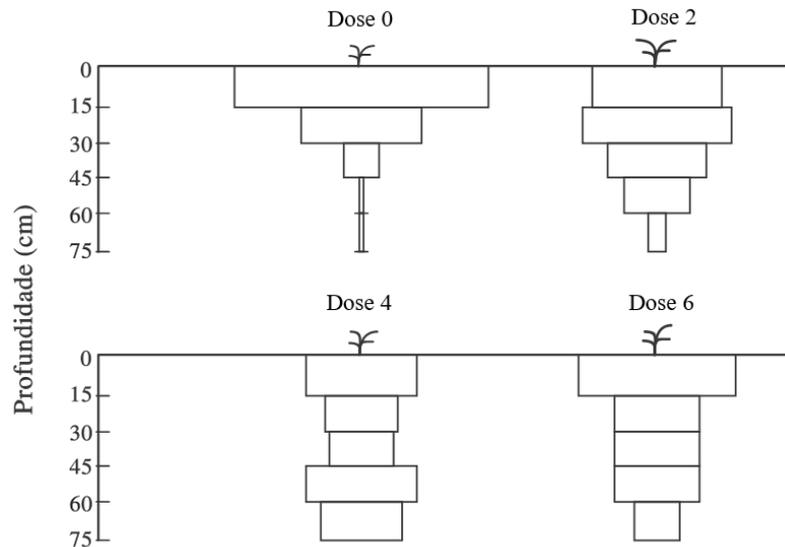


Figura 21 - Distribuição relativa (%) de raízes de milho (cultivado no período seco de 1983) no perfil de um LE argiloso, com diferentes doses de gesso. (Fonte: SOUSA *et al.*, dados não publicados). Doses em ton/há

3.10 Aumento da absorção de água

Na Tabela 16 indica a utilização de diferentes lâminas de água disponível no perfil de solo com o uso de diferentes doses de gesso.

Tabela 16 - Utilização relativa da lâmina de água disponível no perfil de um LE argiloso pela cultura do milho (cultivo da estação seca de 1983) após um déficit hídrico de 25 dias por ocasião do lançamento de espigas para diferentes doses de gesso.

Profundidade de amostragem	Lâminas d'água disponível	Doses de gesso (t/ha)			
		0	2	4	6
cm	mm	%			
0-10	11,2	100	100	100	100
20-Oct	11,2	93	96	93	93
20-30	11,2	92	92	92	81
30-40	8,9	94	82	82	82
40-60	17,8	47	72	78	65
60-100	35,6	0	36	58	68
100-120	17,8	0	0	55	55

Fonte: SOUSA et al. dados não publicados.

3.11 Aumento da absorção de nutrientes

A Tabela 2.6 resume experimentos feitos em LE argiloso usando a Leucena e diferentes doses de gesso. Observe que à medida que aumenta o teor de gesso, nas doses de 0 a 6 T/ha, há aumento na quantidade de matéria prima e nos teores de nutrientes em solo argiloso.

Tabela 17 - Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pela leucena (cv. *Cunningham*) para diferentes doses de gesso, em um LE argiloso, no ano de 1989.

Dose de gesso	Produção de matéria seca	Nutrientes absorvidos					
		N	P	K	Ca	Mg	S
	t/ha	kg/ha					
0	3.1	91	5	31	38	17	5
2	4.8	148	9	51	62	24	8
4	4,5	139	7	47	54	23	8
6	6,8	228	11	71	110	36	15

Fonte: SOUSA et al., dados não publicados.

3.12 Reação com H_3SiO_4^-

Da mesma maneira que os demais ânions específicos, o ácido silícico reage com a superfície dos coloides, reduzindo as cargas positivas e aumentando as negativas. É devido a tal fato que a aplicação de silicatos nos solos tende a elevar o pH (Figura 22).

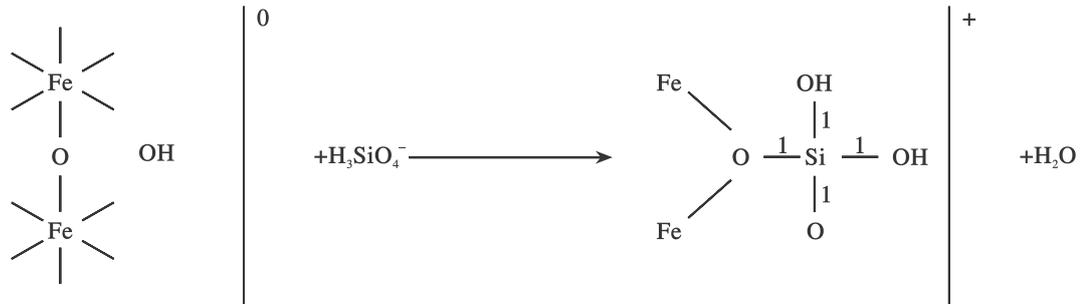


Figura 22 - Reações dos coloides oxídricos com ácido silícico ilustrando o aumento das cargas negativas.

3.13 Efeitos do calcário, gesso e cloreto no arraste do cálcio

Há uma série de ânions, normalmente monovalentes, que não tem afinidade com a superfície dos coloides e devido a isto não reagem. Nos solos destacam-se o Cl^- e, principalmente, o NO_3^- . Sendo ânions não específico eles podem translocar em maior profundidade no solo, levando cátions, mantendo-o equilíbrio químico dos solos. Em termos de solubilidade foi desenvolvido na região do Cerrado, (Lobato e Ritchey, 1979) em LE argiloso, um experimento usando o calcário (CaCO_3), gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e o cloreto de cálcio. Após o equivalente a uma precipitação de 1.200 mm de chuva determinou-se o teor de cálcio até 210 cm de profundidade do solo argiloso. Note que dos 3 produtos, o calcário introduziu o Ca em menor profundidade sendo seguido pelo sulfato enquanto o Cl^- levou o Ca na maior profundidade, não deixando de ser um ânion perigoso em termos de empobrecer o solo se usado indiscriminadamente (Figura 23).

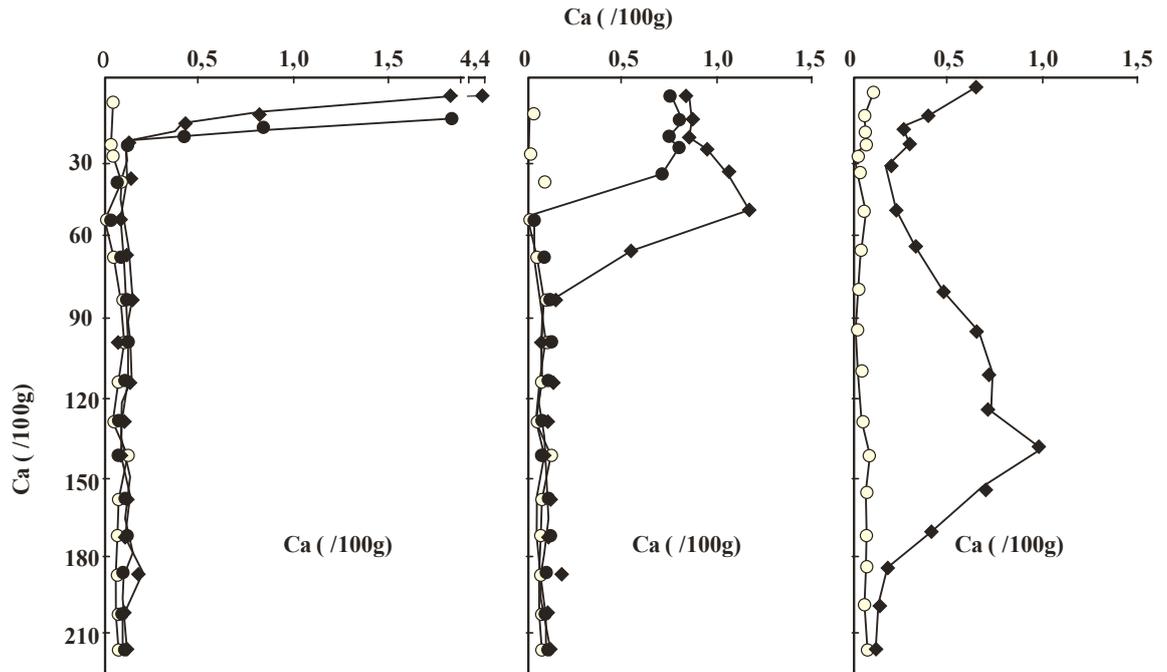


Figura 23 - Efeito da natureza do ânion na distribuição de Ca em um perfil reconstruído de um Latossolo Vermelho-Escuro, em experimento de colunas, após percolação do equivalente a 1.200 mm de chuva através da camada superficial (0-15 cm) que recebeu a cálcio como carbonato, sulfato ou cloreto (Lobato e Ritchey, 1979).

3.14 Reações da matéria orgânica com os coloides minerais do solo

Alguns cátions metálicos tais como Zn, Cd, Cu, Pb podem ser também adsorvidos, especificamente pelos óxidos. Na região tropical existe ainda a adsorção específica com ânions orgânicos (Figura 24, Tate & Theng, 1980). Neste caso os grupos dos ácidos fúlvicos e húmicos reagem com a superfície dos óxidos formando um complexo mineral orgânico muito estável, alterando as características da nova superfície formada. Nesta Figura 24 o íon M representa um Fe ou Al de coordenação 6 com moléculas de água ou grupos OH.

Observe:

a eliminação da carga positiva e o aparecimento da carga negativa na superfície do complexo

mineral-orgânico formado;

b) entrada do grupo funcional carboxílico do ácido orgânico na camada de coordenação do mineral (óxido) e a liberação de molecular de água originalmente coordenada com o íon M.

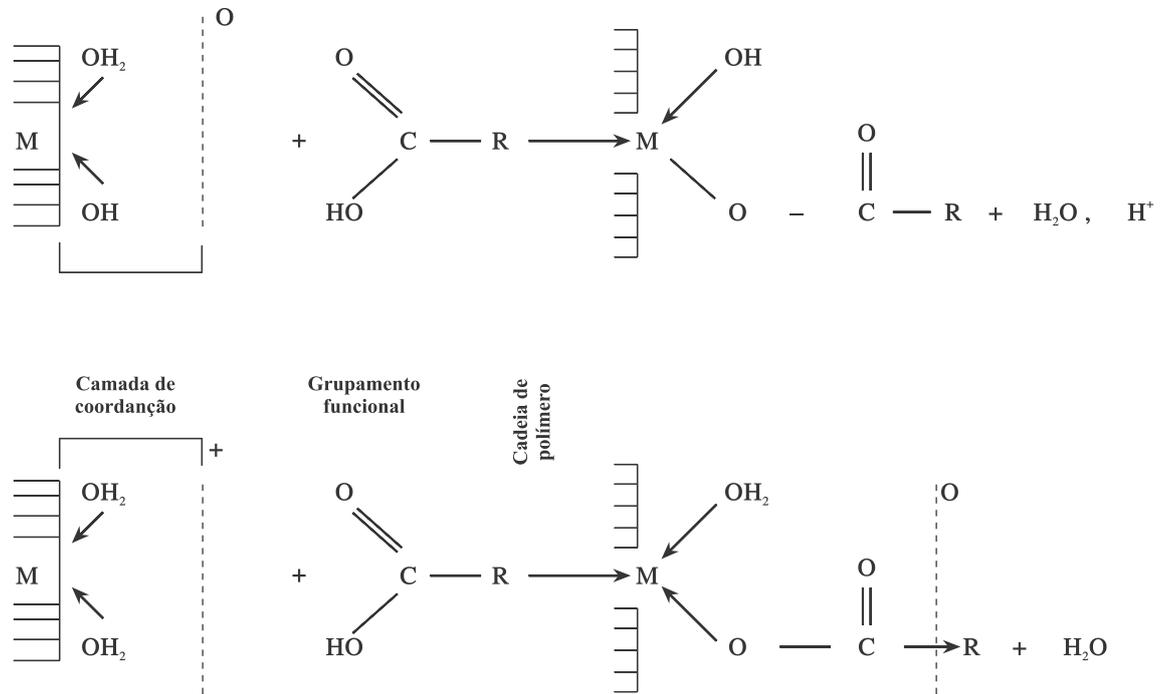


Figura 24 - Diagrama mostrando a adsorção específica, de ácidos fúlvicos ou húmicos, na superfície de um óxido ou hidróxido. **Fonte:** TATE & THENG, 1980.

3.15 Micro agregação e o manejo de solos

3.15.1 Formação

Uma das principais características morfológicas dos Oxisols, e dos subgrupos oxídicos dos Alfissóis e Ultisols além de sua uniformidade de cor e de textura, refere-se ao grau fraco da estrutura, elevada friabilidade e a presença de grande quantidade de micro agregados bastante estáveis em água. As principais consequências deste micro agregação em relação ao manejo das terras são as seguintes: elevada capacidade de infiltração da água sendo inclusive em solos argilosos que funcionam como se fossem solos de textura média-arenosas; facilidade de operações mecanizadas após chuvas ou quando secos; elevada tolerância contra deterioração estrutural em condições sódicas (Ahuja & El-Swaify, 1979); quanto à faixa de água disponível destes solos, deve ser levado em consideração o intervalo de 1/10 a 15 atm e não o intervalo 1/3 - 15 atm (Van

et al., 1974). Praticamente 80% da água disponível destes solos está no intervalo de 1/10 a 1 atm.

A excelente estrutura destes solos tem como causa principal a agregação das partículas primárias do solo em grânulos de tamanho areia-silte muito estáveis. A elevada estabilidade dos agregados está associada aos seguintes fatores: teor de argila, elementos cimentantes ou de recobrimento representado pelo óxido de ferro e alumínio, nas formas amorfa ou cristalina, e matéria orgânica. A estabilidade dos agregados pode aumentar de acordo com o teor de argila. Além disso, o grau de orientação dos constituintes minerais dentro dos agregados, afeta também, a estabilidade dos agregados. Quanto maior a orientação das partículas de caulinita cimentada ou recoberta por óxidos mais forte será o grau de agregação. Uma configuração envolvendo a caulinita e os sesquióxidos num agregado, porém estar ligados entre si por uma combinação de forças eletrostáticas, de Van der Waals, e pontes de hidrogênio no ponto de contato, entre constituintes individuais ou entre um constituinte e outro.

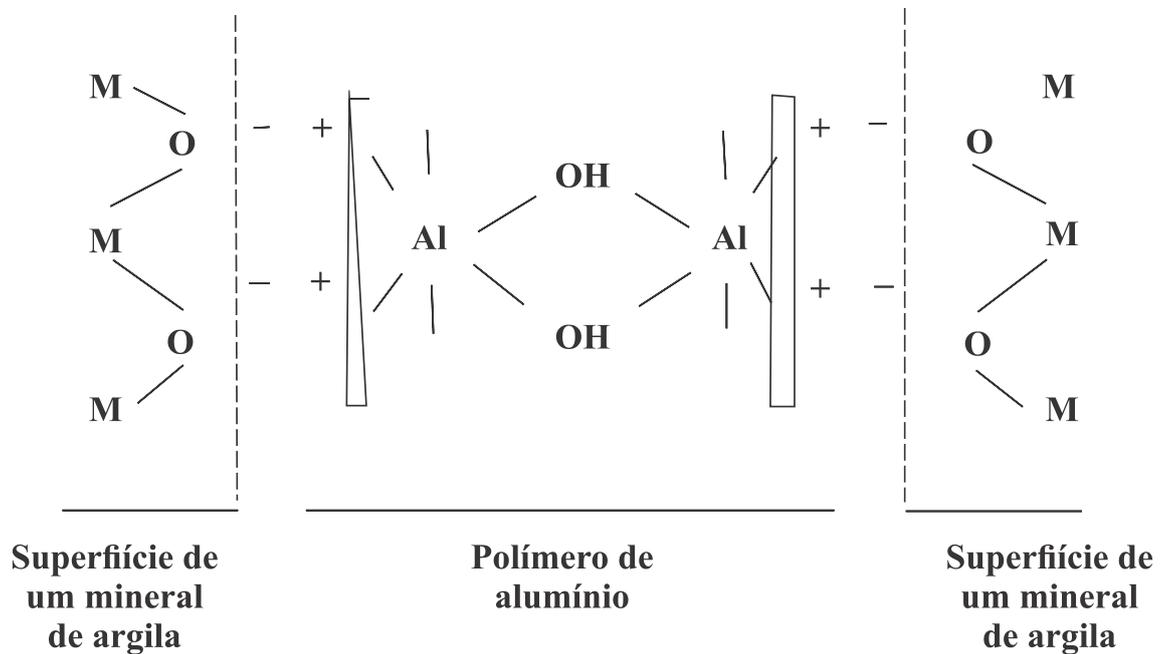
A seguir será dado um provável mecanismo de formação de agregados em um Oxisol rico em sesquióxido e caulinita.

A caulinita é o mineral silicatado mais comum nos Oxisols e apresenta um PCZ menor do que 4,0. Isto significa que este mineral pode apresentar carga negativa acima deste pH e carga positiva abaixo. Entretanto, dados adicionais de pesquisas de adsorção iônica e medidas de estabilidade coloidal, indicam que cargas positivas (devido provavelmente a exposição do Al nos vértices dos cristais ou Al trocável) persiste na caulinita a pH mais elevado acima do PCZ. Independente da fonte do componente das cargas, é importante notar que na faixa normal de pH dos solos, a caulinita pode apresentar cargas positivas e negativas que indicam forte tendência de floculação deste mineral. Nos Latossolos, esta tendência é reforçada pela presença dos óxidos que apresentam PCZ na faixa de 5,5 a 6,0.

Tal coexistência de caulinita e óxido dará substancial quantidade de cargas positivas e negativas na faixa de pH do solo, dando origem a ligações eletrostáticas entre eles. Tal contribuição eletrostática para a estabilidade dos agregados é **pH-dependente** e será afetada de acordo com as condições do meio.

Os hidróxidos de alumínio assim como os polímeros Al - OH podem reagir com a superfícies externas dos minerais de argila, unindo-as (Figura 25). Utilizando técnicas

com microscópio eletrônico, Jones & Uehara (1973) observaram a presença de gel amorfo de alumínio (hidróxido de Al não cristalino) unindo partículas de argila.



M - Cátions trivalentes em coordenação 6, assim como o Al

Figura 25 - Esquema ilustrando a ligação entre o polímero de Al e as superfícies de dois minerais de argila formando um micro agregado. A coordenação é 6 para cátion M e Al e a eletrovalência é 1/2. As cargas são dependentes de pH.

No esquema da Figura 25 o polímero de Al pode ser substituído pela hematita, goethita ou gibbsita com cargas positivas. Na subsuperfície de muitos latossolos não há alumínio, mas ocorre os óxidos permitindo assim a formação de micro agregados.

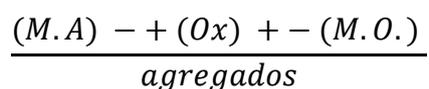
Na superfície destes solos o componente matéria orgânica entra no sistema com cargas negativas. Os esquemas possíveis da formação dos agregados, neste caso são os seguintes:

Formação de agregado com a M.O (cargas negativas), cátions polivalentes (Ca, Mg, Al cargas positivas) e M.O (cargas negativas)

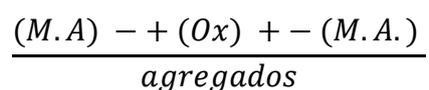


Este tipo de agregado é mais comum em solos de argila de alta atividade ou em solos com baixo teor de óxidos.

Formação de agregado com M.O (cargas negativas), óxidos de Fe ou Al e mineral de argila (cargas positivas) de M.O (cargas negativas).



Formação de agregado com caulinita (cargas negativas) e óxidos de Fe e Al (cargas positivas) e caulinita (cargas negativas)



3.16 Manejo dos solos com micro agregados

Qualquer operação na superfície do solo com máquinas ou não, tende a alterar a porosidade, e em consequência com a redução da macro porosidade, em outras palavras, a compactação.

A Figura 26 ilustra a variação da porosidade em diversas micrografias feitas a 0-10 cm; 10-30 cm e 60-90 cm de profundidade em solos com mesmo sistema de manejo, principalmente tráfego e ação de cultivos. Tais resultados foram obtidos em experimentos feitos na região de Lençóis Paulista, SP num Latossolo Vermelho, de textura média-arenosa, com três perfis, sendo o de P21 de mata, o P22 de em segundo corte em cana-de-açúcar e o P23 de terceiro corte desta mesma cultura.

O espaço claro nas micrografias representa a porosidade sendo que na camada superficial e na de 30 cm há sensível redução desta porosidade, quando comparado com a mata. Na camada 60-90 cm não há alteração na porosidade, indicando que o sistema de manejo raramente afeta a camada acima dos 50 cm.

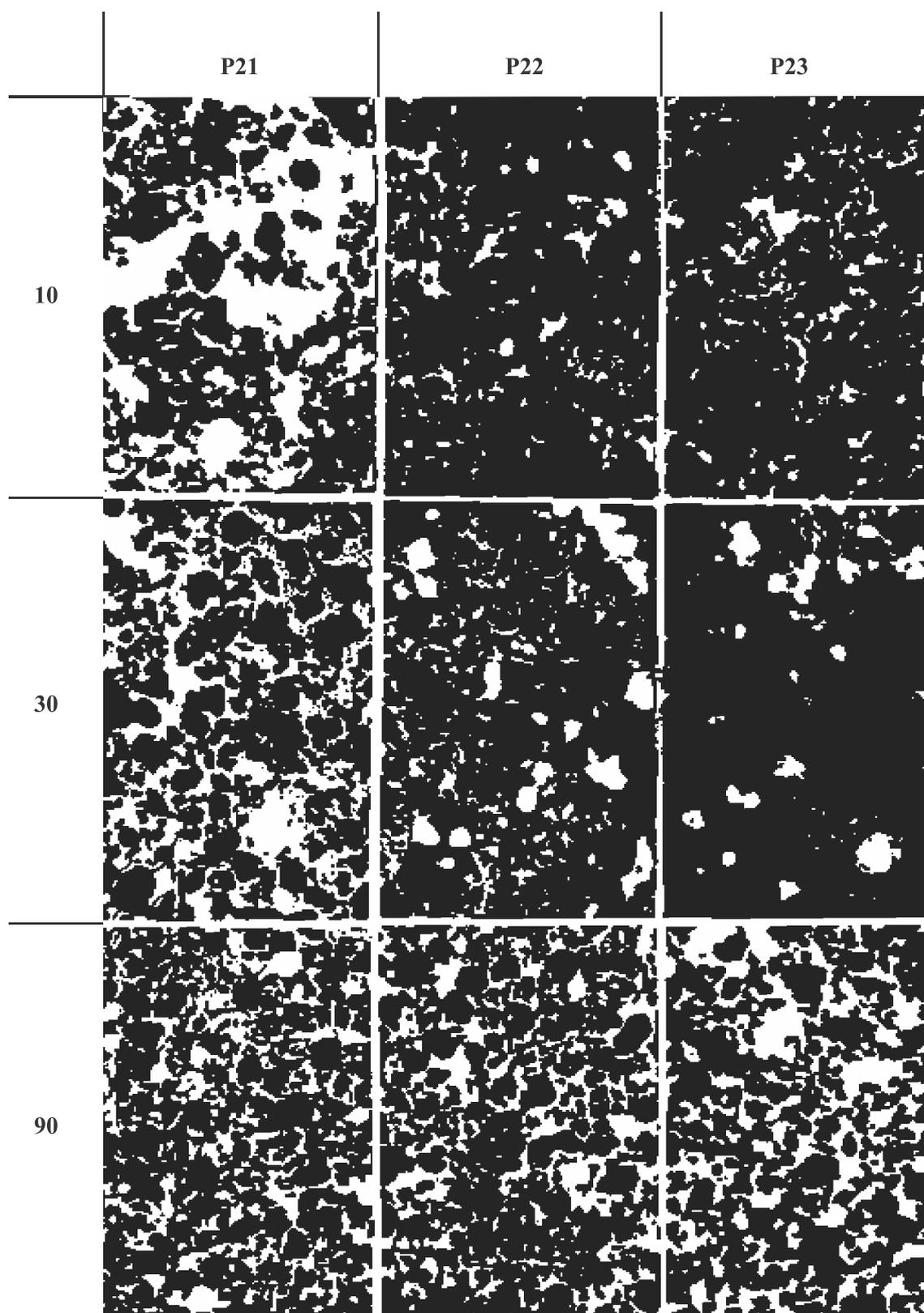


Figura 26 - Fotomicrografia sob luz natural (aumento de 15x) na camada de 10 cm, camada de 30 cm e de 90 cm de profundidade dos perfis P21 (mata), P22 (segundo corte em cana-de-açúcar) e P23 (terceiro corte em cana-de-açúcar).

Utilizando os mesmos perfis de solos foi feito um diagnóstico representando a micro e macro porosidade. Verificou-se que na camada 10 e 30 cm há sensível alteração no diâmetro dos poros entre 10 e 100 μm , macro porosidade, quando comparado com a mata.

A partir do 60 cm não houve deslocamento das curvas na faixa da macro porosidade, indicando que o sistema de manejo não afeta a porosidade nesta profundidade. A micro porosidade, entre 0,01 e 0,1 μm não foi alterada em nenhum dos casos estudados, tanto na superfície como na subsuperfície, indicando sensível resistência dos micros agregados.

Grande parte dos trabalhos tem demonstrado que apesar das constantes mobilizações do solo (aração, gradeação, cultivos, entre outros) não tem afetado o comportamento dos micros agregados (micro porosidade), mas sim os macros agregados.

3.17 Sistema de manejo na infiltração de solos argilosos

Numa outra área, porém, em solo argiloso originalmente de Latossolo Roxo álico (Latossolo Vermelho férrico), região de Guaíra, SP, foram feitos diversos experimentos com taxa de infiltração em mm/min por 25 anos em plantio direto e sistemas de irrigação com pivô. As áreas foram designadas de P11 (mata), P12 e P13 com grãos, P21 (mata), P22 e P23 com grãos e P31 (mata), P32 e P33 com grãos.

Nota-se que nas áreas sob mata pode-se verificar menor tempo de infiltração em relação as áreas cultivadas, indicando que houve redução na porosidade (Figura 28).

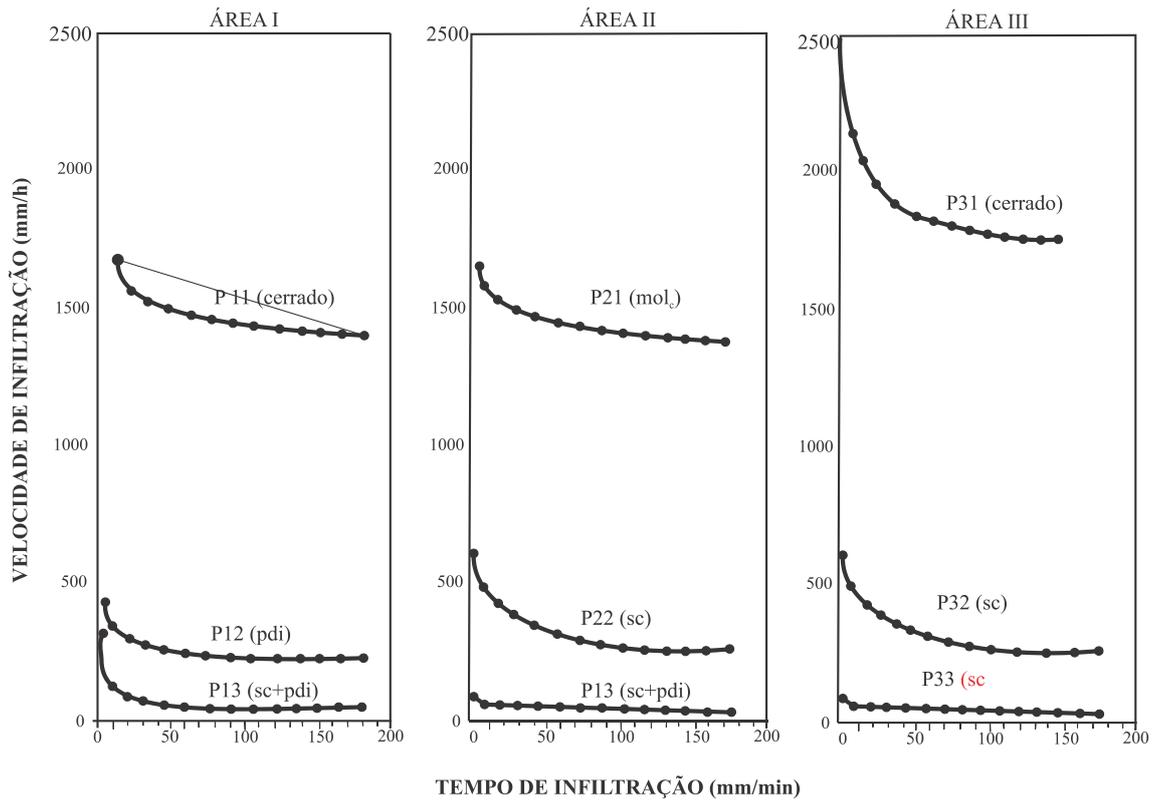


Figura 28 - Valores de velocidade de infiltração “in situ” nos locais dos perfis das três áreas.

3.18 Sistemas de manejo na quantidade de água em solos argilosos

Em relação a quantidade de água retida foram feitas no perfil P21 (mata) e nas áreas cultivadas dos perfis P22 e P23 nas profundidades de 10, 30, 60 e 100 cm. Verifica-se que na área de mata a quantidade de água disponível é maior até a profundidade de 60 cm, após isso as quantidades são semelhantes (Figura 29).

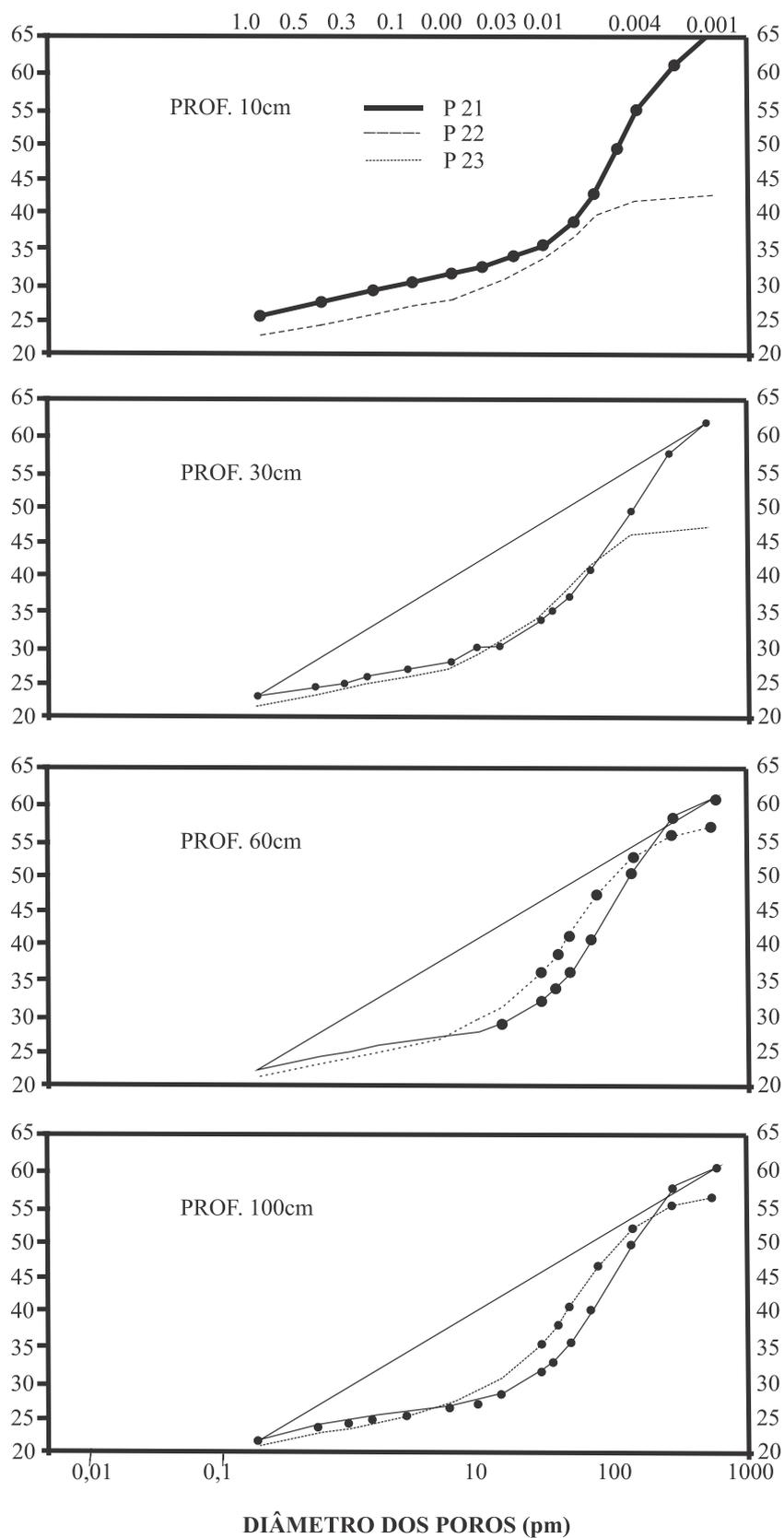


Figura 29 - Curvas características de retenção de água do solo da Área II nas profundidades 10, 30, 60 e 100cm dos perfis: P21 (mata), P22 (sistema convencional) e P23 (sistema convencional seguido de irrigação).

3.19 Lixiviação – remoção de nutrientes para camadas mais profundas dos solos

A remoção de nutrientes dos solos, cátions e ânions ocorre na forma de sais e nunca isolados como ilustrado na Figura 31 com um Ca^{2+} sendo lixiviado com um ânion. Nesta Ilustração diversos passos sendo (1) os íons no caso prótons, dois H^+ , são liberados nos processos de formação de solos inclusive alumínio, cálcio, potássio ou podem estar no complexo de troca do solo (2) os H^+ vindo da dissociação da matriz do solo deslocam um Ca^{2+} do complexo de troca do solos, cátions trocáveis, que fazem parte da CTC dos solos no complexo de argila (3) este cálcio, Ca^{2+} , na solução do solo se unem aos ânions não específicos, dois no caso, como Cl^- e NO_3^- e são arrastados para a subsuperfície num processo de lixiviação.

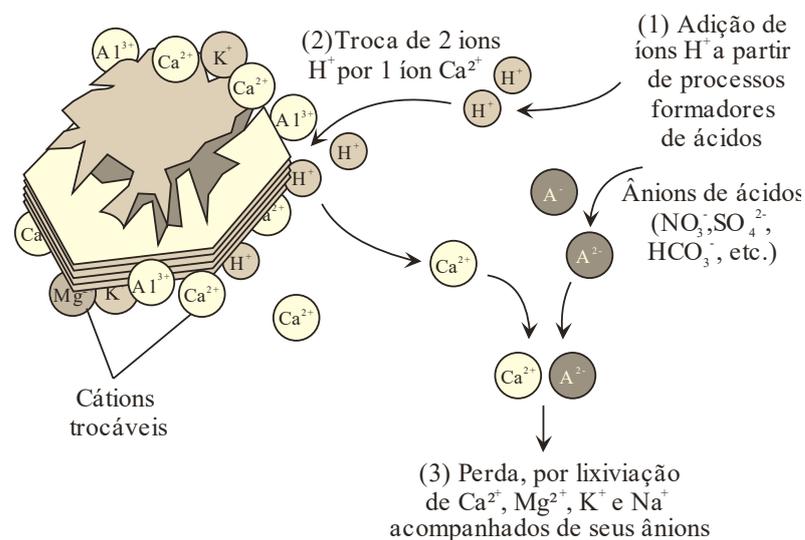


Figura 31 - Os solos tornam-se ácidos por duas razões principais. Primeira: os íons H^+ adicionados à solução do solo substituem os cátions não ácidos Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , retidos nos sítios de troca dos colóides de húmus e argilas. Segunda: a percolação da água da chuva carrega os cátions não ácidos liberados com a água de drenagem juntamente com os ânions acompanhantes (coânions). Como resultado, o complexo de troca (e, portanto, também a solução do solo) torna-se cada vez mais dominado por cátions ácidos (H^+ e Al^{3+}). Deste modo, com uma maior precipitação anual, a lixiviação dos cátions é mais intensa e, assim, o solo torna-se fortemente ácido. Em regiões áridas com pouca ou nenhuma lixiviação, os íons H^+ produzidos causam pequena acidificação, mesmo a longo prazo, porque o Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ não são lixiviados, mas permanecem

no solo, onde podem novamente substituir os cátions ácidos e assim evitar uma queda no nível do pH.

Portanto, a questão da lixiviação de nutrientes não deixa de ser um importante aspecto relacionado ao manejo dos solos pois além de empobrecer os solos tal processo pode contaminar águas subterrâneas.

Nestes casos há diversos aspectos a considerar, ou seja, lixiviação como opção de manejo para enriquecimento das camadas inferiores do solo, aumentando o volume de exploração radicular, e conseqüentemente aumentando a produtividade. Como o NO_3^- e Cl^- são ânions não específicos eles podem migrar a maiores profundidades do solo, enquanto o $\text{SO}_4^{=}$, como ânion específico, tende a reagir com a superfície dos coloides no subsolo, reduzindo assim o processo, e enriquecendo o subsolo.

A Lixiviação também funciona como processo de empobrecimento dos solos. Não esquecer que a extração de nutrientes pelas culturas, assim como a ação da água das chuvas e fertilizantes podem também empobrecer os solos.

No esquema da Figura 32 ilustra um esquema de uma raiz inserida na solução do solo na absorção de um K^+ , sendo que a planta adiciona um próton (H^+) na solução do solo, mantendo o equilíbrio químico, porém empobrecendo o solo. Neste esquema há os seguintes aspectos: (1) fase sólida do solo representado por uma superfície predominantemente negativa e os íons trocáveis formando a CTC ao todo de seis e de dois CTA; (2) íons trocáveis, seis Ca^{2+} , Mg^{2+} e dois K^+ ; (3) solução do solo; (4) presença de radicela (5) a radicela vai absorver um K^+ da solução do solo e um H^+ liberado pela radicela para manter o equilíbrio do solo.

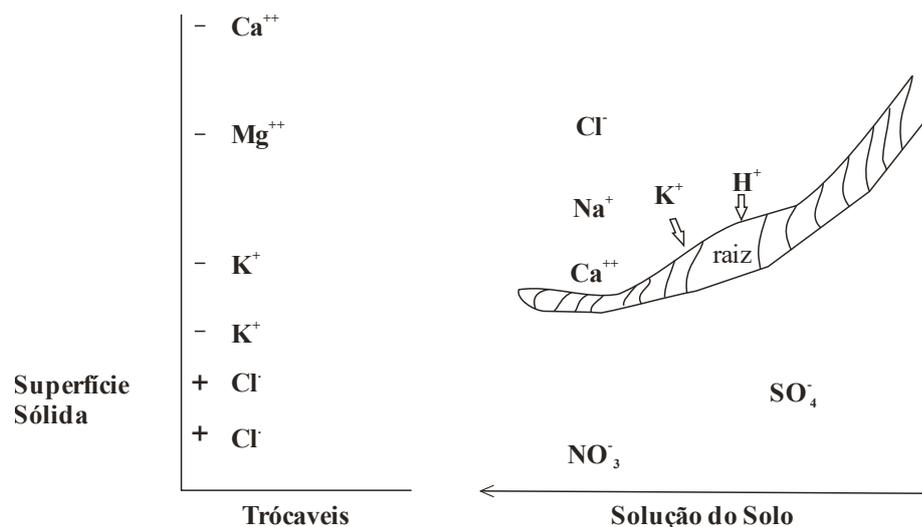


Figura 32 - (1) Fase sólida do solo, com as cargas negativas e positivas na superfície; (2) íons trocáveis; (3) solução do solo, (4) radícula (5) absorção de K^+ e reposição de H^+ pela radícula

3.20 Lixiviação do nitrogênio

A lixiviação de nitrogênio embora citada com muita frequência na literatura mundial, é questionável, considerando que a maior parte do nitrogênio do solo encontra-se na forma orgânica. As perdas de nitrogênio nas terras são devidas aos seguintes pontos: uma vez aplicado no solo grande parte do N mineral é imobilizado pelos microrganismos; estudos recentes têm indicado que apesar do NO_3^- , ser um ânion não específico, ele tem reagido com a superfície dos colóides com carga positiva na subsuperfície dos solos.

Devido a tais aspectos, a prática da cobertura nitrogenada em algumas culturas tem sido questionada inclusive na cultura do milho. Em cana-de-açúcar já se comprovou a não eficiência desta prática. Sendo assim, é extremamente importante ter o teor de matéria orgânica dos solos agrícolas preservados.

Destaque-se que a biomassa microbiana é muito grande, variando de 400 a 5000 $kg \cdot ha^{-1}$ para fungos, de 700⁽¹⁾ a 1000⁽²⁾ $kg \cdot ha^{-1}$ para actinomicetos, enquanto a bacteriana é estimada em 100 a 400 $kg \cdot ha^{-1}$. Portanto, a maior parte do N encontra-se imobilizada, inferido pela sua participação nas células bacterianas - 5% de N, superior à composição das culturas agrícolas. (Siqueira et al., 1987)

Além disso, o comportamento do nitrogênio no solo sob agricultura depende da ocorrência de excedente hídrico, quando a taxa de infiltração excede a evapotranspiração. Estudos desenvolvidos para quantificar a taxa de movimento de N-NO_3^- no solo variam em função do mesmo, alcançando valores entre $0,5 \text{ mm.mm}^{-1}$ de chuva a $1,0 \text{ mm.mm}^{-1}$ de chuva. Do exposto, considerando uma precipitação em Piracicaba média de 1500 mm.ano^{-1} durante o período de 180 dias, de outubro a março, com evapotranspiração média de 5 mm.dia^{-1} , o excedente hídrico, considerando 100% de infiltração, seria de 600 mm.ano^{-1} .

Adotando-se uma taxa média para lixiviação de N-NO_3^- igual a $1,0 \text{ mm.mm}^{-1}$ de chuva, chega-se à conclusão que o deslocamento do nitrato ocorrerá até 60 cm de profundidade, dentro da faixa de exploração pelas raízes. Resultados semelhante foram observados por (Coelho et al., 1991), após a aplicação de 30, 60 e 240 kg/ha de N em Latossolo Vermelho-Escuro, no período chuvoso, os quais constataram que o nitrato movimentou da camada de 20 a 40 cm para a profundidade de 40 a 60 cm.

De acordo com o balanço de ^{15}N no sistema solo-planta realizado por Coelho et al (1991) foi encontrado 67% do ^{15}N aplicado nos primeiros 15 cm do solo, estando a maior parte imobilizado na matéria orgânica, enquanto a sua perda por lixiviação correspondeu a 2,0 kg/ha do total de 60kg/ha aplicados. As perdas de N por lixiviação não constituem problema, tendo sido encontrado valores entre 2 e 4 kg/ha, na maioria dos trabalhos realizados sobre o assunto no Brasil, para aplicações de até 100 kg/ha de N (Reichardt & Caballero, 1982).

Em estudos em cana-de-açúcar Oliveira et al (1999), trabalhando com lixiviação de N em solo podzolizado arenoso (10% de argila na camada superficial e 84% de areia, Tabela 1) aplicaram doses crescentes de N, até 90 kg/ha e durante o período do experimento foi aplicado o correspondente a 2.015 mm de água.

Tabela 18 - Análise química e física de uma amostra do solo PV (camada de 0-25 cm) utilizado na montagem dos lisímetros.

pH em CaCl ²	4,4	Areia muito grossa (%)	3
M.O. (g kg ⁻¹)	19	Areia grossa (%)	9
P (MG cm ⁻³)	10	Areia média (%)	27
S-SO ₄ (MG cm ⁻³)	44,1	Areia fina (%)	39
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0,12	Areia muito fina (%)	6
Ca ⁺² (mmol _c dm ⁻³)	1,7	Areia total (%)	84
Mg ⁺² (mmol _c dm ⁻³)	0,3	Silte (%)	6
Al ⁺³ (mmol _c dm ⁻³)	0,4	Argila total (%)	10
H ⁺ + Al ⁺³ (mmol _c dm ⁻³)	3,4	Floculação	20
V (%)	38	Classe textural	Arenoso

Fonte: (Oliveira et al., 1999).

Após os 11 meses de experimento o valor médio acumulado das perdas de N foi de 4,5 kg/ha pequeno como se verifica (Figura 33).

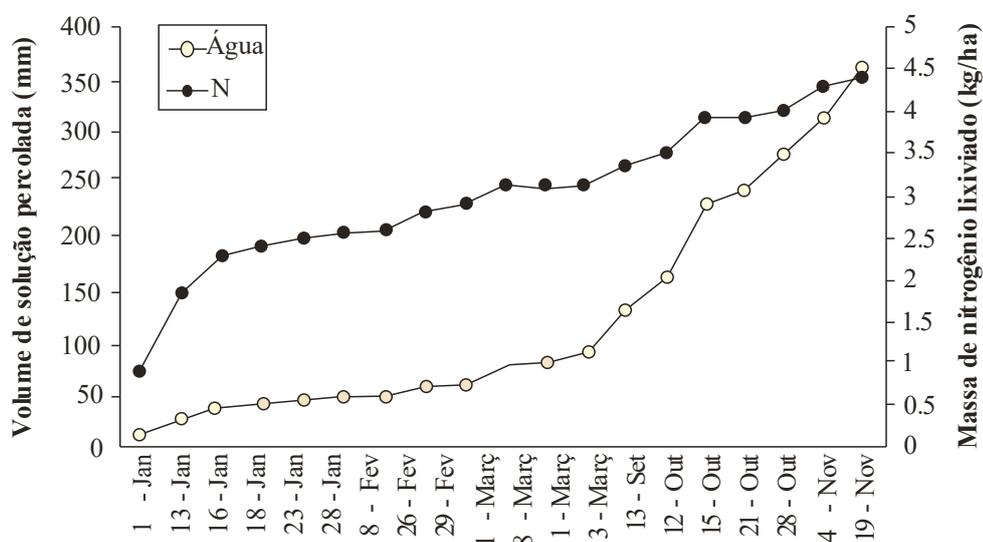


Figura 33 - Volume de solução percolada e massa de nitrogênio lixiviado acumulados no período experimental.

Em relação aos demais cátions tais como Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , mas principalmente em relação ao potássio, sendo o mais móvel, e pode ser lixiviado sendo necessário mais cuidado. As principais práticas de manejo para redução da lixiviação, são citadas as seguintes: aumento da CTC efetiva do solo tanto na superfície (com calcário), introdução do Ca^{2+} e enxofre na subsuperfície (gesso) e manter a manutenção ou aumento do teor de matéria orgânica. Em solos com baixo teor de K há necessidade, além da adubação de reposição, a aplicação do K para enriquecimento. É sugerido em tais casos a aplicação em área total.

3.21 Retenção de umidade

Outra característica bastante interessante se refere a retenção de umidade sendo ela função da mineralogia, do teor de argila, da porosidade e desta distribuição nos solos. Os dados da Tabela 19, nas profundidades de 50 cm a mais de 100 cm, resume a quantidade de água disponível em diversos solos tanto arenosos como argilosos, assim como solos de argila de alta atividade (2:1 ou solos de Ta) e de baixa atividade (1:1 e

óxidos e Tb). As principais observações são as seguintes: os Oxisolos argilosos retêm bem menos água disponível do que os solos com argila de alta atividade, (Inceptisols e Vertissolos); a retenção de água do Eutrústox de Minas Gerais, com 70% de argila, retém menos água do que um solo arenoso, com 13 a 15% de argila. Tal fato se deve a porosidade do solo arenoso e maior atividade da argila.

Tabela 19 - Água disponível em diversos solos tropicais.

Solo	Horizonte (cm)	Argila (%)	% de H ₂ O (peso)		
			0,3bares	1,5 bares	Diferença
Haplustox (São Paulo, Brasil)	23	13	10,4	4,6	5,8
	23-62	14	10,0	4,7	5,3
	62-120	15	10,8	4,9	5,9
Haplustox (São Paulo, Brasil)	0-14	47	27,6	17,7	9,9
	14-41	54	26,4	19,2	7,2
	41-80	56	28,4	20,0	8,4
	80-120	54	29,0	20,8	8,2
Haplorthox (Puerto Rico)	0-15	77	41,8	31,9	9,9
	15-33	77	40,3	33,6	6,7
	33-51	84	43,7	35,7	8,0
	51-86	83	42,1	34,2	7,9
	86-117	70	35,1	30,0	5,1
Eustrustox (Minas Gerais, Brasil)	5-15	71	27,7	23,5	4,2
	20-30	72	27,9	24,8	3,1
	40-50	68	26,3	24,7	1,6
	60-70	70	26,6	24,7	1,9
	70-80	60	28,1	25,0	3,1
Tropohumult (Puerto Rico)	0-10	64	47,5	32,1	15,4
	10-23	69	39,8	31,4	8,4
	23-38	63	39,0	31,4	7,6
	38-64	48	36,7	30,1	6,6
	64-81	39	40,7	28,6	12,1
	81-114	33	39,6	28,0	11,6
Eutrandedpt (Hawaii)	0-5	-	47,1	29,9	17,2
	5-12	-	41,5	29,1	12,4
	12-20	-	46,1	32,8	13,3
	20-90	-	61,4	48,3	23,1
	90-100	-	77,4	59,2	18,2
Aquept (Filipinas)	0-20	61	48,5	29,9	18,3
	20-37	57	58,9	34,2	24,6
	37-58	50	47,0	36,3	20,7
Ustert (Puerto Rico)	0-18	52	32,4	20,4	12,0
	18-36	55	40,6	23,5	17,1
	36-58	62	40,8	27,1	13,7
	58-86	63	38,6	26,2	12,4

Fonte: (Sanchez, 1976).

3.22 Relações entre mineralogia, drenagem e estrutura

De maneira geral a drenagem dos solos está relacionada intrinsecamente com sua mineralogia. A Tabela 20 indica as relações mineralógicas no caso índice Ki (relação molar de sílica e alumina) e a mineralogia dos solos. A caulinita (mineral 1:1) apresenta relação 2,0, sendo a montmorilonita e a vermiculita (mineral 2:1) indo para 3,0. Valores de Ta corresponde a solos em cmol/kg de argila igual ou maior do que 27 e Tb com valores menores. Não se aplica em solos de textura arenoso e areia franca.

Tabela 20 - Relação Ki e mineralogia dos solos

Ki (relação molar SiO₂/Al₂O₃)	Mineralogia
Menor 1,0	Óxido de Fe e Al
1,0 - 1.5	Óxidos (domina) + 1:1
1,5 - 2.0	1:1 (domina) + óxidos
2.0 - 2.5	1:1 (domina) + 2:1
2.5 - 3.0	2.1 (domina) + 1:1 Domina
3,0	Domina 2:1

As seguintes combinações são normalmente observadas na natureza. Solos argilosos de mineralogia 2:1 apresentam no horizonte B estrutura em blocos ou prismática, de grau forte, e conseqüentemente drenagem lenta. Tais solos, após chuvas, demoram mais tempo para secarem, reduzindo assim a eficiência das operações mecanizadas. Como exemplo cita-se os solos podzolizado Ta, Planossolos, Ustalfs, entre outros.

Solos de textura contrastante normalmente apresentam textura em bloco no horizonte B e mais arenosa na camada superficial. Com baixo teor de óxidos de Fe a drenagem tende a ser lenta, independentemente se for Ta ou Tb no caso solos podzolizados. Tais solos normalmente retém água por mais tempo quando comparado com solos de textura uniforme em profundidade como os Oxisols e solos mais arenosos. Tal fato não deixa de ser extremamente vantajoso no sistema de manejo.

Solos argilosos, argila/argila, com elevado teor de óxido de ferro, tende a apresentar no Bt estrutura em blocos, grau forte e bem drenado. As Terra Roxa Estruturada, Brunizem avermelhado, Tb ou Ta.

Solos argilosos, Tb, com elevado teor de óxido, tende a apresentar uma macroestrutura fraca no B, porém uma microestrutura forte. A drenagem é boa sendo que os latossolos são exemplos típicos.

4 CAPÍTULO 4: MANEJO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS TROPICAIS

4.1 Tipos de componentes

Há diversos componentes relacionados a M.O. do solo. No primeiro componente, a matéria orgânica (M.O.) está situado nos micro-agregados do solo, maiores nos argilosos e menor nos arenosos, sendo difícil para os organismos decompositores da M.O. atingirem os micro agregados. Neste aspecto, a M.O. está segura e pode ser considerada como M.O. *não degradável*, ficando por anos e milênios. Outro componente seria a M.O. *biodegradável* aumentando ou reduzindo a CTC dos solos liberando nutrientes para as culturas.

Dentre os componentes sólidos do solo a matéria orgânica é a mais dinâmica na CTC, na retenção de umidade e nutrientes, nas reações físico-químicas do intemperismo, na complexão de micronutrientes. A parte viva, no caso dos organismos do solo, também tem inúmeras funções.

Na região tropical, e particularmente nos solos muito intemperizados, grande parte das reações físico-químicas são mais atribuídas a M.O. comparado com a fração argila mineral. Em tais solos 70 a 80% das cargas elétricas nas camadas superficiais se deve a M.O. O fornecimento de nutrientes para as plantas tem na M.O. sua grande fonte, principalmente no N, P e S.

Vejam alguns pontos básicos relacionados ao manejo da M.O.: gera carga negativa na faixa normal do pH dos solos; cargas positivas, por protonação, ocorre apenas em pH abaixo de 3,0; tende a reagir com os colóides do solo (minerais de argila, óxidos de Fe, Al cristalinos ou amorfos), e estabilizando ou não; tende a mineralizar liberando nutrientes para as plantas o que não deixa de ser interessante.

4.2 Matéria orgânica das regiões temperadas e tropicais

Quando o assunto de M.O. é discutido vem sempre a discussão relacionado ao fato de que o teor deste componente é maior em regiões de clima temperado quando comparado com a região tropical.

Seria tal afirmativa verdadeira? Os dados da Tabela 21 resumem os teores de M.O. de diferentes solos localizados nas regiões Tropical e Temperada. Note que nas profundidades desde 0-15 e de 0-100 cm o teor de M.O. dos solos das duas regiões não difere.

Tabela 21 - Composição média de carbono orgânico de alguns solos das regiões de clima temperado e tropical.

Solos (Ordem)	EUA	Brasil	EUA	Brasil
	0-15 cm profundidade		0-100 cm profundidade	
Molissol	2,44	-	1,11	-
Oxisol	-	2,01	-	1,07
Ultisol	1,58	1,61	0,49	0,88
Alfissol	1,55	1,06	0,52	0,53
	LSO 0,05 = 0,38		LSO = 0,19	

Fonte: (Sanchez, 1976).

4.3 Bases para o entendimento da matéria orgânica

As bases do entendimento do balanço da M.O. no solo podem ser observadas pela expressão:

$$C = \frac{b \cdot m}{K} \quad \text{onde } a = b \cdot m$$

C = Carbono orgânico no solo, em ton/ha;

b = Quantidade de M.O. bruta adicionada ao solo, em t/ha;

m = Taxa de decomposição da matéria bruta em material orgânico do solo, em %;

k = Taxa de decomposição da matéria orgânica mineralizada do solo, em %;

a = Adição anual de carbono orgânico ao solo, em t/ha.

Na região de clima temperado de floresta o m é constante para os dois ambientes. O fator b na região tropical apresenta um valor em torno de 5 vezes maior do que na região temperada. Entretanto, o k é mais alto na região tropical, faixa de 5 vezes. Com isso o teor de M.O. final tende a ser semelhante em ambos os ambientes.

Na região de Cerrado e nas Pradarias o b e o k são semelhantes, conseqüentemente o teor de M.O. também será semelhante uma vez que o m é constante para ambos os ambientes. A explicação para tal caso está no clima. Na região temperada o frio intenso reduz a atividade biológica, enquanto na região de Cerrado os 6 meses de seca também tende a paralisar as atividades biológicas.

Vejamos o que ocorre nas duas regiões climáticas aqui citadas (Tabela 22).

Tabela 22 - Estimativa da adição anual de matéria orgânica nos regimes tropical e temperada.

Localização	b	m	a	k	C	
	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	t/ha
Floresta Tropical						
Ghana (ústico)	5,28	50	2,64	2,5	106	2,4
Zaire (ùdico)	6,05	47	2,86	5,2	55	12
Floresta Temperada						
Califómia	0,75	47	0,35	0,4	88	2,0
Califómia (pinus)	1,65	52	0,86	1,0	86	1,9
Savana Tropical						
Ghana (1250 mm)	1,43	50	0,71	1,3	55	1,2
Pradaria Temperada						
Minessota (870 mm)	1,42	47	0,53	0,4	86	1,8

Fonte: (Sanchez, 1976).

4.4 Solos tropicais e remoção da floresta

Considere um solo sob mata (Figura 34), o teor de matéria orgânica não se altera ao longo do tempo, pois está em equilíbrio dinâmico. À medida que é introduzida M.O.

bruta (b), há uma decomposição (m) que aí atua. No denominador da expressão, o fator k decompõe parte da M.O. mineralizada, mantendo o equilíbrio.

Se esta área fosse a ser desmatada para introdução das atividades agrícolas no período $a - b$, o teor de matéria orgânica do solo está em equilíbrio dinâmico. Enquanto, há introdução de M.O. bruta, fator \underline{b} da expressão, o fator \underline{k} mantém o equilíbrio. Com a remoção da mata há desequilíbrio, caindo no sistema, faixa $b - c$ ou $d - f$ dependendo do sistema de manejo. Neste período, o teor de M.O. tende a cair sendo as principais causas a redução do b e aumento do k (tal fator é alterado com o clima). Dependendo do nível de manejo o teor de M.O. tende a atingir um novo equilíbrio dinâmico, faixa \underline{cd} ou \underline{ef} .

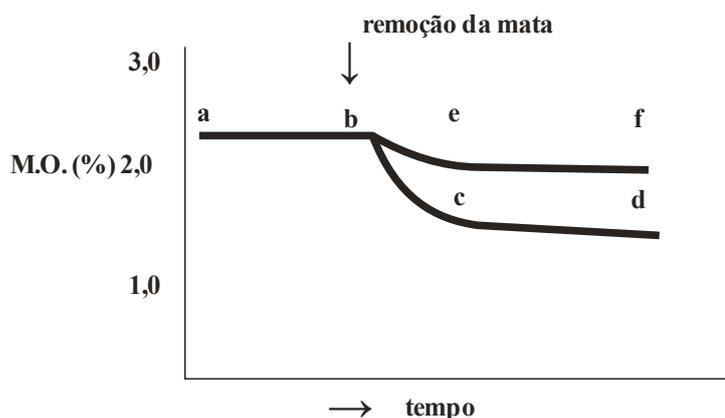


Figura 34 - Dinâmica da matéria orgânica com mata e após remoção da mata. ab = equilíbrio dinâmico, não há alteração da M.O. bc ou be = queda no teor de M.O. devido as alterações do k que aumenta e do b que diminui. cd ou ef = novo equilíbrio dinâmico com as culturas. O teor de M.O., entretanto é menor do que no sistema original.

4.5 Fatores que afetam o k

a) Textura do Solo, mineralogia e solos da Amazônia e Cerrados

Porque o teor de M.O. dos solos argilosos é sempre maior do que nos arenosos? Isto se deve ao fato de o k do solo argiloso ser menor do que o k do solo arenoso. Por quê? A principal razão se deve as reações da M.O. com a fração argila do solo. Foi explicado que a M.O. tende a reagir com os coloides do solo, ficando mais

estável. Como os solos arenosos têm menos argila conseqüentemente menor reação com a M.O. e, portanto, maior o k e menor teor de M.O. no solo.

Em relação a mineralogia da fração argila as reações da M.O. se processam em solo Ta e Tb e em solos oxídicos. Nos solos Ta a M.O. (superfície negativa) é unida com o mineral de argila (superfície negativa) através dos íons polivalentes (Ca, Mg e Al). Nos solos oxídicos, a M.O. (superfície negativa) reage com a superfície positiva do óxido, estabilizando-a.

Os solos argilosos do Cerrado, quando se considera os 60 cm de profundidade, tem mais M.O., por uma razão muito simples: o grande incorporador de M.O. no solo é o sistema radicular, principalmente gramíneas. Ora o substrato rasteiro da região dos Cerrados é constituído principalmente de gramíneas, enquanto na região Amazônica há grande deposição de M.O. na superfície do solo devido ao sistema radicular.

b) Clima

O k é afetado pelas condições climáticas tanto na temperatura como na umidade. Um Latossolo Roxo a 520 m de altitude (região de Piracicaba) tem menos M.O. do que o mesmo solo a 1200 m (alto da Serra de São Pedro). Em regiões de temperatura mais amena o k é menor, como aliás foi visto na Tabela 22.

c) Tratos culturais

As constantes mobilizações na superfície do solo tendem a aumentar a aeração e as condições hídricas do solo e com isso pode alterar o k , aumentando-o e conseqüentemente reduzindo o teor de M.O. Os dados da Tabela 23 resume os valores do k para diversas situações. Note que as rotações de cultura, principalmente onde entra leguminosas, tende a apresentar um valor menor de k .

Experimento de longa duração (30 anos) tem demonstrado que o uso de fertilizantes nas culturas (fumo no caso) tende a apresentar um k mais baixo e, portanto, mais M.O. quando comparado com a mesma cultura, porém sem adubação. Devido a este motivo é que há insistência na prática de sempre ter uma cultura bem conduzida e nutrida como a melhor e mais barata fonte de M.O. do solo.

Tabela 23 - Valores de K (% de decomposição/ano).

Histórico	Anos	K	K original
		% ano	% ano (mata)
Região Tropical			
Área Limpa	3	12,8	5,7
Rotação Milho/Mandioca	7	4,7	2,5
Rotação com leguminosa	6	2,6	-
Idem	12	1,8	-
Cultivo contínuo	7	6,6	-
Floresta Tropical	Ústico	2,5	
	Údico	5,2	
Cerrado	1250 mm chuva		
	850 mm chuva		

4.6 Manejo para manutenção e/ou aumento do teor de M.O.

De acordo com a expressão vista anteriormente, os métodos devem se basear nos seguintes pontos:

a. Aumento do fator *b*

Os dados de literatura são unânimes em indicar que o aumento do *b* através de matéria orgânica importada (composto, adubo orgânico, vinhaça etc.) não tem aumentado o teor de matéria orgânica do solo, apesar de ter auxiliado na produtividade (Tabela 24 e 25). Os dados da Tabela 24 resume experimento com cana-de-açúcar, feito na região da Barra Bonita, SP, num solo de densidade 1,2 g/cm³, a 20 cm de profundidade onde se usou diversas fontes de matéria orgânica, como composto orgânico e torta de filtro, variando de 5,0 t/ha a 50 t/ha, com teor de umidade seco. Houve comparação com a adubação mineral. As médias das análises de solos foram de oito repetições, sendo que foram feitas na época da instalação do experimento (zero dias), 280 e 540.

As principais observações foram as seguintes: o teor de matéria orgânica do solo ao longo, deste período, não se alterou no final do processo. O composto orgânico, ao ser aplicado no solo, se decompõe, liberando os nutrientes para a planta e para o solo. Note que houve liberação do experimento mineral de P e K ao longo do tempo. O tratamento

com 50 t/ha aplicado em área total de composto seria um exemplo onde o b seria maior do que o k do solo. 3,2% de M.O no tempo zero, e neste solo, corresponde a uma quantidade de 76,8 t/ha de M.O. Ora, a adição de 50 t/ha de M.O. na forma de composto, ou seja, o correspondente a 2,0% de M.O. Mesmo assim o teor de M.O. aumentou pouco, de 3,40% para 3,82%. Sendo assim o teor final da M.O. ao longo dos 540 dias deveria ser $3,3 + 2,0 = 5,3\%$. Mas não é. Qual foi o destino? Foi mineralizada.

A Tabela 24 vem ilustrar o fato de que o uso de M.O. tende a melhorar a produtividade, substituindo o adubo mineral.

Tabela 24 - Análise de solo de cada tratamento em três épocas de amostragem, à profundidade de 0-25cm, em cana-de-açúcar.

Tratamentos	Época (dias)	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
			%	mg/c m ³			meg/100ml		%	
T1	0	4,9	3,22	5	0,19	1,35	0,55	2,09	5,86	35
	280	4,5	2,64	18	0,17	0,89	0,74	1,80	5,49	32
	540	4,5	3,50	12	0,18	0,93	0,74	1,85	4,65	39
T2	0	4,8	3,43	4	0,18	1,36	0,55	2,09	5,80	36
	280	4,6	2,78	19	0,19	1,00	0,74	1,93	5,58	34
	540	4,6	2,81	11	0,18	0,74	0,57	1,46	4,81	30
T3	0	5,2	3,14	7	0,27	1,54	0,65	2,46	5,74	42
	280	4,7	2,80	20	0,20	0,98	0,80	1,98	5,40	36
	540	4,8	2,63	10	0,18	0,93	0,81	1,92	4,91	41
T4	0	4,9	3,77	5	0,26	1,43	0,70	2,39	6,16	38
	280	4,8	2,97	60	0,22	1,29	0,79	2,30	5,70	40
	540	4,7	3,23	28	0,17	1,00	0,81	1,98	5,39	36
T5	0	4,9	3,40	6	0,20	1,55	0,76	2,51	6,11	41
	280	4,9	3,54	110	0,23	1,79	0,67	2,69	6,21	43
	540	4,9	3,82	39	0,17	1,11	0,92	2,20	5,35	41
T6	0	4,9	3,31	4	0,23	1,43	0,73	2,39	5,97	40
	280	4,6	2,64	37	0,23	0,92	0,77	1,92	5,52	34
	540	4,6	3,03	13	0,18	0,87	0,68	1,73	5,29	32

Fonte: Usina da Barra, SP, resultados experimentais do setor de desenvolvimento. Resultado médio de oito repetições P – Resina. Resultado médio de três repetições. Tratamentos: T1 = Torta de filtro 5,0 T/ha no sulco. T2 = Composto 5,0 T/ha no sulco. T3 = Composto 10,0 T/ha no sulco. T4 = Composto 30,0 T/ha na área total. T5 = Composto 50,0 T/ha em área total. T6 = Fertilizante mineral.

As médias de produtividade no experimento anterior não indicaram aumento em t/ha, inclusive no açúcar (Tabela 25)

Tabela 25 – Produção final de cana-planta da variedade SP71-799, adubada com composto e/ou adubo mineral. Resultado de três repetições.

Tratamentos	Produção			
	Cana		Açúcar	
	t/ha	Relativa	t/ha	Relativa
T1	117,07ab	107,0	19,35ab	103,6
T2	114.09ab	104,3	19,04ab	102,0
T3	114.26ab	104,4	18,28ab	97,9
T4	110.86ab	101,3	17,85ab	95,6
T5	120.88a	110,5	19,70ab	105,5
T6	109.38b	100,0	18,66b	100,0
DMS (Tuckey)	10,92		1,88	
Significância	5%		5%	
CV	7,58%		8,36%	

Por outro lado, o uso de matéria orgânica importada, (aumento do *b*) tais como os adubos verdes também não aumentam o teor de matéria orgânica do solo, como no milho e soja, com dois níveis de adubos, no Brasil Central. A principal razão é a pouca estabilidade deste material (o *k* do adubo verde não é o *k* do solo). Ao ser incorporado este material não está estabilizado com as condições do solo e sendo assim ele se mineraliza, apesar de trazer uma série de benefícios ao solo e a planta (Tabela 26).

Note que apesar das rotações incluídas no experimento, não houve aumento no teor de M.O.

Tabela 26 – Teor de matéria orgânica no Latossolo vermelho amarelo, no início do 1º plantio (dez. 1977), após a incorporação dos resíduos vegetais no 1º cultivo e antes e antes do 2º plantio (set. 1979) e ao final do 2º cultivo (março 1978), com dois níveis de adubação (Ad2 e Ad1). CPAC, 1977, 1979.

Tratamentos	Culturas		Matéria Orgânica %		
	1977 - 78	1978 - 79	Dez. 77	Set. 78	Mar. 79
Ad2	Soja	Milho	3.3	2.8	3.3
Ad2	Mucuna Preta	Milho	3.2	2.9	3.1
Ad2	Sorgo	Milho	3.3	2.9	3.2
Ad2	M. Preta + Sorgo	Milho	3.2	2.9	3.2
Ad1	Soja	Milho	3.3	3	3.1
Ad1	Mucuna Preta	Milho	3.4	2.9	3.3
Ad1	Sorgo	Milho	3.4	3	3.1
Ad1	Milho	Milho	3.3	2.9	3.1
Ad1	Milho	Milho + M. Preta	3.3	2.9	3.1

Fonte: Embrapa CPAC 1977, 1979. Ad2 e Ad1: níveis de adubação.

b. Redução do *K*

Como se verificou anteriormente, o *K* é afetado por uma série de fatores, entre eles o clima do solo, e mais particularmente a temperatura. A redução da temperatura pode proporcionar aumento no teor da M.O. mineralizável do solo. Ora, a prática do plantio direto. Ao longo do tempo tende a reduzir a temperatura do solo, e consequentemente aumentar a M.O. biodegradável. Os dados na literatura são extensos neste caso, apesar de termos indicações de que em certas áreas, com plantio direto com soja, não ter aumentado o teor de M.O.

Experimento de longa duração com fumo (30 anos) tem indicado que as parcelas que receberam adubo apresentaram menor valor do *K*, consequentemente maior teor de M.O. quando comparado com as parcelas que não receberam adubo. Por isso que um dos grandes incorporadores de M.O. no solo é a própria cultura, bem adubada e conduzida.

A cana-de-açúcar incorpora em torno de 15% da produtividade em M.O. devido a contribuição das raízes e soqueira. Num ciclo de 5 anos, numa produtividade de 70 ton/ha tal cultura incorpora por ciclo o equivalente a 52,5 ton/ha ($70 \times 15 \times 10^{-2} \times 5$ anos) de M.O., material este que é mineralizado.

4.7 Dinâmica da matéria orgânica

Na região de Piracicaba (Figura 35) foi desenvolvido um trabalho sobre a dinâmica da M.O. em solo argiloso com cana-de-açúcar. Foi considerado tempo zero (T₀) solo sob mata, T₁₂ (doze anos cultivado com cana-de-açúcar) e T₅₀ (cinquenta anos com cana-de-açúcar). A M.O. tem dois componentes, sendo um *biodegradável* (de interesse para as plantas, há liberação de nutrientes para as culturas) e outro componente *estável*, que não é degradável (ela está no interior dos micro agregados).

Queda do teor total do C.O. devido a remoção da mata e ao longo do tempo estabilizando, na faixa dos 10 a 12 anos. Nesta faixa o k está estabilizado, substituindo gradativo do teor de M.O. proveniente da cultura (principalmente do sistema radicular e soqueira).

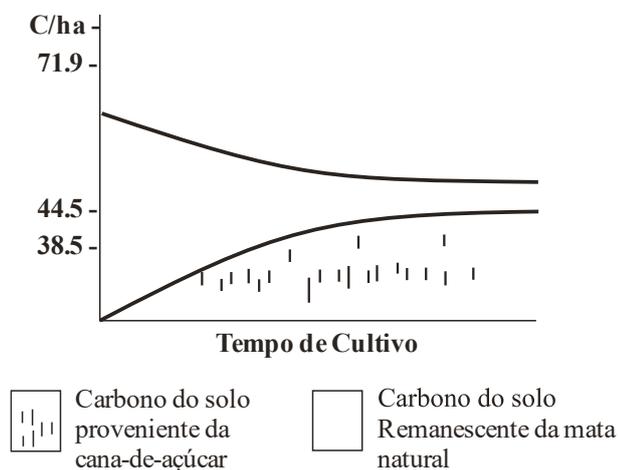


Figura 35 - Curva de variação de estoque de carbono orgânico do solo total proveniente da cana-de-açúcar e remanescente da mata natural, em função do tempo de cultivo.

Queda acentuada do C.O. (Figura 36) biodegradável da floresta ao longo do tempo, em torno de 50 T/ha (passou de 71,9 para 20,9 T/ha). Manutenção do C.O. estável ao longo do tempo (T50) em torno de 20 T/ha. Tal material não libera nutrientes para a cultura.

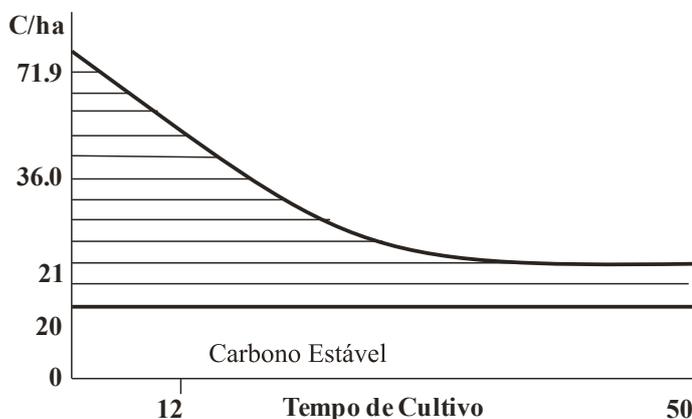


Figura 36 - Representação esquemática da quantidade de CT (Carbono Total) Cfe (Carbono da floresta, estável) e Cfb (Carbono da floresta, biodegradável) em função do tempo de cultivo.

4.8 Biomassa microbiana

Em relação a biomassa microbiana (BM) e carbono facilmente mineralizável (CM) da camada 0-10 cm, das áreas estudadas (Tabela 27) nota-se: tais componentes diminuem muito com o início do cultivo, mas os valores são idênticos para T12 e T50. Relacionados ao mesmo teor de C.O. (mg C/g CT) nota-se que a atividade biológica global do solo é nitidamente mais importante sob floresta que sob cultura e consequentemente uma M.O. mais facilmente biodegradável.

Tabela 27 – Biomassa microbiana (MB) e carbono facilmente mineralizável (CM) da camada 0-10 cm das áreas T0, T12 e T50.

Áreas	CT solo		BM		CM	
	mg C/g solo	µg C/g solo	mg C/g CT	µg C/g solo	mg C/g CT	
T0	37,20	65	1,75	20	1,10	
T12	16,50	15	0,91	2	0,12	
T50	14,60	16	1,10	1	0,07	

CT solo = Carbono total do solo.

4.9 Carbono e nitrogênio

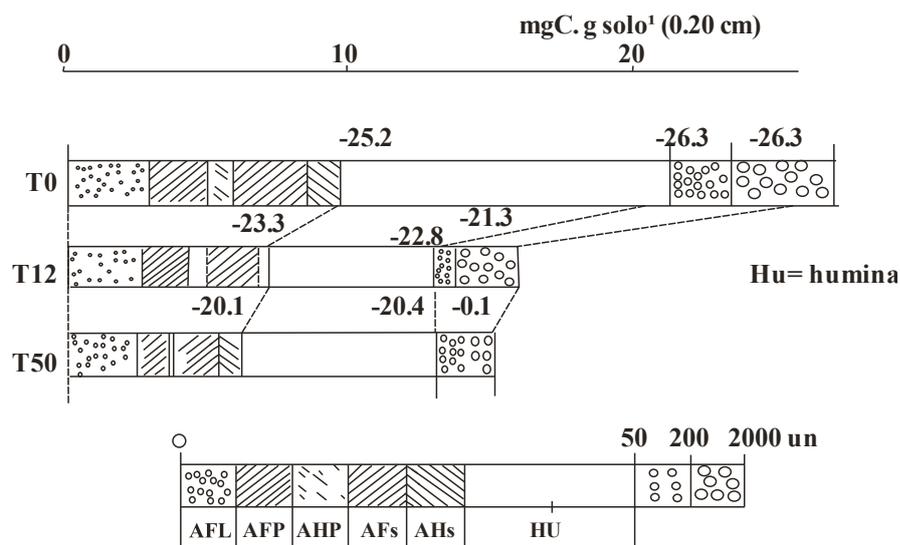
Os mesmos autores determinaram o carbono e nitrogênio da água de percolado dos diferentes ambientes (Tabela 28) e verificaram que: A saída de C.O. por lixiviação é intensa no solo sob mata natural (T0), sendo anualmente removido naturalmente pela água de percolação das chuvas o total de 0,35 TC/ha/ano valor este que representa 0,5% do C.O. total presente na camada superficial de 20 cm. No caso da cultura há uma pequena perda de 0,03 TC/ha/ano, valor este que representa 0,07% do C.O. total da camada. As perdas de N por lixiviação, no sistema com mata é apreciável, faixa de 94,9 kg/ha/ano. Ao longo do tempo, as perdas no sistema com cana-de-açúcar, é bem menor, cerca de 93% a menos, tendendo a cair ao longo do tempo.

Tabela 28 – Carbono e nitrogênio da água de percolação (expresso em ppm e kg/ha/ano) do solo sob mata natural e cultivado por doze e cinquenta anos.

Situação	Líquido Percolado				C/N
	Carbono		Nitrogênio		
	ppm	Kg/ha/ano	ppm	Kg/ha/ano	
T0	136,08	349,09	37,01	94,94	3,7
T12	19,73	51,28	7,70	20,02	2,6
T50	11,52	30,09	6,54	17,00	1,8

Os constituintes do húmus nos diversos sistemas estão indicados na Figura 37.

Note que na sequência T0, T12 há um decréscimo acentuado nas Humina se estabilizando no T50. O mesmo ocorre nos demais componentes, porém o AFL praticamente permanece constante.



AFL = ácido fúlvico livre. AFP = ácido fúlvico ligado ao pirofosfato de Na. AHP = ácido húmico ligado ao pirofosfato de Na. AFs = ácido fúlvico ligado a soda. AH = ácido húmico ligado a soda. Hu = huminas.

Figura 37 - Valores absolutos em mg C/g solo dos diversos constituintes do húmus e dos resíduos vegetais, referentes aos vinte centímetros superficiais dos perfis sob mata natural (to) e cultivo por doze e cinquenta anos (T12 e T50) com cana-de-açúcar.

4.10 Subprodutos orgânicos como substituto dos nutrientes

Dentre as grandes culturas, a cana-de-açúcar talvez seja a que mais gera subproduto orgânicos e que podem retomar a lavoura, tais como Torta de Filtro, Vinhaça e as cinza de caldeira.

4.10.1 Torta de Filtro (TF)

É considerada um excelente fertilizante além de propiciar melhores condições para a germinação da cana-de-açúcar quando plantada em condições de clima seco e frio. A temperatura da TF assim como sua umidade favorece a germinação. Os teores de nutrientes da TF são extremamente variáveis dependendo de diversos fatores entre os quais: fertilidade do solo, adubações e correções utilizadas, processo industrial.

A Tabela 29 resume os principais constituintes de diversas TF. Note que independente da fonte, ela é rica em N e P, apresentando ainda um complexo de

micronutrientes considerável. A relação C/N fica na faixa de 20 a 30. Os resultados de literatura são unânimes em indicar a substituição parcial ou total do fertilizante mineral quando se aplica a TF.

Os nutrientes nela contidos estão na forma orgânica e devem ser mineralizados ao longo do tempo, principalmente o N. Tal fato não deixa de ser vantajoso pois ela seria considerada como um fertilizante de liberação lenta.

A possibilidade de perda do N no processo de mineralização deve ser interpretado com cuidado pois no caso do N amídico (NH_2) da M.O. passaria para NH_4 pois a própria TF tem umidade e conseqüentemente a transformação NH_2 para NH_4 é possível.

Entretanto, não se deve esquecer que os resultados experimentais têm indicado que a TF tem substituído parcial ou totalmente os nutrientes inclusive o N, tanto no plantio como em soqueira. Por outro lado, o método tradicional de se trabalhar com tal produto sempre foi o de aplicá-lo no sulco de plantio, apesar de todas as dificuldades e inconvenientes desta operação. Atualmente, as empresas têm utilizado também a TF como fornecedora de gases.

Tabela 29 – Composição química da torta de filtro, segundo autores.

Elemento	Matéria seca		
	%		
	-1	-2	-3
N	-	0,87	1,26
P ₂ O ₅	1,94	1,35	2,61
K ₂ O	0,39	0,28	0,27
CaO	2,10	2,18	5,24
MgO	0,89	1,24	0,54
SO ₄			3,55
SiO ₂		14,06	
Carbono	39,60	31,20	36,20
Fe		34,87	25,1
Mn		590	624
Cu		51	65
Zn		83	89
Mo			0,6
Co			1,4
Umidade (%)	79,41	74,77	77,77

MS* = matéria seca. Fonte: (1) COPERSUCAR (20) (2) IAA/PLANALSUCAR (15) e (3) GLÓRIA et al. (10)

4.10.2 Cinzas

As cinzas constituem material residual da queima da lenha ou bagaço. Do total do bagaço queimado, cerca de 2,5% se transformam em cinzas. É muito rica em potássio, com teores variáveis de região para região, ficando na faixa de 1,5 a 2,0% de K₂O. Além do K as cinzas apresentam fósforo, faixa de 0,7% de P₂O₅, CaO, faixa de 1,0% e MgO, faixa de 0,6%, além do silício, com 85% de SiO₂. Da mesma maneira que a TF, as cinzas é um excelente fertilizante, além de propiciar o fornecimento de sílica.

Seu uso deve ser feito em complementação a TF no processo de compostagem. Entretanto, as cinzas podem ser cancerígenas, fato este que está sendo estudado pela CETESP.

4.10.3 Compostagem

Além de necessitar de um pátio, as proporções de TF + Cinzas na faixa de 2 ou 3/1 irá depender das umidades. As cinzas também podem ser misturadas com o bagaço da cana-de-açúcar reduzindo a ação da TF. A utilização destes produtos irá depender dentro de uma distância, onde a relação custo/benefício lhe seja favorável. Por outro lado, o elevado teor de umidade 70-80% da compostagem ou da TF em separado tem limitado seu uso em áreas mais distantes. Para isso algumas usinas têm adquirido equipamentos para resolvê-la e, conseqüentemente reduzindo sua umidade, trazendo para a faixa de 45-50%, além de propiciar um material mais homogêneo e facilitar as operações de aplicação, principalmente em área total.

Por outro lado, há usinas que munidos destes recursos tem ido além e produzem composto orgânicos, onde se inclui o bagaço, as cinzas, calcário, fósforo, vinhaça, ureia etc. É preciso muito cuidado caso o processo se inviabiliza.

Formas de Aplicação:

Onde se produz mais, aplicação no sulco ou em área total? Depende da época de plantio e da quantidade do produto. Normalmente no plantio fora de época, junho a agosto, em São Paulo ou setembro a dezembro no Nordeste, meses frio e seco, o uso da TF dentro do sulco é mais vantajoso, pois além da umidade tal produto tem temperatura mais elevada do que o solo. Em relação a quantidade, a ação seria de 20 t/ha no sulco e 40 t/ha em área total. Aumentando esta quantidade no sulco seria antieconômica na maioria das empresas.

Porém, em período quente e úmido, o uso da TF, tanto em área total, quanto no sulco não tem dado diferença de produtividade (Tabelas 30, 31 e 32). Na Usina Quata todos os experimentos foram feitos em solos arenosos e em Lençóis Paulista, em solo argiloso.

Tabela 30 – Tabela Resultados do Uso da TF no sulco e em área total comparada com adubo mineral. Local Usina Quatá (Faz. 73 Lote: 53). Variedade: RB 72454 1º.C 07/97 2º.C 10/98.

Composto/ha	00-00+00		30-60-60		30-90-130	
Fórmula	1º.C	2º.C	1º.C	2º.C	1º.C	2º.C
Só adubo					86	104
Sulco-20	87	110	93	106	94	110
A. total-20t	90	106	93	102	87	110
A. total-40t	96	110	94	104	104	106
A. total 60t	87	107	88	111	89	107

Fonte: Área de Desenvolvimento Agrícola da Usina Quata, SP

Tabela 31 – Tabela Resultados do Uso da TF no sulco e em área total. Local: Quatá (Campo Alegre Lote: 50) Variedade: RB 72 454 1º.C 08/96 2º.C 09/97.

Composto/ha	00-00+00		30-60-60		30-90-130	
Fórmula	1º.C	2º.C	1º.C	2º.C	1º.C	2º.C
Sulco-20	73	74	93	84	93	94
A. total-20t	78	77	91	83	90	86
A. total-40t	91	84	93	90	94	84
A. total 60t	86	95	96	94	94	90

Fonte: Área de Desenvolvimento Agrícola da Usina Quata, SP

Tabela 32 – Tabela Resultados do Uso da TF no sulco e em área total. Local: Lençóis Paulista. Plantio 14/04/97; 1º.C 07/98 – solo argiloso

Aplicação	Dose	TCH	(TRAT-TEST.)	40-20
		t/ha		
1 – Testemunha		106,61		
2 – Sulco	20	113,27	6,66	
3 – Sulco	40	118,34	11,73	5,07
Média		115,81		
4 - Área total	20	105,14	-1,47	
5 - Área total	40	120,00	13,39	14,86
Média		112,57		

Fonte: Área de Desenvolvimento Agrícola da Usina Barra Grande, Lençóis Paulista, SP

4.10.4 Vinhaça

Dos subprodutos de usinas e destilarias é o mais importante quando o assunto se refere ao seu uso como fertilizante. Sua produção varia de unidade para unidade, numa proporção entre 10 a 13 litros por litro de álcool produzido.

A literatura sobre o assunto é extensa e pode ser resumida no seguinte: produto rico em K, contendo ainda a maioria dos elementos necessários a planta, incluindo os micronutrientes (Tabela 33).

Excelente fertilizante, substituindo totalmente o potássio e parcialmente o N e P. Apesar de ser ácida, ao ser aplicada ao solo apresenta reação alcalina, substituindo parcialmente o calcário. Como tem SO_4^- em sua constituição e sendo líquido, penetra no solo e enriquece a subsuperfície em bases. Neste caso, substitui parcialmente o gesso. É rica em matéria orgânica decomponível, 20 a 35 kg/m^3 de vinhaça, melhorando as características físicas e químicas do solo. Pode ser aplicada em pré-plantio, durante ou após e em soqueiras. Tem enriquecido o solo tanto quimicamente como biologicamente. Tem propiciado aumento de produtividade e longevidade das soqueiras. Como tem sais dissolvidos se utilizada inadequadamente pode danificar ou matar a cana, devido ao aumento da condutividade elétrica. Na faixa de 100 a 120 m^3/ha , em soqueiras, deve ser complementada com N, na faixa de 90 kg/ha . Acima de 200 m^3/ha não se tem feito a complementação. Atualmente, as empresas têm eliminado a água existente na vinhaça e com a concentração, pode ser utilizada na linha de soqueira.

Tabela 33 - Composição química da vinhaça de diferentes tipos de mosto segundo diversos autores.

Elemento	Mosto de Melão				Mosto Misto				Mosto de caldo			
	-1	-2	-3	-4	-1	-2	-3	-4	-1	-2	-3	-4
*N	0,57	0,79	0,70	0,60	0,48	0,43	0,36	0,33	0,28	0,35	0,26	0,25
*P ₂ O ₅	0,10	0,14	0,34	0,22	0,09	0,14	0,61	0,24	0,09	0,11	0,49	0,18
*K ₂ O	3,95	5,50	7,59	5,08	3,34	2,61	2,59	2,18	1,29	1,15	1,72	1,94
*CaO	1,85	2,25	2,41	2,10	1,33	1,46	0,57	0,84	0,13	0,76	0,17	0,56
*MgO	0,98	1,02	1,40	0,84	0,58	0,52	0,54	0,33	0,21	0,30	0,41	0,33
*SO ₄			1,05				1,60				2,03	
Matéria Orgânica	37,30	56,90	54,68	47,40	28,97	45,10	31,67	19,10	22,31	34,70	25,24	15,30
**Fe		120	67	52		130	47	57		110	51	45
**Cu		9	3	3		57	2	4		18	1	1
**Zn		3	3	4		50	3	4		2	2	3
**Mn		11	6	7		5	6	6		10	6	5
pH	4.2	4.2	4.4	4.2	4.4	3.8	4	3.6	3.7	3.6	3.6	3.5

Kg/m³vinhaça

**ppm

Fonte: (1) RODELLA et al. (66); (2) BOLSANELLO & VIEIRA (8); (3) VASCONCELLOS & OLIVEIRA (82); (4) MEDEIROS (51).

A Tabela 34 resume os resultados de 22 experimentos ao longo de 4 safras na Usina Santa Luiza usando vinhaça e nitrogênio. Os solos testados eram arenosos, médios e alguns argilosos. Os resultados indicaram que para os 100 m³/ha de vinhaça foi necessário completar com N na faixa de 97 kg/ha como dose econômica. Acima de 200 m³/ha não se tem usado N.

Tabela 34 – Produtividade média (t cana/ha) obtida com os tratamentos em cada ensaio e resultados da análise da regressão para doses de nitrogênio.

Variedade	Estágio	Solo	Nitrogênio (kg/ha)				Análise Estatística	
			0	50	100	150	Regressão	Signif.
Safra 90/91								
SP71 – 6163	2º corte	LVA-6	92	95	97	99	Linear	5%
SP71 – 6163	3º corte	LVA-6*	92	118	124	127	Quadrática	5%
SP71 – 6163	4º corte	LVA-6	64	93	101	100	Quadrática	1%
SP71 – 1143	3º corte	LVA-6	106	102	109	107		ns
SP71 – 1406	3º corte	LVE-5	88	88	87	91		ns
Safra 91/92								
SP71 – 6163	2º corte	LVA-6	96	108	108	115	Linear	1%
SP71 – 6163	4º corte	LVA-6*	79	78	89	88	Linear	1%
SP71 – 6163	4º corte	LVA-6	76	112	113	121	Quadrática	1%
SP71 – 1081	2º corte	LVA-6	102	110	109	110	Quadrática	5%
SP71 – 1081	2º corte	PVA-16	114	116	113	114		ns
Safra 92/93								
SP71 – 6163	3º corte	LVA-9	79	96	99	102	Quadrática	1%
SP71 – 6163	3º corte	LVE-5	79	87	87	85	Quadrática	5%
SP71 – 6163	3º corte	LVE-5	78	86	90	94	Linear	1%
SP71 – 1081	2º corte	LVA-6	101	117	121	120	Quadrática	5%
SP71 – 1081	3º corte	LVA-9	80	82	84	95	Linear	17%
SP71 – 1081	3º corte	PVA-16	89	128	130	130	Quadrática	1%
SP71 – 1011	2º corte	LVA-5	115	122	121	120	Quadrática	20%
SP71 – 1011	3º corte	PVA-15	119	129	122	123	Linear	5%
Safra 93/94								
SP71 – 6163	2º corte	LVE-5	74	84	87	86	Linear	5%
SP71 – 1081	3º corte	PVA-16	74	72	73	70		ns
SP71 – 1011	3º corte	LVA-8	96	108	110	113	Linear	1%
SP71 – 1011	2º corte	LVE-5	97	107	113	106	Quadrática	1%
Média			90	101	104	105		
Desv. pad.			15	16	16	16		

$$\frac{Dv}{Dx} = \frac{\text{Preço do kg de nitrogênio}}{\text{Preço da t de cana}}$$

Custo da ureia: US\$ 253,37/tonelada (fev./94) – Dados de Informações Econômicas – março de 1994. Custo da cana na esteira: US\$ 10,85/tonelada (fev./94)

$$\frac{0,56}{10,85} = 0,23677 - 0,0019x \qquad 97\text{kg de } \frac{\text{nitrogênio}}{\text{ha}}$$

As formas de N liberadas, NO_3^- e NH_4^+ irá depender da quantidade aplicada e da época, porém há dominância do processo de nitrificação (NO_3^-) ao longo do tempo (Tabela 35).

Tabela 35 - Concentração de N-nitrato e N-amônio da vinhaça nas diferentes épocas de amostragem para os três tratamentos, em duas profundidades, usando 100 e 1.000 m³/ha.

Época de amostragem	Íon	Testemunha		D100		D1.000	
		10 cm	40 cm	10 cm	40 cm	10 cm	40 cm
µg/g							
Ago. 80	NO_3^-	32	40	130	124	133	140
	NH_4^+	24	38	24	21	35	44
Nov. 80	NO_3^-	160	175	45	45	55	55
	NH_4^+	22	28	33	32	47	42
Fev. 81	NO_3^-	47	58	43	50	37	45
	NH_4^+	23	25	28	31	44	43
Maio 81	NO_3^-	85	92	62	83	30	40
	NH_4^+	17	19	16	17	12	17
Ago. 81	NO_3^-	37	58	40	40	43	43
	NH_4^+	5	5	8	3	43	31
Nov. 81	NO_3^-	68	80	91	87	73	92
	NH_4^+	30	30	32	29	34	23
Fev. 82	NO_3^-	42	47	53	53	42	52
	NH_4^+	43	37	43	32	29	26
Jun. 82	NO_3^-	55	80	55	58	450	72
	NH_4^+	22	21	26	32	293	130
Ago. 82	NO_3^-	58	92	82	68	315	100
	NH_4^+	35	47	53	51	73	111
Nov. 82	NO_3^-	67	70	67	65	38	53
	NH_4^+	30	37	46	48	68	70
Ago. 83	NO_3^-	42	45	58	93	37	37
	NH_4^+	11	18	13	17	10	17

Fonte: B. Cient. Inst. Agron., Campinas, 8, 1987.

4.11 Leguminosas como meio de incorporar e reciclar nutrientes

A produtividade de algumas leguminosas além da tonelagem de massa verde/ha varia de região para região e principalmente devido a fertilidade do solo em termos de nutrientes como o nitrogênio, fósforo, potássio e relação C/N. Assim é que a crotalária juncea tem produzido numa faixa muito ampla, de 1,6 a 3,3 de kg/N e mucuna preta de 2,6 a 2,9 de kg/N. Os teores de fósforo são respectivamente de 0,18 a 0,38 e 0,3 a 0,6 para crotalária e mucuna preta assim como o potássio (1,0 a 2,9 para Crotalaria e 1,5 a 2,4 para Mucuna) e relações C/N de 17 a 2,4 para crotalária e 12 a 14 para mucuna preta. Mais informações sobre o tema foi explorado por (Ambrosano et al., 2011) expressas nas tabelas 36 a até e.

Tabela 36 a. Composição química da Crotalária juncea e Mucuna preta.

Nutriente	Crotalaria Juncea	Mucuna Preta
Nitrogênio	1,6 – 3,3	2,6 – 2,9
Fósforo	0,18 – 0,38	0,3 – 0,6
Potássio	1,0 – 2,90	1,5 – 2,4
Relação C/N	17 – 24	12 – 14

Tabela 36 b. Rendimentos de material verde e seco (kg/ha) das leguminosas e do amendoim sem casca, utilizadas em cultivo prévio à cana-de-açúcar (Piracicaba, 1999-2005)

Tratamentos	Parte aérea		Raízes		Sementes
	Material verde	Material seco	Material verde	Material seco	Material seco
Amendoim IAC-Caiapó	9100 b	2696 bc	1912 b	481 b	1298 a
Crotalária juncea IAC 1	24700 a	9318 a	2880 a	946 a	---
Amendoim IAC-Tatu	3000 c	1604 c	1271 c	361 c	1223 a
Mucuna preta	17100 ab	4130 b	1205 c	261 d	---
CV(%)	3,65	22,48	15,40	6,63	29,23

Valores 1 e 2 são médias transformadas em $\log(x)$ e raiz quadrada de (x) respectivamente. Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si, pelo teste de Tukey (Psc 0,05).

Fonte: Ambrosano et al. (2011)

Tabela 36 c. Acúmulo de macro (kg ha⁻¹) e micronutrientes (g ha⁻¹) nas leguminosas cultivadas anteriormente à cana-de-açúcar (Piracicaba, 1999-2005).

Culturas utilizadas no pré-cultivo à cana	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Amendoim IAC-Caiapó	83,4 b	5,9 b	33,9 bc	37,9 b	20,5 b	232 ab	23 b	5393 a	687 ab	81 b
Crotalaria júncea IAC 1	220,9 a	15,7 a	76,5 a	72,6 a	33,4 a	304 a	80 a	2581 bc	935 a	250 a
Amendoim IAC-Tatu	220,9 b	5,9 c	33,9 c	37,9 b	14,8 bc	100 c	11 b	3054 b	303 b	35 c
Mucuna preta	179,8 a	13,0 ab	48,0 b	31,1 b	10,7 c	150 bc	60 a	1439 c	808 a	111 b
CV(%)	38,2	23,4	24,2	31,9	25,8	26	33,8	32	44,9	31,7
Culturas utilizadas no pré-cultivo à cana	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Amendoim IAC-Caiapó	7,1 ab	0,5 a	4,7 b	3,2 a	1,8 a	77 b	4,7 b	2140 b	54,6 ab	12,5 ab
Crotalaria júncea IAC 1	7,7 a	0,5 a	7,6 a	1,5 b	1,4 ab	145 a	8,5 a	7299 a	39 a	15,2 a
Amendoim IAC-Tatu	4,3 c	0,3 b	4,0 b	3,0 a	1,4 ab	40 c	4,3 b	1643 b	36,4 bc	9,8 b
Mucuna preta	5,0 bc	0,4 ab	2,1 c	1,5 b	1,0 b	25 d	5,2 b	814 c	10,8 c	8 b
CV(%)	19,26	24,05	16,24	13,30	23,50	57,0	15,7	5,0	9,7	24,4

(*) Médias transformadas em log(x). Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si, pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Fonte: Ambrosano et al. (2011)

Tabela 36 d. Produtividade de colmos (Mg ha⁻¹) e de açúcar aparente (Mg pol ha⁻¹) da cana-de-açúcar influenciada pelo cultivo prévio de leguminosas (Piracicaba, 1995-2005).

Culturas utilizadas no pré-cultivo à cana	Produtividade de colmos					
	Cana planta	Soca 1	Soca 2	Soca 3	Soca 4	Média
Amendoim IAC-Caiapó	122,7	122,3	67,4	49,4	36,8	79,7 AB
Crotalaria júncea IAC 1	145,4	122,3	79,7	51,9	39,3	87,7 A
Amendoim IAC-Tatu	149,9	108,8	74,6	52,2	29,6	83,0 AB
Mucuna preta	141,2	121,9	75,7	51,8	28,1	85,6 AB
Testemunha	129,9	85,3	55,4	46,4	36,2	67,5 B
Média	138,4 a	113,2 b	71,0 c	50,4 d	34,2 e	

Fonte: Ambrosano et al. (2011)

Tabela 36e. Balanço econômico (R\$ ha⁻¹) da produção de cana-de-açúcar associada ao cultivo de espécies leguminosas (Piracicaba, 1999-2005)

Culturas utilizadas no pré-cultivo à cana	Receita Total	Custos	Receita Líquida
Amendoim IAC-Caiapó	20730 a	18902 a	1828 ab
Crotalária júncea IAC 1	20795 a	17141 b	3654 a
Amendoim IAC-Tatu	21882 a	18945 a	2938 ab
Mucuna preta	19855 ab	16787 b	3068 ab
Testemunha	16745 b	15319 c	1427 b
Média	20001	17419	2583
CV (%)	10,5	4,9	49,1

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,1$).

- (1) A receita total inclui a venda cinco cortes de cana-de-açúcar mais os grãos vindos da venda do amendoim. O custo de produção inclui o prepare do solo e manejo das culturas, produtos químicos matérias-primas e os custos de colheita de todas as culturas, da cana e das utilizadas em pré-cultivo, mas exclui o aluguel das terras.

Fonte: Ambrosano et al. (2011)

4.12 Outras aplicações da matéria orgânica

O uso da cobertura verde não deixa de ser uma excelente opção de manejo para as mais diferentes situações. Melhorando sensivelmente algumas propriedades dos solos. O plantio, por exemplo, de leguminosa ou de outras plantas em determinadas situações tem agido como: protetor do solo contra erosão; descompactador biológico; cultura de proteção; controlador de pragas e doenças dos solos; fornecedora e reciclagem de nutrientes; fonte de M.O. biodegradável; exsudatos de sistema radiculares etc.

4.13 Considerações finais

Como foi observado as atividades agrícolas nos solos tendem a encontrar um novo equilíbrio no teor de M.O., porém em patamares abaixo do sistema original. A tentativa de aumentar o teor de M.O. de um solo é extremamente difícil e muitas vezes cara, principalmente em solos arenosos. Tal fato ficou evidenciado anteriormente pois todo material adicionado no solo via importação ou através do sistema radicular, tende a se mineralizar.

A única maneira de haver acumulação de M.O. no solo é fazer com que o componente b seja sempre superior ao k , ou seja adições periódicas de M.O., na maioria das vezes inviável economicamente ou com culturas de proteção.

Por outro lado, é necessário entender que para a cultura é mais interessante uma M.O. degradável, que forneça nutrientes a cultura e não uma M.O. estável.

Portanto, ter um solo devidamente conservado e quimicamente corrigido e uma cultura adequadamente conduzida não deixa de ser uma boa alternativa de incorporação de M.O degradável. A opção de redução da temperatura do solo, através das coberturas de solos (plantio direto) quando não interfere na produtividade, não deixa também de ser uma ótima opção de manejo.

As alterações das propriedades físicas com o uso de M.O. tais como densidade, porosidade, retenção de umidade e condutividade hidráulica somente será possível com a introdução substancial de M.O. importada. Doses normais de 10 a 20 T/ha/ano de M.O. na forma de composto não tem tido efeitos positivos nestas propriedades. Os maiores efeitos, isto sim, é na liberação de nutrientes e com isso melhorar as propriedades químicas substituindo em parte ou totalmente os fertilizantes e aumentando a produtividade.

O agricultor somente irá se utilizar de M.O. importado se a relação custo/benefício for favorável.

5 CAPÍTULO 5: RESTRIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO RADICULAR

Em agricultura sem irrigação, a quantidade de raízes e, conseqüentemente, o volume de exploração tem correlação com a produtividade. Em grande parte dos solos brasileiros a profundidade de exploração radicular é menor quando comparado com as mesmas culturas em outras regiões (Tabela 37).

Tabela 37 – Produtividade de enraizamento de diversas culturas

Local	Cultura	Profundidade do Sistema radicular
		cm
Brasil	milho	20
	feijão	20
	cana-de-açúcar	60
Outras raízes	feijão	50-70
	milho	100-170
	cana-de-açúcar	120-200

Fonte: (Koffler, 1986).

Um dos objetivos básicos no manejo de solos é o de promover o desenvolvimento radicular. Para isso é necessário entender adequadamente quais os fatores que impedem ou que restringem o desenvolvimento radicular assim como os métodos para atenuar seus efeitos negativos.

Os fatores que restringe o desenvolvimento radicular podem ser de natureza química, biológica ou física.

5.1 Restrição química

Os principais *fatores químicos* que dificultam o desenvolvimento radicular são os seguintes: falta de nutrientes, principalmente o cálcio; excesso de Mn e Al trocáveis; presença de sais de Na, K etc. Como se observa seria a falta de nutrientes no solo.

Os resultados da Tabela 38 indicam a produtividade de diversos cortes da cultura de cana-de-açúcar em um Latossolo de textura média-arenoso da região de Lençóis Paulista. A média de produtividade do 2º corte naquele ano agrícola 95/96 foi de 87 T/ha, enquanto, que a produtividade indicada nesta Tabela foi de 70 e 72 T/ha para a variedade RB806043. As principais causas para esta baixa produtividade estão indicadas nas análises químicas do solo, onde a saturação de bases tem valores baixos na camada superficial e extremamente baixos na subsuperfície.

Em profundidade os teores de Ca e Mg estão abaixo do nível crítico. Nestas condições a produtividade não pode ser elevada. Note a baixa produtividade para o 5º corte em LE-argiloso, álico, com 54 T/ha, e a análise de solos correspondente. Por outro lado, a produtividade do décimo corte, na variedade SP79-1011, no Latossolo Roxo eutrófico, ainda se mantém em razoável patamar de produção, faixa de 62 T/ha. A explicação para tal fato se deve a elevada saturação das bases tanto na superfície como na subsuperfície, indicando assim a relação da produtividade com a fertilidade do solo, neste caso tendo como base a saturação das bases. A figura 37 a, ilustra restrição química em um Neosolo Quartzarênico. No perfil, não havia nenhum impedimento físico, e as raízes caminham para as laterais no desenvolvimento de um eucalipto.



Figura 37 a. Desenvolvimento radicular em Neosolo Quartzarenico álico com eucalipto.

Tabela 38 – Produtividade da cana-de-açúcar e características químicas de diversos solos. Usina São José – Macatuba – SP

Profundidade cm	Al	Ca	Mg	CTC	V
	e.mg/100 cm ³				%
RB806043 – 2º corte – 70 TCH					
0-25	0,24	0,49	0,38	3,47	27
25-50	0,81	0,07	0,03	3,20	5
50-75	0,81	0,05	0,02	3,01	6
75-100	1,02	0,05	0,03	2,98	5
RB806043 – 2º corte – 72 TCH					
0-25	0,90	0,91	0,58	6,61	25
25-50	1,26	0,31	0,20	6,73	9
50-75	1,30	0,06	0,01	4,80	2
75-100	1,41	0,04	0,02	4,80	1
SP79-1011 – 10º corte – 62 TCH					
0-25	0,12	6,27	1,12	10,89	62
25-50	0,17	5,50	0,92	8,63	74
50-75	0,10	4,35	0,89	7,37	71
75-100	0,12	4,50	1,11	7,61	73
SP79-1011 – 5º corte – 54 TCH					
0-25	1,99	0,35	0,15	7,13	10
25-50	2,00	0,38	0,12	7,91	9
50-75	2,61	0,50	0,20	8,05	10
75-100	2,68	0,45	0,25	6,07	4

5.2 Alumínio e a produtividade de milho e sorgo

A presença de Al pode restringir o desenvolvimento radicular, e conseqüentemente a produtividade (Tabela 39). Neste exemplo, à medida que aumenta o teor de Al, de 40% para 87% no Ultisol e de 52% para 87% no Oxisol a quantidade de raiz tanto do milho como do sorgo tende a decrescer sensivelmente, principalmente para o sorgo.

Tabela 39 – Efeito do Al no desenvolvimento radicular em Oxisol e Ultisol.

Solo	pH	Al trocável	Al %	Peso seco raiz	
				Milho	Sorgo
(mg/vaso)					
Ultisol	4,8	4	40	931	400
	4,5	6	57	874	296
	3,9	11	87	209	19
Oxisol	4,8	3	52	687	345
	4,5	4	70	630	126
	4,0	5	87	389	128

Fonte: (Sanchez, 1976).

5.3 Regiões semiáridas

Em regiões semiáridas pode ocorrer diversas concentrações de sais tanto na superfície como na subsuperfície, reduzindo ou impedindo o desenvolvimento radicular. A concentração do Na, acima dos 15% da CTC torna os solos alcalinos e neste caso causando sérios problemas de manejo e produtividade. O mesmo ocorre com os solos salinos ou com os salinos-alcalinos. Independentemente da classificação de tais solos, a condutividade elétrica tende a aumentar e com isso somente plantas adaptadas conseguem se desenvolver. A relação na Tabela 40 indica a influência da condutividade elétrica no desenvolvimento das culturas.

Tabela 40 - Valores de condutividade elétrica e produtividade

Condutividade Elétrica mmol/cm/25°C	Característica
0-1	Não há restrição de produtividade para a maioria das culturas.
1-2	Produtividade das culturas mais sensíveis afetada.
2-4	Produtividade afetada para a maioria das culturas adaptadas.
4-8	Produtividade restrita para a maioria das culturas adaptadas.
8-12	Somente culturas tolerantes podem se desenvolver com produtividade restrita.
>12	Somente poucas culturas tolerantes podem se desenvolver com produtividade baixa.

5.4 Teor de cálcio e desenvolvimento radicular

Há correlação indicando que o crescimento radicular depende do teor de cálcio. No caso da cultura do trigo o comprimento radicular é diretamente proporcional ao teor de cálcio, trabalho feito na região do Brasil Central em Latossolo Vermelho Escuro argiloso (Figura 38).

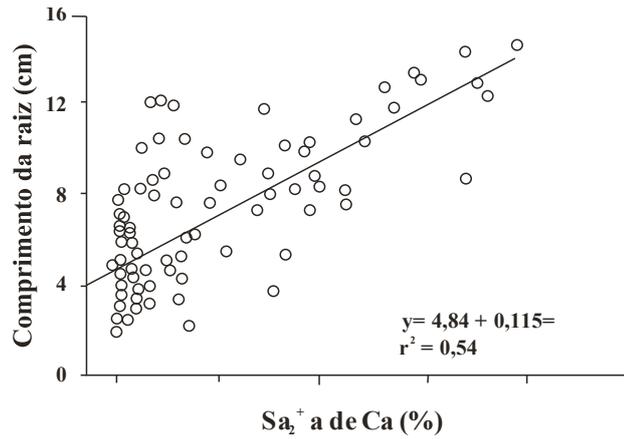


Figura 38 - Relação entre o crescimento de raízes de trigo (cv. Moncho BSB) e a saturação do cálcio (CTC efetiva) de 112 amostras subsuperficiais (20 a 120 cm) de perfis de solos da região do Cerrado. **Fonte:** Sousa et al., dados não publicados.

Nesta mesma região (Ritchey et al., 1982) observaram o seguinte (Figura 39): após a calagem houve uma redistribuição do cálcio até os 110 cm de profundidade, com um maior teor no 4º ano de observação. Ao mesmo tempo tais autores obtiveram o comprimento de raízes do trigo e notaram uma tendência de distribuição com o teor de cálcio e com a profundidade, tanto no 1º como após o 4º ano (Figura 39). Tal tendência foi a mesma em relação ao teor de água do solo (Figura 39).

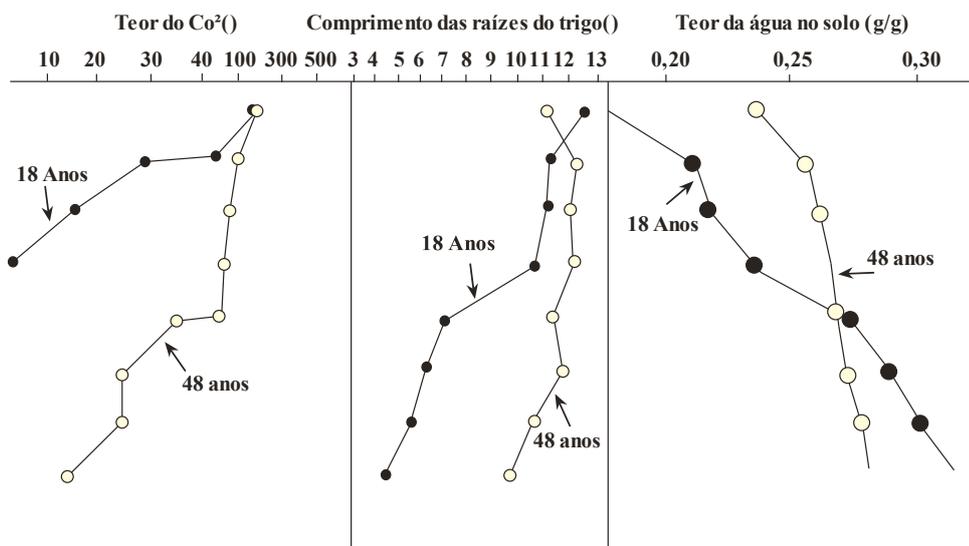


Figura 39 - Relação entre o teor de cálcio, crescimento de raízes e padrão de extração de água aos perfis de um Latossolo Vermelho-Amarelo em áreas de 1º e 6º ano de cultivo com soja (Ritchey et al., 1982).

Na região de Lençóis Paulista - SP em 1992 em um Latossolo de textura média-arenosa foi desenvolvido um experimento de calibração de gesso e calcário em cana-de-açúcar. Neste mesmo trabalho foi feita a determinação da quantidade e distribuição do sistema radicular. Após 27 meses de instalação o tratamento com 2,8 T/ha de gesso indicou a distribuição do cálcio e das raízes até 125 cm de profundidade (Figura 40). Observe que à medida que o teor de cálcio tende a decrescer em profundidade, a quantidade de raízes também decresce. Um exemplo impactante da forte relação entre cálcio e sistema radicular, se apresenta na figura 40 a, onde as raízes penetram no horizonte C (apesar de com muito cascalho), porém, com altos teores de cálcio (solo eutrófico).

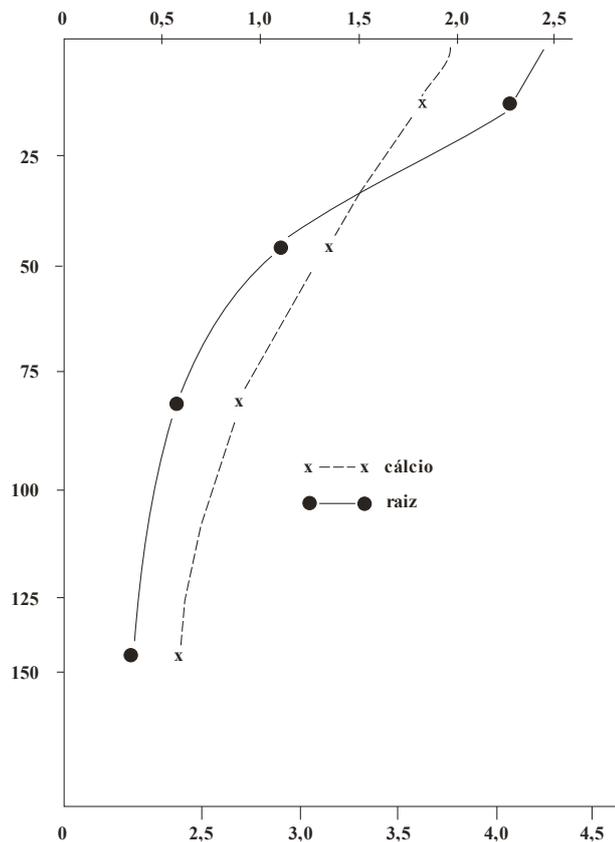


Figura 40 - Distribuição do cálcio (tratamento com 2,8 T/ha de gesso) e de raiz de cana-de-açúcar após 27 meses, em Latossolo de textura média. Usina Barra Grande – Lençóis Paulista.



Figura 40 a. Ilustração do desenvolvimento radicular de um eucalipto em Cambissolo Háplico eutrófico.

5.5 Ação do calcário e a saturação por bases

O uso do calcário em solos distróficos ou álicos (solos de baixa saturação de bases) tende a aumentar o nível da saturação de bases e com o tempo tal nível decresce, em maior velocidade para os solos de baixa CTC e menor velocidade para solos de elevada CTC.

Num experimento de longa duração no Brasil Central, aos 6 e 66 meses após a aplicação do calcário em relação as doses de 0-2-4-6-8 t/ha e os teores de alumínio e rendimentos de grãos (Tabela 41). A quantidade de calcário calculada para elevar o pH na faixa desejada de 60% da saturação foi de 3,0 T/ha. Como se verifica tal valor não foi suficiente. O aumento da dose para 4,0 T/ha, ou seja, acima da dose recomendada, houve maior acréscimo do V% próximo a faixa desejada.

Após 66 meses da instalação do experimento o pH na dose de 4,0 T/ha de calcário caiu para os níveis iniciais de 4,7. Os teores de Ca + Mg antes de 0,6 m.eq/100g aumentaram sensivelmente para 3.1 e após os 66 meses decresceram para 2.1 m.eq/100g.. Os rendimentos relativos de grão (arroz e soja) obtiveram os valores máximos quando se utilizou teores mais elevados de calcário.

Tabela 41 – Efeito residual da aplicação de calcário em latossolo argiloso (Brasil/Central) nos atributos químicos do solo e no rendimento relativo de grãos aos 6 e 66 meses após a aplicação feita em 1972.

Calcário	pH		Al		Ca+Mg		Rendimento relativo em grãos	
	6	66	6	66	6	66	6	66
t/ha	H ₂ O				%			
0	4,7	3,9	1,1	1,5	6,0	0,3	53	50
2	5,1	4,3	0,5	1,0	1,5	1,0	88	88
4	5,6	4,8	0,2	0,4	3,1	2,1	100	89
8	6,3	5,2	0,0	0,0	4,4	4,0	93	100

5.6 Recomendação de calcário

Há diversos métodos de recomendação da quantidade de calcário a ser utilizado nos solos. Uns métodos preconizam eliminar apenas o Al, neste caso usa-se menos calcário, outros são baseados nos teores de Ca e Mg. Este método tem a vantagem de poder usar mais calcário em solos com CTC baixa (menor que 5,0) porém prejudica os solos com CTC mais elevada, usando menos calcário e não corrigindo adequadamente o solo.

O método da saturação das bases leva em consideração os teores de Ca, Mg assim como os da CTC, correlacionáveis com o pH do solo.

Entretanto, e independentemente do método utilizado, o valor teórico calculado do calcário dificilmente, após a aplicação no solo, atinge os níveis desejados. Sobre este aspecto observe os dados da Figura 41 sobre os efeitos da aplicação de doses crescentes de calcário na saturação das bases (V%).

O cálculo teórico de calcário para atingir o V% em 70% foi de 4,4 T/ha em um Latossolo argiloso. Entretanto, após a aplicação do corretivo o valor atingido da saturação das bases foi de 40% bem aquém do esperado para a profundidade de 0-20 cm. Porque o valor calculado do calcário não tem atingido os níveis desejados de V%? Tal fato se deve: eventuais perdas de Ca e Mg (ao aumentar o pH aumenta a mineralização da matéria orgânica, aumentando assim a liberação de NO₃⁻ que é um ânion não específico), poder

de tamponamento do solo, equilíbrio químico das reações do calcário e a granulometria mais grosseria do produto, aplicação irregular, alteração do PRNT e ventos.

Devido a tais fatos, nas recomendações de calagem é sugerido adicionar 10 a 15% a mais do corretivo. Em solos com os teores de Mg baixos, use calcário dolomítico ou com teores de Mg elevados.

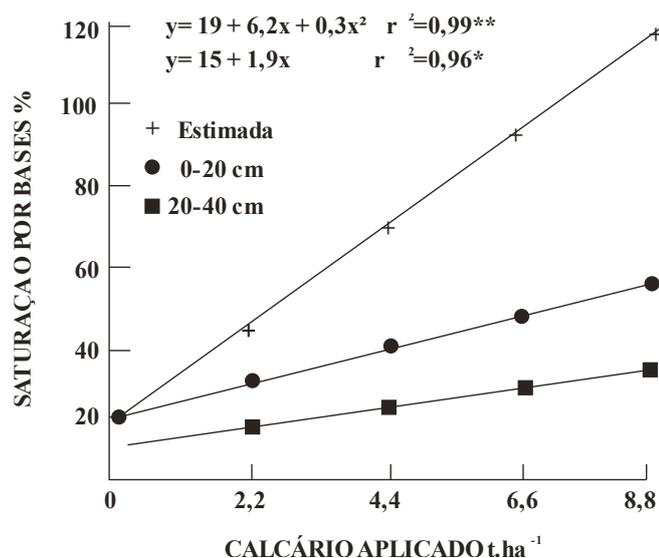


Figura 41 - Efeito da aplicação de doses crescentes de calcário e saturação por bases de um latossolo vermelho-escuro álico (Média de cinco amostragens e quatro repetições).

5.7 Profundidade de incorporação do calcário

Resultados experimentais têm demonstrado que o calcário é pouco móvel no solo na forma de CaCO_3 . Em contato com o solo há reação formando o ânion HCO_3^- que é instável. Tal ânion reage com o H^+ do solo formando H_2O e CO_2 , e não se translocando.

Sendo assim o CaCO_3 tende a reagir quando em contato com o solo. Portanto, a aplicação do calcário na superfície, sem incorporação, tenderá a reagir apenas na superfície, principalmente em solo argiloso. Há experimentos indicando reação do calcário em maior profundidade (15-20cm) em solos arenosos.

Havendo necessidade de melhorar a saturação das bases em profundidade será preciso incorporar o produto, usando a grade (incorporação rasa, 10 a 20 cm) ou arado,

incorporação profunda, a (20-40 cm). Os resultados da Tabela 42 indicam a melhor ação da incorporação profunda do calcário quando comparado com a incorporação rasa.

Entretanto a incorporação profunda pode ser difícil de ser executada com o arado, principalmente em área recém destocadas. As principais sugestões neste caso são as seguintes:

- (1) Ir recuperando a fertilidade gradualmente usando grade e os corretivos.
- (2) Havendo condições aumentar a dose em 15% do corretivo.
- (3) Associar o uso do calcário com o gesso, gradeando em seguida.

(4) Em solos arenosos há translocação do CaCO_3 , permitindo assim sua incorporação em maior profundidade inclusive sem o uso do arado. Tal possibilidade ocorre em área de plantio direto onde há necessidade de se aplicar o calcário na superfície.

Uma vez que a área esteja em condições de um preparo mais profundo é aconselhável o uso do arado principalmente em solo mais argiloso. O calcário além de corrigir a superfície dos solos permite o aumento da produtividade assim como há interações positiva com outros nutrientes.

Tabela 42 – Produção de grão de milho (ver. Cargill 111) em função de doses e do efeito residual do calcário incorporado em 1972 (primeiro ano do experimento), em duas profundidades, num solo LE.

Profundidade de aplicação do calcário ¹	Doses do calcário (t/ha)	Anos e culturas								
		1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978		
		Milho	Milho	Sorga	Milho	Milho	Soja	Milho		
(Kg de grão/ha)										
S	0	2.115	4.569	880	611	2.364	1.108	1.055	341	
S	1	3.423	5.281	1.474	1.944	4.275	1.935	1.966	1.087	
S	2	3.531	5.689	1.863	5.133	4.322	1.994		1.686	
S	4	4.004	5.903	2.265	5.902	4.622	2.35	1.889	2.331	
S	8	3.723	5.96	2.052	6.853	5.412	2.59	2.113	2.596	
P	1	4.019	5.684	2.086	3.325	4.431	1.521	1.304	845	
P	2	4.341	5.858	2.573	5.578	4.596	1.935	2.054	1.647	
P	4	4.797	6.682	3.058	6.084	4.812	2.372	2.248	2.101	
P	8	4.792	7.266	3.601	7.089	5.968	2.835	2.254	2.504	

¹ S = Superficial (0-15 cm); P = Profundo (0-30 cm). Cultivo irrigado no período seco.

Fonte: CPAC, 1980-1981.

5.8 Calagem acima das doses recomendadas

Os perigos de uma elevação acentuada do pH pode acarretar sensíveis prejuízos de redução ou aumento de disponibilidade de micronutrientes, neste caso, havendo excesso, principalmente de manganês, reduzindo a produtividade.

Em quais situações tal fato pode ocorrer?

(1) Foi observado que o uso do calcário em dose normal, não tem atingido o valor do V% desejado. O aumento de 30 a 50% da dose recomendada tem tido efeitos desejados. Portanto, somente doses acima dos 100% da recomendada pode levar o pH a valores acima do esperado.

(2) Aplicação da dose recomendada, porém sem incorporação. Não esquecer que na fórmula do cálculo da quantidade do calcário a profundidade de incorporação é de 20 cm. Neste caso há necessidade de se calcular a dose para 10 cm.

5.9 Considerações a respeito do gesso

Foi visto que o gesso pode resolver uma série de casos em solos principalmente na subsuperfície. Porém ele não corrige o pH dos solos, podendo haver pequeno efeito positivo neste atributo do solo. Entretanto, se ele não corrige o pH, por que há aumento da saturação das bases? Na verdade, há um enriquecimento de cálcio no sistema de troca e em consequência aumento do V%, porém é um aumento artificial. O SO_4^- pode reagir com o Al na subsuperfície, bloqueando-o. Entretanto, em solos com elevado teor de Al, acima de 6 meq/100g, a ação do gesso como neutralizador do Al é efêmera. A maior ação neste caso seria como fonte de enxofre.

A ação deste produto permite melhor utilizar a água do solo com doses de 0-2-4-6 T/ha (Tabela 43).

Tabela 43 - Utilização relativa da lâmina de água disponível no perfil de um LE argiloso pela cultura do milho (cultivo da estação seca de 1983) após um déficit hídrico de 25 dias por ocasião do lançamento de espigas para diferentes doses de gesso.

Profundidade de amostragem	Lâminas d'água disponível	Doses de gesso (t/ha)			
		0	2	4	6
cm	mm	%			
0-10	11,2	100	100	100	100
20-Oct	11,2	93	96	93	93
20-30	11,2	92	92	92	81
30-40	8,9	94	82	82	82
40-60	17,8	47	72	78	65
60-100	35,6	0	36	58	68
100-120	17,8	0	0	55	55

Fonte: SOUSA et al. dados não publicados.

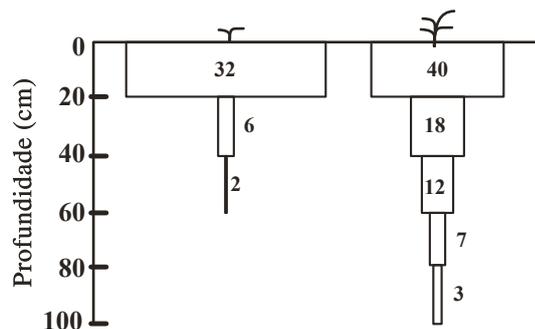


Figura 43 - Distribuição relativa (%) de raízes de milho de um perfil LV (18% de argila) de Barreiras, BA, em um tratamento com calcário (6 t/ha) + gesso agrícola (4 t/ha).

Fonte: Adaptado de SILVA & OLIVEIRA, s.n.t.

Na Tabela 44, em experimento feito na região de Barreira - BA, em Latossolo de textura média-arenosa o uso isolado das 6,0 T/ha de calcário permitiu sensíveis acréscimos de produtividade de milho, nos 4 anos agrícolas. Porém quando o gesso foi associado ao calcário a produtividade aumentou ainda mais na faixa de 40 a 60%.

Tabela 44 – Produção de grãos de milho (Centralmex) em resposta a aplicação de calcário e gesso em um LV com 18% de argila em Barreiras – BA.

Dose de calcário	Dose de gesso	Ano agrícola			
		80-81 ⁽¹⁾	81-82	82-83	83-84 ⁽²⁾
t/ha					
0	0	1,4c	0,2c	0,3b	1,3b
6	0	3,1b	1,0b	1,7ab	4,9a
6	4	5,0a	2,5a	2,0a	6,2a

Estes dados referem-se à produção de matéria seca, pois após 33 dias de veranico a produção de grãos foi frustrada. ⁽²⁾ Este cultivo recebeu irrigação suplementar. Fonte: Adaptado de (Sousa et al., 2007).

Em cana-de-açúcar, experimento de longa duração feito na região de Lençóis Paulista em Latossolo de textura média-arenosa (Tabela 45) os resultados foram os seguintes:

(1) Nos quatro cortes usando apenas o calcário houve acréscimo de 44 T/ha de cana para a dose de 2,0 T/ha de calcário; acréscimo de 56 T/ha de cana com 4,0 T/ha do calcário.

(2) Usando apenas o gesso a produtividade de cana foi crescente, com acréscimo de 29, 49 e 51 T/ha de cana nas doses de 2, 4 e 6 T/ha de gesso, respectivamente.

(3) Associando o calcário com o gesso os acréscimos foram maiores. P.ex., a associação de 4,0 T/ha de calcário com as 2,0 T/ha de gesso possibilitou um acréscimo de 87 T/ha de cana, praticamente um corte a mais no ciclo desta cultura.

Tabela 45 – Produtividade da cana-de-açúcar em TCH em solo arenoso ácido tratado com calcário e gesso (4 cortes).

Tratamentos		1° Corte	2° Corte	3° Corte	4° Corte	Soma	Difer. para testemunha
Calcário	Gesso	(7/88)	(7/89)	(8/90)	(9/91)		
t/ha		TCH					
0	0	121,8	98	88	88	395	-
0	2	128,8	103	93	100	424	29
0	4	129,7	109	96	110	444	49
0	6	130,7	109	96	111	446	51
2	0	128,8	107	94,0	110	439	44
2	2	131,4	109	98,0	116	454	59
2	4	140,4	116	99,9	112	467	72
2	6	133,1	111	95,4	117	456	61
4	0	130,0	110	97	113	449	56
4	2	140,0	119	100	125	482	87
4	4	133,5	119	102	116	469	73
4	6	135,1	129	95	113	471	76
6	0	126,1	106	95	112	439	44
6	2	128,8	110	104	125	467	72
6	4	130,7	109	96	117	452	57
6	6	126,7	117	103	126	472	77

5.10 Recuperação química em solos com baixa saturação por bases

5.10.1 Solos arenosos de CTC baixa

O exemplo da Tabela 46 corresponde a renovação de área com cana-de-açúcar em Latossolo de textura média-arenosa da Usina São Luiz em Pirassununga-SP. As áreas dos talhões 65 e 77 tinham sustentado 4 cortes e estavam com os níveis da saturação de bases

muito baixos, 15% e 18% na camada superficial dos dois talhões, respectivamente. Na subsuperfície o nível de Mg estava abaixo do limite crítico.

O procedimento da recuperação química constou das seguintes etapas:

- Liberação da área para reforma em julho de 92. Preparo convencional do solo (grade de 32", seguido de grade de 26" e 22"). Foi aplicado calcário de PRNT 80% para atingir 60% da saturação das bases, acrescido de 30% do cálculo teórico, dando um valor de 3,0 T/ha. A seguir aplicou-se o gesso (1,5 T/ha). Aplicação de 100 kg/ha de P_2O_5 em área total de superfosfato simples e plantio da soja em novembro/92. Colheita da soja em março/93 e plantio direto da cana em abril/93.

Após 6 meses de aplicação dos corretivos foi feita nova amostragem dos solos cujos resultados (Tabela 46) indicaram o seguinte: Os níveis de saturação das bases atingiram os valores desejados na camada superficial. Na subsuperfície os valores de V% de 7% passaram para 27% e 20%, respectivamente nos talhões 65 e 77. Na faixa de 50 a 80 cm de profundidade o aumento do V% foi também observado.

Tais resultados vem indicar que a recuperação química é relativamente rápida (6 meses) em solos de baixa CTC, independentemente da textura.

Tabela 46 – Recuperação química em área de Cerrado. (LV- Textura Média arenosa, álico), na Usina São Luiz – Pirassununga.

Talhão	Prof.	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	V	Al	S-SO ₄
	(cm)	ppm	e.mg/100ml				%		µg/cm ³	
Antes da Destruição da Soqueira - Linha da Cana (31/07/92)										
65	0-20	13	0,10	0,39	0,16	0,66	4,3	15	60	5,5
	20-50	2	0,04	0,20	0,01	0,73	3,3	7	74	18,0
	50-80	1	0,03	0,13	0,01	0,55	2,7	6	76	4,0
Pré-colheita da Soja (21/03/86) - Após correção										
65	0-20	59	0,18	1,41	0,84	0,05	4,4	58	2	24,0
	20-50	16	0,05	0,75	0,29	0,15	4,0	27	12	56,0
	50-80	2	0,05	0,50	0,21	0,25	3,6	21	24	68,0
Antes da Destruição da Soqueira - Linha de Cana										
77	0-20	2	0,04	0,50	0,33	0,46	4,7	18	65	8,0
	20-50	1	0,04	0,21	0,06	0,67	4,1	7	68	17,0
	50-80	2	0,02	0,15	0,01	0,45	3,1	5	71	7,0
Pré-colheita da Soja - Após correção										
77	0-20	74	11,0	2,44	0,83	0,5	5,0	67	1	56,0
	20-50	10	0,08	0,51	0,15	0,32	3,6	20	31	47,0
	50-80	2	0,04	0,38	0,15	0,44	3,5	17	43	61,0

5.10.2 Solos argilosos de CTC elevada

Esta é uma condição mais difícil e mais cara de recuperação, justamente devido ao fato do elevado poder tampão destes solos. O exemplo corresponde a um Latossolo argiloso (Tabela 47) em área pertencente a Usina São José, em Macatuba-SP. A CTC na camada superficial está na faixa dos 10 meq/100g, e a saturação das bases na faixa de 2%. O teor de Al é elevado tanto na superfície como na subsuperfície. O teor de fósforo (não indicado) estava na faixa dos 3 ppm.

O procedimento de recuperação foi semelhante ao caso anterior, porém usando arado para a incorporação dos corretivos. O teor de calcário ficou na faixa das 7,5 T/ha e a do gesso em 2,5 T/ha. Após 7 meses de plantio da cana, em outubro 93, foi feita nova análises dos solos cujos resultados indicaram o seguinte:

(1) Os teores usados dos corretivos permitiram atingir os valores do V% nos níveis desejados de 60% nas duas áreas.

(2) Na 2ª camada o efeito foi também significativo, devido a ação do gesso.

(3) Observe que no caso da Fazenda 22, a correção do V% em profundidade foi mais eficiente do que no caso da área da Fazenda 20. Tal fato se deve a menor CTC do solo da Fazenda 22.

(4) Houve pouco efeito na neutralização do Al em profundidade, indicando que o gesso não teve efeito significativo neste caso. Entretanto, a ação do calcário na camada superficial teve sensível efeito positivo na redução do teor do Al.

Como pode-se verificar nestes exemplos, é perfeitamente possível fazer uma recuperação química tanto em superfície como em subsuperfície.

Em casos de solos álicos ou distróficos de elevada CTC, sugere-se o seguinte procedimento em termos de recuperação química:

(1) Como o poder tampão é elevado é preferível ir recuperando ao longo dos anos do que tentar fazer numa única vez.

(2) Não esquecer que a recuperação química dos solos de elevada CTC é mais demorada do que os solos de baixa CTC, porém uma vez atingido os valores desejados, a queda da fertilidade também é mais demorada.

Tabela 47 – Recuperação química em Latossolo argiloso de CTC elevada – usina São José, Macatuba – SP.

FAZENDA 20 – LOTE 08 (plantio 93)										
Prof. cm	Antes do plantio					7 meses após o plantio				
	meq/100 cm ³					meq/100 cm ³				
	Al	Ca	Mg	CTC	V%	Al	Ca	Mg	CTC	V%
0-25	1,60	0,11	0,03	10,62	2	0,20	5,11	0,82	10,70	56
25-50	1,55	0,02	0,04	6,44	1	1,24	1,77	0,38	11,12	20
50-75	1,45	0,02	0,05	9,91	1	1,50	0,53	0,07	12,15	5
75-100	1,53	0,08	0,04	10,51	1	1,50	0,36	0,06	12,67	4

FAZENDA 22 – LOTE 04 (plantio 93)										
Prof. cm	Antes do plantio					7 meses após o plantio				
	meq/100 cm ³					meq/100 cm ³				
	Al	Ca	Mg	CTC	V%	Al	Ca	Mg	CTC	V%
0-25	1,00	0,05	0,04	8,16	2	0,06	5,11	0,26	9,10	60
25-50	0,95	0,06	0,03	6,53	2	1,00	1,90	0,13	7,34	28
50-75	0,80	0,09	0,04	4,85	3	1,00	1,14	0,10	6,53	19
75-100	0,85	0,05	0,02	4,78	2	1,00	0,95	0,09	5,77	18

5.11 Procedimento do uso do calcário e do gesso

Como já foi visto, o melhor efeito do gesso como transportador de cátions em profundidade se dará com a aplicação antecipada do calcário. Entretanto numa atividade agrícola em grandes áreas tal procedimento na maioria das vezes não pode ser seguido.

Como fazer? Armazenar no campo montes de calcário ao lado dos montes de gesso. Iniciar com a aplicação do calcário. Logo após aplicar o gesso sobre o calcário. Incorporar. Se durante a aplicação do calcário começar a ventar, parar tal aplicação, porém iniciar a aplicação do gesso que é mais pesado e permite a operação com vento.

Tal procedimento foi utilizado nos exemplos das recuperações químicas aqui apresentadas, cujos resultados foram satisfatórios o que permitiu manter um razoável nível de eficiência operacional, apesar de tecnicamente não ser a mais indicada.

5.12 A dinâmica das bases em cana-de-açúcar

Após as correções químicas usando o calcário e o gesso e ao longo do tempo, os teores das bases, principalmente Ca e Mg tendem a cair mais rapidamente nos solos de baixa CTC e mais lentamente nos solos de elevada CTC. As maiores produtividade da cana-de-açúcar, em Lençóis Paulista (Tabela 48) foram obtidas com a associação do calcário com o gesso. Os dados das análises de solos, no caso a saturação das bases e os teores de cálcio e magnésio estão indicados na Tabela 49. Tais análises de solos foram feitas aos 8 e 18 meses após plantio.

Observações:

A recomendação usual de calcário para atingir os 60% da saturação das bases foi de 2,5 T/ha. Note que tal valor não foi atingido. Nesta relação tome como exemplo as doses de calcário aos 8 meses. Note que à medida que houve aumento do calcário o V% aumentou não só na superfície como na subsuperfície ou seja de 10% entre 25-50 cm de profundidade na testemunha passou para 20 e 22% nas doses de 2,0 e 4,0 T/ha, indicando que em solos de baixa CTC há efeitos da correção pelo calcário também em profundidade.

Após 18 meses do plantio e com a aplicação do calcário há uma redistribuição das bases em profundidade, com queda pouco acentuada na superfície do solo. O uso do gesso isolado tende a aumentar o V% principalmente em profundidade, (efeito da diluição) com maior eficiência do que o calcário, porém o aumento tende a ficar na faixa dos 15% a 25%.

Quando há associação do calcário com o gesso a redistribuição em profundidade é mais eficiente principalmente aos 18 meses. Tome como exemplo os teores de 4,0 T/ha calcário e gesso e compare com a testemunha. Entretanto após os 18 meses começa a haver um empobrecimento na superfície com queda na saturação das bases.

A Tabela 49 indica a dinâmica do Ca e Mg após os 18 meses de plantio. Observe o empobrecimento do Mg quando se utiliza somente o gesso, no tratamento 4,0 T/ha de gesso. O teor de Mg na testemunha na superfície era de 0,17 meq/100g e passou para 0,06 meq/100g com o gesso. Na profundidade de 100-125 cm o teor de Mg na testemunha era de 0,02 meq/100g e passou para 0,13 meq/100g no tratamento com gesso indicando que este produto pode lixiviar. Por outro lado, quando se associa o calcário com o gesso há

um enriquecimento seguro em profundidade inclusive do Mg. Tome como exemplo as quantidades de 4,0 T/ha de calcário e 2,0 T/ha de gesso e compare com a testemunha.

Tabela 48 – Caracterização química do Latossolo Vermelho Escuro Distrófico no experimento com diversas doses de calcário e gesso aos 8 e 18 meses após o plantio.

Calcário (T/ha)	Profundidade (cm)	Saturação de bases (%)							
		8 meses				18 meses			
		0	2	4	6	0	2	4	6
0	0-25	13	17	23	26	16	15	19	21
	25-50	10	16	23	23	7	13	17	19
	50-75	9	14	22	21	7	15	16	22
	75-100	ND	ND	ND	ND	7	13	17	24
	100-125	ND	ND	ND	ND	5	11	16	20
2	0-25	31	36	43	37	30	27	36	37
	25-50	20	17	26	25	12	22	26	21
	50-75	12	14	19	26	8	19	26	25
	75-100	ND	ND	ND	ND	8	16	23	24
	100-125	ND	ND	ND	ND	6	13	17	25
4	0-25	44	41	53	55	41	34	46	46
	25-50	19	21	24	30	12	19	26	25
	50-75	16	13	25	29	12	20	23	25
	75-100	ND	ND	ND	ND	10	15	25	24
	100-125	ND	ND	ND	ND	11	17	18	26
6	0-25	60	60	58	62	47	57	45	55
	25-50	22	28	23	33	11	25	21	27
	50-75	11	23	24	21	9	22	26	25
	75-100	ND	ND	ND	ND	11	22	24	32
	100-125	ND	ND	ND	ND	13	16	18	34

OBS.: ND = NÃO DETERMINADO

Tabela 49 – Caracterização química do Latossolo Vermelho Escuro distrófico no experimento com diversas doses de calcário e gesso aos 18 meses após o plantio.

Calcário (T/ha)	Profundidade (cm)	Ca (meq/100ml)				Mg(meq/100ml)			
		18 meses				18 meses			
		0	2	4	6	0	2	4	6
0	0-25	0,40	0,56	0,77	1,12	0,17	0,07	0,06	0,06
	50-75	0,13	0,32	0,38	0,67	0,06	0,08	0,06	0,08
	100-125	0,08	0,19	0,30	0,42	0,02	0,08	0,13	0,13
2	0-25	0,71	0,89	1,30	1,79	0,42	0,26	0,36	0,20
	50-75	0,13	0,38	0,59	0,70	0,06	0,16	0,19	0,12
	100-125	0,07	0,19	0,32	0,57	0,04	0,08	0,12	0,17
4	0-25	1,06	1,26	1,85	2,03	0,74	0,47	0,50	0,36
	50-75	0,19	0,42	0,47	0,61	0,10	0,19	0,16	0,15
	100-125	0,15	0,29	0,31	0,50	0,08	0,14	0,17	0,24
6	0-25	1,23	1,74	1,57	2,05	0,89	0,87	0,53	0,56
	50-75	0,13	0,44	0,60	0,59	0,07	0,22	0,22	0,19
	100-125	0,18	0,23	0,30	0,62	0,10	0,15	0,18	0,38

Em cana-de-açúcar e em solos arenosos em profundidades de 0-25 cm e 25-50 cm foi feito um experimento de longa duração com o uso do calcário e do gesso. Após o 1º corte da cana, ou seja, em torno de 20 meses após a aplicação dos corretivos, a saturação das bases na camada superficial era de 52% e na camada 20-50 cm de 38%. Tais valores vem indicar a eficiência da correção feita pois na testemunha os valores nas duas profundidades do V% era de 15 e 7%, respectivamente.

Após o 2º corte, ou seja, 32 meses após a correção o V% caiu para 40 e 29% respectivamente na 1ª e 2ª camadas e assim sucessivamente até o 5º corte, ou seja, 68 meses após as aplicações. Note que após 5 cortes o nível do V% estava exatamente semelhante ao nível inicial da testemunha.

Tais resultados vem indicar que em solos de baixa CTC a queda da saturação das bases é relativamente rápida, em torno de 5 anos. Isto significa que as aplicações dos corretivos nestes tipos de solos têm que ser feitas com uma frequência inferior a 5 anos, no caso a cada 3 em solos de CTC menores (Figura 44)

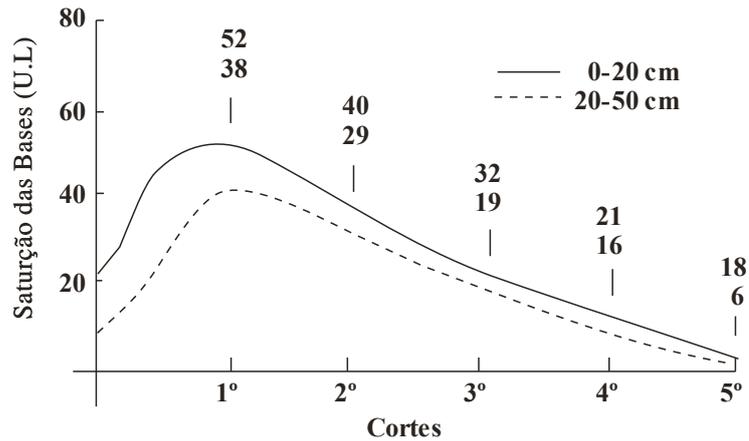


Figura 44 - Evolução da saturação das bases ao longo dos cortes da cana-de-açúcar em solo com 15-25% argila, álico. Usina da Barra Grande - Lençóis Paulista, SP.

5.13 Reaplicações do calcário e do gesso em culturas e em cana-de-açúcar

Como foi visto anteriormente após a recuperação química por ocasião do plantio a tendência da saturação das bases é cair e conseqüentemente o pH e por tabela a disponibilidade dos nutrientes. O que deve ser feito?

Mediante análises de solos é necessário reaplicações dos corretivos ao longo do ciclo da cultura como indicado na Figura 45. Tais reaplicações tende a aumentar novamente os teores de bases tanto na superfície como na subsuperfície.

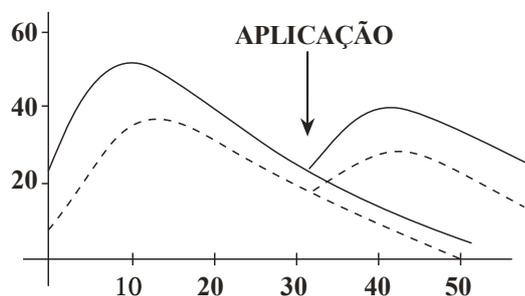


Figura 45 - Reaplicação do calcário ou do gesso no meio do ciclo da cultura de cana-de-açúcar.

Na Usina São Jose, em Macatuba, SP, safra 92/93 foi feito um experimento em soqueira de cana-de-açúcar com as reaplicações dos corretivos em solos de textura média, Tabela 50.

O uso isolado do calcário, faixa de 2,0 T/ha, aumentou pouco a produtividade. Quando associado com o fósforo o aumento foi maior. Neste caso, o uso do calcário aumentou a disponibilidade do fósforo. O uso isolado do gesso foi mais eficiente do que o calcário com 10 a 12 T/ha de acréscimo. Isto se deve ao fato, do gesso ser mais solúvel (20 x) do que o calcário. O uso do P com o gesso não teve aumento da produção quando comparado somente com o gesso devido ao fato do gesso conter P em sua constituição. Com o uso dos corretivos a área saiu da reforma.

Tabela 50 – Resultados médios em t/ha em soqueira de cana-de-açúcar, em quatro áreas experimentais, com o uso de calcário e gesso – Usina São José – Macatuba – SP, ano agrícola 92/93.

Tratamentos	Área Experimental				Média t/ha
	1	2	3	4	
1 – NK + calcário (2 t/ha)	68.4	78.4	87.9	46.3	70.3 a
2 – NPK + calcário (2 t/ha)	70.4	81.4	91.8	56.6	75.0 b
3 – NK + gesso (2 t/ha)	78.8	88.7	94.7	56.3	79.6 bc
4 – NPK + gesso (2 t/ha)	85.1	88.3	85	60.3	79.6 bc
5 – NK + gesso (4 t/ha)	73.9	84.6	97.5	53.3	77.3 bc
6 – NPK + gesso (4 t/ha)	82.4	87.9	82.2	60.9	78.3 bc
7 – NK + calcário + gesso (2+2 t/ha)	72.5	85.4	91.8	54.2	75.9 b
8 – NPK + calcário + gesso (2+2 t/ha)	67.4	85.5	92.2	57.1	75.5 b
9 – NK + calcário + gesso (2+4 t/ha)	72	87.3	93.6	55.5	77.1 bc
10 – NPK + calcário + gesso (2+4 t/ha)	78.7	93.6	92.9	59.8	81.5 bc
11 – NK	68	72.4	83.8	43	66.8 a

LSD – 6,9 (5%) Sd = 9,6%

As análises químicas destes experimentos, 12 meses após a aplicação dos insumos, indicou sensível melhora nos teores de Ca e Mg tanto na superfície como em profundidade (Tabela 51). Novamente fica o alerta dos inconvenientes do uso isolado do gesso no empobrecimento do Mg. Ver o T5 da área 3 em relação ao teor de Mg e compare com os teores da testemunha. O teor de Mg na superfície do T11 foi de 0,26 meq/100g

enquanto, que no T5 o teor já caiu para 0,14 meq/100g, com sensível empobrecimento. Por outro lado, o tratamento T9 que levou calcário e gesso, respectivamente 2,0 e 4,0 T/ha apresentou um excelente enriquecimento tanto em Mg como em Ca.

A saturação das bases, com valor de 19% na camada superficial do tratamento testemunha passou para 49% no T9, melhorando sensivelmente as camadas mais inferiores. Novamente, o T1, que levou somente o calcário, teve aumento no V% somente na camada superficial.

Tais resultados vem indicar que é perfeitamente possível melhorar as condições químicas tanto da superfície como da subsuperfície em culturas semi-perenes ou perenes usando o calcário associado ao gesso.

Tabela 51 – Análise química dos solos com a aplicação de calcário e gesso em soqueira de cana-de-açúcar, na Usina São José - Macatuba – SP, ano agrícola 92/93.

Profundidade cm	Análise do solo após 12 meses									
	Área 2					Área 3				
	**T ₁₁	T ₁	T ₃	T ₅	T ₉	T ₁₁	T ₁	T ₃	T ₅	T ₉
	Ca (emg/100ml)					Ca (emg/100ml)				
0-25	0,58	0,80	0,61	0,80	1,47	0,57	0,75	0,87	0,86	1,70
25-50	0,43	0,45	0,54	0,58	0,83	0,37	0,27	0,44	0,48	0,55
50-75	0,44	0,23	0,42	0,42	0,74	0,25	0,25	0,28	0,33	0,36
75-100	0,20	0,23	0,28	0,45	0,61	0,25	0,25	0,29	0,27	0,29
	Mg (emg/100ml)					Mg (emg/100ml)				
0-25	0,25	0,48	0,15	0,16	0,65	0,26	0,40	0,19	0,14	0,73
25-50	0,13	0,12	0,14	0,13	0,25	0,22	0,18	0,12	0,07	0,23
50-75	0,13	0,10	0,13	0,12	0,34	0,09	0,15	0,10	0,13	0,19
75-100	0,10	0,10	0,10	0,15	0,17	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11
	V%					V%				
0-25	29	38	34	27	44	19	29	23	23	49
25-50	17	20	19	18	25	20	19	15	16	20
50-75	17	11	16	16	25	12	13	13	16	17
75-100	14	14	15	22	22	12	16	12	15	16

(**) T₁₁ = NK, (controle, sem calcário e gesso).

T₁ = NK + 2 T/ha calcário; T₃ = NK + 2,0 T/ha gesso; T₅ = NK + 4,0 T/ha gesso

T₉ = NK + 2,0 T/ha calcário + 4,0 T/ha gesso

5.14 Recomendações do calcário e do gesso em culturas semi-perenes e perenes

Utilize os dados analíticos da 1ª camada feitas nas profundidades de 0-20 para a recomendação do calcário e da 2ª camada 20-50 cm para a recomendação do gesso. Os dados a seguir (Tabela 52) resumem 5 exemplos de solos com valores variáveis de CTC (m.eq/100g) e V%, tanto na superfície como na subsuperfície.

Tabela 52. Resumo de 5 exemplos de solos com valores variáveis de CTC (m.eq/100g) e V%, tanto na superfície como na subsuperfície.

Profundidade cm	Exemplo 1		Exemplo 2		Exemplo 3		Exemplo 4		Exemplo 5	
	CTC	V								
0-20	5	52	8	20	7,5	25	3,5	24	12	58
20-50	4	12	6	49	4,0	14	2,0	30	9	45

Exemplo 1: há necessidade apenas de gesso (2,0 T/ha), pois o V% é muito baixo, 12%. Na superfície o V% está na faixa de 52% o que é razoável.

Exemplo 2: há necessidade de calcário para elevar a 50% do V, no caso na camada superficial. A divisão por 2 significando que não haverá incorporação do calcário. Quanto ao gesso não há necessidade pois o V% está acima dos 40%.

Exemplo 3: haverá necessidade tanto do calcário como do gesso.

Exemplo 4: haverá também necessidade dos dois insumos, calcário e gesso.

Exemplo 5: não há necessidade, pelo menos neste período.

6 CAPÍTULO 6: DIAGNÓSTICOS EM ÁREAS COM RESTRIÇÕES QUÍMICAS E FÍSICAS AO DESENVOLVIMENTO RADICULAR

6.1 Considerações iniciais

Na maioria dos casos de recuperação de solos ela é feita levando-se em consideração uma associação de tratamentos mecânicos, químicos e orgânicos. Entretanto, para efeitos puramente didáticos tais procedimentos serão separados. Neste item serão observadas as práticas necessárias para atenuação dos seguintes fatores limitantes:

O diagnóstico das restrições ao desenvolvimento radicular pode ser feito com a avaliação dos sintomas do vegetal, do sistema radicular e do solo. Abertura de trincheiras de 80 a 100 cm de profundidade que possibilite o exame do sistema radicular e do próprio solo. Amostragem do solo pelo menos em duas profundidades, 0-20 e 20-50 cm. Análise química convencional das amostras de solos incluindo micronutrientes. Avaliação dos resultados e tomada de decisões.

A Tabela 53 resume uma série de informações químicas e físicas e da quantidade de raízes em Latossolo de textura média arenosa, com cultura de cana-de-açúcar da região de Lençóis Paulista em SP. O ano agrícola foi o de 83/84.

Nos locais 1 e 3 o solo apresentou restrição química, principalmente, na 2' camada, com V% abaixo dos 20%. Como tais solos são de textura média-arenosa os valores da densidade de 1,45 a 1,55 g/cm³ são considerados normais. Além disso, o teor de raízes não indicou compactação. No local 2 não há restrição química, uma vez que o V% está na faixa dos 60% tanto na superfície como na subsuperfície. Entretanto, há restrição física, no caso a compactação, indicada pelo valor da densidade de 1,60 g/cm³ e pela pequena quantidade de raízes na 2' camada. Note que a quantidade de raízes da 1' e 3' camadas são maiores do que na 2' camada.

No local 4 o problema é bem mais grave pois apresenta restrição química nas duas camadas, com valores de V% extremamente baixos, e física indicada pela pequena quantidade de raízes da 2' camada assim como pela maior densidade, 1,65 g/cm³. No local 5 os problemas são semelhantes ao do local 4.

O que deve ser feito? No caso de uma restrição química seguir o procedimento já visto no capítulo anterior.

No caso de uma restrição física, ou seja, a compactação. Nas soqueiras de cana-de-açúcar ela não pode ser atenuada, principalmente se estiver localizada na linha da cultura. A recomendação seria a de cultivar a entrelinha com a finalidade de melhorar a infiltração da água, favorecendo assim uma condição pouco melhor para a cultura. A resolução do problema está na reforma da área. Não esquecer, entretanto que uma melhoria no sistema químico tende a atenuar o problema da compactação.

Tabela 53 – Distribuição da densidade de raízes (nº/dm²) em relação a camada compactada e variação da fertilidade do solo, em cana de açúcar. Usina Barra Grande – SP.

Local	Posição do Perfil	Densidade	Raízes nº/dm ²	V %	Al %	Argila %
1	Superficial	-	3,85	42	6	10
	Compactada	1,57	3,60			12
	Subsuperficial	1,44	2,00	19	48	16
2	Superficial	-	6,60	60		14
	Compactada	1,62	1,70			18
	Subsuperficial	1,39	2,40	65		26
3	Superficial	-	7,80	40	8	8
	Compactada	1,43	1,50			10
	Subsuperficial	1,43	1,60	12	71	12
4	Superficial	-	2,30	7	84	12
	Compactada	1,65	0,60			14
	Subsuperficial	1,32	1,10	5	8	16
5	Superficial	-	9,20	34	8	10
	Compactada	1,69	1,90			12
	Subsuperficial	1,54	2,10	11	64	14

Fonte: Copersucar: Projeto 006-11-50-84-005/02. Usina Barra Grande, 1984.

6.2 Recomendação de gesso

As recomendações de gesso como translocador de nutrientes em profundidade não tem ainda um adequado apoio de base científica. A seguir estão indicadas as diversas opções para o uso do gesso.

Usar as análises de solo da 2ª camada (20 ou 25 a 40 ou 50 cm).

1. Necessidade de gesso NG (T/ha) = $(0,4 \cdot CTCe - m.eq \text{ Ca}/100 \text{ cm}^3) \times 2,5$ (suficiente para elevar o teor de Ca trocável ou diminuir em $1 \text{ m.eq Al}/100 \text{ cm}^3 = 2,5 \text{ t gesso}$);

2. NG (T/ha) = $(m.eq \text{ Al}/100 \text{ cm}^3 - 0,2 \cdot CTC) \cdot 2,5$;

3. NG 30% da base de calcário (incluir 30% além da dose de calcário);

4. NG Levar em consideração teores de CTC, saturação de bases, de acordo com a Tabela 55;

5. $NG(kgCa/ha) = 71,95 + 0,688 \text{ Argila } \% + 33,51 \frac{Ca \text{ ret.}}{Ca \text{ solução}} 0,219 \cdot \text{Arg. } \%$

6. NG em função dos teores da textura dos solos, de acordo com a Tabela 54.

Tabela 54 – Classes texturais e recomendação de gesso

Textura	Gesso (t/ha)
Arenosa	0,5
Média	1,0
Argilosa	1,5
Muito argilosa	2,0

A recomendação baseada na CTC, saturação de bases e T/ha, foi desenvolvida para cana-de-açúcar, mas se aplica para outras culturas (Tabela 55).

Tabela 55 - Teores de gesso em função da CTC, saturação de bases e T/ha.

CTC meq/100 cm ³	V%	T/ha
Menor 3	Menor 10	2,0
	10-20	1,5
	21-40	1,0
3-6	Menor 10	3,0
	10-20	2,0
	21-40	1,5
6-12	Menor 10	4,0
	10-20	3,0
	21-40	2,0

6.3 Complementação da recuperação química

A construção da fertilidade do solo iniciada pelo aumento da saturação de bases tanto na superfície através do uso do calcário e do gesso passa também pelo aumento dos estoques no solo de fósforo e do potássio e dos micronutrientes.

Quanto ao fósforo e dependendo do tipo de cultura os procedimentos podem ser os seguintes:

a) Em culturas anuais e em áreas com baixo teor de P

Com teores abaixo de 10 ppm de P é recomendado uma fosfatagem na faixa de de 90 (solos arenosos) a 120 (solos argilosos) kg/ha de P₂O₅ usando fosfato solúvel ou fosfato natural reativo. Nas adubações de manutenção usar sempre as bases nas Tabelas de reposição. (Tabelas de calibração).

b) Em culturas anuais e em áreas com elevado teor de P

Neste caso usar as recomendações usuais.

c) Em culturas semi-perenes, cana-de-açúcar, e em solos com baixo teor de P

- Recomendável, antes do plantio, fazer fosfatagem na faixa de 90 a 120 kg/ha de P_2O_5 .

- No plantio usar P suficiente para os três primeiros cortes. A partir daí usar 35 a 40 kg/ha de P_2O_5 nos demais cortes, associado com corretivos.

- Em áreas com elevado teor de fósforo, usar no plantio o suficiente para os 5 cortes.

d) Em culturas perenes e em área com baixo teor de P.

- Recomendável, antes do plantio, fazer fosfatagem somente na faixa de plantio, em torno de 90 a 120 kg/ha, usando se possível fósforo solúvel ou fosfatos naturais reativos.

- No plantio seguir a recomendação usuais e a partir daí, fazer o monitoramento normal com as análises de solo e de folhas. Havendo necessidade aplicar o P em área total na faixa da cultura.

- Em áreas com elevado teor de P seguir o procedimento usual das curvas de calibração.

e) Em pastagens em solos de baixa fertilidade

Temos aí diversas opções, a saber:

(1) Instalação e condução de pastagem em nível baixo de manejo: na instalação usar somente fósforo, em área total, faixa de 70 kg/ha de P_2O_5 em solo de textura média a arenosa e 90 kg/ha em solo argiloso. Se possível usar fonte solúvel. Na condução, a cada 3 a 4 anos voltar a fazer as reaplicações, também, em área total, e se possível mediante avaliações da potassagem e das análises de solo.

- Num nível elevado de manejo, porém em solos de baixa fertilidade: há necessidade de se tratar a pastagem como se fosse uma cultura normal. O uso do corretivo é obrigatório, inclusive do gesso se for possível, assim como do N e K. Quanto ao P as recomendações são semelhantes aos casos anteriores.

- Em solos de elevado teor de P: o procedimento é o de seguir as recomendações das curvas de calibração. O P deve ser aplicado em área total, forma solúvel, apenas para a manutenção.

(2) Quanto ao K o procedimento é um pouco diferente do que P. Como estes cátions é mais solúvel do que o P e o co-íon normalmente são o Cl^- , ânion não específico, a translocação em profundidade do K^+ é grande. De maneira geral, os experimentos sobre potassagem tem dado os resultados esperados em culturas anuais, como soja, milho e em culturas perenes na faixa de plantio.

Tem sido recomendado, principalmente, em solos de baixo teor em K são as de aplicações 10 a 15% a mais do que a recomendação das curvas de calibração com o intuito de enriquecer o solo. Em culturas a recomendação é a da aplicação no sulco de plantio ou ao lado da planta, bandeado ou não nas culturas perenes ou semi-perenes.

(3) Quanto ao uso dos micronutrientes são necessárias algumas considerações, a saber:

a. Os solos, dependendo do material de origem, do teor de matéria orgânica e do pH, podem apresentar apreciável teores de micro.

b. Os adubos e corretivos assim como os fungicidas podem trazer micronutrientes agregados.

c. Havendo deficiência, constatado por diagnóstico foliar ou pelas análises de solos, fazer as aplicações necessárias. Normalmente, há micro com maior ação quando aplicado no solo (como as fritas) enquanto outro tem maior eficiência quando aplicado nas folhas.

6.4 Relação Ca/Mg em solos de baixa CTC e a constante de Gapon

O que ocorre seria uma relação entre os íons trocáveis do solo versus os íons em solução do solo. Para ter uma ideia, íons trocáveis equivalem a 95 a 98% do total. A relação de interesse seria expressa pela equação:

$$\frac{K \text{ trocável} / Ca \text{ trocável} + Mg \text{ trocável} \dots}{(Ca^{2+} \text{ solução} + Mg^{2+} \text{ solução})^{1/2}} > \text{constante de Gapon (k)} \times K^+ \text{ solução}$$

Nesta equação o **k** se refere a constante de Gapon, e K, Ca e Mg cátions trocáveis do solo e K, Ca e Mg cátions na solução do solo (podem ser absorvidos). Na constante da Gapon há necessidade de levar em consideração as características para as condições experimentais, variando com tipo de coloide, densidade de carga (do coloide) e a saturação de cátions, uma vez que, a constante de Gapon (**k**) nada mais é do que uma associação entre diferentes concentrações de cátions na solução de equilíbrio do solo e uma mesma relação de cátions trocáveis. Isto porque, não havendo diminuição considerável dos cátions trocáveis e sendo **k** uma constante dentro de limites bastante amplos, a relação de concentração de $K / (Ca + Mg)^{1/2}$ passa a ser constante.

Trocando em miúdos: qual a relação prática disso tudo?

Se a solução do solo for reduzida em volume pela seca, pela evaporação, pelo fertilizante aplicado, parte dos cátions monovalentes da solução do solo, trocará com cátions bivalentes do solo a fim de manter a constante **k**. Se ao contrário, a solução do solo for diluída pela irrigação ou chuvas, haverá necessidade de troca de cátions divalentes da solução com cátions monovalentes do solo para manter o equilíbrio.

Portanto, esta equação permite descrever as condições em que se mantém o equilíbrio iônico do solo, entre os cátions em solução e os cátions trocáveis, isto se houver alteração da solução do solo, seja pela adição de água por irrigação ou chuvas, pela adição de sais como fertilizantes, pela seca.

A relação $K^+ \text{ solução} / Ca^{2+} \text{ solução}$ tende a ser constante se não houver significativa alteração nas quantidades dos cátions trocáveis. Tal fato foi mencionado na

forma da “lei das relações” por Schofield, (1947), da seguinte forma: “quando cátions em solução estão em equilíbrio com uma quantidade maior de cátions trocáveis uma mudança na concentração da solução não perturbará o equilíbrio e as concentrações dos cátions monovalentes variarem em uma relação, e as concentrações dos cátions divalentes variáveis na raiz quadrada dessa relação”.

Em outras palavras a concentração da solução do solo pode variar, pela extraído de alguns cátions pelas plantas, em geral em proporções diferentes das que ocorrem nos solos pela adição de sais como adubos, pela diluição da solução do solo por água adicionada e pela concentração provocada pela evaporação da água. Em cada um destes casos deve haver ajustes dos cátions em solução à custa dos trocáveis a fim de ser mantido o equilíbrio como indicado na expressão.

O cálcio como o magnésio são retidos com maior energia e conseqüentemente estão em maior quantidade. Sendo assim é inevitável que uma elevada concentração de Ca, na faixa de 60%, pode inibir a absorção de K na faixa de 1%, ou de 60% de Ca para digamos 5% de Mg.

A distribuição destes cátions em função da CTC em solos férteis, como nas terras roxa eutrófica (V% de 65) tem sido a seguinte: Ca = 40 a 45% da CTC; Mg = 15-20%; K= 3 a 5% numa relação Ca/Mg de 2:1 e 3:1. É lógico que tal proporção depende de uma série de fatores tais como o material de origem; clima; práticas de cultivo etc.

Devido a tais valores tem havido nos meios acadêmicos muita discussão a respeito de qual seria as melhores relações para se obter razoáveis produtividades. Os resultados da Tabela 56 resume a soma da produtividade de 4 cortes de cana-de-açúcar, em trabalho de Morelli et al., feito em Latossolo de textura média-arenosa usando calcário e gesso. As análises de solo, inclusive Ca e Mg foram feitas 28 meses após o plantio, em solo de CTC baixa (4,0 meq/100g).

Foi observado que o uso do gesso tende a ampliar a relação Ca/Mg. Na testemunha tem-se uma relação de Ca/Mg 2,3/1, passando para 8,0/1, 12,8/1 e 13,6/1 respectivamente para os teores de 0-2-4 e 6 t/ha de gesso.

O uso do calcário tende a reduzir a amplitude da relação Ca/Mg. Com o uso de 0-2-4 e 6 t/ha de calcário com teor de Mg₀ de 9% e 80% de PRNT reduziu a relação de 2,3/1 para respectivamente 1,6/1, 1,4/1 e 1,3/1.

A associação do calcário com o gesso pode ampliar ou reduzir a relação dependendo das quantidades usadas. Com o tratamento 4+2 (calcário e gesso) a relação ficou na faixa de 2,6/1 e na relação 4+6 ficou na faixa de 5,6/1.

6.5 Produtividade e a relação Ca/Mg

Acréscimo de 44 t/ha de cana foi conseguido com uma relação Ca/Mg de 1,6/1,0 estreita, e de 49 t/ha de cana numa relação de 12,8/1, larga, (Tabela 56). Neste caso, não há diferença na produção de cana, mas há significativa diferença na relação Ca/Mg.

Acréscimo de 56 t/ha numa relação estreita de 1,4/1,0 e acréscimo de 76 t/ha numa relação larga de 5,6/1,0. As maiores produtividades, de 76 t/ha e 87 t/ha foram obtidas por relações larga 5,6/1,0 e estreita, 2,6/1,0. Portanto não há diferença nas relações.

Tabela 56 – Relação Ca/Mg em experimento de longa duração com cana de açúcar, em Latossolo de textura média-arenosa, região de Lençóis Paulista – SP.

Tratamento		Produtividade Soma 4 cortes t/ha	Diferença com testemunha	Diferença		
Calcário	Gesso			Ca	Mg	Ca/Mg
				m.eq/100g		
0	0	395	-	0,4	0,13	2,3/1
0	2	424	29	0,6	0,07	8,0/1
0	4	444	49	0,8	0,06	12,8/1
0	6	446	51	1,1	0,06	13,6/1
2	0	439	44	0,7	0,42	1,6/1
4	0	449	56	1,1	0,70	1,4/1
6	0	439	44	1,2	0,90	1,3/1
4	2	482	87	1,26	0,47	2,6/1
4	6	471	76	2,00	0,36	5,6/1

De acordo com tais resultados conclui-se que:

Em solo de baixa CTC a relação Ca/Mg tem pouca correlação com a produtividade. As relações mais estreitas 2/1 a 3/1 muitas vezes recomendadas por técnicos e pesquisadores não são muitas vezes as mais indicadas. É necessário levar em consideração, em tais solo, *os níveis dos nutrientes*, tanto de Ca como de Mg, muito mais

importante do que a própria relação Ca/Mg. Observe os valores do tratamento 4+2 e 4+6 com produtividades elevadas. Tanto o Ca como o Mg estão com teores acima dos níveis crítico, principalmente para o Mg. Fica esclarecido também que em solo com CTC baixa é possível alterar as proporções de Ca/Mg.

Voltando a parte inicial do capítulo, se os teores de cátions trocáveis forem apreciáveis, os cátions (Ca e Mg) em solução manterão as proporções, independentemente como a planta irá absorver. Entretanto, se o teor do Mg trocável estiver abaixo do nível crítico, seguramente haverá deficiência deste nutriente na solução do solo.

6.6 Relação Ca/Mg em solos de alta CTC

Por outro lado, é necessária muita atenção em caso de solo com argila de alta atividade (alta CTC), principalmente os de drenagem lenta. A Tabela 57, resume dados de fertilidades de alguns solos do Brasil com CTC elevada, faixa de 22 a 130 m.eq/100.

Todo os solos escolhidos são eutróficos, de V% elevada. Note que as relações Ca/Mg são variáveis, indo na camada superficial de 2,7/7,0 até 96/1,0. Tais variáveis são devidas, principalmente, ao material de origem, ao clima e a drenagem do solo. Independentemente do solo, e nas relações Ca/Mg largas, não houve interferência do homem, a não ser em algumas correções do solo da Frutivale. (Nordeste)

As produtividades em tais solos são boas apesar da relação Ca/Mg ser muito ampla. O procedimento de manejo em tais solos de elevada CTC e saturação de bases seria o não uso de calcário, pois o pH já é superior a 7,0. Não usar o gesso pois estaria adicionando mais Ca no sistema, porém, se for o caso da remoção do sódio, use-o. Se houver necessidade, usar Mg nas adubações.

Tabela 57 – Resumo das características de perfis de solos de elevada CTC.

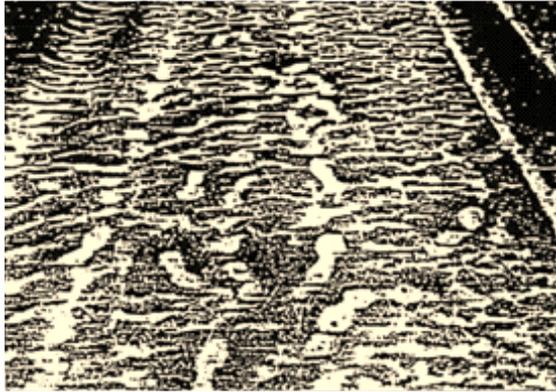
Prof. cm	Argila %	Ca	Mg	K	CTC	V %	Ca/Mg
		m.eq/100g					
Boletim 28 – Perfil 92 – Ceará							
0-20	31	24	9	0,7	35	97	2,7/1
20-40	43	13	12	0,3	31	88	1,08/1
Boletim 52 – Perfil 253 – Bahia							
0-10	40	37	4	0,5	41	100	9,2/1
30-Oct	41	38	4	0,2	42	100	9,5/1
Perfil 52 – Vale do São Francisco – Vertissolo							
0-20	42	47	2	0,11	49	95	23/1
20-40	40	44	1	0,05	46	96	44/1
Perfil 6 – Amazônia – PVA							
0-20	23	17,0	1,8	0,14	22	87	9,4/1,0
20-40	39	15,0	2,0	0,09	29	90	7,5/1,0
Frutivale – São Francisco – Vertissolo							
0-20	41	102	1,4	0,17	105	99	73/1,0
0-20	44	128	1,3	0,10	131	99	96/1,0
0-20	39	74	1,2	0,16	77	99	62/1,0

6.7 Crostas superficiais e bloqueamento de poros

As crostas superficiais podem ocorrer em solos tropicais no plantio em culturas anuais e perenes. O processo em si da crosta consta das seguintes etapas: Impacto das gotas de chuvas (natural ou artificial) sobre o solo; Dispersão das argilas (destruição parcial ou total dos agregados); e selamento posterior dos poros formando as crostas superficiais (Figura 46) ou por deflúvio carreando os sedimentos e as águas paralisam em relação aos anteparos formando uma crosta, de difícil drenagem, sendo removido através de implementos.

Na Figura 46 indica a aplicação de gesso na superfície do solo (A) e a formação de crosta (B) em Ultisolos.

A



B

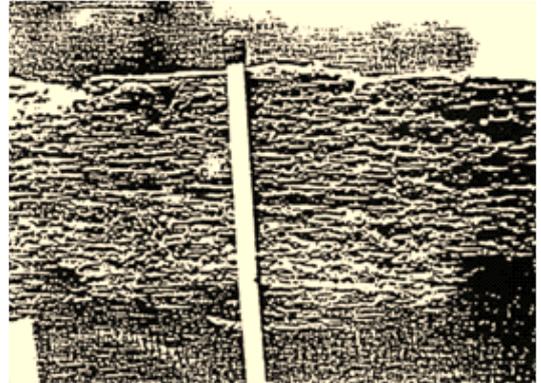


Figura 46 - Aspecto da superfície do solo (A) de um Ultisol da Georgia após a formação de uma crosta (B) (SUMMER & MILLER).

Na Tabela 58 ilustra os trabalhos feitos nos com o gesso na taxa infiltração, água escorrida, concentração de sedimento e perda de solo, para Inceptosols, Alfissóis, Ultisols segundo diversos autores. Verifica-se que o uso de gesso pode aumentar a taxa de infiltração assim como reduzir processo de erosão.

Tabela 58 – Efeito de fosfogesso em taxa final de infiltração, água escorrida e concentração de sedimento e perda de solo para Inceptosols, Alfissóis, Ultisols.

Tipo de solo e local	Taxa final de infiltração		Perdas de solo		Concentração de sedimento	
	Controle	Gesso	Controle	Gesso	Controle	Gesso
	mm/h		kg/ha		g/L	
Cecil (Typic Kanhapludult) Georgia	7,3	22,2	266	96	1,28	1,43
Whorshan (Typic Ochraquult) Georgia	0,8	2,2	1.315	732	3,96	2,96
Wedowee (Typic Hapludult) Georgia	2,3	11,0	1.135	442	3,43	3,15
Greenville (Rhodic Kandudult) Georgia	11	23	939	50	1,42	0,45
Opequon (Lithic Hapludalf) Maryland	2,3	7,5	250	80	-	-
Shorrocks (Rhodic Palestalf) South Africa	22,2	40,8	-	-	-	-
Typic Rhodoxeralf Israel	4,5	11,7	25,8	2	-	-
Rhodoxeralf Israel	4,5	11,7	66	8	-	-
Mitra (Lithic Xerochrept) Portugal	4,8	8,8	1,7	1,26	3,2	2,8
Formoso (Lithic Rhodoxeralf) Portugal	5,6	10,0	1,98	1,5	3,8	3,5
Appling (Typic Kanhapludult) Georgia	21	61	3.812	1.458	4,2	2,2
Rhodic Haplorthox Brasil	17	21	-	-	-	-
Typic Haplorthox Brasil	37,7	25,6	-	-	0,98	1,17
Typic Haplorthox Brasil	37,7	11,8**	-	-	0,98	2,48**

Fonte:(Miller et al., 1990).

6.8 Influência do gesso

Nos trabalhos feitos tem indicado que amostras de Ultisolos com bloqueamento de poros no perfil, que apresentam reduções na condutividade hidráulica quando lixiviados com água destilada. O percolado continha argila dispersa em água, evidência da degradação e da dispersão da argila (Figura 47). Quando lixiviado com uma solução saturada de gesso a condutividade hidráulica foi mantida em nível muito alto e o percolado não apresentava sinal de sedimento.

Tal fato sugere o seguinte: o aumento da condutividade hidráulica é devido a dispersão da argila que bloqueia os poros. O uso do gesso reduziu a argila dispersa e em consequência aumentou a condutividade hidráulica. Tal fato poderá ser utilizado em solos de drenagem restrita, como nos solos da Formação Barreiras no Nordeste em latossolos e solos podzolizados ou no argissolos de SP em solos arenosos da Formação Marília.

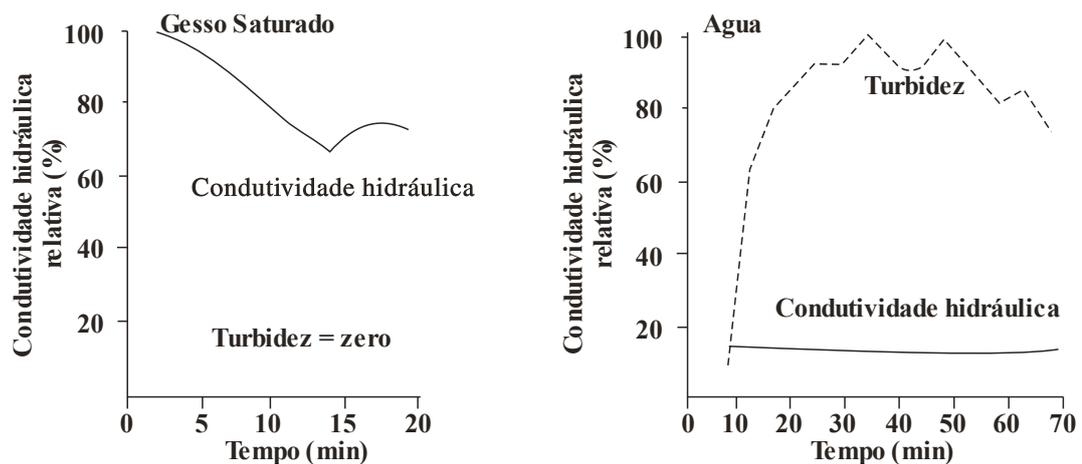


Figura 47 - Condutividade hidráulica de um Typic Hapludult lixiviado com água destilada e uma solução saturada de gesso e a turbidez dos percolados (CHAING, 1991).

A Tabela 59 indica o efeito da aplicação do gesso no auxílio da emergência de plântulas de algodão.

Tabela 59 – Efeito da aplicação superficial de fosfogesso na emergência de plântulas de algodão em um Typic Kandudult da Georgia.

Tratamento	Dias após a emergência				
	3	4	5	9	12
	Emergência (%)				
Controle	12	22	35	56	68
Gesso	37	45	55	69	79

Fonte: (Miller et al., 1990).

6.9 Sistemas de manejo

Implica que todos os solos aqui apresentados possuem semelhanças no sistema de manejo. Assim é que os processos de degradação do solo podem ser atenuados através das seguintes práticas: redução ou eliminação da energia mecânica do impacto das gotas de chuva usando cobertura morta ou culturas de cobertura ou outro tipo de cobertura do solo (plantio direto na palha); aumentar a concentração de eletrólito na solução do solo para auxiliar a floculação da argila, dificultando sua dispersão. O uso do gesso, espalhando-o na superfície do solo, após o preparo, reduz as formações das crostas. A finalidade é a de fornecer eletrólitos necessários para promover a floculação das argilas.

Nos solos observados com bloqueamento de poros, em relação ao uso do gesso, o comportamento é semelhante nos solos tropicais ou seja: houve aumento na taxa de infiltração; na redução das perdas de solo por erosão e redução na concentração de sedimento. No caso dos Oxisolos do Brasil, de pH 4,0 o gesso reduziu a taxa de infiltração, o que pode ser atribuído ao maior poder dispersante do cálcio do gesso, adicionado sobre o Al, originalmente presente, e que promove mais floculação.

Em áreas onde é tradição o uso do plantio direto, tais inconvenientes são sensivelmente reduzidos. Em culturas perenes, já instaladas, é indicado manter sempre a entrelinha vegetada. Por outro lado, quando as crostas superficiais causadas pelo impacto das chuvas e em solos sem cobertura, as alternativas para sua atenuação, são poucas, a saber:

Quando secas elas são duras e muito coesas e quando úmidas tomam-se friáveis. Portanto, quando úmidas tais crostas perdem o efeito maléfico. Quando há possibilidade

de cultivo nas entrelinhas, quando seco, o efeito também não é atenuado. Na linha de plantio, uma vez formado a crosta, pouca coisa pode ser feita. Quando a formação de crosta for devido a deposição de argila no sulco de plantio a alternativa é a sua remoção parcial com enxada desafogando as gemas ou sementes.

Na Usina Quata, SP, após uma chuva em solos arenosos o selamento na superfície está sendo removido através de implementos tanto na entrelinha como na linha de cultura.



Figura 48 - Usina Quata, SP, redução do selamento na superfície de solos arenosos.

Em casos em que os solos têm elevado teor de Na e com as crostas já instaladas, uma alternativa é auxiliar a germinação das sementes, escarificando a superfície do solo. Quando as crostas foram formadas, após a germinação, praticamente nada se pode fazer na linha de plantio. Na entrelinha sugere-se o cultivo. A remoção do excesso de sódio pode ser feita durante o próximo plantio, associando o gesso e com as chuvas (ou irrigação). Em casos em que os solos têm elevado teor de Na e com as crostas já instaladas, uma alternativa é auxiliar a germinação das sementes, escarificando a superfície do solo. Quando as crostas foram formadas, após a germinação, praticamente nada se pode fazer na linha de plantio. Na entrelinha sugere-se o cultivo. A remoção do excesso de sódio pode ser feita durante o próximo plantio, associando o gesso e com as chuvas (ou irrigação).

6.10 Camadas endurecidas subsuperficiais

Em muitos solos podzolizados ou planossolos o horizonte Bt é por natureza denso de estruturação forte, restringindo a penetração radicular e a translocação de água e do ar. Nestes solos estes horizontes podem estar em diversas profundidades e dependendo delas as opções de manejo são as mais variadas. Tais solos de maneira geral são cauliníticos, com baixo teor de óxidos de ferro e de textura contrastante, normalmente areia sobre textura média ou argila.

Em muitos casos e em solos com horizonte Bt porém de mineralogia 2:1 a estruturação é boa mas a drenagem é lenta. Em ambos os casos as opções de manejo são praticamente as mesmas.

Uso de compostos químicos, tais como o gesso. Trabalhos tem demonstrado que o gesso em solos com Bt densos quando incorporado na camada superficial reduziu o “índice de corte” de camadas densas na subsuperfície do solo, após tempo suficiente para a frente de gesso em solução descer no perfil (Figura 47).

Índice de corte = medida de resistência do solo à penetração de uma agulha cônica, projetada para simular o comportamento de uma raiz.

- Uso de equipamento mecânico em camadas endurecidas.

(1) Em culturas anuais: quando tal camada estiver acima dos 50-60 cm de profundidade não é recomendado tratamento profundo. Entretanto, se tal camada devido as particularidades de o relevo promover encharcamento, recomenda-se a drenagem. Porém por ocasião do plantio não é recomendado o uso de subsoladores. É aconselhável o plantio em ligeiro desnível. Quando a camada endurecida estiver dentro dos 40 cm de profundidade é recomendado o uso de equipamentos que auxiliam a drenagem e a penetração das raízes (subsolagem e/ou aração).

(2) Em culturas perenes e semi-perenes: é necessário associar uma série de práticas, dependendo da profundidade da camada de impedimento.

No caso de Bt denso, na profundidade dos 50 cm, a associação arado e subsolagem pode atenuar o problema. Como exemplo podemos citar a instalação de citrus nestes tipos de solos. Após os trabalhos normais de preparo da área as linhas de plantio são erguidas

formando camaleões. Sobre os camaleões é sulcado e plantado a cultura. Plantar em desnível.

Em áreas de reflorestamento e em solos com camadas endurecidas (fragipã, duripã ou solos coesos com bloqueamento de poros) tem sido recomendada subsolagem profunda (0-100 cm), rompendo parcialmente tais camadas e sulcando no local da subsolagem. Em situações extremas é aconselhável associar a prática do plantio no camaleão e em desnível.

Quando os solos podzólicos (Argissolos) são erodidos, expondo as camadas densas na superfície, muitas vezes é aconselhável proceder as práticas de recuperação da estruturação nesta camada. A base da recuperação neste caso envolve o desenvolvimento de uma melhor porosidade na camada superficial, a saber: tratamento mecânico (grades, arado, subsolagem) seguido de recuperação química e de uma cultura com abundância do sistema radicular (o ideal seria pastagens)

Após 4 a 5 anos com pastagens pode-se plantar outras culturas anuais em plantio direto ou culturas perenes. No caso da cultura perene (se possível em plantio direto) deve-se subsolar o fundo do sulco. Plantar em desnível. Todo sistema de conservação deve ser feito em desnível. Em culturas perenes, já instaladas, o uso de cobertura vegetal nas entrelinhas auxilia em muito a recuperação destes solos.

6.11 Compactação

A principal característica da compactação se refere a redução da macro porosidade, causada por meios mecânicos, trazendo todas as consequências advindas deste fato. Tal fato influi nos fluxos horizontal e vertical.

a. Com relação ao solo-água de fluxo horizontal vai haver a redução na taxa de infiltração; escoamento de água, (erosão), com carreamento de solo, de adubos, sementes e produtos químicos.

b. Com relação ao solo-água de fluxo vertical: impedimento à drenagem e conseqüentemente menor reposição de água do subsolo. Com isto, o nível freático abaixa e há melhor fluxo de água capilar ascendente. Sob condições de encharcamento ocorre anaerobiose, afetando a vida orgânica do solo e a decomposição da matéria orgânica e

substâncias tóxicas às plantas são produzidas (nitritos, ácidos sulfídricos, aldeídos etc.): alguns elementos passam a ter concentrações tóxicas (Fe e Mn e outros se perdem, volatilização do nitrogênio). No encharcamento ainda dificulta a mecanização atrasando diversas operações agrícolas.

Impedimentos normal relação solo-planta no desenvolvimento do sistema radicular, com conseqüente menor absorção de água e nutrientes. Sob condições de encharcamento, o anaerobismo, ocorrem efeitos prejudiciais à respiração radicular, à absorção de nutrientes, à transpiração, à produção e transporte de substâncias orgânicas nas raízes e à própria produção das plantas,

Sob condições de estresse hídrico, os sintomas de falta de água ocorrem mais rapidamente. Em condições de baixo armazenamento e disponibilidade de água ocorrem falhas na germinação e emergência, afetando o crescimento, antecipação da maturidade vegetal e menores produções.

A compactação ocasionada por meios antrópicos pode ocorrer desde a superfície do solo até os 40-50 cm de profundidade, tanto em solo argiloso como em solo arenoso. Por outro lado, há algumas vantagens em áreas compactadas moderadas até de 10 a 15% ou seja: melhora a proliferação de raízes; maior fluxo de calor à medida que aumentou a compactação; maior rapidez de germinação.

Ela tende a aumentar o transporte de íons por fluxo de massa a superfície absorvedora. A maior densidade do solo tende a reduzir o N mineralizado da M.O. Tráfego mais estável nas linhas compactadas.

a. Níveis de compactação

Como a variação da porosidade é função da textura e da estrutura dos solos, pode-se avaliar, grosseiramente, os níveis de compactação através dos valores da densidade do solo correlacionado com a textura (Tabela 60).

Tabela 60 – Níveis de compactação em função do teor da argila e da densidade.

Teor de argila	Níveis de compactação (densidade)			
	ausente	moderada	severa	muito severa
%	g/cm ³			
maior 60	1,0	1,2	1,4	1,7 ou >
35-60	1,1	1,3	1,5	1,7 ou >
25-34	1,3	1,4	1,5	1,7 ou >
15-24	1,50	1,55	1,60	1,7 ou >
Até 15	1,60	1,65	1,70	1,75 ou >

Solos de textura argilosa ou muito argilosa tendem a apresentar uma acentuada redução da porosidade, quando a densidade varia de 1.0 até 1.7 g/cm³, com redução da porosidade de 50% para 15% (considerando a densidade das partículas igual a 2,7 g/cm³). Solos arenosos, com pequeno acréscimo na densidade já apresenta níveis elevados de compactação.

Diversos fatores tendem a atenuar os efeitos negativos da compactação tais como o nível de fertilidade. Solos mais férteis tendem a atenuar os efeitos da compactação quando comparado com solos de menor fertilidade. Condições climáticas podem atenuar o nível de compactação havendo boa distribuição de umidade. A compactação terá menor efeito na produtividade. Quanto ao tipo de cultura há culturas mais resistentes que as outras quando desenvolvidas em solos compactados. Neste caso, a agressividade do sistema radicular faz a diferença. O feijão guandu, é utilizado como descompactador biológico, devido ao seu vigoroso sistema radicular. Variedade, dentro de uma mesma cultura há variedades mais ou menos sensíveis a compactação.

b. Níveis de compactação e teores de umidade

Na Figura 49 os testes de compactação foram efetuados em duas variedades de cana-de-açúcar em solo argiloso. A densidade variou de 1,10 a 1,50 g/cm³. Observe que à medida que houve aumento da densidade, o peso da parte aérea da SP70-1143

praticamente aumentou à medida que houve manutenção da umidade do solo sem déficit hídrico (DH).

Por outro lado, a SP70-6163, também sem DH, até a densidade de 1,30 não houve variação na parte aérea. A partir deste valor a queda foi acentuada. Quando há atenuação na umidade do solo, provocando déficit hídrico (DH), não houve variação no peso da parte aérea, para ambas as variedades, porém a quantidade de massa seca foi bem menor.

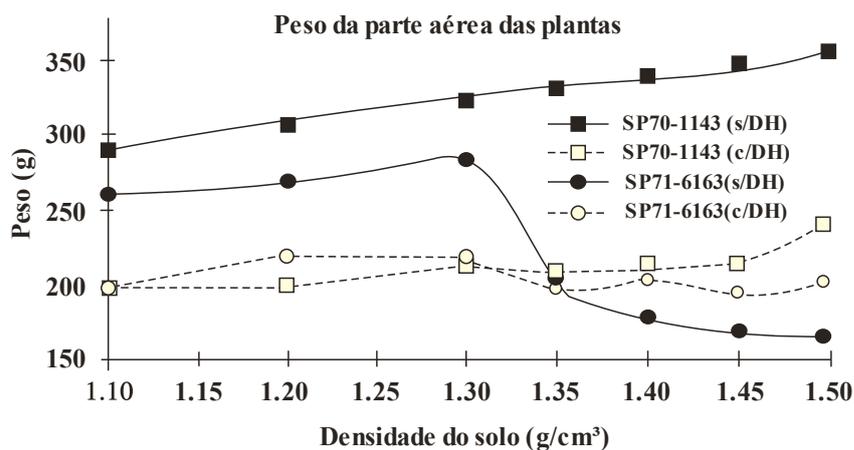


Figura 49 - Peso da parte aérea das variedades SP70-1143 e SP71-6163 em vasos com solo LVE argiloso com diferentes densidades de solo, dose normal de água e déficit hídrico (D.H.).

Quanto ao peso da quantidade de raízes (Figura 50) é maior na SP70-1143 quando comparado com a outra variedade, com ou sem o DH. À medida que aumenta a densidade há sensível redução da quantidade de raízes.

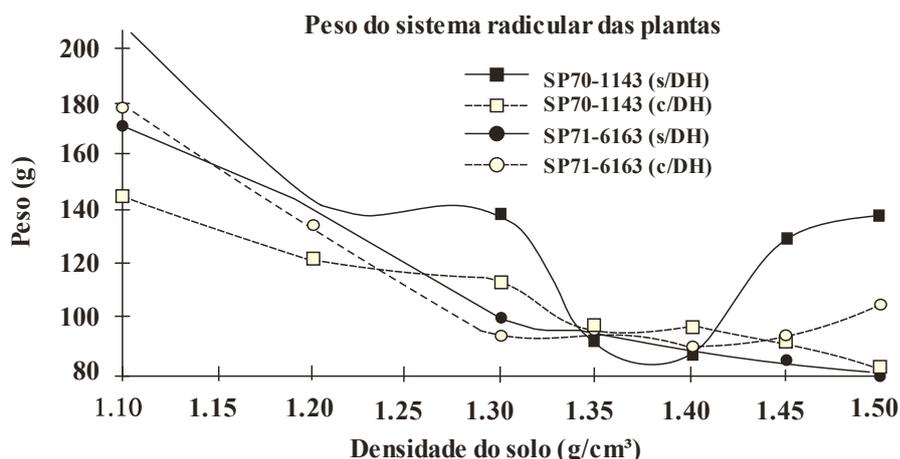


Figura 50 - Peso da parte aérea das variedades SP70-1143 e SP71-6163 em vasos com solo LVE argiloso com diferentes densidades de solo, dose normal de água e déficit hídrico (D.H.).

c. Absorção de nutrientes

Neste trabalho foram testadas 6 variedades de cana-de-açúcar, sendo duas consideradas pouco exigentes com fertilidade (SP70-1 143 e RB72454), duas de média exigência (SP71 - 6163 e NA56-79) e outras duas mais exigentes (SP70-1284 e SP70-3370).

Note que não houve diferença no comprimento radicular, porém houve diferenças na absorção de K e de P indo das menos exigentes as mais exigentes. A eficiência do sistema radicular em captar nutrientes também é função das variedades (Tabela 61). Sendo assim e em solos com tendências a compactação é recomendado o uso de variedades menos exigentes na fertilidade.

Tabela 61 – Eficiência de absorção de K e P em cana-de-açúcar.

Variedades	Comprimento (m)	K absorvido (ug/h/m)	P absorvido (ug/h/m)
SP70-1143	1093	29	2,9
RB72 454	1132	26	2,9
SP71-6163	1020	33	4,2
NA-5679	1076	29	3,3
SP70-1274	1018	37	5,1
SP70-3370	1044	35	4,5

d. Níveis de compactação e desenvolvimento radicular

De acordo com o tipo de cultura e do solo é possível fazer correlações entre os níveis de compactação (ou estágios) e o desenvolvimento radicular. Nesta linha Rouse et al. (1973) desenvolveram tal correlação para a cultura de cana-de-açúcar como descrito a seguir.

Tabela 62 - Estágios de compactação, densidade e descrição do sistema radicular

Estágios	Densidade (*)	Descrição
A	1,03 – 1,07	Raízes e radículas normais.
B	1,11 – 1,17	Proliferação é ligeiramente reduzida, mas não são notadas distorções no comportamento de raízes e radículas.
C	1,20 – 1,27	Proliferação é reduzida, mas ainda boa; algumas radículas mostram um ligeiro achatamento (relação largura/altura: 1,25) e uma tendência de desenvolvimento angular.
D	1,33 – 1,39	Proliferação reduzida; maioria das radículas e algumas raízes são achatadas (relação largura/altura: 1,50) e há uma tendência das radículas se desenvolverem através de zonas de fraquezas ou fraturas no solo.
E	1,39 – 1,49	Proliferação pobre (inadequada para a produção agrícola); radículas muito achatadas (relação largura/altura: 2,00) formam fraca malha em fraturas.
F	1,51 – 1,57	Poucas raízes e radículas são capazes de penetrar solo não fraturado; raízes muito achatadas (relação largura/altura: 2,00) confinadas a fraturas.
G	–	Nenhuma penetração de raízes e radículas.

(*) Densidades médias entre superfície e subsuperfície para textura predominantemente argila siltosa.

e. Fatores que afetam os efeitos negativos da compactação

Em áreas de reforma: neste caso é fundamental que se observe a sequência das operações de preparo de solo com ou sem o uso de culturas de espera.

Em culturas já instaladas, quando a compactação se manifesta na linha da cultura anual pouca coisa pode ser feita, ou seja, marcar o local aguardar a próxima reforma. No caso de culturas como o algodão ou milho, pode-se recomendar escarificação nas entrelinhas. Porém tal operação normalmente é feita no período chuvoso, trazendo pouco benefício em termos de descompactação. Pelo contrário, a operação pode compactar ainda mais devido ao tráfego. No caso de culturas perenes e semi-perenes as opções de manejo são limitadas e normalmente aplicadas nas entrelinhas. Compactação, por exemplo, na linha de plantio da cana-de-açúcar, ou nas covas do citrus ou café, pouco se pode fazer.

Opções de manejo:

Culturas anuais marcar o local e por ocasião de reformas aplicar os dados necessários. No caso de culturas perenes, uma vez constatado a presença da camada compactada decide-se pela subsolagem. Há duas épocas para a realização da operação: início ou final das chuvas, com preferência para o período inicial. No caso do citrus é recomendado a operação em linhas alternadas, completando-se o trabalho no ano seguinte. Havendo condições, trabalhar com cultura intercalar, de sistema radicular abundante, como ex. o feijão guandu, crotalária. Associação de práticas: em solos de baixa fertilidade é necessário, além das práticas aqui adotadas, o uso de corretivos, principalmente o gesso que irá auxiliar no desenvolvimento radicular.

No caso de cana-de-açúcar é recomendado o cultivo da entrelinha nos períodos mais úmidos. No período seco não é aconselhável o cultivo, pois há redução da produtividade.

Medidas preventivas tanto em culturas anuais e culturas perenes a redução de tráfego de máquinas conjugando diversas práticas numa única operação e planejando melhor as manobras no campo. Ampliar a superfície do contato máquina-solo, para a melhor distribuição de peso. Não trabalhar com o solo molhado. Estabelecer corredores para movimentação das máquinas. Reduzir a prática de revolvimento do solo. Almejar a prática do plantio direto. Rotacionar culturas com sistema radicular abundante, profundo e agressivo. Procurar manter o solo sempre coberto com cobertura morta, principalmente na fase inicial da cultura, ou períodos secos, e cobertura viva no período das águas. Não esquecer dos corretivos em área total ou bandeado.

f. Compactação em solos arenosos

Os solos arenosos apesar de serem considerados como livres da compactação, tal fato, em certas culturas, não ocorre. O exemplo a ser dado foi obtido em áreas arenosas com cana-de-açúcar na Usina Quatá SP, (STAB, 87). Nesta ocasião foram utilizados diversos sulcadores, a saber: o "convencional" e o "sulcador subsolador".

Observou-se o seguinte: no sulco feito pelo sulcador convencional notou-se compactação nas laterais e no fundo do sulco, fato este não observado no outro tipo de sulcador. A quantidade de raízes no sulcador subsolador foi bem maior do que no convencional (Tabela 63) assim como maior produtividade.

Tabela 63 – Peso de raiz e tonelagem de cana em experimento com tipo de sulcador em solo arenoso*.

Variedades	Sulcador		Sulcador	
	Convencional	Subsolador	Convencional	Subsolador
	Peso raízes (t/ha) (0 – 65 cm)		Ton cana/ha	
SP70-1143	7,7	9,8	126	143
SP71-1406	6,7	7,0	117	189
SP71-799	7,5	8,1	175	201
SP71-6163	6,5	8,2	173	202

* Plantio, abril 1984, 1º corte, julho de 85.

7 CAPÍTULO 7. SOLOS COESOS DA REGIÃO NORDESTINA (TABULEIROS COSTEIROS)

7.1 Solos Coesos - considerações

Todos os solos minerais, independentemente da textura, seja ela arenosa ou argilosa, e da mineralogia, seja ela oxídica, caulínica ou constituída de minerais 2:1, quando secos, desenvolvem uma consistência dura a muito dura, e em certos casos, extremamente dura. Qualquer operação agrícola de mobilização do solo no estado seco de umidade tem baixa eficiência nos equipamentos e implementos, com quebra constante. A profundidade de trabalho raramente é atingida, sendo comum, numa aração, cultivo ou subsolagem nestas condições, a formação de torrões de tamanho considerável. Tem-se a impressão de que o solo está compactado.

No entanto, quando tais solos estão úmidos, essas características tendem a desaparecer. Em tais casos, ou seja, solos que são duros quando secos e friáveis quando úmidos, diz-se que eles são "coesos". É comum, durante o período seco, a suspensão dos cultivos em citros ou cana-de-açúcar, inclusive em solo de textura arenosa, devido à elevada coesão.

O desenvolvimento da coesão está relacionado aos componentes da fração argila dos solos, pois, como já foi salientado, ela se manifesta em qualquer solo mineral, independentemente de sua mineralogia. No entanto, solos de textura semelhante desenvolvem diferentes graus de coesão. A principal causa neste caso está no componente amorfo da fração argila. Como se sabe, a fração argila está constituída, além de minerais, por uma variável quantidade de material amorfo de sílica, alumínio e ferro, quantidade esta que depende das próprias características de intemperismo pelas quais o material de origem ou o próprio solo estão sujeitos.

A diferenciação entre um solo compactado e um solo "coeso" pode ser feita através de observações dos torrões, a saber:

- (1) O bloco compactado não apresenta raízes em seu interior; porém, quando isso ocorre, elas estão achatadas. Em certos casos, as raízes estão nos

planos de fratura do bloco. O solo "coeso" apresenta raízes normais em seu interior.

(2) Numa situação sem sistema radicular, proceder da seguinte maneira: tomar diversos torrões de tamanho variável e umedecê-los. Aguardar de 10 a 15 minutos. Tente quebrá-los com os dedos de uma mão. O solo "coeso" se desfaz facilmente, enquanto o compactado oferece resistência e tende a se quebrar em pequenos blocos, ou muitas vezes não se quebra.

(3) Os solos "coesos" têm densidade compatível com sua textura (solos argilosos têm densidade na faixa de 1.0 a 1.1 g/cm³, os de textura média 1.3 g/cm³ e os mais arenosos 1.5 g/cm³), enquanto os solos compactados apresentam densidade não compatível com a textura.

Sendo assim, o termo "solos coesos" não tem razão de ser, uma vez que todos os solos minerais desenvolvem coesão. Exemplo figura 50.



Figura 50 – Exemplo de um Latossolo Amarelo coeso (Bahia)

Solos “coesos” da Região do Nordeste

No caso da região nordestina, o termo “solos coesos” da Formação Barreiras não seria o termo utilizado nos dados anteriores sobre solos coesos, que apresentam diversas características diferentes. Em relação ao termo aqui utilizado, tem sido consagrado no Brasil como “solos coesos da região nordestina”, onde os solos são apresentados como de pouca aeração, com bloqueamento de poros em toda a sua extensão.

A Formação Barreiras cobre uma extensa região litorânea do Brasil, indo do estado do Rio de Janeiro até a Amazônia, e apresenta características distintas, com um desenvolvimento acentuado de coesão associado a diferentes graus de adensamento, trazendo todos os inconvenientes relacionados às práticas de manejo. Tal Formação é geologicamente caracterizada por depósitos clásticos de granulação variável, composta de argilas, siltitos, arenitos e conglomerados ligeiramente consolidados, de espessura variável, podendo atingir 150m (Quintas, 1970). Na região nordestina, é comum este material estar recobrimo rochas do Cristalino. O relevo formado é de tabuleiros, característico de uma topografia tabular dissecada por vales profundos de encostas, com forte declividade.

Climaticamente, a região ocupada pelos sedimentos da Formação Barreiras é variável, indo desde o tipo Af até o semiárido, Bsh, passando pelos climas Am, As, Aw, Cwa. Entretanto, iremos nos ater apenas nas características climáticas da região nordestina. O período chuvoso vai de meados de março até agosto, e o restante do período é seco, com precipitação variável no ano de 900 a 1.600 mm de chuva.

7.2 Características dos solos coesos

O material da Formação Barreiras apresenta em sua constituição formação especiais, a saber:

- (a) camadas extremamente endurecidas, quebradiças, continues ou não, semelhante a fragipã, de espessura variável, e de localização não específica;
- (b) camadas endurecidas, não quebradiças, contínuas ou não, de espessura variável, de alguns centímetros a mais espessas, semelhantes a duripã;
- (c) presença de material plíntico e pequenas concreções ferruginosas;
- (d) presença de camadas de concentração de óxido de ferro (laterita) de pequena espessura;
- (e) dependendo da posição do relevo, há evidências de encharcamento temporário, com cores de gleização;
- (f) solo com problemas de preenchimento de poros.

A área de Tabuleiros Costeiros do litoral oriental do Brasil ocupa áreas aproximada de 98.500 km², apenas no litoral nordestino. Destes, há dominância dos Latossolos Amarelos, com 67%, seguido pelo Podzólico Amarelo com 25%. O restante é ocupado pelos Podzóis e Areias Quartzozas (Neosolos Quartzarênicos).

Independentemente de sua formação ser Latossolos, solos podzolizados ou cambissolos, os solos coesos apresentam:

(1) Teor de argila é variável, desde os de textura arenosa até as argilosas, com ou sem gradiente textural. O teor de óxido de ferro é baixo, na faixa de 4 a 6%. A mineralogia da fração argila é basicamente constituída por caulinita podendo ocorrer vermiculita-cloritizada e pouca gibsitita. A constituição do material amorfo é representada principalmente de amorfos de sílica e alumínio, com pequena contribuição de amorfo de ferro. Os solos são pH dependente, e sendo assim o manejo químico é semelhante aos demais solos, inclusive as reações com o calcário e o gesso, e suas ações em profundidade.

(2) São solos distróficos ou álicos sob mata, e raramente eutróficos, com baixíssimo teor de fósforo. Apresentam severas deficiências de micronutrientes, principalmente zinco, cobre e manganês. O teor de matéria orgânica é compatível com a textura, na faixa de 1,2 a 2,0%, inclusive em áreas cultivadas (Tabela 65). Quando secos são solos extremamente duros e quando úmidos são friáveis.

(3) Devido à falta de eletrólitos, Ca e Mg no caso, a fração argila é facilmente dispersada em água, com as seguintes consequências: (a) aumento da erosão; (b) translocação vertical do solo e entupimento dos poros, causando redução na infiltração e aumento da densidade, e em consequência aumentando o adensamento natural. Tais solos podem ser considerados coesos e densos ao mesmo tempo, o que os torna especiais; a estruturação destes solos é fraca, o que não deixa de ser um fator negativo no manejo destes solos.

(4) É normal ocorrer encharcamento temporário no horizonte logo após o Ap, independentemente do tipo de solo, se Latossolos ou solos podzolizados, inclusive em solos sob mata. É comum a presença de manchas de cores acinzentadas nesta região.

(5) Como já foi salientado, por ocasião da caracterização do material da formação Barreiras, as formações especiais, como fragipã, duripã e laterita, podem ocorrer nos solos por herança. A posição de ocorrência nos solos destas formações é variável e independe

do tipo de solo. Porém, quando próximo a superfície e associado aos adensamentos, tais formações causam sensíveis dificuldades em relação às práticas de manejo, pois tendem a aumentar ainda mais a densidade, reduzindo assim a infiltração da água, dificultando as trocas gasosas e a exploração radicular.

7.3 Distribuição dos solos na paisagem

Como foi salientado, o relevo em geral é plano a suavemente ondulado, com longos interflúvios. Devido a processos erosivos, vales profundos foram formados, podendo atingir material rochoso do Pré-Cambriano. A paisagem formada pelos vales profundos e as partes altas e planas da Formação Barreiras deu origem ao termo regionalizado de "Relevo de Tabuleiro" para a porção mais plana. Nesta região, mas principalmente nos tabuleiros de Alagoas, nota-se que, apesar do relevo aparentemente plano e uniforme, há um micro-relevo representado por depressões de tamanho e forma variáveis, geralmente com drenagem imperfeita, onde se forma o Podzólico Acinzentado ou, em situações de pior drenagem, o Podzol Hidromórfico.

O Latossolo Amarelo ocupa as posições de transição no limite entre a escarpa e o tabuleiro. Curiosamente, é esta posição de melhor drenagem interna, onde a água pode se movimentar para a escarpa ou para as depressões, caracterizada pelo micro-relevo. Os perfis destes solos não têm evidenciado encharcamento temporário, chamando atenção, entretanto, para pequenas pontuações de cores tendendo para o cinza na transição dos horizontes A para o B. Aliás, esta característica é comum nos solos desta região, inclusive em perfis sob mata.

Indo do Latossolo, solo bem drenado nos tabuleiros, em direção à depressão, onde se desenvolve o Podzol Hidromórfico, solo de drenagem imperfeita, desenvolvem-se os solos com drenagem moderada. A sequência observada de ocorrência dos solos no relevo, indo do limite tabuleiro-encosta em direção à depressão, é a seguinte: Latossolo Amarelo, Podzólico Amarelo Latossólico, Podzólico Amarelo, Podzólico Acinzentado e Podzol ou Podzol Hidromórfico.

As formações especiais, tais como fragipã, duripã e laterita, ocorrem também nesta sequência, em diferentes profundidades e níveis, tendendo a se desenvolver à medida que a drenagem fica mais restrita (Demattê et al., 1991).

7.4 Fatores limitantes ao uso agrícola

Em inúmeras trincheiras abertas em solos cultivados com cana-de-açúcar nos estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, pode-se observar uma característica marcante, que é a concentração de raízes na camada superficial do solo e, particularmente, no sulco de plantio. Rezende (2000) também tem observado o pobre desenvolvimento radicular em outras culturas como citros, mandioca, mamão, eucalipto, maracujá etc.

De acordo com a sequência de ocorrência dos solos na paisagem, o grau de dificuldade ao manejo aumenta no seguinte sentido: Latossolo Amarelo, Podzólico Amarelo Latossólico, Podzólico Amarelo, Podzólico Acinzentado, Podzol Hidromórfico.

Os principais fatores relacionados a dificuldade de manejo são os seguintes.

(1) Deficiência generalizada de nutrientes tanto na superfície como na subsuperfície. A falta de cálcio em profundidade e a presença de alumínio, e muitas vezes o manganês não deixa de ser um dos principais motivos para a pequena área explorada pelas raízes. São solos coesos e bloqueamento de poros é uma constante, dificultando o manejo.

(2) Os altos valores da densidade do solo em profundidade, associados à baixa porosidade total, restringem a infiltração e a condutividade hidráulica do solo, prejudicando a dinâmica da água no perfil, assim como restringindo o desenvolvimento radicular em profundidade.

(3) Presença de camadas densas (fragipã, duripã) em profundidades variáveis. O encharcamento temporário também propicia o desenvolvimento de fungos e bactérias causadores de doenças do sistema radicular.

(4) Nos horizontes superficiais mais arenosos, a proliferação de nematóides maléficos a uma série de culturas tem sido constatado. Devido ao sistema radicular estar restrito na camada superficial, a deficiência com a umidade é limitante.

(6) Para culturas semi-perenes, como a cana-de-açúcar, a época de plantio após as chuvas não deixa de ser um fator limitante.

7.5 Opções de manejo

Antes de listarmos as principais opções de manejo, são necessárias algumas considerações sobre como tais solos tendem a reagir às práticas a serem introduzidas. Devido à instabilidade da estrutura, as operações tradicionais de preparo, como gradagens, arações, cultivos etc., têm efeitos benéficos a curto prazo, porém, ao longo do tempo, a tendência é de que o solo se acomode, voltando às condições originais, principalmente em relação às subsolagens. Tais fatos têm sido constatados em muitas áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Para que os efeitos sejam mais duradouros, é preciso associar outras práticas, como será visto.

Os pontos críticos a serem melhorados são os seguintes:

- (1) Elevação do nível de saturação das bases para as faixas indicadas pela cultura a ser instalada, normalmente entre 50 a 60% ou 70%. O processo utilizado é a calagem para a recuperação superficial e o gesso para a recuperação da subsuperfície. Utilize as recomendações vistas nos capítulos anteriores, salientando, entretanto, que a recomendação da quantidade de gesso deve ser independente da indicação do calcário. Os níveis de NPK devem seguir as recomendações das culturas, inclusive para os micronutrientes. Convém salientar que a introdução do cálcio tende a melhorar a estabilidade da estrutura.
- (2) Introduzir práticas que tendem a aumentar o volume de exploração radicular, além das práticas químicas, entre elas as seguintes: preparo convencional dos solos usando a sequência grade, arado e/ou subsolagem, subsolagem profunda, associação de tais práticas com culturas de cobertura com sistema radicular abundante e profundo.
- (3) Associar práticas (além das já indicadas) que tendem a melhorar a drenagem vertical, assim como a superficial a saber: plantio no camaleão, plantio em ligeiro desnível, drenagem convencional nas unidades com sérios problemas de encharcamento, como nos Podzólicos Acinzentados e Podzóis Hidromórficos.
- (4) Num nível elevado de manejo, a introdução de irrigação, suplementar ou plena, atenua sensivelmente os problemas aqui indicados. Uma vez atenuados tais inconvenientes, é possível insistir no plantio direto.

- (5) É recomendado planejar as práticas de manejo de acordo com os grupos de manejo, pois como foi observado, os solos diferem em termos de níveis de limitações.

7.6 Resultados de práticas de manejo em cana-de-açúcar

a. Recuperação química dos solos

A recuperação química dos solos pode ser observada através dos dados indicados na Tabela 65 em cana-de-açúcar. Os níveis de saturação das bases para o solo sob mata estão na faixa de 27% e 26%, respectivamente para a superfície e subsuperfície, enquanto o perfil P1, Latossolo Amarelo, está com níveis de 65 e 45%, respectivamente. Isso indica uma sensível melhora química nesta área que recebeu os corretivos 18 meses antes da retirada das amostras. As demais áreas dos perfis P3, P2, P4 e P5 são de cana soca e, por isso, já apresentam uma redução nos níveis de saturação de bases, principalmente no P3, que serão corrigidos por ocasião do novo preparo do solo.

Quanto aos níveis de fósforo, observe que no solo sob mata ele é extremamente baixo, com 2 ppm na superfície, enquanto nos solos cultivados os níveis são elevados, principalmente na camada superficial. Em relação ao teor de matéria orgânica, note que os teores nos solos cultivados não diferem dos teores do solo sob mata, indicando que esta gramínea, em seu ciclo, tende também a incorporar matéria orgânica, fato este já conhecido.

Tabela 65 – Caracterização química e granulométrica de solos coesos de Alagoas – Usina Triunfo (Levantamento de Solo) – 1994.

Profundidade	C	P	S	CTC	V	m	Argila
P1 – Latossolo Amarelo							
0-25	1,4	45	3,9	6,1	65	2	31
40-60	0,7	32	1,1	3,6	40	45	42
P3 – Podzólico Amarelo com Fragipã							
0-25	1,6	74	1,9	7,6	25	24	25
Btx 40-60	0,5	2	0,9	5,9	15	60	47
P2 – Podzólico Amarelo Latossólico							
0-25	1,3	39	1,8	6,1	31	18	24
40-60	0,4	1	0,5	4,5	10	72	47
P4 – Podzólico Acinzentado com Fragipã							
0-25	2,9	9	6,0	10,7	56	1	25
Btxm 40-60	1,5	2	0,9	8,4	11	60	54
P5 – Podzólico com Duripan							
0-25	1,6	121	2,1	5,8	36	12	11
E 40-60	0,8	13	7	4,0	16	56	10
Podzólico Amarelo Latossólico – mata							
0-25	1,4	2	1,8	5,7	27	32	26
40-60	0,6	1	1,2	4,1	26	47	49

b. Efeitos do preparo profundo dos solos

As Figuras 51, 52 e 53 (extraído do trabalho de Rezende, 2000): resume os efeitos da subsolagem a 50 e 100 cm de profundidade, indicando uma sensível melhoria sobre a resistência a penetração, sobre a velocidade de infiltração e sobre a condutividade hidráulica.

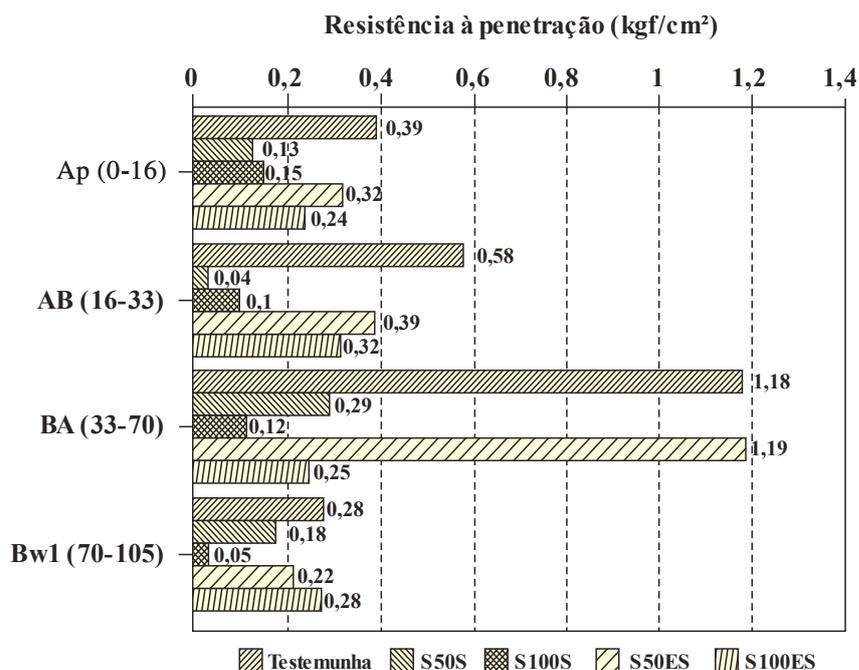


Figura 51 - Efeitos de subsolagem a 50 e a 100 cm de profundidade sobre a resistência à penetração, avaliada nos sulcos (S50S e S100S) e entres sulcos (S50ES e S100ES) da subsolagem, em um latossolo amarelo álico coeso localizado nos tabuleiros costeiros de Cruz das Almas (BA). **Fonte:** SANTOS (1992).

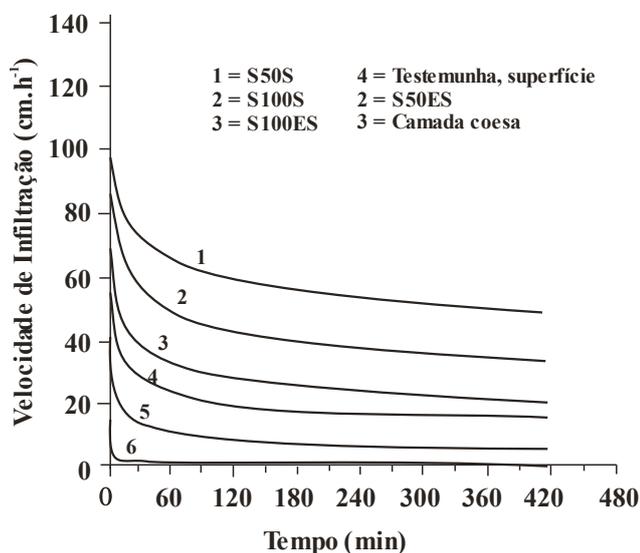


Figura 52 - Efeitos de subsolagem a 50 e a 100 cm de profundidade sobre a velocidade de infiltração, avaliada nos sulcos (S50S e S100S) e entres sulcos (S50ES e S100ES) da subsolagem, em um latossolo amarelo álico coeso localizado nos tabuleiros costeiros de Cruz das Almas (BA). **Fonte:** SANTOS (1992).

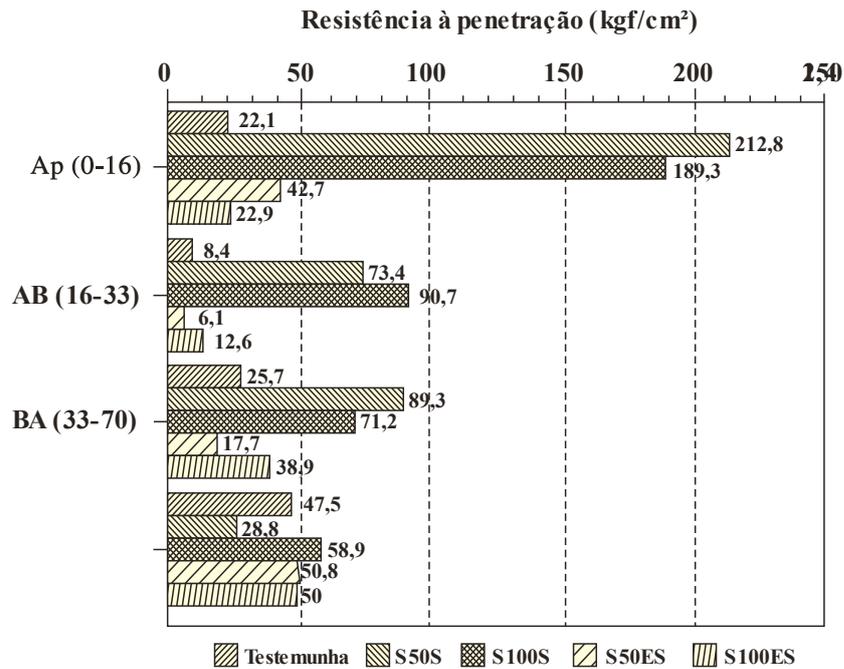


Figura 53 - Efeitos de subsolagem a 50 e a 100 cm de profundidade sobre a condutividade hidráulica, avaliada nos sulcos (S50S e S100S) e entres sulcos (S50ES e S100ES) da subsolagem, em um latossolo amarelo álico coeso localizado nos tabuleiros costeiros de Cruz das Almas (BA). **Fonte:** SANTOS (1992).

c. Efeitos do preparo profundo sobre a produtividade.

A Figura 54 (Oliveira, 1966) resume a produtividade de frutos do mamoeiro em função do preparo profundo associado com a calagem. Note que a aração associada com a calagem, com 30 t/ha de frutos, não diferiu dos demais tratamentos de subsolagem, com 34 e 37 t/ha, respectivamente, subsolagem a 50 e 100 cm de profundidade. Em uma relação custo-benefício, a subsolagem nestas profundidades é mais cara do que a aração.

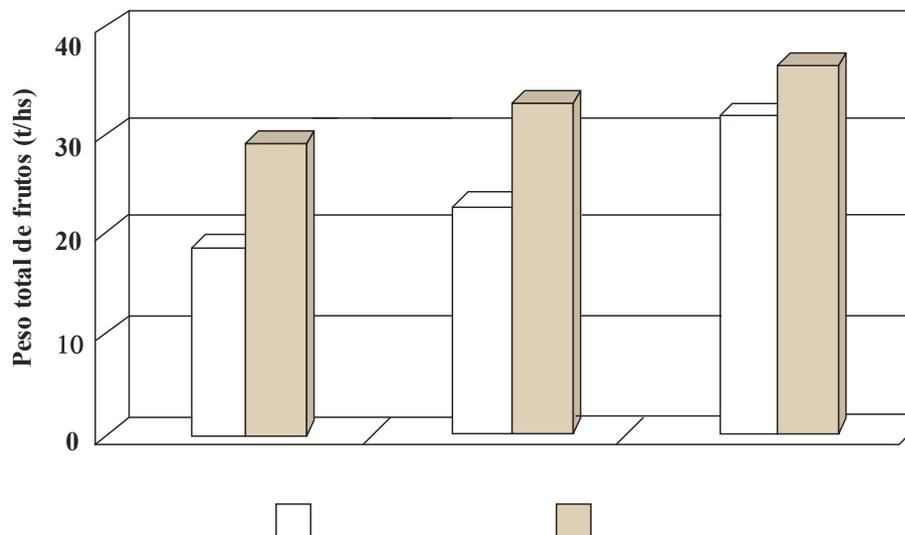


Figura 54 - Peso total de frutos do mamoeiro (variedade Improved Sunrise Solo, cv. 72/12), cultivado em latossolo vermelho amarelo álico coeso, submetido à subsolagem e à correção da acidez com calcário dolomítico + gesso agrícola (Oliveira, 1996).

A Figura 55 (Sampaio, 1995) indica que, no caso do feijão caupi, o sistema convencional de preparo (grade seguido de aração) para três colheitas produziu tanto quanto os sistemas de subsolagem. Para o caso do milho, o preparo somente com grade pesada seguido de uma niveladora foi superior ao preparo com subsolagem.

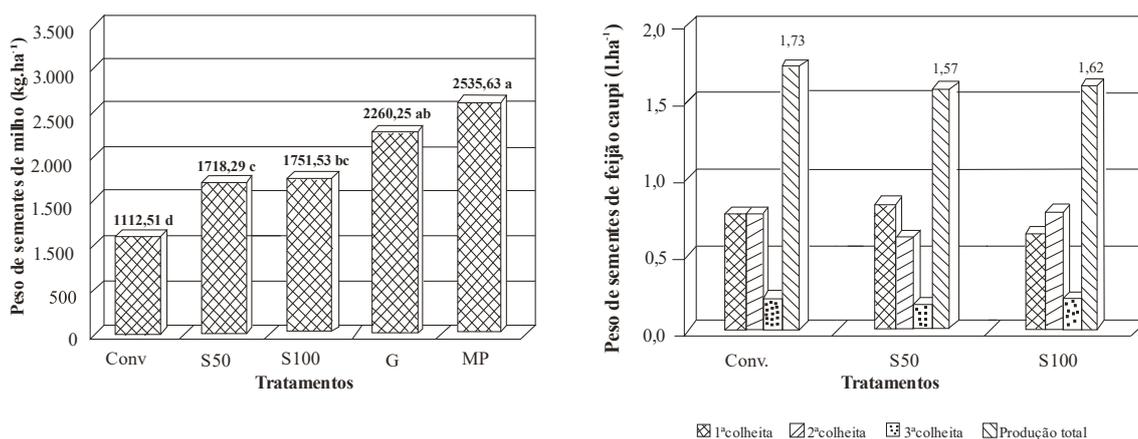


Figura 55 - Efeitos de subsolagem a 50 e a 100 cm de profundidade sobre a produção do milho e de feijão caupi, em um latossolo amarelo álico coeso localizado nos tabuleiros costeiros de Cruz das Almas (BA), com preparo convencional. **Fonte:** SAMPAIO (1995).

Nestes mesmos experimentos, o autor avaliou a quantidade do sistema radicular em três profundidades, tanto do caupi como do milho (Figura 56). No caso do feijão caupi, a quantidade de raízes na camada superficial foi ligeiramente superior para o tratamento de subsolagem a 50 cm, apesar da produtividade não ter refletido tal tendência. Nas demais profundidades, não houve diferença na quantidade de raízes.

Para o caso do experimento com o milho, o autor adicionou dois novos tratamentos de adubação verde, a saber, o guandu e a mucuna preta. Note que a quantidade de raízes do milho no tratamento onde entrou a mucuna foi sensivelmente superior aos demais tratamentos. Novamente, não houve diferenças entre os tratamentos convencional e as subsolagens.

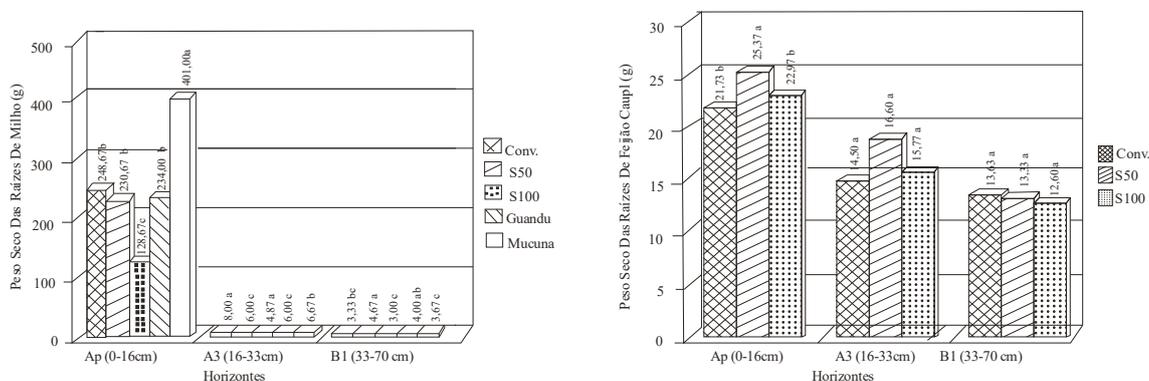


Figura 56 - Avaliação do crescimento de raízes de feijão caupi e de milho em um latossolo amarelo álico coeso localizado nos tabuleiros costeiros de Cruz das Almas (BA), submetido a diferentes tratamentos de manejo de solo (Conv. = preparo convencional; S50 = subsolagem a 50 cm de profundidade; S100 = a 100 cm de profundidade; Guandu = adubação verde com guandu; Mucuna = adubação verde com mucuna preta). **Fonte:** SAMPAIO (1995).

d. Uso de descompactador biológico

O uso de culturas de cobertura ou de “espera” com sistema radicular abundante e agressivo não deixa de ser uma excelente opção na melhoria da infiltração da água no solo, como indicado na Figura 57 (Barbosa, 1996)

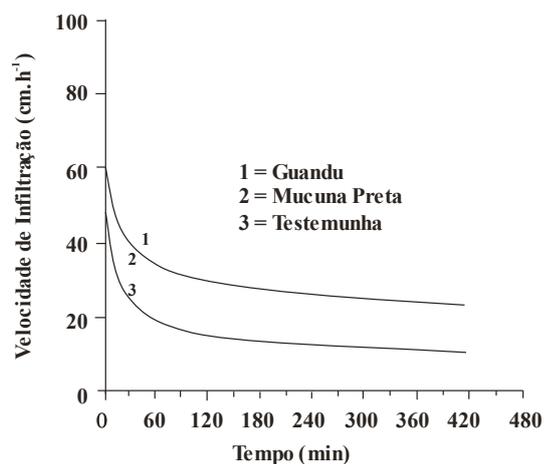


Figura 57 - Velocidade de infiltração da água no solo em diferentes tratamentos de adubação verde, em um latossolo amarelo álico coeso localizado nos tabuleiros costeiros de Cruz das Almas (BA). **Fonte:** BARBOSA (1966).

7.7 Plantio de eucalipto em solos coesos do Nordeste

Em resumo, tem ficado evidente pelos dados aqui apresentados que: (a) o preparo profundo do solo coeso, usando subsoladores, na maioria das vezes, não tem dado os resultados esperados em culturas anuais; (b) a ação do calcário associado aos diferentes tipos de preparo tem dado respostas sempre positivas; (c) o uso de descompactador biológico é uma prática que deve ser incrementada.

Entretanto, a subsolagem profunda (100 cm) em relação ao eucalipto responde muito bem, sendo plantado no sulco de subsolagem, inclusive em encostas em sulcação reta sem erosão (Figura 58).

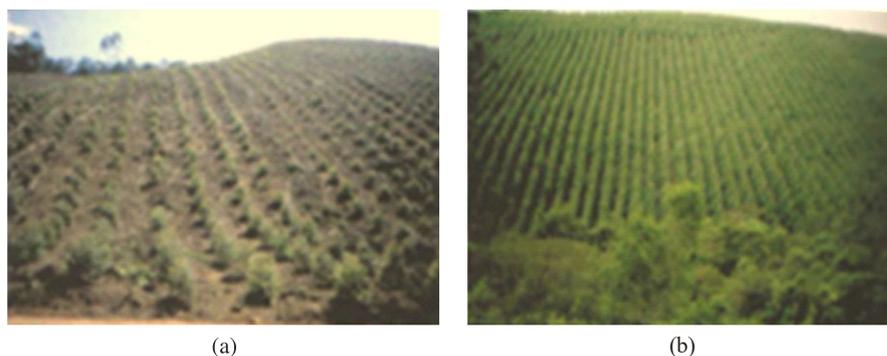


Figura 58 - Plantações de eucalipto em diferentes estágios de desenvolvimento, estabelecida em cultivo mínimo do solo, em relevo forte ondulado, onde a subsolagem e o plantio foram realizados no sentido reto em época sem chuvas de alta intensidade. Não há sinistro de erosão. (a) Híbrido de *E. urophylla* x *grandis*, espaçamento 3,0 m x 3,0 m, três meses após o plantio; e (b) híbrido de *E. urophylla* x *grandis*, espaçamento 3,0 m x 3,0 m, nove meses após o plantio.

7.7 Opções de manejo de cana-de-açúcar na região Nordestina

Época de plantio: há duas épocas distintas de plantio nesta região, a de inverno (maio a agosto), período chuvoso, e a de verão, (setembro a dezembro) período seco. No plantio de inverno é inevitável que a cultura sofra um grande estresse hídrico no verão, a não ser se o verão for chuvoso. A principal consequência neste caso é o da cana planta ter produtividade baixa. Por outro lado, o plantio de verão, este irrigado apenas para garantir a germinação, na faixa de 2 a 3 lâminas de 45 mm de água, a cultura não sofre o estresse hídrico e apesar do menor tempo de crescimento a produtividade é maior do que a de inverno. Dados climáticos da região têm indicado que o déficit hídrico no período de crescimento e desenvolvimento da cana planta do plantio de inverno é em torno de 40% inferior ao plantio de verão.

Observe os dados da Tabela 66, o plantio de inverno, feito nos meses de julho e agosto, como é normal na região, a produtividade ficou na faixa das 70 t/ha, com 16 meses de crescimento, pois o corte foi feito em novembro do ano seguinte. Neste caso, a tonelagem de cana por hectare mês (TCHM) foi de 4,5. Por outro lado, o plantio de verão, feito nos meses de setembro e outubro de 1994, e cortado no mês de novembro de 1995, com 11 meses de crescimento, a produtividade média foi de 83 t/ha ou 7,5 TCHM bem superior aos 4,5 TCHM do plantio de inverno. É necessário enfatizar que neste aspecto

apenas a alteração da época de plantio, independentemente das práticas de manejo adotada nos solos, a produtividade foi diferente.

Outra prática que se tem orientado nesta região é o do plantio de inverno, seguido pelo roço da cana em out-nov, seguido pela irrigação, suficiente para nova brotarão. A produção final também é elevada, semelhante ao plantio de verão, como indicado na Tabela 66. No caso particular o roço foi feito em janeiro.

Tabela 66 – Resultados experimentais sobre época de plantio – Usina Caeté – Alagoas.

Época (inverno)		TCH	Época (verão)	TCH
Plantio	12/08/94	72	10/94	87
Corte	11/95			
Plantio	12/08/94	70	09/94	76
Corte	11/95			
Plantio	07/94	71	10/94	86
Corte	11/95			
Plantio	07/94	Roço 01/95		82
Corte		(irrigado)	11/95	

7.8 Uso de nematicida na região de Alagoas

Uso de nematicida: tem sido constatada que determinadas pragas do solo, no caso específico de nematoides, pode contribuir para a redução da produtividade. Os resultados indicados nas Tabelas 67 e 68 resumem dados da Destilaria Paisa no Estado de Alagoas, desenvolvidos em latossolos de textura média no ano agrícola 92/93. O preparo do solo foi convencional usando grade e arado.

Observe que o uso do nematicida no plantio (Tabela 67) aumentou a produtividade nos dois experimentos e para as duas variedades testadas. Comparando o tratamento 1 com o 2 note que o acréscimo foi na faixa de 6 a 18 t/ha com o uso do nematicida.

O tratamento 3, sem o nematicida, mas inclui o adubo acrescido de 30 t/ha de torta de filtro, produziu mais do que o tratamento 1 onde foi usado somente o adubo, porém foi ainda inferior ao tratamento 2. Tal fato significa que o uso de material orgânico também auxilia no aumento de produtividade, mas que sendo acrescido de nematicida o aumento ainda é maior da produtividade (ver tratamento 4).

Os dados da Tabela 68, obtidos também no mesmo ano agrícola, porém em um Podzólico Vermelho Amarelo areia/média com fragipã, em plantio de verão irrigado, no mesmo sistema de preparo do solo do experimento anterior. Note que no tratamento 2, Adubação Normal, a produtividade foi inferior ao tratamento 3 que recebeu o nematicida. Por outro lado, o tratamento 4 que recebeu a metade da dose de adubo, porém com nematicida produziu ainda mais cana. Tal resultado vem comprovar os mesmos resultados que se tem obtidos em outras regiões canavieiras como em São Paulo indicando que o bloqueamento biológico contra o desenvolvimento radicular muitas vezes é até mais importante do que o tratamento químico isolado.

Tabela 67 – Resultados em TCH em cana planta usando nematicida – Destilaria PAISA – AL.

Tratamentos	Experimento 01		Experimento 02	
	SP70-1143	RB75424	SP70-1143	RB75424
TCH				
1. Adubação Normal	46,0	49	59	61
2. 1 + 50 kg Nematicida	58,0	67	65	77
3. 1 + 30T/ha TF	54	51	58	58
4. 3 + 2	62	66	63	75

AN/ha = 150 Kg S.A.; 260 Kg S.T.; 150 Kg KCL; 30 Kg FTE, BR12.

Nº Nematóide/509 raiz = 840 exp.01; 230 exp. 02.

Tabela 68 – Uso de nematicida em cana planta irrigada – Destilaria PAISA – AL.

Tratamentos	CO997	RB72454
	TCH	
1. Testemunha absoluta	105	119
2. Adubação Normal (AN)	120	142
NA + 50 Kg /ha Nematicida	129	150
½ AN + 50 Kg/ha Nematicida	134	156

AN/ha = 150 Kg/ha S.A.; 260 Kg/ha S.T.; 150 Kg/ha KCL; 30 Kg/ha FTE; BR12.

Plantio: Jan/95 – Corte Out/1995.

Irrigação: 3 lâminas de 40 mm; Turno de 10 dias.

Nº Nematóide/ 50g raiz = 120.

7.9 Palha e Irrigação nas soqueiras de cana-de-açúcar

A maior parte das soqueiras de cana desta região (60 a 70%) é cortada durante o período seco. Devido ao pequeno volume de exploração radicular, como já foi observado a grande evapotranspiração neste período (faixa de 5 a 6 mm/dia), a deficiência de água é acentuada e por isso também é grande o percentual de falhas. O elevado percentual de falhas tende a reduzir o número de cortes e conseqüentemente aumentar o custo de produção.

A associação de práticas que reduza a evaporação, no caso da palha e da irrigação suplementar, suficiente apenas para a brotação das soqueiras, são práticas que devem ser incrementadas nesta região. Os dados da Tabela 69 obtidos junto a Usina Triunfo em Alagoas, ano agrícola 92/93 em PVA de textura média/argilosa com fragipã, indicam que o tratamento cana com irrigação, foi o melhor tratamento. Por outro lado, o tratamento de cana queimada com irrigação foi a segunda melhor opção. Os tratamentos sem irrigação, com ou sem palha, tiveram as mais baixas produções e conseqüentemente os maiores percentuais de falhas.

Tem ficado evidente nestes últimos 6 a 8 anos que a irrigação suplementar nas soqueiras desta cultura, assim como o plantio de verão tem viabilizado a cana-de-açúcar nesta região, haja visto as boas produtividades obtidas por algumas unidades. Por outro lado, também é fato comprovado que durante anos bons de chuva, com pouco estresse hídrico, a produtividade não é desprezível mostrando novamente que a falta de umidade e os solos coesos são fatores mais limitantes ao manejo destes solos nesta região.

Tabela 69 – Efeitos da irrigação e da palha em soca 2º corte – Usina Triunfo.

Tratamentos		TCH	%	Temperatura	M.O.	%
Colheita	Irrigação	2º corte	falhas	°C	% 5 a 20 cm	E.D.
Crua	Sim	64	28	33	1,8	3,2
Crua	Não	19	75	31	1,7	7,2
Queimada	Sim	53	25	38	1,6	10,0
Queimada	Não	14	78	35	1,4	8,8

SP700-1143 Irrigação: 2 lâminas de 30mm, sendo a 1ª logo após o corte e a 2ª 30 dias após.

% falhas: 60 dias após o corte. Mat. orgânica: aos 18 meses após o 1º corte. Ervas daninhas: 18 meses após o 1º corte.

7.10 Práticas de manejo na região Nordeste

a. Culturas anuais

Em princípio e como são culturas de ciclo curto a base é o de ter uma camada de 30 a 35 cm adequadamente corrigida e com preparo suficiente para permitir um satisfatório desenvolvimento radicular.

Em resumo pode-se proceder da seguinte maneira:

(1) Recuperação química usando calcário, se possível dolomítico, incorporando com arado. Havendo facilidade para a aquisição do gesso aplicá-lo por ocasião da aplicação do calcário. Não havendo tal possibilidade, use no plantio adubo contendo sulfato (superfosfato simples, sulfato de amônio, Fosmag). Na formulação adicionar os micronutrientes necessários para a cultura se este for o

caso. Se a cultura for susceptível a nematoides e se as análises assim o indicarem recomenda-se, por ocasião do plantio o uso de nematicidas.

(2) O preparo físico do solo pode ser o convencional justamente para auxiliar a incorporação do corretivo. Porém se as camadas densas estiverem próximo a superfície e houver encharcamento temporário, associar o preparo o erguimento da leira de plantio e plantar em ligeiro declive. Tal prática irá possibilitar uma melhor drenagem interna devido ao surgimento da leira (15 a 20 cm de volume de solo mais bem drenado) e o escoamento do excesso da água.

(3) Em situações críticas de encharcamento há necessidade de usar drenos profundos. O plantio em ligeiro camaleão deve ser feito em direção aos drenos principais, facilitando o escoamento superficial. A subsolagem em declive pode ser recomendada para auxiliar o escoamento interno da água.

(4) Após a colheita manter a área coberta com a palhada. O próximo plantio deve ser feito em plantio direto.

(5) Havendo irrigação, para uma segunda cultura, fazê-la em plantio direto. O uso de irrigação permite também o plantio de culturas descompactadoras, como já foi visto. É imprescindível o desenvolvimento de variedades que mais se adaptem a tais sistemas.

b. Culturas perenes

(6) Em situações mais críticas de encharcamento temporário, com a presença de camadas endurecidas mais próximas a superfície, proceder da seguinte maneira: trabalhar da mesma maneira que o item anterior, sem, entretanto, aplicar o calcário dentro do sulco. Na mesma linha do sulco anterior proceder ao erguimento de uma leira, de 3 a 4 m de largura e 50 cm de altura (para o caso do citrus). Proceder a sulcação convencional, aplicar o restante do calcário no sulco e fazer o plantio ligeiramente em desnível. Com isso é possível dar melhores condições para o desenvolvimento radicular da cultura (Figura 59). Havendo facilidade do uso de material orgânico, aplicá-lo dentro do sulco. Nas entrelinhas do citrus há diversas opções, a saber: mantê-la coberta por braquiária e controlando-a com herbicida; plantar leguminosa no início da estação chuvosa (guandu p.ex.) e roçá-lo no início do

período seco; associar entre linha com braquiária e entre linha com leguminosa. Evitar o uso de grades para o controle de ervas daninhas. Em situações mais limitantes de encharcamento proceder a drenagem profunda e seguir os demais procedimentos listados anteriormente. Seguir os procedimentos usuais quanto aos cuidados com a muda, com as adubações e controles fitossanitários.

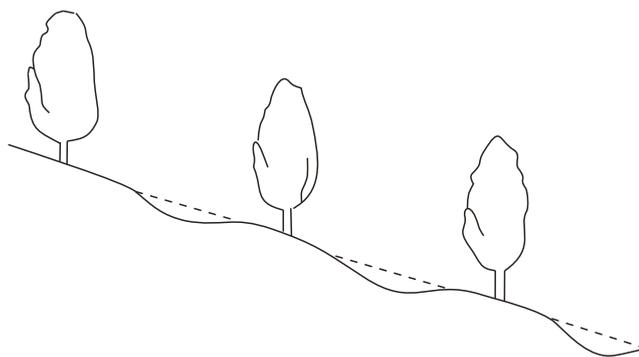


Figura 59 - perfil de um pomar com sistema de embaciamento para controle da enxurrada. Fonte: Esquema de

c. Cultura cana-de-açúcar

Usar as mesmas recomendações do item (a) (1) com as seguintes alterações: aplicar 80% do calcário em área total e o restante espalhando-o dentro do sulco de plantio. Ao sulcar utilize um sulcador subsolador com dois escarificadores acoplados de ambos os lados do sulcador. O sulcador deve permitir uma largura razoável de sulco assim como de profundidade (largura na faixa de 80 a 90 cm e profundidade de trabalho na faixa de 45 a 50 cm). O sulcador subsolador usado em cana-de-açúcar permite trabalhar nesta profundidade. Os escarificadores tem a função de descompactar as laterais do sulco assim como o de voltar parte da terra para dentro do sulco.

(7) No caso de cana planta e plantio de inverno o procedimento pode ser o seguinte: usar o mesmo procedimento de recuperação química. No preparo físico do solo utilize a associação grade intermediária seguido de aração e/ou subsolagem a 45-50 cm. Usar sulcador subsolador com largura do sulco na faixa de 70-80 cm e profundidade de 25-30 cm.

Havendo disponibilidade de torta de filtro aplicá-la no sulco na faixa de 25 a 30 t de matéria úmida escarificando o fundo do sulco para eliminar o efeito da carreta aplicadora. Usar todo o adubo no sulco de plantio, evitando as desnecessárias coberturas, inclusive nitrogenada. Proceder ao plantio levando-se em consideração as relações entre os ambientes de produção e as variedades. Havendo necessidade para o uso de nematicida, dar preferência ao plantio de maio-junho. Para as áreas sem nematicida dar preferência para o plantio de julho-agosto. A principal razão deste fato é que a ação dos nematicidas é maior em condições de mais umidade.

Em situações mais críticas de encharcamento temporário as opções são as seguintes: proceder a drenagem profunda sulcando a área em ligeiro desnível em direção aos drenos. Entretanto, os riscos de perda de plantio são grandes por encharcamento dentro do sulco. A outra opção é deixar de plantar neste período e fazê-lo no verão com irrigação.

Uso de cultura de cobertura ou de espera: proceder da mesma maneira como já foi indicado em capítulos anteriores, dando preferência para o plantio do feijão de corda, que é fonte de alimento para a população regional. Após a colheita aplicar um dessecante (se for necessário), sulcar e plantar a cana-de-açúcar. Utilize um disco cortante na frente do sulcador.

(8) No caso do plantio de verão as opções são as seguintes: (a) preparo antecipado do solo, em abril-maio, e deixá-lo coberto pelo mato até set-out. Aplicar o glifosato, sulcar e plantar, mediante irrigação antecipada ou não; (b) outra opção seria de cortar a cana-de-açúcar no início da safra, (setembro) eliminar a soqueira, e preparar o solo da melhor maneira possível. É preciso entender que neste período seco não se consegue fazer um preparo profundo e nem mesmo uma razoável recuperação química pois não há umidade suficiente. O próprio sulco é obrigatoriamente raso. É recomendado neste caso um adequado planejamento de recuperação química ainda por ocasião das soqueiras anteriores, facilitando assim o plantio de verão, assim como da necessidade ou não de drenagem profunda que deve ser feita com antecedência. Dar preferência para este tipo de plantio para áreas que já foram adequadamente corrigidas quimicamente.

Em relação ao cultivo de soqueiras alguns cuidados devem ser levados em consideração, a saber:

Durante o período seco não é recomendado o cultivo da entrelinha, com sérios riscos de quebra de equipamentos, perda de umidade e a mais importante perda de produtividade (ver dados sobre cultivo em período seco em capítulos anteriores). Recomenda-se a aplicar o adubo sobre a soqueira ou ligeiramente ao lado da linha, sem incorporação. Não use uréia, mas sim fonte nitrogenada menos volátil. Havendo umidade pode-se proceder ao cultivo convencional, porém na profundidade de 15 a 20 cm.

No corte de cana crua é recomendado remover a palha sobre a linha de cana, colocando-a na entrelinha para se evitar maiores ataques de cigarrinha. A adubação neste caso pode ser feita sobre a linha de cana. Havendo necessidade de recuperação química da soqueira proceder da mesma maneira como foi feito em capítulos anteriores.

7.11 Recuperação de solos erodidos em áreas de São Paulo

Dependendo do grau de erosão e do tipo de solo a recuperação pode ser feita rapidamente num período de 3 a 4 anos. Em situações em que a erosão atingiu as camadas mais inferiores, o tempo de recuperação pode ser maior. De maneira geral alguns pontos devem ser analisados em relação a este tema.

Tipo de solos: uma erosão laminar da mesma intensidade num solo com baixo gradiente textural (latossolo p.ex.) é mais fácil de recuperar do que um solo podzolizado, que expôs o horizonte B, mais denso e de drenagem mais lenta.

Nível de fertilidade do solo: solos eutróficos erodidos são mais facilmente recuperados do que os solos distróficos ou álicos.

Nível de Al: em muitos solos o teor de Al na subsuperfície é maior do que na superfície. Após a erosão a recuperação deste solo é mais difícil e cara.

É preciso, entretanto, e antes de se lançar na recuperação de solos degradados por erosão, vistoriar a área e fazer os serviços de contenção contra a erosão. Por outro lado, a maioria dos autores que tem trabalhado com a recuperação de solos erodidos, são unânimes na alteração de que há possibilidade de sua recuperação desde que se use a associação de matéria orgânica e adubo mineral (Yost et al., 1985; Carlson et al., 1986; Dedecek, 1987).

Vejamos alguns exemplos: (Dedecek, R.A, 1988) com simulação de erosão.

Exemplo 1 - Efeito da remoção de camadas de solos e posterior práticas de recuperação na produtividade da soja.

Solo estudado: LVE - textura argilosa, álico. O experimento constou ⁽¹⁾ na remoção artificial de camadas do solo (simulação de erosão) nas espessuras de 0, 2, 5, 10 e 20 cm; ⁽²⁾ utilizou-se 2 níveis de adubação, a saber: 400 kg/ha da fórmula 0-20-20 e 750 kg/ha de calcário dolomítico, 1500 kg/ha de PRTN 100%; 300 kg/ha da fórmula 0-20-20, respectivamente (Tabela 70). Como se verifica o uso isolado de adubo químico não conseguiu no, 1º ano, atingir um nível satisfatório de recuperação. A remoção de 10 ou 20 cm de solo ocasionou sensível perda de produtividade. Com os 20 cm de remoção do solo e usando o nível 2 de adubo, houve queda de 65% de produção.

Os resultados de soja indicam as seguintes faixas de produção comparada com a testemunha (Tabela 70).

Tabela 70 - Faixas de remoção de terra argilosa e redução da produtividade de soja nos níveis 1 e 2 de adubação – Brasil Central.

Faixas de remoção cm	Redução da produtividade	
	Nível 1	Nível 2
	%	
0	0	0
2	16	5
5	32	14
10	47	36
20	67	65

Exemplo 2 - Trabalho de Sparovek et al. (1991) trabalho semelhante ao anterior, porém além do adubo químico os autores utilizarem material orgânico (composto). O solo estudado foi um PVE-latossólico argiloso epieutrófico, e cultura de milho. A remoção de terra foi progressiva, de 0 a 45 cm (Figura 60).

Tratamentos:

T1: Calagem (4,5 T/ha) + 10 T/ha de esterco de bovino + 800 kg/ha superfosfato simples + 200 kg/ha KCl; 450 kg/ha ureia + 6,3 kg/ha sulfato de Zn. Em cobertura: 100 kg/ha de ureia e 250 kg/ha de sulfato de NH₄.

T2: Semelhante ao T1, porém sem calcário.

T3: testemunha absoluta.

Os resultados estão indicados na Figura 60.

Observações:

1. Produtividade crescente do T3 em direção ao T1 em todas as faixas raspadas.
2. As produções nas áreas raspadas de até 20 cm puderam ser recuperadas como tratamento T1 ou parcialmente com o tratamento T2. Porém com a raspagem a 20 cm foi possível no T1 erguer a produção nos níveis iniciais.

Por outro lado, é necessário entender que nestes dois solos testados a textura era argilosa e a drenagem boa.

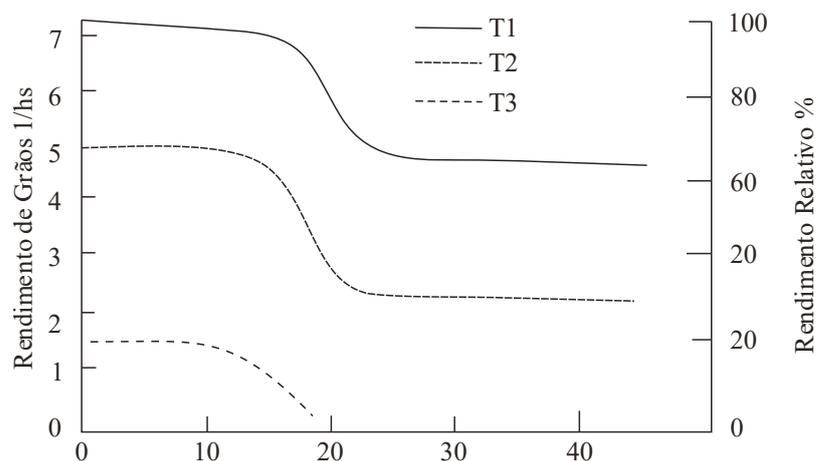


Figura 60 - Rendimento estimado e relativo de grãos de milho em função da profundidade de remoção de terra, nos três tratamentos estudados.

Exemplo 3 - É um experimento semelhante ao anterior, porém de longa duração na cultura de cana-de-açúcar, num solo podzolizado, textura arenosa sobre média-arenosa

com três cortes, sendo o plantio em julho 96. A drenagem no horizonte B é moderada e as raspagens foram de 0-15-30 cm. Em cada item foi efetuado os tratamentos abaixo (Usina Quara, SP).

Os dados representam os tratamentos, são médias dos três cortes.

Os tratamentos foram os seguintes:

1. Testemunha absoluta.
2. Adubação normal = plantio em Litron/ha (adubação fluida para plantio e soqueira)
3. Adubação normal + 8 T/ha composto seco (Torta de Filtro + bagaço).
4. Adubação normal + 16 T/ha composto seco.
5. Adubação normal + 24 T/ha composto seco.

Sub parcelas: com nematicida (6 l/ha de Furadan somente no plantio), calcário dolomítico PRNT 80%, (Fosfo Gesso) e sem nematicida para os Tratamentos 1 e 2.

Todos os tratamentos receberam calagem e gessagem. Plantio em julho 96, 1º corte 7/97; 2º corte 10/98; 3º corte 10/99. Os resultados estão indicados na Tabela 71.

Observações:

Na testemunha sem nematicida a produtividade média de 0-15-30 cm de raspagem foi respectivamente em t/ha de 88-68-61 e com nematicida passou para 92-84-80 com uma diferença de 4-16-19 de tonelagem ilustrando o valor do nematicida. Nas áreas com fertilizante a diferença com nematicida e sem nematicida foi a seguinte: 4-6-16 t/ha.

No caso do composto em t/ha de 22, 44 e 66 juntamente com o fertilizante, aplicado no sulco e em área total. Neste caso a aplicação no sulco de plantio tem sido superior área total exceto o caso de 66 t/ha que foi mais bem aplicado em área total.

A diferença entre a aplicação no sulco do composto com fertilizante de 22 t/ha, 44 t/ha e 66 t/ha para as áreas 0-15-30 cm de raspagem foi de 7-7-1 t/ha indicando com isso que a aplicação de 22 t/ha de composto seria suficiente ao invés da aplicação de 66 t/ha. No caso da aplicação de 66 t/ha em área total ao invés no sulco que apresentou aumento de produtividade é devido ao aumento da matéria orgânica do composto no sulco

e na área total. Verifique que a aplicação no sulco do composto de 22 t/ha é superior ao nematicida, ilustrando com isso a influência da matéria orgânica do composto.

A área raspada a 30 cm, verificou-se que nenhum tratamento conseguiu atingir os níveis iniciais indicando com isso a necessidade de preservar contra a erosão.

Tabela 71 – Resultados do teste em ton/ha de áreas raspadas em cana-de-açúcar na Usina Quatá.

Usina Quatá, SP, trabalho realizado em área simulando erosão através de raspagens em t/ha				
Tratamentos (kg/ha, t/ha, l/ha)	Sub parcelas	Área raspada (t/ha)		
		Sem raspagem	Com 15cm	Com 30cm
Testemunha	com nematicida	92	84	80
	sem nematicida	88	68	61
Adubo Normal	com nematicida	95	84	85
	sem nematicida	91	78	69
22 t/há composto + Adubo	Sulco	98	94	86
	Área Total	94	88	75
44 t/há composto + Adubo	Sulco	101	87	83
	Área Total	92	87	80
60 t/há composto + Adubo	Sulco	91	84	85
	Área Total	98	84	79
Média (t/ha)		94	84	78
Plantio junho 96; 2°C e 3°C em setembro 97 e 98; 4°C em novembro 99				
Furadan somente plantio: 4 08 08 (1350 l/ha); socas: 9 00 10 (1100 l/ha)				
Composto: 3 partes de Tortade filtro e 1 parte de cinza de caldeira				

Fonte: Usina Quata, Departamento Agrônômico, 2000.

8 CAPÍTULO 8: RESTRIÇÃO BIOLÓGICA AO DESENVOLVIMENTO RADICULAR

8.1 Considerações gerais e resultados experimentais

A ação de alguns organismos do solo pode provocar a redução de absorção de nutrientes e umidade e conseqüentemente afetar a produtividade, reduzindo-a. Entre eles destacam-se os nematoides. Tais organismos são disseminados na maioria dos solos, independentemente da textura. Entretanto, os efeitos maléficos desta praga estão associados mais aos solos arenosos.

A principal causa deste fato está associado ao teor de matéria orgânica. Como são solos com baixo teor de matéria orgânica, com o cultivo é inevitável queda neste teor, e, portanto, a redução dos inimigos naturais dos nematoides, fungos e bactérias. A principal consequência será o aumento dos nematoides.

Há exemplos de culturas que tiveram sua produtividade reduzida devido a esta praga como a soja, o café e, principalmente, a cana-de-açúcar. Tais organismos se alojam no sistema radicular das plantas, apesar de ter seu habitat no solo, reduzindo seu volume e em consequência reduzindo toda a ação das raízes no que se refere as funções de absorção de água e nutrientes. Em ataques severos há morte do sistema radicular (Figura 61).



Figura 61 - Ataques de nematoides e produtividade agrícola em solo arenoso (A) indica o sistema radicular sendo alojada por nematoides; (B) em cultura de cana-de-açúcar com nematicida e sem nematicida; (C) caminhões com cana-de-açúcar sem e com nematicida; (D) galhas com nematoides em raízes assim como no (E); (F) nematoide no sistema radicular e áreas de cana-de-açúcar com ataque severo de nematoides.

Em experimentos feitos na Usina Estivas, no Rio Grande do Norte, foi observado que a absorção de nutrientes em áreas tratadas com nematicida é sempre maior quando comparado com as áreas não tratadas, independentemente da época de amostragem (Tabela 72). Note que os níveis de nitrogênio e de potássio nas folhas da cana foram sempre maiores nas áreas tratadas com o nematicida tanto aos 3, 10 e 13 meses após a aplicação no sulco de plantio. Por outro lado, note que a maior ou menor absorção de nutrientes também é função varietal.

Tabela 72 - Níveis de Nitrogênio e de Potássio nas folhas de cana em áreas tratadas e não tratadas com nematicida (Usina Estivas, RGN).

Variedade	Época de amost.	N %		K %	
		CN	SN	CN	SN
SP71-6163		1,60	1,45	1,64	1,14
RB72454	Mar-86	1,90	1,70	1,52	1,34
SP70-1143	3 meses	1,57	1,40	1,40	1,30
SP71-6163		2,05	1,90	1,52	1,36
RB72454	Oct-86	1,95	1,65	1,20	0,92
SP70-1143	10 meses	2,05	2,00	1,28	1,08
SP71-6163		2,73	2,50	1,54	1,90
RB72454	Feb-87	3,06	2,51	1,69	1,00
SP70-1143	13 meses	2,84	2,40	1,67	1,41

CN – Com nematicida. SN – Sem nematicida.

A ação destes organismos é tão drástica que em muitos casos o uso de nematicidas muitas vezes é mais eficiente do que o uso de adubo (Tabela 73). Neste caso específico e por ocasião do plantio da cana em solo de textura média, foi usado três doses do adubo. No tratamento sem nematicida a produtividade não foi crescente à medida que houve aumento do adubo, ela foi máxima na dose de 375 kg/ha, com 86 t/ha de cana. Porém quando se usou a metade da dose recomendada do nematicida (Furadan no caso) com 5 l/ha a produtividade sem adubo foi de 8 t/ha superior a dose de 375 kg/ha e de 22 t/ha com a dose recomendada de adubo de 750 kg/ha.

Além disso, note que à medida que houve a aplicação do adubo não houve aumento da produtividade, mantendo-se na faixa de 93 t/ha. As explicações para este caso, aliás bastante comum nesta cultura, se deve ao fato de que os níveis de nutrientes no solo são suficientes para suprir a cultura, e que o nematicida tem possibilitado que o sistema radicular capte tais nutrientes, o que não acontece quando não se usa o produto.

Devido a resultados como os aqui apresentados há sugestões em área de reformas de canaviais e em solos com problemas com nematoides o uso de nematicida, porém com a redução de 15 a 20% do adubo.

Tabela 73 – Uso de Furadan em dose normal e subnormal na variedade RB72 454 (Dest. Galo Bravo – Ribeirão Preto – Fazenda. Santa Lúcia – 1º Corte 7/95 – Solo LVAm).

TRATAMENTOS		TCH
Kg/ha da 4-20-20	FURADAN (l/ha)	
0	0	67
375	0	86
750	0	72
0	5	94
375	5	93
750	5	94
0	10	92
375	10	94
750	10	114

Fonte: Desenvolvimento Agronomico, Usina Galo Bravo, Ribeirao

Em solos onde a ação maléfica dos nematoides é constatada o próprio manejo do fertilizante, no caso do fósforo, pode ter eficiência diferente dependendo da maneira de aplicá-lo. A aplicação a lanço deste nutriente tem sido superior a aplicação no sulco, principalmente em solos de textura média a arenosa (Tabela 74). Este foi um experimento de longa duração conduzido na Usina Barra Grande em Lençóis Paulista com quatro cortes. A fonte de P foi o superfosfato simples e as doses estão indicadas na Tabela 74, assim como a maneira de aplicação, se no sulco de plantio ou em área total.

A dose normal indicada para o caso do P em solos com teor abaixo de 5 ppm é de 150 kg/ha de P₂O₅, no sulco de plantio. Em área onde foi aplicado o nematicida e com a dose máxima de P₂O₅ dentro do sulco a produtividade em quatro cortes foi de 311 t/ha, enquanto, que o uso de 100 kg/ha de P₂O₅ aplicados em área total a produtividade foi de 359 t/ha, ou 48 t/ha a mais usando bem menos adubo.

A associação de aplicação de 100 kg/ha do P em área total e 50 kg/ha dentro do sulco produziu 67 t/ha a mais quando comparado com os 150 kg/ha aplicado no sulco. Nos tratamentos sem nematicida a tendência tem sido a mesma, ou seja, a aplicação do P em área total tende a produzir mais do que no sulco.

Tabela 74 – Modos de aplicação do superfosfato simples em solo arenoso usando nematicida, em produção acumulada de 4 cortes de cana-de-açúcar (Usina Barra Grande – SP).

Sulco	Kg/ha					P ₂ O ₅ Área Total				
	0	100	200	400	1200	0	100	200	400	1200
P ₂ O ₅	Com nematicida					Sem nematicida				
0	244	359	370	382	408	226	353	367	384	407
50	256	378	351	398	421	262	355	351	388	401
100	322	367	367	385	427	296	360	348	391	411
150	311	369	358	391	415	326	361	358	374	398

Em relação ao trabalho de Morelli et al. os autores usaram o Termofosfato Yoorim BZ como fonte de P (Tabela 75). Em todos os tratamentos deste experimento usou-se o nematicida. No caso da cana planta, os 200 kg/ha de P₂O₅ aplicados no sulco produziu 104,2 t/ha enquanto, que a mesma quantidade aplicada em área total foi de 147,7 t/ha, diferença está apreciável num único corte. Quando se observa o segundo corte, nota-se que ainda há diferenças na produtividade, menor neste caso, de 18,8 t/ha favorável a aplicação em área total.

A associação de aplicação no sulco e em área total tem sido as melhores opções de manejo para o caso deste nutriente em áreas onde os nematoides são considerados problemáticos. Causas? A aplicação do adubo fosfatado em solos com baixo teor de P no sulco de plantio tende a concentrar mais raízes e, portanto, sujeito ao maior ataque de nematoides. Aplicando o P em área total o ataque tende a ser menos agressivo, pois o sistema radicular tende a se espalhar no solo.

Tabela 75 – Produções de colmos de cana-de-açúcar obtidos em áreas tratadas com nematicida e em solo de textura média-arenosa, região de Lençóis Paulista-SP.

P ₂ O ₅ Aplicado a lanço	P ₂ O ₅ aplicado dentro do sulco (Kg/ha)				Média
	0	100	200	300	
Kg/ha	t/ha				
Cana Planta					
0	66,7	100,9	104,2	127,5	100,3b
200	147,7	169,1	171,8	171,3	165,0a
400	158,1	168,7	172,5	173,1	168,1a
Média	124,8b ⁽¹⁾	146,2a	149,5a	157,3a	-
1ª Soca					
0	44,7	63,6	72,9	70,1	64,6a
200	91,7	97,3	100,2	100,8	97,3b
400	104,7	106,3	109,3	112,3	108,2a
Média	80,2b	89,1a	94,1a	96,2a	-

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

O uso de matéria orgânica não deixa de ser uma excelente alternativa de manejo em áreas com problemas de nematoides. Dependendo da fonte de matéria orgânica ela pode fornecer nutrientes assim como inimigos naturais dos nematoides. O experimento da Tabela 75 executado em solo de textura média-arenosa na região de Lençóis Paulista, ilustra tal caso. Observações: no primeiro corte o uso da Torta de Filtro (TF) e com o adubo sempre produziu mais que as parcelas com adubo.

Aplicando a metade da dose do nematicida, 30 kg/ha, e sem adubo, a parcela sem TF produziu 144 t/ha contra 136 t/ha na parcela com a quantidade máxima de adubo, indicando mais uma vez a ação dos nematoides. Na média final a ação da TF tende a produzir mais cana quando comparado com as parcelas com adubo. Quando se aplica o nematicida há tendência de aumento de produtividade em ambos os tratamentos.

Tabela 76 – Produtividade da cana-de-açúcar (t/ha) usando adubo, Torta de Filtro, e nematicida em solo arenoso – Usina Barra Grande, Lençóis Paulista-SP.

Nematicida	P ₂ O ₅	K ₂ O	1º corte		2º corte		Média	
			TF	STF	TF	STF	TF	STF
Kg/ha			RB72434					
0	0	0	140	78	103	96	122	87
0	80	80	156	101	117	115	136	108
0	160	160	145	136	120	107	132	121
30	0	0	156	144	115	112	135	124
30	80	80	165	134	124	129	145	132
30	160	160	167	152	129	108	148	130
60	0	0	142	149	122	121	132	135
60	80	80	151	162	127	115	139	139
60	160	160	197	188	124	123	161	155
Média			166	150	122	119	139	135

Nematicida: Furadan, 1º corte:08/95, 2º corte: 10/96. Plantio 03/94. Fonte de P: Supersimples; Teor P₂O₅ da TF = 1,5%.

Na literatura é comum o uso de crotalaria juncea ou spectabilis como controladora de nematoides. Os resultados de maneira geral são animadores, porém quando se associa a ação destas culturas com os nematicidas os resultados são ainda superiores quando comparado somente com as leguminosas.

Anualmente tem sido comum a recomendação de nematicidas em soqueiras de cana-de-açúcar (Tabela 77). Nos exemplos da Usina Santa Helena em Rio das Pedras, SP, em PVA textura areia média, observa-se: somente o uso do nematicida, sem o adubo, propiciou um aumento de 10 t/ha. A redução do adubo de soqueira, porém usando o nematicida houve acréscimo decrescente caindo a produtividade.

No caso da Usina Quatá, os experimentos foram conduzidos em soqueiras de terceiro corte em áreas irrigadas e sem irrigação. (a) No tratamento com adubação normal, (NA) a área irrigada propiciou 10 t/ha de acréscimo na tonelagem de cana quando comparado com a área sem irrigação; (b) Quando se usa o nematicida com dose normal de adubo ou com meia dose, sem irrigação, observe que não houve aumento de produtividade; (c) com irrigação houve resposta para adubo e nematicida, evidenciando novamente a não recomendação da redução do adubo em detrimento do uso do nematicida. Tais resultados, semelhantes a outras unidades vem confirmar que a redução

de adubo, com a aplicação do nematicida, não é recomendado em soqueira em ambientes secos.

Tabela 77 – Resultados da aplicação de nematicida em soqueiras, safra 99/2000 em solos arenosos e em diversas usinas do Estado de São Paulo.

Tratamentos	TCH	Diferença t/ha
Usina Santa Helena – Rio das Pedras		
500 kg 20-00-25 + nematicida	87ab	26
300 kg 20-00-25 + nematicida	93a	32
100 kg 20-00-25 + nematicida	71ac	10
Sem adubo, com nematicida	70bc	10
Sem adubo, com nematicida	60c	-
Usina Quatá		
	(Com irrigação)	(Sem irrigação)
1000 l (10-00-12) (AN)	116	108
AN + 6 l Furadan	125	106
1/2 AN	111	104
1/2 AN + 6 l Furadan	116	108
Usina Cocal		
Adubo normal	53	
Counter 50G, 65kg	60	

8.2 Estratégia de manejo

Em áreas com problemas de nematoides recomenda-se as seguintes opções de manejo:

Correção química do solo, inclusive com o gesso. Como foi explicado, uma recuperação química adequada permite que o sistema radicular explore um maior volume, atenuando assim os efeitos dos ataques dos nematoides. Quanto ao gesso a explicação é semelhante, pois como foi demonstrado em capítulos anteriores que este produto permite que as raízes se aprofundem no solo, e com isso “fugindo” do maior ataque dos nematoides que estão localizados em maior número na camada superficial.

Aplicação diferenciada do fósforo, sendo 70% em área total e 30% dentro do sulco de plantio. Uso de mudas saudáveis e variedades tolerantes. Utilização de resíduos orgânicos. Utilização de nematicidas.

Relação de nematicida e época de plantio. Sabe-se que a ação deste produto é proporcional ao teor de umidade do solo. Sendo assim e num período de plantio de janeiro a maio a ação do nematicida se reduz neste sentido (decréscimo da umidade do solo). Portanto de preferência para o plantio na época de maior umidade quando for necessário o uso do nematicida.

Em áreas muito problemáticas há necessidade de associar os recursos aqui listados.

8.3 Processos químicos de desenvolvimento radicular

Atualmente tem sido desenvolvido produtos químicos ou biológicos para o aumento do sistema radicular como um dos objetivos, além da absorção de nutrientes e água em profundidade, mas também para reduzir a densidade do solo. Neste aspecto há uma série de produtos no mercado que permite o aumento do sistema radicular em profundidade dos solos. Porém, há necessidade de se verificar as vantagens destes sistemas ao longo do tempo sendo que atualmente há diversos testes em evolução em diversas regiões no Brasil. Tais sistemas devem ser levado em consideração, pois seria de imenso valor na tentativa de se reduzir o aumento da densidade (compactação) como na Figura 62. Tem sido observado em diversas culturas o uso de plantas de cobertura que apresentam um sistema radicular vigoroso e que podem auxiliar na descompactação dos solos.

Uso de químicos no desenvolvimento radicular: A, B, C, solos arenosos.
D, solo argiloso, Usina Bevap, MG.



Figura 62 - Uso de produtos químicos no desenvolvimento radicular.

9 CAPÍTULO 9: DIAGNÓSTICO DE ÁREAS COM PROBLEMAS DE PRODUTIVIDADE

De maneira geral as restrições ao desenvolvimento radicular podem estar associadas a diversos fatores, como exemplo: (1) A proliferação de doenças do sistema radicular causado por organismos do solo que por sua vez encontrou ambiente propício devido ao encharcamento temporário. A ocorrência do encharcamento se deve a redução da porosidade. (2) Por outro lado a restrição pode estar associada a um único fator, como por exemplo, severas limitações devido ao baixíssimo teor de fósforo, ou o caso do cálcio.

Sendo assim o diagnóstico do(s) fator(es) que está restringindo a produtividade do solo deve ser feita de uma maneira integrada e cuidadosa e se possível investigando todas as possibilidades possíveis. O principal ponto que deve ser levado em consideração, ou seja, o alerta de que algo não está bem com a lavoura com a queda de produtividade. Portanto, os pontos que devem ser levados em consideração no diagnóstico em tais áreas são os seguintes:

9.1 Histórico da cultura ao longo do tempo

A busca para a solução de problema de produtividade é facilitada através da obtenção de toda a história da cultura, tais como: preparação física do solo (tais como o nº de operações, subsolagem, gradeação, entre outros); recuperação química (corretivos, gesso, fosfatagem, adubo, nematicida); época de plantio, variedades; condições climáticas na época de plantio e durante o ciclo da cultura; níveis de chuva; quantidade, análise e posição do fertilizante na cobertura; controle de pragas e doenças; análise do solo e da planta; evolução das produtividades anteriores.

9.2 Análise do sistema radicular feito em trincheiras

Onde fazer o exame? Escolher, no campo, os talhões de baixa produtividade abrir as trincheiras, fazer os exames necessários e compará-los com talhões de alta produtividade também em trincheiras. Nesta análise é possível levantar diversos aspectos a saber: (1) desenvolvimento radicular tanto na superfície como na subsuperfície; (2)

nível de compactação; (3) proliferação de pragas de raiz, como nematoides, ou doenças; (4) encharcamento temporário; (5) problemas de nutrição.

Os sintomas no sistema radicular podem auxiliar no diagnóstico de uma série de problemas. Sistema radicular sem problemas é abundante, de cor clara ou pardacento, e com bom número de raízes fasciculadas e finas, explorando tanto na superfície, onde há dominância, como na subsuperfície. Em cortes transversais as raízes não indicam sinais de descoloração ou achatamento.

Em áreas problemáticas os seguintes sintomas são evidenciados:

a. Compactação

Em culturas com raiz pivotante anual (soja) ou perene (citrus): (1) a raiz pivotante é tortuosa e de diâmetro variável; (2) as radículas são achatadas; (3) os torrões apresentam poucas raízes em seu interior; (4) as raízes estão confinadas na área do sulco e poucas raízes nas entrelinhas. Em culturas com raízes fasciculadas (cana, milho): (1) concentração de raízes na área do sulco; (2) ausência de raízes nas entrelinhas; (3) poucas raízes abaixo do sulco; (4) raízes achatadas.

b. Encharcamento temporário

(1) sinais de redução do ferro; (2) poucas raízes vivas, muitas raízes mortas e necrosadas; (3) quando cortadas longitudinalmente e se houver ataque de doenças, a parte superior da raiz indica descoloração intensa; (4) maior concentração de raízes na superfície devido ao maior teor de oxigênio.

c. Nematóide

(1) engrossamento das raízes, principalmente na parte terminal; (2) formação de galhas, pobre desenvolvimento radicular; (3) sistema radicular confinado na área do sulco; (4) afinamento de raízes na parte central e engrossamento nas pontas; (raízes com galhas podem ser confundido com sintomas de nematoides ectoparasitos ou nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio. Estes nódulos, no entanto, são facilmente removidos com os dedos e o líquido interior é de cor róseo e marrom.

d. Prejuízo por inseto

Presença de larvas ou adultos na região das raízes ou atacando as touceiras no caso de culturas específicas como cana-de-açúcar. Sistema radicular pobre. Necessidade de ser verificado o caminho da larva. Muitas vezes a larva não se encontra, porém deixa rastros.

e. Problemas nutricionais

De maneira geral a deficiência nutricional causa baixa produção e consequentemente pouca quantidade de raízes. Particularmente a deficiência do Boro, que causa a morte da gema apical da cultura como também a morte da ponta da raiz, provoca uma proliferação de raízes, em forma de leque nesta posição. A deficiência de cálcio provoca um empobrecimento do sistema radicular, com sensível redução do tamanho. Toxidez de Al e Mn: raízes grossas com afinamento acentuado nas pontas; raízes em forma corolácea (forma de coral), ausência de raízes onde os teores no solo de Al e Mn são mais elevados. Análise química do solo pode auxiliar ao diagnóstico final.

9.3 Sintomas no colmo e nas folhas

A aparência de maneira geral da cultura, nas mais diversas épocas de seu ciclo de crescimento e desenvolvimento pode auxiliar no diagnóstico relacionado a queda de rendimento. Neste aspecto é necessário conhecimento adequado da cultura, assim como o exame da cultura relacionado aos seguintes aspectos: Ataque de pragas, doenças e desordem nutricionais; Encharcamento temporário, pouca insolação; Folhas cloróticas podem estar associado a diversos fatores, a saber: (1) frequentemente causada por deficiência ou excesso nutricionais; (2) exposição por excesso de etileno (maturadores); (3) pouca insolação; (4) ataque de pragas no solo, nematoides; (5) baixa temperatura; (6) déficit hídrico; (7) herbicida; (8) interações herbicida-nematicida; (9) excesso de umidade.

Os sintomas que podem causar queda de produtividade como os aqui vistos nos colmos e folhas são semelhantes aos dos ataques nas flores e frutos.

9.4 Análises do solo

Dependendo do tipo de problema observado por ocasião do preparo do solo, do plantio e do desenvolvimento da cultura a restrição pode estar relacionada a aspectos específicos do solo. Assim vejamos:

9.5 Sintomas visuais na planta devido a compactação e a estruturação pobre do solo

Os sintomas mais óbvios e frequentes observados nas culturas causado por severas modificações da estrutura do solo (compactação) são os seguintes: (1) emergência lenta e demorada; (2) plantas mais baixas que o normal; (3) cores mais amareladas das folhas; (4) sistema radicular raso e pobre. Tais sintomas, entretanto podem também ser devido a outros problemas tais como: seca; época de plantio; altura do lençol freático; nematoide; encrostamento superficial. Portanto o diagnóstico das condições de estruturação pobre através do aspecto da cultura deve ser feito com muito cuidado. Assim vejamos:

a. Emergência lenta da planta

Pode estar também relacionado a temperaturas mais baixas; solo encharcado; crostas superficiais; ou selamento de poros, fatores estes relacionados a redução da porosidade do solo. Associado com a emergência lenta da planta está o “stand” irregular da cultura e a baixa população de plantas, mesma na utilização adequada da quantidade de semente, assim como de sua boa qualidade. Em condições de excesso de umidade, causada pela compactação, tanto os seedlings como as plantas mais desenvolvidas são mais susceptíveis a danos causados por doenças de raízes.

b. Plantas mais baixas que o normal

Podem refletir deficiências nutricionais ou doença ou podem estar relacionadas a compactação. O atraso na emergência das sementes e desenvolvimento lento resulta em plantas mais baixas do que o stand normal da cultura. Tais sintomas têm sido observado em áreas onde o preparo do solo ficou com muitos torrões que foram formados durante o

plantio com solo úmido. Tais situações são mais frequentes em solos de textura argilosa e de mineralogia mista ou 2:1.

c. Folhas cloróticas ou de coloração fora do padrão da cultura

Podem refletir deficiência nutricional ou doenças e tem sido observado em condições restritas de desenvolvimento radicular. A desnitrificação é bastante comum em solos com encharcamento temporário, ocasionalmente causado por modificação da estrutura. Neste caso o uso de mais fertilizantes pode fazer com que as folhas voltem para a coloração normal, mas a produtividade é restringida, justamente devido ao pobre desenvolvimento radicular.

Desenvolvimento raso do sistema radicular: é sem dúvida o sintoma mais frequente de uma estrutura ruim. Entretanto, é necessário entender o significado de “sistema radicular normal”. As raízes da maioria das culturas anuais inicialmente crescem em diagonal sentido descendente. No período de florescimento as raízes tendem a se desenvolver no sentido descendente e lateralmente. Quando a estrutura do solo não restringe o desenvolvimento radicular, a profundidade de exploração atingida pela maioria das culturas está na faixa dos 40 a 60 cm. Exames detalhados na distribuição padrão de raízes durante o crescimento da planta podem favorecer valiosas informações.

Enquanto se observa o sistema radicular em trincheira tente responder as seguintes questões:

(1) As radículas e raízes secundárias exploram os agregados internamente e externamente (bom sinal) ou elas exploram apenas as faces externas (mal sinal)?

(2) As raízes tendem a se desenvolver no sentido diagonal e lateral (bom sinal) ou há considerável desenvolvimento lateral (mal sinal)?

(3) As raízes exploram uniformemente a camada arada e preparada (bom sinal) ou há muito volume nesta camada superficial que não contém raízes (mal sinal)?

(4) As raízes também atingem a subsuperfície do solo, (40, 60 ou 80 cm, em cana-de-açúcar atinge maior profundidade) (bom sinal), ou elas estão restritas somente na camada preparada (mal sinal).

9.6 Sintomas visuais no solo da compactação e estruturação pobre

Existem alguns aspectos de sintomas observados no campo correlacionados a redução da porosidade, a saber: (1) crostas superficiais; (2) compactação de subsuperfície; (3) encharcamento temporário da água; (4) erosão excessiva; (5) aumento de potência requerido para mobilização do solo.

a. Encrostamento superficial

Contrariamente a crença popular de que solos dispersivos são aqueles que contém teores elevados de Na, muitas camadas superficiais de solos ácidos muito intemperizados e sem sódio dispersam sob condições de baixa concentração de eletrólitos na solução do solo. Em condições favoráveis a dispersão de argila durante uma chuva forte, sob o impacto das gotas de água, os agregados na superfície podem ser parcialmente desintegrados (principalmente nos solos arenosos). A argila separada e dispersa: (1) move-se para dentro dos espaços porosos, bloqueando-os reduzindo a infiltração e aumentando a erosão; (2) move-se na superfície do solo e pode ser depositada em pequenas depressões ocasionando também o bloqueamento dos poros (encrostamento superficial).

Além destes inconvenientes, o encrostamento superficial reduz ou dificulta a germinação das plantas assim como dificulta as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera. As crostas superficiais são de espessura milimétrica. Por sua vez solos pouco intemperizados, bem estruturados e argilosos, porém contendo sódio trocável, podem também ter argila disperse que poderá bloquear os poros ou formar as crostas superficiais. Além destes inconvenientes, quando tais solos estão úmidos ou molhados as poucas rachaduras formadas na superfície do solo permanecem tornadas pela água, dificultando e reduzindo as trocas gasosas entre a atmosfera e o solo. Quando secos as crostas superficiais tomam-se extremamente duras e dificultam e limitam a germinação e o desenvolvimento da cultura.

b. Compactação na subsuperfície

Diagnostica principalmente através do exame em trincheiras, as zonas compactadas podem ser de origem genética (adensamentos) como os fragipans, duripans e alguns horizontes B textural ou camadas densas formadas por implementos agrícolas. O desenvolvimento radicular auxilia no diagnóstico da compactação. Na ausência de culturas e conseqüentemente de raízes, o diagnóstico tem que ser feito com muito mais cuidado. Normalmente em áreas já cultivadas a estagnação temporária da água em determinados locais já indica uma redução da drenagem. Na trincheira a camada compacta pode ser observada pela completa alteração da estrutura, que se apresenta em forma maciça, em blocos retangulares quase sempre com ausência de raízes internamente.

A estagnação temporária da água na superfície do solo e em solo de boa drenagem pode indicar compactação superficial devido ao tráfego de veículos e implementos pesados. Excesso de torrões durante o preparo do solo pode indicar compactação.

c. Erosão excessiva pela água

Pode ser um sintoma de mal estruturação ou manejo inadequado do solo. Quando a água de chuva ou de irrigação artificial não se infiltra rapidamente no solo devido as crostas superficiais ou aos níveis de compactação, agravado pelo excesso de água proveniente de áreas vizinhas, o deflúvio superficial se verifica e há erosão. O aumento da potência requerida para mobilização do solo pode ser atribuído a compactação. É necessário cuidado nesta avaliação pois muitos solos quando secos desenvolvem elevada coesão, dando se a impressão de estarem compactados.

9.7 Causas da má estruturação

O desenvolvimento de uma estruturação ruim é um fenômeno associado frequentemente com as operações de preparo ou com as características físico-químicas do solo. As causas mais comuns são as seguintes:

a. Drenagem inadequada

Tanto na superfície como na subsuperfície a drenagem mais lenta, é talvez, a maior causa de uma estruturação ruim, principalmente durante o preparo do solo em condições de umidade excessiva. Nestas condições de solos úmido ele toma-se plástico e a passagem do implemento ou tráfego, permite excesso de compressão formando a camada compactada. A compactação pode ocorrer em qualquer fase do ciclo da cultura, desde que haja umidade suficiente no solo e a utilização de equipamentos.

b. Número excessivo de operação de preparo

A principal consequência neste caso se deve a redução acentuada dos agregados do solo, podendo com a chuva, bloquear os poros, formar as crostas superficiais e aumentar o processo erosivo.

c. Sistema de cultivo

Cultivo ou sequência de cultivos que deixam pouco ou nenhum resíduo orgânico no solo após a colheita é considerado um grande fator que contribui para a degradação do solo, principalmente nos mais arenosos.

d. Condições químicas do solo

Solos muito intemperizados com delta pH positivo tende a dispersar mais as argilas e em consequência erodir. Solos contendo pouco eletrólitos, independentemente da textura, ou com sódio trocável, apresentam facilidade de dispersão e consequentemente de danificar a boa estruturação inicial.

e. Minerais da fração argila

A estrutura de um solo é influenciada por uma série de fatores, entre eles, o teor de argila, a mineralogia da fração de argila e o teor de matéria orgânica. De maneira geral a estruturação se desenvolve à medida que há aumento do teor de argila. Entretanto, para um mesmo teor de argila digamos 60%, um solo com mineralogia oxídica terá estrutura

fraca, pequena e com boa drenagem, enquanto, que outro solo com mineralogia 2:1 terá estrutura forte, grande e com drenagem deficiente.

10 CAPÍTULO 10: GRUPOS DE MANEJO DE SOLOS

10.1 Grupos de manejo e tipos de solos

Os grupos de manejo de solos são identificados de acordo com uma série de características em comum que os solos apresentam e que permitem aplicar as mesmas práticas de manejo. Tal agrupamento é necessário devido ao grande número de unidades de mapeamento identificadas muitas vezes nos levantamentos de solos assim como da necessidade de se facilitar o planejamento global. Os solos podem ser grupados para as mais diversas finalidades, tais como: (1) grupos de manejo para preparo convencional dos solos; (2) para época de plantio; (3) para época de colheita; (4) para fins de fertilidade; (5) para alocação de variedades etc.

Vejamos um exemplo de planejamento onde vai envolver o preparo convencional de solo, a época de plantio e a alocação de variedades, para a cultura de cana-de-açúcar. Entretanto, tal exemplo se aplica ainda para as demais culturas perenes.

As unidades de mapeamento obtidas em levantamento de solos e que serão levadas em consideração são as seguintes (nomenclatura nova e antiga): Nitossolo Vermelho (NV)-Terra Roxa Estruturada (TE); Latossolo Vermelho férrico -Latossolo Roxo (LR); Latossolo Vermelho muito argiloso e argiloso (LV) - Latossolo Vermelho Escuro argiloso (LE1); Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)-Latossolo Vermelho Amarelo ou Amarelo argiloso (LA1); Argissolo Vermelho, PV-Podzólico Vermelho Escuro argila/argila (PE 1); Latossolos textura média argilosa (25 - 35% argila) (LE2, LV2, LA2); Latossolos textura média-arenosa (15 - 25% argila) (LE3, LV3, LA3); Neossolos Quartzarênicos (RQ) - Areia Quartzosa (AQ); Argissolos (PV) - Podzólico Vermelho Amarelo, areia/média, areia/argila, média/argila (PVA); Planossolo SX,SN - (PL); Cambissolo, CX - (Cb) e Solos Litólicos (RL); Solos Hidromórficos (GX), Ta ou Tb, Vertissolos (VX).

No caso da cana-de-açúcar e, também para as demais culturas semi-perene e perene a época de plantio coincide com as épocas de chuvas, outubro a abril para a nossa região. Se o plantio for irrigado, na época seca, as sequências podem mudar.

A escolha da cultura de cana-de-açúcar para este exemplo se deve ao motivo pelo qual ela é uma das que mais compacta o solo, principalmente se a textura for argilosa ou

muito argilosa. Através de muitas observações em trincheiras pode-se constatar que a compactação nesta cultura não tem atingido profundidades superiores a 50 cm.

Os principais pontos que devem ser levados em consideração no caso de um preparo convencional visando atenuar o problema da compactação são os seguintes:

(1) As operações iniciais de reforma da área ou de preparo desta são feitas com grade intermediária ou pesada (grade de 28", 32" ou 34"). Antecedendo esta operação e dependendo das condições da área, é recomendado uma eliminação química das soqueiras usando o glifosato.

(2) O número de gradeações, principalmente as intermediárias irá depender de uma série de fatores relacionados ao nível de infestação com ervas daninhas. Da mesma maneira nesta fase e havendo elevado nível ainda de infestação com erva daninha use o glifosato.

(3) Após as operações de preparo superficial feito com as grades deve ser feito o preparo profundo, e neste caso a opção tem ficado entre o arado e/ou subsolagem.

(4) Pouco antes do plantio proceder a gradeação de pré-plantio.

A Coopersucar sediada em Piracicaba tem efetuado uma série de trabalhos relacionados ao tipo de preparo do solo tanto em solo argiloso como em solos de textura média. As Figuras 63 e 64 ilustram o perfil do solo após as operações de preparo. Vejamos o que ocorre:

Na Figura 63 o solo é um Latossolo Vermelho Escuro de textura média (30% de argila) e após 4 corte entrou em reforma. A área foi recém gradeada com grade de 16 discos de 34". Observe que o preparo superficial atingiu apenas os primeiros centímetros do solo e não conseguiu quebrar toda a área compactada (área com densidade acima de 1.6 g/cm³). Na Figura 64 o preparo foi feito com grade, associado com a subsolagem, sendo que está com variações no número de hastes e no espaçamento entre as hastes. Note que espaçamento de 80 cm entre as hastes tem ficado muitas camadas compactadas. O melhor efeito foi no sistema com 5 hastes espaçadas a 50 cm.

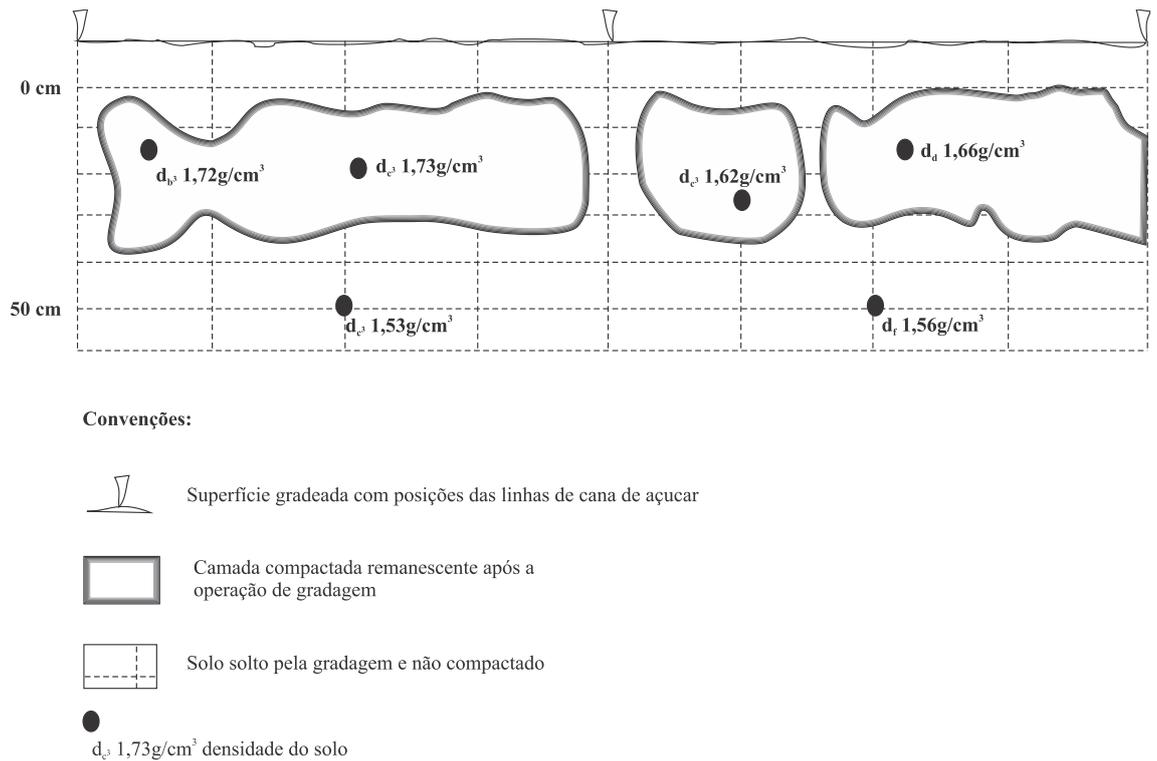
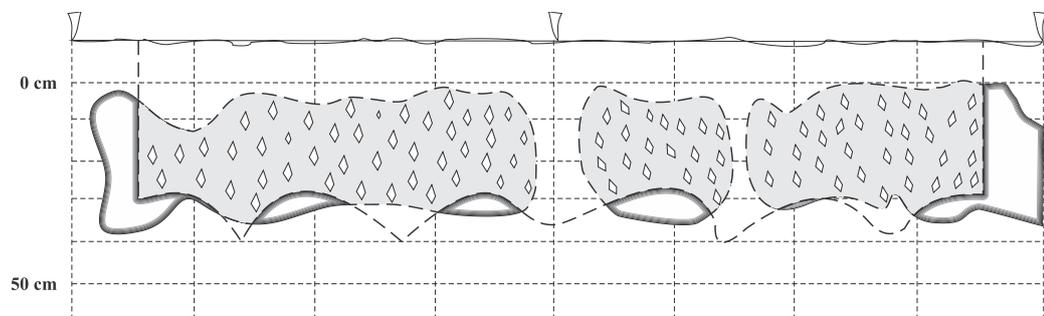


Figura 63 - Perfil esquemático de camada compactada de um Latossolo Vermelho Escuro textura média após 4 cortes manuais. Área recém gradeada com grade de 16 discos de 34" de diâmetro.



C -Conjunto subsolador de hastes parabólicas montados em suporte retangular (3 hastes dianteiras com bicos alados e 2 traseiras aladas, com bicos simples, espaçados de 0,5m)

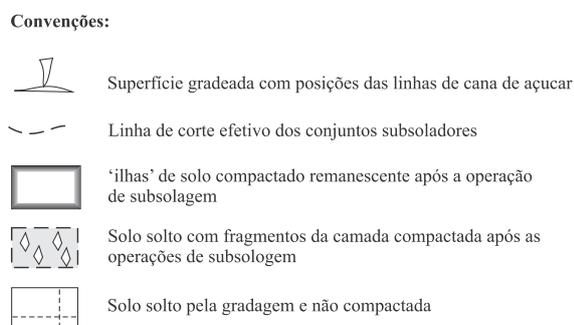


Figura 64 - Trabalho de descompactação dos três conjuntos subsolares sob a camada mostrada na Figura 63.

10.2 Grupos de manejo para fins de preparo convencional do solo

Grupo I - Solos argilosos, sem mudança textural e de boa drenagem. Neste Grupo estão incluídos os latossolos de maneira geral (LR, LE1, LV1), Terra Roxa Latossólica, a TRE, PE de textura argila/argila; todos eles de mineralogia caulinita e óxidos.

Principais características:

Devido a textura argilosa e uniforme em profundidade e ao elevado teor de micro-agregados, a drenagem destes solos é muito boa. O relevo normalmente é suave ondulado a plano e a posição de ocorrência no relevo é nos topos. Solos com elevada susceptibilidade a compactação tanto de implementos como de tráfego de máquinas e caminhões. A retenção de umidade não é grande apesar de serem solos argilosos. Permite o trabalho agrícola logo após as chuvas. Eles secam muito rapidamente. Quimicamente são os solos de fertilidade, variável, indo dos eutróficos aos álicos.

Grupo II - Solos de textura média ou média arenosa a arenosa, sem mudança textural, boa drenagem. Inclui os Latossolos e as Areias Quartzosas-Neosolos Quartzarênicos (LE2, LE3, LV2, LV3, AQ).

Principais características:

Solos de boa drenagem, profundos, localizados em relevo plano a suave ondulado, sendo a mineralogia de caulinita e óxidos. Teor de argila varia de 15 a 35% para os latossolos e até 15% para as areias quartzosas. Sendo assim eles são mais susceptíveis a erosão tanto laminar como em sulcos; elevado risco de assoreamento dos sulcos de plantio; facilmente adensam na superfície devido ao impacto das gotas de chuva dificultando assim a germinação. O grau se acentua para as AQ/RQ.

A retenção de umidade não é grande. Permite o trabalho agrícola logo após as chuvas. Quimicamente são solos dessaturados, de baixa saturação em bases em profundidade e necessitam ser corrigidos.

Grupo III - Solos de textura argilosa com pequena mudança textural, drenagem moderada. Neste grupo de manejo se incluem, entre outros, os BV, PVA-Ta, PE-Ta.

Principais características:

Constituído por solos argilosos, não muito profundos, com pequeno gradiente textural. Como são solos de argila de atividade média a alta atividade sua drenagem é mais lenta do que os solos dos Grupos I e II. Retém umidade por mais tempo. Não permite o manuseio logo após as chuvas. Estão localizados em relevo mais movimentado, ondulado a forte ondulado. A presença de cascalho e mesmo de pedras é constante nesta unidade de manejo o que dificulta em muito as operações mecanizadas. As associações mais frequentes são com solos rasos, dificilmente separada, o que limita o uso agrícola. Quimicamente são solos de fertilidade variável, indo desde os eutróficos até os álicos.

Grupo IV - Solos com gradiente textural acentuado, drenagem moderada. Neste grupo de manejo se incluem os PVA, PE, PA. A figura 64.1 ilustra processos erosivos nestes solos.



Figura 64.1. Ilustração de processos erosivos em áreas de Argissolos e impactos no desenvolvimento das culturas.

Principais características:

São solos originados de arenito e folhelhos podendo ter ou não alguma contribuição de basalto. Os solos originados de arenitos apresentam gradiente textural de areia/média ou média/média e os folhelhos podendo ser areia/argila; média/argila, argila/argila. A característica comum desta unidade de mapeamento mais marcante é a drenagem, lenta no Bt. Devido a textura ser mais arenosa na superfície e mais argilosa na subsuperfície há diferença na infiltração, rápida na superfície e mais lenta na subsuperfície. Ocorre em relevos ondulados a forte ondulados, raramente em relevos planos. Retém umidade por mais tempo do que os solos de textura uniforme. Em alguns solos de argila de baixa atividade o horizonte B pode ser geneticamente denso, restringindo o desenvolvimento radicular. Os solos originados de folhelho normalmente apresentam estrutura forte no horizonte B e drenam melhor do que os solos originados de arenitos, porém a drenagem ainda é pior do que os solos dos Grupos I, II e III. Os riscos da erosão, assoreamento de sulco e encharcamento temporário são elevados. Ocupam a posição das encostas sempre associados com os solos mais rasos, os Cambissolos e Solos Litólicos. É comum numa mesma encosta ter solos de folhelho e solos de arenito o que dificulta sensivelmente as práticas de manejo. Regra geral os solos de folhelho são mais férteis do que os de arenitos: porém ambos são distróficos ou álicos, necessitando recuperação tanto em superfície como em profundidade.

Grupo V - Solos rasos de textura arenosa a argilosa, com restrição de drenagem. Neste grupo de manejo estão incluídos os Cambissolos e Litossolos.

Principais características:

São solos rasos, originados de arenitos, folhelhos, basalto, calcário etc. e consequentemente de textura arenosa a argilosa. A característica comum nesta unidade de mapeamento mais marcante além da pouca profundidade é a drenagem mais lenta. Após as chuvas demoram muito para enxugar. Ocorre em relevo ondulado a forte ondulado, raramente em relevo plano, quando isso ocorre, a drenagem fica impedida. Os riscos de erosão, assoreamento de sulco e encharcamento temporário são elevados. Da mesma maneira que os solos desenvolvidos do grupo IV, os solos rasos de folhelho são mais férteis e melhores do que os solos originados de arenito. Podem ser Ta ou Tb.

Grupo VI - Solos de drenagem impedida. Formam este grupo de manejo os solos Hidromórficos Ta ou Tb, Vertissolos, podendo se inserir os Planossolos.

Principais características:

Localizados em relevo plano com lençol freático elevado, risco frequente de encharcamento. A textura é variável assim como sua fertilidade.

A figura a seguir ilustra a transformação de um mapa pedológico num mapa de grupo de manejo.

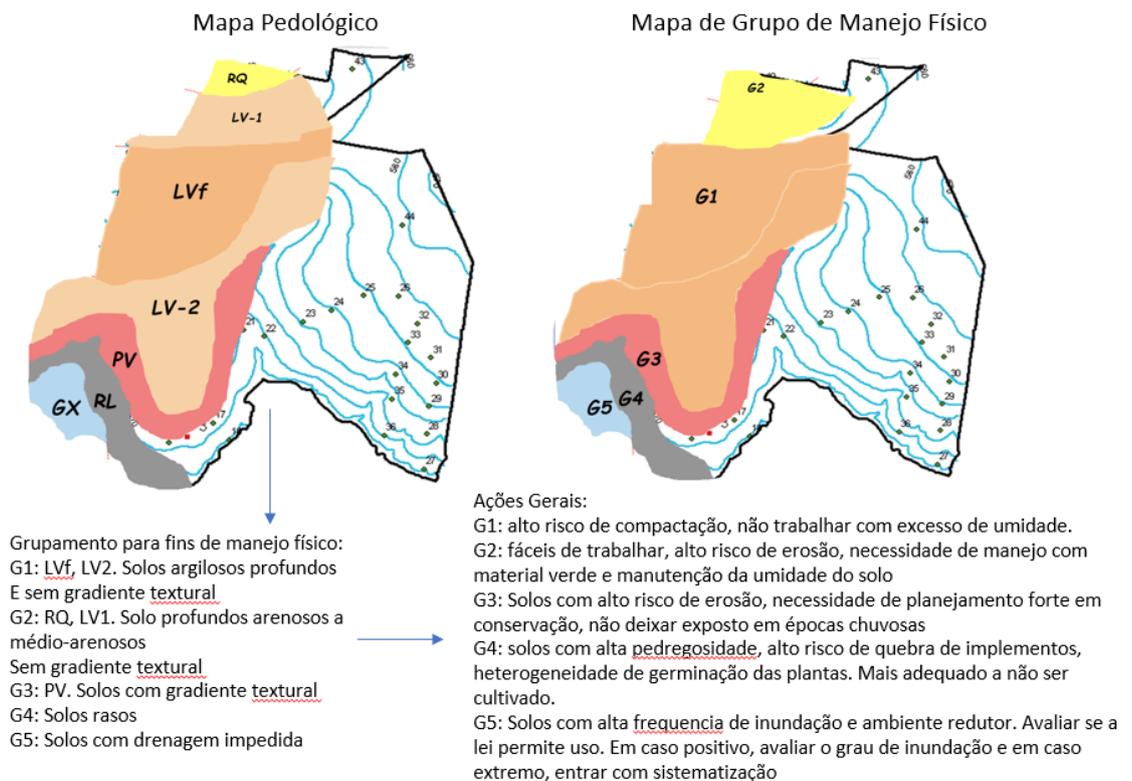


Figura – Ilustração da transformação de um mapa pedológico em mapa de grupos de manejo físico.

10.3 Operações de preparo e época de plantio para diferentes grupos de manejo

A intenção neste capítulo é o de resumir em termos de sequência de preparo de solos as diversas operações necessárias para o adequado manejo das áreas com cana-de-açúcar, preservando o preparo profundo, evitando novas compactações quando for o caso

ou reduzindo o processo erosivo. Esta sequência implica num melhor funcionamento do sistema conservacionista.

a. Solos dos Grupos I e III de manejo, opção: Liberação cedo da área de reforma para plantio em Nov/Dez

Limpeza do terreno (a); Instalação do sistema viário e conservacionista, sendo este em nível (b); Erradicação da soqueira: use grade pesada ou; grade intermediária; ou erradicador mecânico; ou herbicida (glifosato) (c). Recuperação química (quando necessário): calagem, gessagem, fosfatagem (d). Preparo profundo. Arado aiveca e/ou subsolador (e). Grade pré-plantio (f). Sulcação e adubação (g). Plantio, use variedades de crescimento rápido (h). Herbicida para controle de ervas daninhas (i).

b. Solos dos Grupos I e III de manejo, opção: Liberação cedo da área de reforma e plantio tardio, Mar/Abr

Repetir sequência de a até e, no item anterior. Plantio de soja ou amendoim (use trifuralina 2 l/ha). Colheita do amendoim em fevereiro e da soja a partir de março. Sulcação e plantio direto da cana na palhada do amendoim ou da soja.

Em solos distróficos/álidos: use variedade pouco exigente em fertilidade. Em solos eutróficos: use variedades ricas (precoce). Em regiões onde não é possível o plantio de soja ou de outra cultura de espera para preservar o preparo profundo e não tornar a compactar a área, use a seguinte opção: Repetir as operações de a até e. Deixar a área suja com erva daninha (braquiária, marmelada). Em jan/fev aplique o glifosato (+ 4-5 l/ha). Grade de pré-plantio e plantio.

Havendo grande infestação de remanescente de ervas daninhas, após subsolagem, pode-se usar herbicida ao invés de sucessiva gradeações pesadas que irá inevitavelmente compactar a área. Havendo necessidade de plantio em janeiro nestes tipos de solo não é possível o uso de cultura de espera. Para preservar o preparo profundo usar o glifosato e não a grade.

c. Solos do Grupo II de manejo (liberação cedo de área de reforma e plantio tardio Mar/Abr)

Opção 1:

Proceder de acordo com a sequência 3.1 de a até d. Aração (exceto para AQ). Plantio crotalária em outubro/novembro (use trifuralina 2 l/ha se houver necessidade). Sequência de plantio de cana: à medida que for sendo necessário áreas para o plantio da cana, passar um rolo faca no sentido do nível sobre a crotalária. Este sistema permite que a crotalária seja picada, mas não incorporada. O sistema radicular desta leguminosa fica intacto que associado com a cobertura da crotalária picada protege o solo contra a erosão. Seis a sete dias após a passagem do rolo faca pode-se sulcar e plantar a cana. Sendo solo de baixa fertilidade use variedade pouco exigente. A cobertura com crotalária permite uma boa proteção contra erosão.

Opção 2 (Válido também para o Grupos I e III de manejo):

Proceder de acordo com a sequência anterior de a até d. Aração, (exceto para AQ). Plantio de soja a lanço em outubro/novembro (90-100 kg/ha) com 2 l/ha de trifuralina. A soja não será colhida, somente para proteção do solo. Sequência de plantio da cana: à medida que for sendo necessário o plantio da cana use herbicida na soja (dessecante) ou então use roçadeira ou em último caso grade leve, destravada, apenas para derrubar a soja. Aguardar 6-8 dias para reduzir a massa. Sulcar e plantar cana.

Opção 3 (Válido também para os demais grupos):

Limpeza do terreno; Implantação do sistema viário e conservacionista; deixar soqueira crescer; roçar em janeiro. Deixar brotar; Erradicação mecânica ou química em março (use eliminados de soqueira); Recuperação química; Grade e/ou arado; Grade pré-plantio; Plantio. Neste sistema a própria soqueira de cana protege o solo durante o período chuvoso.

Opção 4:

Plantio direto, cana seguido de cana.

d. Solos dos grupos II e IV de manejo (até 25% de argila)

Liberação da área deve ser, se possível, tardia (outubro/novembro). Como são solos de baixa fertilidade o plantio da cana deve ser tardio (fevereiro/abril). Limpeza do terreno. Instalação dos sistemas viário e conservacionista. Recuperação química: calcário, e/ou gesso, e/ou fosfatagem (sem incorporação). Aliás a recuperação química pode ser feita parcialmente ao longo das soqueiras. Aplicação de herbicida (Roundup 4-6 l/ha) em soqueira com razoável área foliar, porém sem internódios visíveis. Trinta a quarenta dias após a aplicação do herbicida proceder a sulcação e o plantio.

Não é aconselhável prolongar o tempo entre aplicação do herbicida e o plantio da cana devido a possibilidade do risco de infestação com erva daninha. Na eventualidade de um plantio tardio da cana-de-açúcar proceder da seguinte maneira:

Plantio Direto Tardio (março/abril)

Liberação da área deve ser, se possível, tardia (outubro/novembro). Limpeza do terreno. Instalação dos sistemas viário e conservacionista. Recuperação química. Em janeiro roçar a cana. Aplicar herbicida (Roundup) no final de fevereiro a início de março. Vinte a trinta dias após, proceder a sulcação e o plantio da cana.

e. Solos do Grupo IV de manejo

Como são solos muito vulneráveis a erosão, encharcamento e assoreamento de sulco, o plantio deve ser antecipado (set-out) ou adiado para março-abril. No caso de ser para março-abril, é preciso que a área seja protegida contra a erosão. Para isso use as diversas alternativas de cultura de espera, principalmente a associação crotalária e rolo faca ou então o plantio direto. Os terraços, na maioria das vezes, devem ser em desnível.

f. Solos do Grupo V

Teoricamente tais solos rasos deveriam ser preservados do plantio com cana. Entretanto, é bastante comum em áreas de rochas sedimentares, a associação de solos podzolizados com solos rasos. Sendo assim o sistema de manejo envolve também os solos rasos. É de se esperar que o nível de dificuldade para se trabalhar com tais grupos de solos seja maior. Entretanto, um ponto básico no manejo de tais solos é que devem ser plantadas ou no início ou no final das chuvas, se possível com plantio direto. Não é aconselhável o uso de cultura de espera de valor econômico.

g. Solos do Grupo VI

Num nível de manejo mais elevado, com irrigação p.ex., o plantio nos solos dos Grupos II, IV, V e VI, os mais perigosos, pode ser feito no período seco, sem nenhum risco de erosão.

10.4 Preparo do solo para culturas perenes

No plantio de citrus, café, seringueira, entre outras, pode ser usado as mesmas alternativas de preparo e cultura de espera utilizadas para o plantio da cana-de-açúcar.

a. Preparo convencional do solo para plantio de cultura anual

Neste caso as alternativas se resumem nas opções já vistas, onde se incluem os solos dos grupos I, II e III de manejo. Nos solos com elevado gradiente textural, grupo IV, e após as operações de acerto de áreas e correções das erosões as opções são as seguintes:

(1) Trabalhar com a sequência de grade pesada, grade intermediária e grade de pré-plantio e plantio. Dependendo das características do relevo, se for movimentado, os riscos de erosão são grandes. Dependendo do nível de adensamento do horizonte Bt a aração profunda e/ou subsolagem podem auxiliar na infiltração das águas. A área fica, porém, vulnerável a erosão. Havendo possibilidade antecipar o plantio para o período seco, neste caso com irrigação, evitando assim o processo erosivo. Se possível trabalhar com plantio direto.

b. Plantio direto (Ver capítulo específico ao tema)

10.5 Regiões onde não se tem cartas de solos

Optar pelas análises completas de análises de solos, assim nestas regiões utilize as informações relacionadas as trincheiras sendo utilizado as informações contidas neste livro assim como as análises de fertilidade etc.

10.6 Cultura de cobertura de “espera” como alternativa de manejo

Como o nome está dizendo a “cultura de espera” se refere ao uso de uma cultura com a finalidade de proteger o solo até a instalação da cultura definitiva.

Os principais objetivos desta prática são: Preservar o preparo convencional do solo, evitando a compactação. Proteger o solo contra a erosão, assoreamento e encharcamento temporário. Reciclar nutrientes. Rotação de cultura. Fonte de matéria orgânica degradável. Permitir o plantio da cultura principal em períodos como o excesso de chuvas. Melhorar a eficiência das operações de plantio e tratos.

10.7 Exercícios com cana-de-açúcar

Plantio de cultura semi-perene ou perene em uma sequência Latossolo de textura média (Lm) e um Podzólico Vermelho Amarelo de textura areia/média-argila (PA), sendo que o solo Lm se localiza nas partes altas e planos e o PV na encosta. 30% da área é ocupada com Lm e o restante com o PV. Área Total = 1.000 ha.

Período de plantio da cultura principal: meados de outubro a final de abril (período chuvoso). Sequência de plantio da cultura principal: 200 ha de outubro a 15 dezembro, 100 ha em janeiro, 100 ha em fevereiro, 300 ha em março e 300 ha em abril.

Explicação da Tabela 78: Como o solo podzolizado é extremamente vulnerável a erosão, os 100 ha foram preparados antecipadamente, em julho-setembro, e plantado com crotalaria de out-dez. A partir de janeiro inicia-se o plantio no PV, passando o rolo faca sobre os 100 ha de crotalaria e fazendo plantio direto sobre a palhada. O mesmo

procedimento é feito nos meses de fevereiro, março e abril. O maior plantio em março-abril se justifica, pois, este período é menos vulnerável a erosão. Em relação ao Lm, o plantio dos 200 ha de out-dez é feito em condições de preparo convencional. Os 100 ha restantes são plantados soja, colhida em março e plantado a cultura definitiva.

Tabela 78 - Atividades de plantio de 1.000 ha de cultura semi-perene ou perene usando cultura de espera. Associação de latossolos com solos podzolizados areia/média.

Atividades	Período						
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
- Plantio 200 ha cultura principal	x						
- Plantio 700 ha da crotalaria juncea	x						
- Plantio 100 ha soja		x					
- Rolo faca em 100 ha crotalaria e plantio da cultura definitiva			x				
- Idem para 100 ha em fevereiro					x		
- Colheita dos 100 ha de soja e plantio da cultura definitiva						x	
- Rolo faca em 200 ha de crotalaria e plantio da cultura definitiva						x	
- Idem em 300 ha							x

Plantio de cultura semi-perene ou perene numa associação de solo LR e LE de textura argilosa.

A Tabela 79 resume as principais atividades. Os solos desta área são argilosos, bem drenados, resistente a erosão, porém necessitam de preparo profundo (aração, subsolagem). Após o preparo profundo, e antes do plantio definitivo os solos têm que ser preservados contra o excesso de compactação. Preparo convencional dos solos, agosto-dez. Plantio de 600 ha de soja que irão gerar receita. Em março-abril está soja será colhida e será feito o plantio da cultura definitiva em plantio direto. Os 200 ha de plantio em

janeiro serão feitos usando a soja como cultura de espera, mas sem gerar receita. Ela será plantada apenas para preservar o solo.

Tabela 79 - Atividade de plantio de 1.000 ha de cultura semi-perene ou perene usando cultura de espera (soja). Associação de LR com LE argiloso.

Atividades	Período									
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	
- Preparo convencional solo	x									
- Plantio 200 ha cultura principal			x							
- Plantio 600 ha soja para colheita (gerar receita)			x							
- Plantio 200 ha soja (não gera receita)			x							
- Uso dissecante nos 100 ha de soja e plantio da cultura principal						x				
- Idem para 100 ha em fevereiro							x			
- Colheita de 100 ha de soja e plantio cultura principal, março								x		
- Idem para 300 ha em abril										x

11 CAPÍTULO 11: MANEJO DO FÓSFORO

11.1 Fósforo no solo

O fósforo é um elemento de baixa mobilidade no solo, no qual encontra-se como ortofosfatos, formas derivadas do ácido ortofosfórico, H_3PO_4 . Na fase sólida do solo o fósforo encontra-se combinado com compostos de ferro (hematita, goethita), alumínio, cálcio e matéria orgânica. Em solos ácidos (forma dominante $H_2PO_4^-$) são mais importantes as combinações do P com os óxidos e caulinita, enquanto, que em solos neutros, forma dominante HPO_4^{2-} , aparecem fosfatos de cálcio, de baixa solubilidade. Como consequência da baixa solubilidade do composto de P são baixos os teores de P na solução do solo, raramente atingido 0.1 ppm.

O P no solo pode ser considerado em parte adsorvido na superfície dos coloides, porém trata-se de uma adsorção química, e não tem nada a haver com o que ocorre nos processos em que prevalece a troca de íons.

Neste caso a Figura 65 ilustra os caminhos e reações do P no solo. Observações: O adubo P adicionado ao solo dissolve-se passando para a *solução do solo*. Devido à baixa solubilidade dos compostos de P e a forte tendência de adsorção pelo solo (é ânion específico), a maior parte do P passa para a fase sólida. Nesta fase fica como P lábil (forma absorvida) que gradativamente passa a P não lábil, forma não absorvida (é tempo dependente, tempo de reação com o solo). O P lábil pode redissolver caso haja abaixamento do teor em *solução* (devido a absorção pela planta) para manter o equilíbrio. Devido ao baixo teor do P em *solução* remoções pela água de percolação são negligíveis. À medida que aumenta o tempo de contato entre o P e o solo, a forma lábil pode se transformar em não lábil. As plantas absorvem o P da *solução do solo* onde este se encontra em baixíssimas concentrações. Decorre daí que a extensão do sistema radicular é de fundamental importância na absorção do elemento. Com a absorção do P ocorre uma redução de P da *solução* em torno das raízes. Para que a absorção continue, o P deve dissolver da fase sólida e movimentar-se por difusão, até a superfície das raízes.

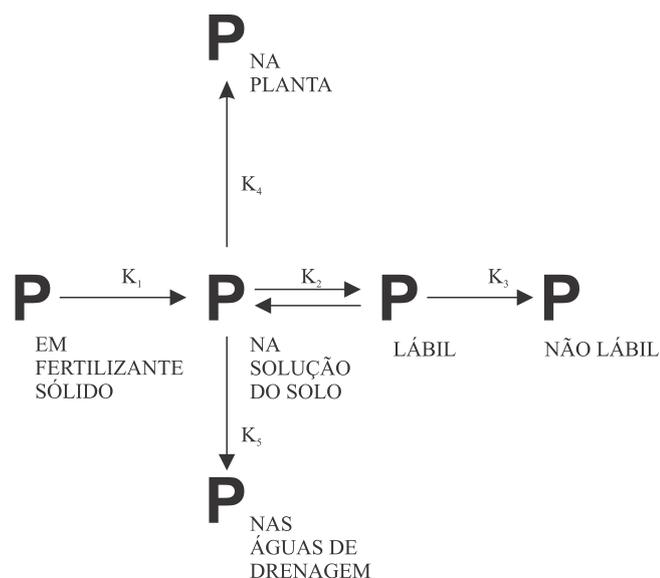


Figura 65 - Comportamento de fósforo em solo adubado, com relação aos aspectos que afetam a nutrição vegetal. Adaptado de Larsen, S. HMSO, Londres. Tech. Bull. 20: 34-41, 1971.

Do ponto de vista conceitual podem ser conhecidos 4 fatores que definem a disponibilidade de P no solo: (1) Fator intensidade; concentração do P na solução do solo; (2) Fator quantidade; ou P lábil; (3) Fator capacidade ou poder tampão de P, representado pela condição do solo que pode manter ou restabelecer o P em solução, através da dissolução do elemento da fase sólida; (4) Fator difusão representado pelas características que permitem aos íons P migrar da superfície da fase sólida do solo, até a superfície das raízes. *O mais importante é o fator quantidade.*

As plantas absorvem o P da *solução do solo* que é disponível, porém os teores são baixos.

Exemplo: concentração de P no solo de 0,1 ppm, num solo com 25% de água, a quantidade de P na camada arável será de 50g de P, muito pouco. Isto significa que deve haver uma constante reposição do P em *solução*, o que se dá através da dissolução do P lábil, que está em equilíbrio com o P *solução*. Em relação as diferenças nas concentrações, a Figura 66 ilustra bem o caso, embora seja apenas uma ilustração ela tem muita relação com a realidade.

A absorção do P da *solução* do solo pelas plantas é desenvolvida em duas etapas: Movimento do nutriente até a superfície da raiz. Passagem para o interior das raízes mediante as bombas de próton.

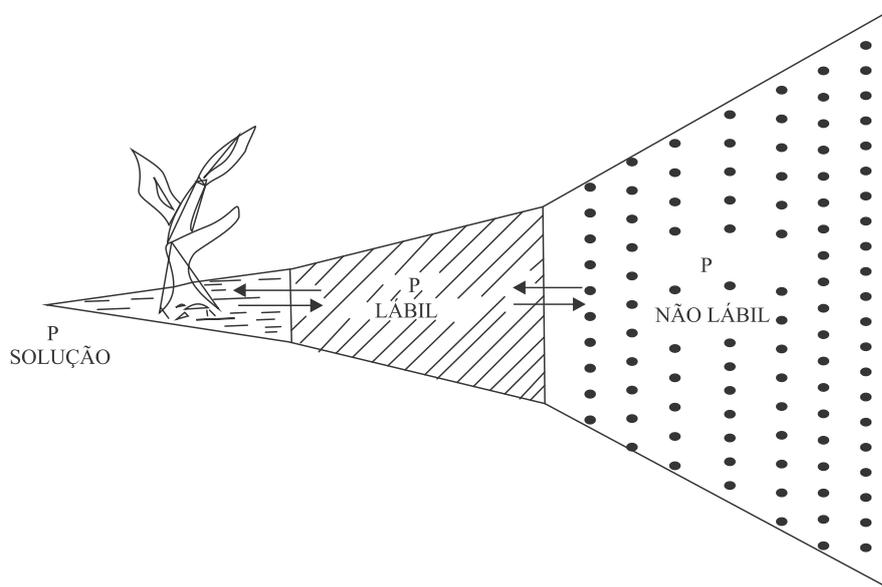


Figura 66 - Diagrama mostrando a relação entre as frações de fósforo não-lábil e lábil, e o fósforo na solução do solo. Adaptado de ISMA. Handbook on phosphate fertilization, 1978.

A movimentação do P da *solução do solo* em direção a superfície das raízes se dá, como foi observado, por difusão (aproximadamente 94%). O mecanismo de difusão pode ser descrito por:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{D \cdot A \cdot \theta (C_s - C_r)}{L} = \text{Quantidade de P que se difunde até as raízes por unidade de tempo}$$

D = coeficiente de difusão do P em água.

A = área da superfície absorvente das raízes.

θ = conteúdo de água volumétrica do solo.

C_s = concentração de P na solução do solo, a uma distância L da superfície da raiz.

C_r = concentração de P na solução do solo junto a superfície da raiz.

Portanto, a quantidade de P que chega à superfície das raízes por difusão é diretamente proporcional a concentração do P na *solução* do solo, a um sistema radicular amplo e ao conteúdo de água. Qualquer prática que promova o crescimento de raízes deverá favorecer a eficiência da adubação fosfatada.

11.2 Fatores que afetam a intensidade de fixação

Uma série de fatores do solo tendem a reagir com o P e o conhecimento deles não deixa de ser importante para o devido manejo do elemento.

a. Mineralogia

A intensidade de fixação aumenta de minerais 2:1 para caulinita e daí para os óxidos cristalinos e amorfos (Tabela 80). Note que a quantidade de P fixada aumenta no sentido da montmorilonita para os solos contendo alofanos (material amorfo).

Tabela 80 - Fixação do fósforo e quantidade adicionada necessária para se ter uma concentração na solução de 0,1 e 0,2 ppm de P.

Solos	Argila dominante	Teor de argila	P fixado (ppm)		
			Adsorção máxima	0,1 ppm solução	0,2 ppm solução
Inceptisols l	Montmorilonita a	27	106	65	83
Ultisol	Caulinita	38	480	285	360
Oxisol	Caulinita	36	531	310	395
Oxisol	Caulinita	78	-	720	900
Andept	Alofana	11	1050	500	670

Fonte: SANCHES, 1976.

b. Textura

O teor de argila atua no processo de fixação, ou seja, quanto mais argiloso for o solo maior a fixação (Figura 67).

Observações:

A maioria dos solos desta Figura são Latossolos, de mineralogia caulínica e oxídica. O mais arenoso é o AQ. Para um mesmo solo, o LV1 p.ex., com 65% de argila, há necessidade de haver uma adsorção na faixa de 500 ppm de P para se ter 0,1 ppm na *solução*. Tal quantidade tende a decrescer à medida que decresce o teor de argila.

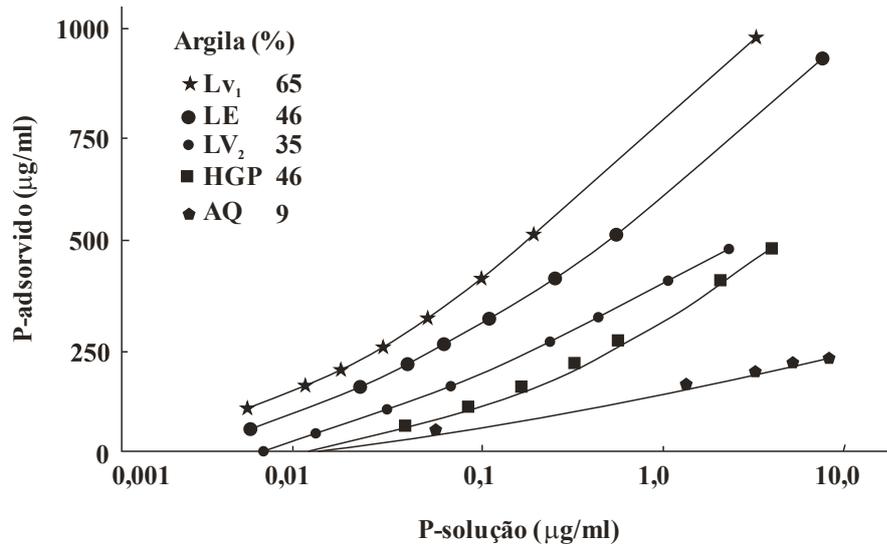


Figura 67 - Relação entre o P-adsorvido e o P-solução, em cinco solos de Cerrado, com diferentes teores de argila. **Fonte:** Sousa, 1982.

c. Cor do solo

Apesar da cor do solo representar os diferentes minerais de ferro (hematita para cor vermelha e goethita para a amarela) aparentemente não há correlação entre a adsorção máxima de P com a cor do solo (Figura 68).

Nesta Figura, obtido em latossolos da região de cerrados, ilustra que a adsorção é mais função do teor de argila do que da cor do solo.

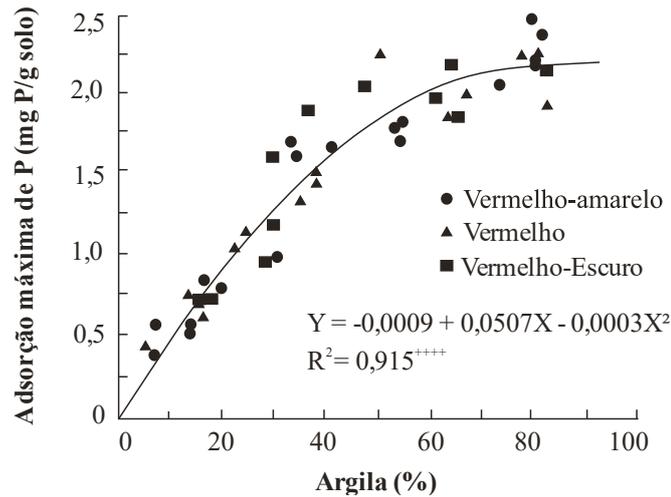
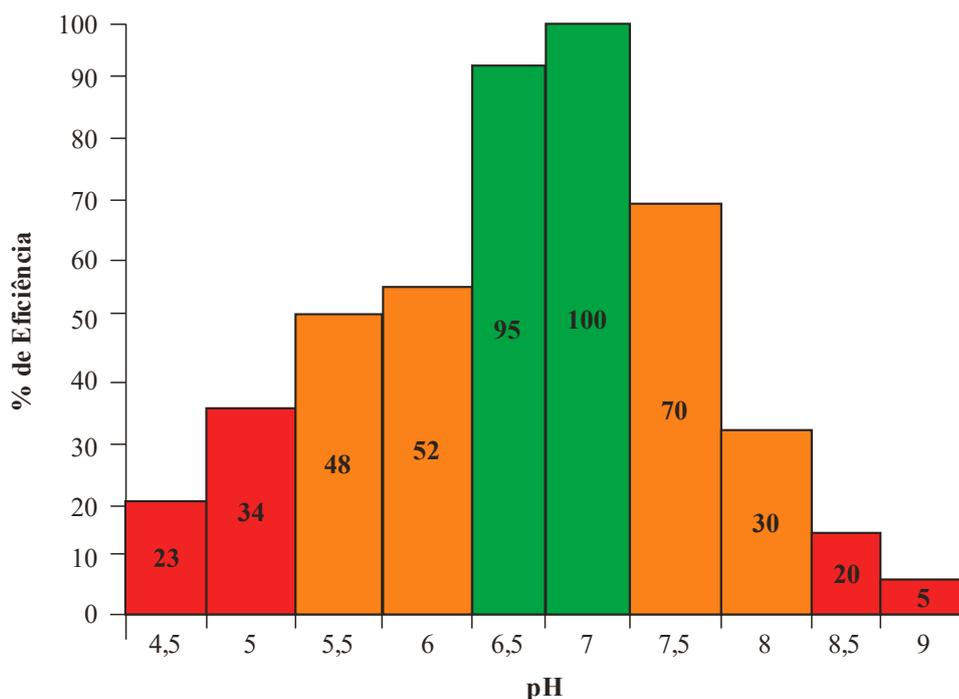


Figura 68 - Relação entre adsorção máxima de P e argila em amostras superficiais de solos sob “cerrado”. **Fonte:** Lopes (1977).

d. O pH e a eficiência do fósforo

A disponibilidade deste nutriente aumenta com valor máximo entre 6,0 e 7,5 diminuindo logo em seguida num pH superior a 7,5 devido a redução da acidez e aumento de OH⁻ na solução do solo. A Figura 69 (Embrapa) ilustra o percentual de eficiência do fósforo na faixa de pH de 4,5 a 9,0. Note que a eficiência aumenta de 23% a um pH de 4,5, sempre crescente até a faixa de 95 a 100% nuns valores de pH de 6,5 a 7,0. Tal eficiência decresce a seguir com 70% a um pH de 7,5 para 30% a um pH de 8,0 culminando com uma eficiência de 5% num pH de 9,0.



11.3 Medidas mais eficientes para aproveitamento do fósforo do solo e dos fertilizantes

Minimização da capacidade de fixação do fósforo usando calcário, matéria orgânica, silicatos etc., antes da aplicação do P ao solo; Combinação de doses e de métodos adequados de aplicação de fósforo; Utilização de fontes alternativas de fósforo; Promoção de maior absorção de P pelas plantas, como resultado de associação com microrganismos do solo; Cultivo de espécies (ou variedades) vegetal mais eficientes na absorção desse nutriente.

11.4 Minimização da fixação do P

Opções para melhorar a recuperação do fósforo aplicado via fertilizante é diminuir antes da sua aplicação, a capacidade do solo em fixar o P. Os fatores que afetam as relações entre o P sólido e o P solução são os seguintes: ⁽¹⁾ quantidade de P adicionado; ⁽²⁾ tempo e volume de contato do P adicionado com o solo; ⁽³⁾ tipo de quantidade de minerais presentes no solo; ⁽⁴⁾ o pH do solo; ⁽⁵⁾ competição entre ânions presentes na solução.

A questão se resume, então no seguinte: averiguar a possibilidade de mudar estas características de modo prático no sentido de reduzir a adsorção do P aplicado.

As seguintes opções são válidas como a “Redução do contato solo x adubo”. Neste caso o Uso de Grânulos ao Invés de Pó e incorporado de forma localizada. Inconvenientes: ⁽¹⁾ limita o desenvolvimento radicular; ⁽²⁾ efeitos negativos na adsorção de outros nutrientes e de água; ⁽³⁾ efeitos negativos na resistência dos cultivos a períodos secos; ⁽⁴⁾ maior possibilidade de ataque de pragas de raiz (nematóide). Tudo leva a crer que a questão do fertilizante deve ser colocada em parte no sulco de plantio e em parte em área total.

11.5 Práticas para redução das cargas positivas

Uso de calagem, gessagem, uso de silicatos, matéria orgânica. O aumento do pH do solo provoca aumento do número de cargas negativas nos minerais de argila e na matéria orgânica, e desse modo promove maior repulsão dos ânions fosfato pelas superfícies sólidas, o que resulta em menor adsorção. Outro efeito do aumento do pH é a redução ou eliminação do Al-trocável, responsável também pela fixação do P. O uso de silicatos e da matéria orgânica em solos ácidos tende a reduzir a cargas positivas e aumentar as negativas e com isso reduzir a fixação do P. O mesmo raciocínio se aplica ao íon sulfato. Quanto ao calcário e na região de cerrados, o aumento do pH para a faixa de 5,5 propiciou uma sensível redução na fixação do P na faixa de 30%.

11.6 Combinação de doses e métodos de aplicação de P em culturas anuais

Vantagem relativa inicial na aplicação a lanço. Explicada pela promoção de um sistema radicular mais volumoso e conseqüentemente maior absorção de P e água. A longo prazo considerando o efeito cumulativo de vários cultivos de soja, por exemplo, tal diferença tende a desaparecer. Com os cultivos sucessivos, a aplicação localizada do P tende, na verdade, a ser misturado com a camada arável, dando o mesmo efeito que a aplicação em área total. Quando o sistema de produção planejado requer altos rendimentos e baixos risco há vantagens em combinar aplicações iniciais *lanço* com adições anuais no *sulco*. Na Tabela 81 indica que a aplicação nos kg/ha de P num total de 640 no sulco em 4 aplicações de 160 kg/ha produziu o máximo de milho.

Tabela 81 - Produção acumulada de dez colheita de milho em um solo LE argiloso, em diferentes alternativas de aplicação do adubo fosfatado (EMBRAPA, 1981).

Fósforo aplicado			Produção acumulada
A lanço	No sulco	Total	
(kg de P ₂ O ₅ /ha)			(t/ha)
320	0	320	27,85
0	80 (x4)	320	30,09
640	0	640	42,67
0	160 (x4)	640	44,05
320	80 (x4)	640	43,89

Na Tabela 83 com soja, as aplicações em área total de 400 kg/ha de P produziu a mesma combinação de 200 kg/ha em área total e 50kg/ha no sulco de plantio em 4 aplicações.

Tabela 82 - Produção acumulada de quatro colheitas de soja em um LV argiloso, em diferentes alternativas de aplicação do adubo fosfatado. Fonte: SOUSA, D.M.G. (dados não publicados).

Fósforo aplicado			Produção acumulada
A lanço	No sulco	Total	
(kg de P ₂ O ₅ /ha)			(t/ha)
0	100 (x4)	400	6,2
200	50 (x4)	400	6,9
400	0	400	6,8

Em solo com teor de P abaixo de 5 ppm é aconselhável: fosfatagem seguido de adubação localizada no plantio. Usar 100 kg/ha de P₂O₅ em área total. No sulco de plantio usar a quantidade recomendada pelas curvas de calibração

11.7 Combinação de doses e métodos de aplicação de P em cana

Os dados da Tabela 83 resumem a produtividade de 2 cortes da cana-de-açúcar, em experimento montado em solo arenoso na região de Lençóis Paulista, SP. Note que a

aplicação do fósforo (fonte super triplo) foi mais eficiente quando feito em área total. Melhorou ainda mais quando houve a combinação de aplicação em área total com P no sulco de plantio.

Tabela 83 - Produções de colmos de cana-de-açúcar obtidos no experimento.

P ₂ O ₅ aplicado a lanço	P ₂ O ₅ aplicado dentro do sulco (kg/ha)				Média
	0	100	200	300	
Kg/ha	t/ha				
Cana-planta					
0	67,8	100,9	104,2	127,5	100,3b
200	147,7	169,1	171,8	171,3	165,0a
400	158,1	168,7	172,5	173,1	168,1a
Média	124,8b ⁽¹⁾	146,2a	149,5a	157,3a	-
1ª Soca					
0	44,7	63,6	72,9	77,1	64,6c
200	91,7	97,3	100,2	100,8	97,3b
400	104,7	106,3	109,3	112,3	108,2a
Média	80,2b	89,1ab	94,1a	96,7a	-

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

11.8 Fontes de P

Os adubos fosfatados mais utilizados atualmente na agricultura brasileira são os fosfatos solúveis (superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfatos de amônio, MAP e DAP); os termofosfatos (yoorim); fosfatos naturais reativos; fosfatos parcialmente acidulados (FAPS). Produtos de origem orgânica e subprodutos industriais tem sido fonte de grande valor na substituição total ou parcial do P.

Escolha da fonte irá depender de: Eficiência para suprir o P para as plantas; Custo por unidade de P₂O₅ solúvel; Possibilidade de fornecer outros nutrientes como o Super Simples, o Yoorim, o Fosmag; Possibilidade de correção do solo: como os termofosfatos. Por outro lado, cada fonte requer condições próprias para manifestar melhor seu potencial, ou seja: modo de aplicação; o nível de acidez do solo; o tipo de cultura; e o sistema de uso da terra.

11.9 Associação de P com micorriza

A associação simbiótica de fungos micorrizos com raízes de certas plantas é um fenômeno conhecido no mundo todo, permitindo um maior volume de solo a ser explorado pelo sistema radicular, composto de raiz + hifas (Figura 70).

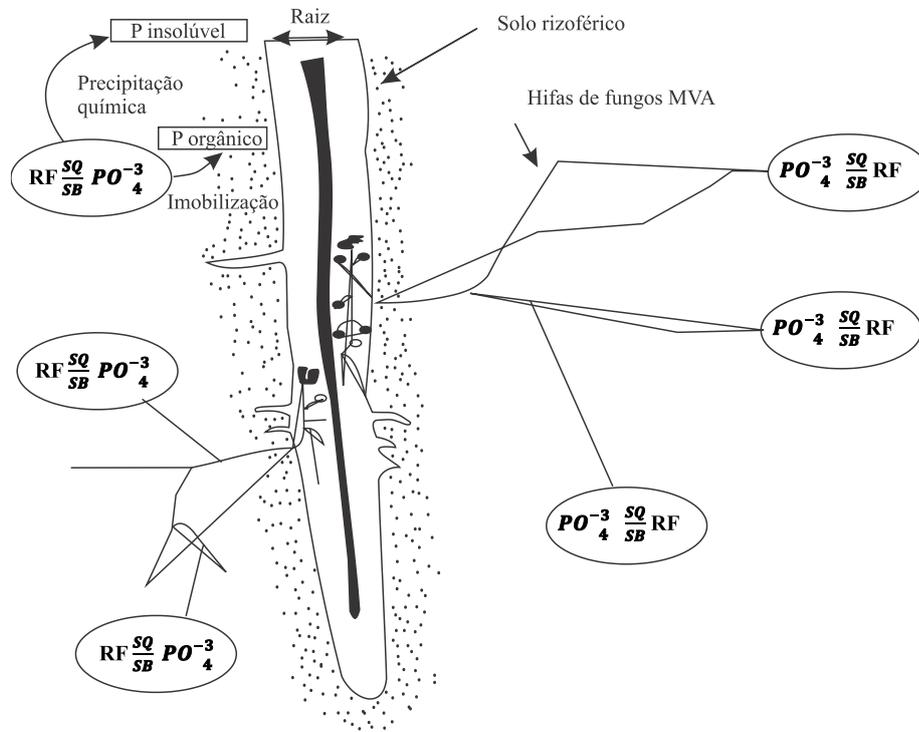


Figura 70 - Participação da micorrizas VA no melhor aproveitamento de rochas fosfáticas, de acordo com Barea & Azcon-Aguilar (9), modificado. RF = Rocha fosfática SQ = Solubilização Química SB = Solubilização biológica.

Em condições de campo (Brasil Central) sem esterilização do solo, a produção de soja e sorgo foi aumentada pela inoculação com fungos dos gêneros *Glomus* e *Gigaspora* (Figura 71).

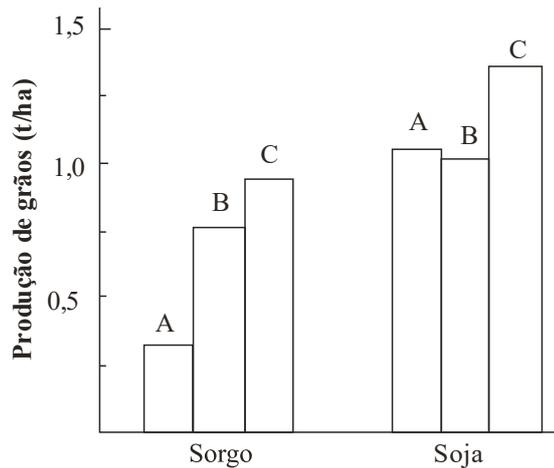


Figura 71 - Resposta de duas culturas à inoculação com micorriza em solo LE, contendo 2 ppm de P-extraível pelo método Mehlich. A - Sem inoculação. B - *Gigaspora margarita* e C - *Glomus macrocarpus*. **Fonte:** Miranda (1982).

Obstáculos: (1) como produzir grandes quantidades de inoculantes; (2) como realizar a inoculação em larga escala; (3) qual o nível de sobrevivência de espécies exóticas de micorrizas em condições de solo e clima.

11.10 Pastagens

Aplicação em área total e incorporação na formação ou reforma do pasto.

Nas reformas de pastagens ou na formação o procedimento é o de aplicar o P em área total e incorporá-lo ligeiramente (uso de FNR ou adubos solúveis). A aplicação em cobertura, ou seja, na superfície do solo, sem incorporação, é um processo válido para adubações de reposição em pastagens já estabelecida (Figura 72). Tais resultados abrem uma perspectiva interessante para a recuperação de pastagens degradadas.

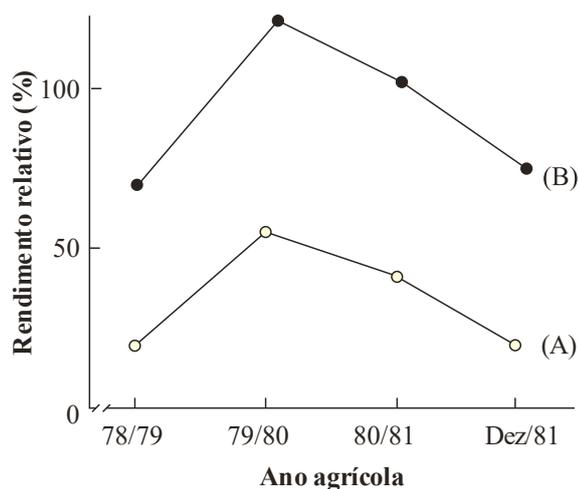


Figura 72 - Produção de matéria seca de *Brachiária humidicola*, em resposta à adição de 100 kg de P_2O_5/ha , aplicados em 1976 (A) e no tratamento em que, adicionalmente, foram aplicados 50 kg de $P_2O_5/ha/ano$, em cobertura, e partir do terceiro ano (B) Ano agrícola 1978/1979. **Fonte:** Sousa, D.M.G. (dados não publicados).

a. Fonte de P em pastagens

A produção total de matéria seca de *Braquiária decumbens*, em latossolo argiloso, cultivado por 5 anos (10 cortes) em resposta a aplicação de doses crescentes de P_2O_5 estão indicadas na Tabela 84. De acordo com a eficiência agrônômica, as fontes de P testadas podem ser classificadas em: Superfosfato Triplo e Simples; Yoorim e Hhiperfosfato e da Carolina do Norte; Termofosfato IPT, Pirocana e Fosfatos Naturais da Flórida Tennessee; Fosfatos Naturais de Abaeté, Araxá, Catalão e Pato de Minas.

A eficiência dos superfosfatos e do termofosfatos (Yoorim) sugere que a decisão de escolha entre tais fontes é mais função do preço da unidade de P_2O_5 . Visto apenas por este ângulo fica favorecida a fonte de maior concentração de P, no caso o Super Triplo. Porém, ao se examinar as condições do solo (no caso solos de baixa fertilidade) e a quantidade a ser aplicada de P, a escolha pode recair no Super Simples ou no Termofosfato, porque tais fosfatos apresentam outros nutrientes como o cálcio e enxofre. Sendo, portanto, é mais viável o Super Simples do que o Super Triplo (ST).

Os fosfatos naturais brasileiros, quando comparados com o S.T., apresentam eficiência relativa muito baixa (Tabela 85), especialmente considerando-se apenas o P

extraído pelas culturas anuais. Considerando-se o P extraído durante 8 anos de cultivo (5 de cultivo anuais e 3 de capim andropogon) destes fosfatos naturais é inferior a 50%.

Tabela 84 - Produção total de matéria seca de *Brachiaria decumbens* L. cultivada durante cinco anos (10 cortes), em resposta a doses e fontes de fósforo aplicadas em solo LE (Fonte: EMBRAPA, 1978).

Fonte de P	Kg de P ₂ O ₅	Produção		IEA ² (%)
		(t/ha)	(%) ¹	
Testemunha	0	23,5	17	-
	86	25,0	18	6
F.N. Araxá	345	76,2	55	61
	1,380	118,1	86	83
F.N. Carolina do Norte	345	111,4	81	102
	86	44,8	33	79
F.N. Gafsa (Hiperfosfato)	345	113,3	65	104
	1,380	132,3	96	95
Termofosfato (Yoorim)	86	48,9	36	94
	345	112,9	82	103
Superfosfato simples	1,380	144,4	105	106
	86	50,5	37	100
	345	110,0	81	100
	1,380	137,8	100	100

(1) Produção em relação à obtida com aplicação de 1,380 kgde P₂O₅/ha, na forma de superfosfato simples.

(2) Índice de Eficiência Agronômica: $IEA = \frac{\text{Produção da fonte, na dose a} - \text{produção da testemunha}}{\text{Produção do superfosfato, na dose a} - \text{produção da testemunha}} \times 100$

As baixas solubilizações destes FN, foram estudadas no Brasil Central (Goedert et al., 1983) onde se verificou que 5 anos após a incorporação no solo, ainda cerca de 20 a 25% de fósforo se encontravam na forma de apatita. Tendo em vista que os FN estudados são de origem apatítica (rocha metamórfica), poderia esperar que sua solubilidade fosse maior em condições mais ácidas, porém tal fato não ocorre (Figura 73).

Tabela 85 - Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e Equivalente Supertriplo (EqST) das fontes de fósforo testadas em solo LE (**Fonte:** Goedert & Lobato, 1983).

Fontes	Doses (kg de P/ha)	IEA (%) ¹			EqST (%) ²
		Culturas anuais	Andropógon	Total	
Termo magnesiano	88	92	142	113	103
	350	110	119	114	>100
Gafsa	88	93	110	104	90
	350	106	106	106	>100
Flórida-USA	175	96	129	106	100
Tennessee-USA	175	85	141	102	93
Pirocaua (MA)	88	76	97	87	70
	350	81	84	82	62
Termo-IPT	88	45	84	60	45
	350	88	98	92	76
Patos (MG)	88	45	81	59	45
	350	56	91	70	44
Araxá (MG)	88	27	69	41	33
	350	47	74	58	32
Abaeté (MG)	88	21	86	43	35
	350	47	71	56	31
Catalão (Go)	88	8	36	17	15
	350	26	43	33	15

$\frac{P \text{ retirado do tratamento} - P \text{ da testemunha}}{P \text{ retirado do ST} - P \text{ da testemunha}} \times 100$ = Relação percentual entre as doses ST e da fonte testada, necessária para obter a mesma produção

A aplicação do FN em natura somente é válida em condições específicas a saber: Aplicação a lanço, moído e incorporado (maior contato possível com o solo). Uso preferencial em área em que a relação custo/benefício seja favorável, e em solos ácidos. Numa cultura de soja e num pH ácido, os fosfatos solúveis como o Super Triplo apresentou maior solubilidade do que os Fosfatos Naturais. Com a calagem houve sensível melhora da eficiência do Super Triplo e redução da eficiência do FN (Figura 73).

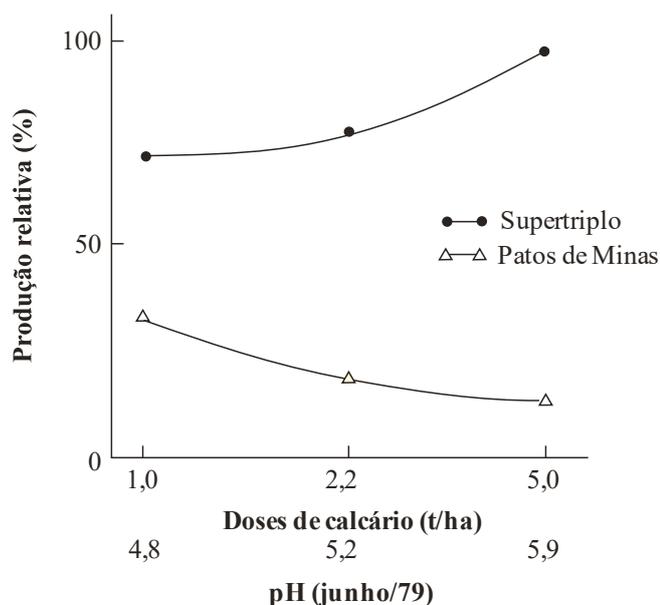


Figura 73 - Produção de soja (100% = 1.880 kg/ha) em resposta a nível de calagem, quando 400 kg de P_2O_5 total/ha foram aplicados na forma de superfosfato triplo e de fosfato natural de Patos de Mina. **Fonte:** Goedert & Lobato, 1980.

11.11 Interações com outras práticas

A adubação fosfatada, e as demais, não pode ser considerada isoladamente, pois é apenas componente de um sistema de manejo do solo. Sua eficiência pode ser influenciada por outras práticas, entre as quais e a de maior peso é a calagem. Um determinado nível de produção pode ser obtido com diferentes combinações de calagens e adição de P (Figura 74). Por outro lado, a eficiência de doses de N pode ser também melhorada na combinação PN e calagem (Figura 75). Os dados da Tabela 86 resume o efeito de doses de calcário e fósforo na cultura de cana em solo podzolizado de textura areia/média, desenvolvido em Piracicaba.

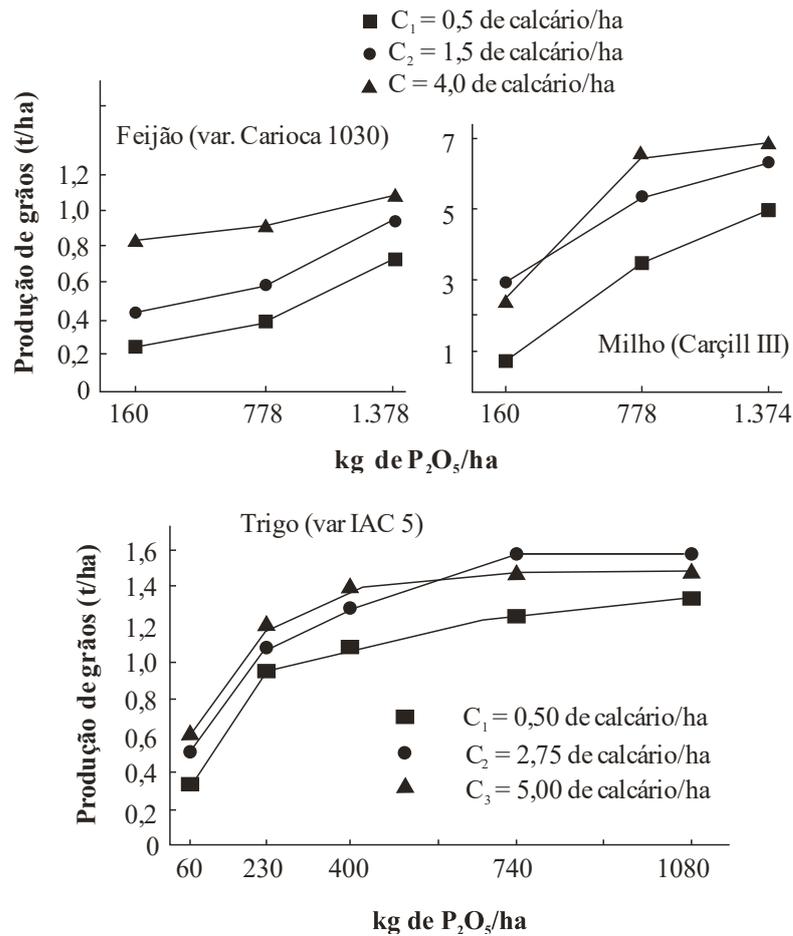


Figura 74 - Produção de feijão, milho e trigo em função de níveis de fósforo e de calcário, aplicados em solo LE. **Fonte:** EMBRAPA/CPAC, 1976.

Numa produção de trigo sob irrigação em resposta das doses de fósforo e níveis de adubação de nitrogênio e doses de potássio e de calcário em solo argiloso do Brasil Central pode ser visto a combinação destes produtos em relação ao fósforo.

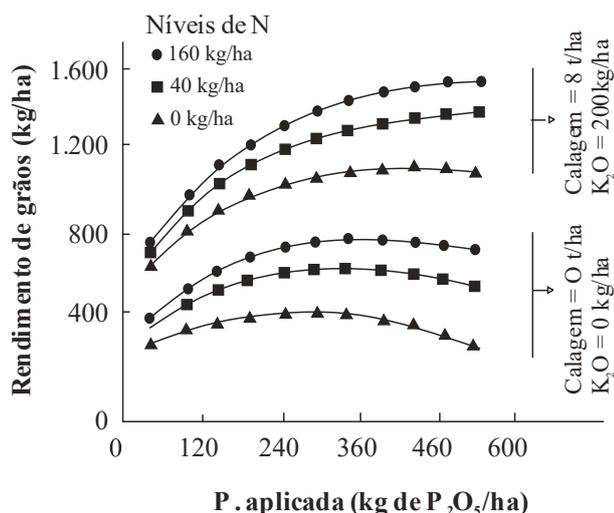


Figura 75 - Produção de trigo sob irrigação, em resposta a doses de fósforo, em diferentes níveis de adubação nitrogenada, e dois de adição de calcário e potássio, em solo LE. **Fonte:** P.I.M. Souza (informação pessoal)

Na cultura de cana-de-açúcar foi feito um experimento contendo calcário dose de 0-4-8 t/ha e doses de fosfato solúvel de 0-150 kg/ha e com quatro cortes de cana-de-açúcar em solos de textura média-arenosa (Tabela 86). Verificou-se que com o calcário houve maior eficiência do fósforo.

Tabela 86 - Tratamentos aplicados a cana-de-açúcar e as respectivas produtividades em t cana/ha.

Calcário	Fósforo	Cortes				Média
		1	2	3	4	
t/ha	Kg/ha	t/ha				
0	0	75	81	88	70	78,5
0	75	130	94	95	75	98,5
0	150	135	95	97	78	101,3
4	0	87	111	114	74	96,5
4	75	142	119	119	82	115,5
4	150	161	125	123	84	123,3
8	0	86	109	119	71	96,3
8	75	155	122	125	87	121,5
8	150	184	125	127	94	132,5

Fonte: Usina Barra Grande Lençóis Paulista, Área de desenvolvimento.

12 CAPÍTULO 12: MANEJO DO PLANTIO DIRETO

12.1 Considerações gerais

O plantio direto (PD) pode ser considerado como uma das melhores opções de manejo de solos na região tropical principalmente pelo fato do excelente controle contra o sistema erosivo em suas diferentes fases e níveis, sistema este responsável pelo empobrecimento e degradação dos solos não só no aspecto da fertilidade, como principalmente no arraste das partículas do solo.

As principais vantagens observadas no sistema de PD são as seguintes: (1) maior possibilidade de execução das operações agrícolas, tanto de plantio como de colheita em condições de excesso ou falta de umidade; (2) maior eficiência quanto ao uso dos equipamentos; (3) sensível melhoria das propriedades físicas motivadas principalmente pelo aumento do teor de matéria orgânica do solo assim como pela redução das mobilizações agrícolas, entre elas: aumento da infiltração das águas, redução das perdas de umidade assim como da temperatura do solo, aumento da resistência dos agregados; (4) aumento do teor de matéria orgânica biodegradável com todas as consequências relacionadas a este atributo do solo, assim como na sensível melhoria do micro, meso e macrofauna do solo. Salienta-se neste aspecto o sensível aumento de minhocas de importância na escavação do solo, na fragmentação de resíduos orgânicos, na mistura do solo com matéria orgânica favorecendo a agregação; (5) no controle de algumas pragas do solo como do nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines*) através das seguintes práticas: rotação de cultura, diminuição do trânsito de máquinas e implementos entre as áreas reduzindo o risco de disseminação; redução da erosão eólica, considerada uma das mais importantes formas de carregamento dos cistos a distâncias consideráveis; (6) na alteração da fertilidade do solo através da redução da lixiviação e reciclagem de nutrientes proporcionado pelo incremento da matéria orgânica ou da cobertura vegetal.

Por outro lado, há uma série de inconvenientes relacionados ao PD entre eles os seguintes: (1) a redução da temperatura do solo assim como a manutenção por maior tempo da umidade proporciona um prolongamento do ciclo da cultura favorecendo assim a possíveis ataques de pragas e doenças, como exemplo o cancro da haste da soja; (2) a cobertura com palha favorece uma intensidade maior de geadas na produtividade em regiões sujeitas a tais fenômenos; (3) o tráfego de veículos e máquinas pode ocasionar

sensível compactação suficiente para ocasionar encharcamento temporário e com isso proliferar pragas e doenças no sistema radicular; (4) em sistema com irrigação tal inconveniente pode ser sensivelmente agravado, como no caso da ocorrência do *mofo branco* (*Sclerotinia sclerotiorum*) na cultura do feijão ou de lesmas como tem sido constatado no Brasil Central, também em feijoeiro; (5) a presença da cobertura com palha pode propiciar maiores ataques de pragas do solo como lagartas e cupins; (6) em culturas semi-perenes, como cana-de-açúcar, a presença da cobertura com palha tende a reduzir sensivelmente a produtividade, assim como a aumentar o ataque de cigarrinha.

12.2 Introdução do plantio direto

Para a adoção do plantio direto há necessidade de se tomar alguns cuidados a saber: Limpeza da área com a remoção de tocos, raízes, eventualmente pedras etc. Correção das erosões antigas, mudanças dos traçados de estradas e carreadores, se este for o caso. Em algumas situações de encharcamento há necessidade de se proceder adequadamente com drenagem superficial ou em alguns casos com drenagem profunda.

Fazer um diagnóstico dos fatores limitantes, principalmente os físicos. Proceder as amostragens das glebas e enviar para análises químicas. Erradicação química-mecânica de ervas daninhas de difícil controle como a grama seda, grama batatais, tiririca etc. Se estas espécies não são extirpadas antes da instalação do plantio direto a tendência é de se reproduzirem a ponto de tornar-se antieconômica a exploração das terras, sendo necessário retomar ao plantio convencional por um ou mais anos com o uso de arações, gradeações e herbicidas eliminá-las. Estas espécies aparecem, normalmente, em reboleiras e mesmo que os tratamentos para a sua destruição (controle) sejam caros, tornam-se econômicos.

12.2.1 Preparo convencional do solo e correção química e PD.

No final do período úmido iniciar as operações de preparo convencional com gradeações intermediária ou grade pesada. O corretivo (calcário) e o gesso são aplicados nesta fase. Havendo necessidade de descompactar utilize equipamentos específicos: subsolador, arado. Se houver necessidade fazer fosfatagem. Gradeação de pré-plantio e plantio da cultura.

As vantagens do plantio direto repousam na obtenção de boas palhadas para proteger e recuperar os solos, através da cobertura morta. Tal cobertura pode ser obtida pela dessecação do mato, ou pela exploração de culturas de cobertura ou mesmo pela safrinha (o termo safrinha se refere a uma cultura plantada em fevereiro ou março logo após a colheita da cultura principal) e colheita em junho/julho. A palhada deixada pela safrinha geralmente é de boa qualidade, podendo alcançar entre 5 e 7 t/ha de massa seca (nas culturas de milho, sorgo ou milheto).

Outros benefícios da safrinha são os seguintes: quebra do ciclo de pragas e doenças através da rotação de culturas; redução na infestação de plantas daninhas, através da alelopatia, da cobertura e sombreamento do solo; reciclagem de nutrientes, através da mineralização da palhada; retorno financeiro em condições razoáveis pela cultura colhida suficiente para atenuar os custos do plantio direto.

12.3 Plantio direto em culturas anuais e safrinha

a. Considerações

Nas diversas regiões do Brasil tem sido utilizado as seguintes culturas: soja, sorgo, milho, girassol, milheto, nabo forrageiro, trigo e aveia preta. Para o plantio da safrinha há necessidade de uma série de cuidados, a saber: (1) o plantio da cultura principal deve ser com variedade precoce, que possa ser colhida em fevereiro ou no máximo em meados de março; (2) se a cultura principal foi bem conduzida, e colhida no limpo, o máximo a fazer talvez seja tratar apenas as laterais dos carregadores, que geralmente ficam mais sujos, com 1,0 a 1,5 litros/ha de Roundup; (3) se a área estiver suja é conveniente fazer o tratamento em área total com o herbicida, para evitar nova produção de sementes e perenização de certas ervas; (4) o ato de roçar a área antes do plantio da safrinha pode ser uma operação desnecessária e inconveniente em determinadas situações. Uma palhada picada pela roçadeira geralmente aumenta o risco de embuchamento da plantadeira, além de ter sua decomposição mais acelerada. Entretanto se a área estiver com elevada infestação de ervas como buva, capim amargoso e outras será aconselhável roçar cerca de 20 a 30 dias antes do plantio, apesar desta espera muitas vezes inviabilize o plantio da safrinha; (5) na maioria dos casos a safrinha não é adubada, porém é preciso analisar com cuidado o estado nutricional do solo caso contrário ele pode empobrecer.

b. Milheto no plantio direto

Dependendo da época de plantio o milheto pode produzir de 20 a 70 t/ha de massa verde sem adubação, como se pode velicar a seguir:

Tabela 87 – Época de plantio e matéria verde.

Época de Plantio	Matéria Verde (t/ha)
Setembro - Outubro	50 a 70
Fevereiro	35 a 55
Março	30 a 40
Abril	20 a 25

Resumidamente os cuidados para o manejo do milheto são os seguintes: Variedade para o cerrado recomenda-se o BN-1 (Bonamigo), por ter alta capacidade de produção de massa, por ser muito uniforme no desenvolvimento, além da resistência a seca. Época de plantio - como safrinha, após milho ou soja, funcionando mais como cultura de cobertura. A dessecação deve ser feita em setembro/outubro, preparando para o PD da cultura definitiva de novembro ou dezembro. Adubação - normalmente não é adubado. Quantidade de semente: se plantado para a produção de semente usa-se de 8 a 12 kg/ha, com espaçamento de 40 cm. Se plantado para massa gasta-se de 15 a 40 kg/ha dependendo da forma de plantio (a lanço, em linha ou sobre semeadura e da forma como será manejado. Se for utilizado o rolo faca usa-se menor volume de semente, mas se for dessecado e sem usar roçadeira ou rolo faca, usa-se maior quantidade de semente.

O milheto é tido como boa forrageira, com um teor de proteínas na faixa de 7,5%, acima dos teores do sorgo e do milho. Tais características aliadas a facilidade com que pode ser conduzido, fazem desta cultura uma excelente opção como cultura de sucessão para a soja ou o milho. Outra vantagem adicional é representada pela facilidade com que esta cultura pode ser controlada com o glifosato, na dose de 2,0 l/ha. Sendo assim o milheto pode substituir tanto o sorgo como o milho na composição de rações para animais.

c. Braquiária no plantio direto (Integração agricultura e pecuária)

Em algumas regiões do Brasil Central e em áreas infestadas por brachiaria usa-se ela após a cultura principal como fonte de alimentação para o gado. Usa-se a *Brachiaria ruziziensis* pelos seguintes motivos: (1) tem melhor valor alimentar e nutricional para os animais; (2) produz sementes uma vez ao ano, sendo fácil de ser manejada para evitar o praguejamento da área; (3) é extremamente sensível ao herbicida Roundup, sendo facilmente controlada com 2,0 a 2,5 l/ha.

No plantio da cultura principal, em outubro-novembro, é usado um herbicida de efeito residual curto, entre 50 e 60 dias. Após a colheita da cultura principal a brachiaria toma conta da área, vindo produzir excelente pastagem graças a adubação residual da cultura principal. Para garantir o estabelecimento do pasto pode-se semear a brachiaria por ocasião da adubação da cultura principal, normalmente o milho. A partir de outubro e após chuvas, a brachiaria se restabelece permitindo assim que seja dessecada, dando a cobertura morta necessária para o plantio direto para a cultura principal.

d. Plantio direto e herbicida

O PD somente se viabilizou em larga escala com o advento de herbicidas, principalmente no preparo da área para receber a cultura. Sendo assim há necessidade de alguns cuidados ao ser usado o dessecante. Usar o marcador de espuma. Marcar antes do mato crescer: usando um implemento apropriado marcar a área (riscando) no espaçamento em que o pulverizador vai passar. Balizamento com bandeira (dia) ou lanterna (noite). Unir um trator adicional paralelo ao trator com pulverizador, unido por corda ou corrente, que tenham comprimento idêntico ao da barra de pulverização. Enquanto, que o trator principal vai pulverizando o trator adicional vai deixando um rastro visível no mato, fácil de ser seguido na passada seguinte. Colocar um funcionário andando no limite e na frente da barra de pulverização atirando punhados de cal sobre a vegetação marcando assim a passada seguinte. O uso do GPS elimina tais inconvenientes.

12.4 Nutrição no plantio direto para as culturas anuais

a. Dinâmica dos nutrientes em PD

O desenvolvimento do plantio direto tem gerado inúmeras questões inerentes ao manejo da fertilidade do solo e o uso de fertilizantes e corretivos. Para melhor entendimento do assunto é necessário que se conheça aspectos relacionados com a mobilidade e distribuição e acumulação de nutrientes no solo. Quanto a sua capacidade de se movimentar no solo os nutrientes podem ser agrupados em “móveis” ou “imóveis” e “demais nutrientes”.

- **Nutrientes móveis:** São aqueles fracamente retidos pelo solo, movendo-se quase que livremente através do perfil, arrastados pelo movimento ascendente ou descendente da água. O nitrogênio e o cloreto como ânions não específico é o principal representante deste grupo.

- **Nutrientes “imóveis”:** São aqueles que reagem com os coloides do solo, permanecendo retidos a partir do seu contato com o solo. Alguns destes nutrientes podem inclusive reagir com o solo, formando compostos menos solúveis assim como o próprio fertilizante aplicado. Neste grupo destacam-se o fósforo, o manganês e o zinco, gesso que são nutrientes específicos.

- **Demais nutrientes:** o cálcio, magnésio e o potássio reagem com o complexo de troca e podem ser retidos com maior ou menor intensidade dependendo das características do solo como textura, Capacidade de Troca de Cations (CTC) e Ânions (CTA) e concentração dos cátions. Por outro lado, dependendo da concentração de sulfatos, cloretos no complexo de troca tais cátions podem ser translocados em profundidade.

b. Acumulação da MO e demanda de nitrogênio

A Tabela 88 resume os teores de matéria orgânica em solos cultivados com plantio direto e convencional no Paraná sendo que os teores de M.O. do solo não diferem entre os dois sistemas testados, porém as absorções de N são mais visíveis no plantio direto (Tabela 89). No milho, cultura mais exigente em N, a deficiência é notada não apenas pela quantidade de N na folha, mas pela menor produtividade. A maior demanda em N pela cultura no P.D. é explicada pelo fato de que, havendo mais umidade presente no solo,

existe maior movimento descendente da água, acarretando maior lixiviação de nitratos e cloretos, além do que serem a velocidade e o grau de mineralização da matéria orgânica ser menor em P.D. A prevalecer tais condições, a demanda de N pelas culturas em P.D. tende a aumentar com o decorrer do tempo, havendo indicações de aumento de 20 a 30% de N no P.D. para culturas como o trigo, milho, sorgo.

Tabela 88 - Distribuição e acumulação de matéria orgânica (determinada pela análise do carbono orgânico) na camada arável do Latossolo Roxo distrófico (Norte do Paraná) e do Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (Sul do Paraná) após 4 a 3 anos de cultivo respectivamente, relacionado ao sistema de cultivo e a sucessões de culturas. Médias de 3 repetições.

Tipo de solo e tempo de cultivo	Profundidade da amostra cm	Sucessões de culturas e sistemas de cultivo*					
		S/T/S		M/T/M		S/T/M	
		PC	PD	PC	PD	PC	PD
		Teor de matéria orgânica (%)					
Latossolo Roxo distrófico (LRd) após 4 anos de cultivo	0-5	3,26	3,02	3,21	2,93	3,02	3,37
	10-May	3,03	2,98	3,31	3,07	2,97	3,65
	15-Oct	3,17	3,23	3,10	3,12	2,90	3,53
	15-20	2,99	2,86	2,75	3,09	2,63	2,80
	20-25	2,89	2,84	2,63	3,13	2,71	2,89
	25-30	2,89	2,72	2,46	2,98	3,00	2,87
	Médias	3,04	2,94	2,91	3,05	2,87	3,18
	Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (LEd) após 3 anos de cultivo	0-5	4,86	4,75	5,19	4,83	5,34
10-May		4,92	4,94	5,06	4,86	5,25	4,64
15-Oct		4,67	4,81	5,14	4,79	4,99	4,59
15-20		4,09	4,79	5,27	4,67	4,38	4,31
20-25		4,40	4,74	4,26	4,58	4,25	4,44
25-30		3,93	4,15	4,31	4,24	4,20	3,83
Médias		4,48	4,70	4,87	4,66	4,73	4,44

(*) S/T/S - Trigo em sucessão contínua com soja. M/T/M - Trigo em sucessão contínua com milho. S/T/M - Trigo em sucessão alternada com soja e milho. PC - Plantio convencional PD - Plantio direto. Dados obtidos por Muzilli, O. (Acordo IAPAR/ICI, 1980).

Tabela 89 - Teores de nitrogênio em folhas de milho e trigo cultivados em diferentes sucessões de culturas, em sistemas de plantio convencional e direto. Londrina, safras 1977/78 a 1979/80. Médias de 3 repetições.

Cultura	Saфра	Sucessões de culturas e sistemas de cultivo*					
		S/T/S		M/T/M		S/T/M	
		PC	PD	PC	PD	PC	PD
Teor de N nas folhas (%)							
Milho	1977/78	-	-	1,18	3,75	4,19	3,91
	1978/79	-	-	3,16	2,74	-	-
	1979/80	-	-	3,00	2,78	3,16	2,73
Trigo	1979	2,80	2,13	2,84	1,70	2,60	2,11

(*) S/T/S – Trigo em sucessão contínua com soja. M/T/M – Trigo em sucessão contínua com milho

S/T/M – Trigo em sucessão alternada com soja e milho. PC – Plantio convencional PD – Plantio direto. Dados obtidos por Muzilli, O. (Acordo IAPAR/ICI, 1980)

c. Acumulação e demanda do fósforo

Acumulações superficiais de P solúvel se mostram sensivelmente mais altas em P.D. (Tabela 90) sobretudo nos primeiros 10 cm da camada arável. Em plantio convencional o maior contato entre o adubo e as partículas do solo, explica a menor disponibilidade do nutriente. A maior disponibilidade do P solúvel em P.D. evidencia possibilidade de redução na quantidade de fertilizante, uma vez atingido o limite crítico de P no solo. Há autores que dependendo do teor de P no solo, recomendam redução em até 50% no fertilizante.

Tabela 90 - Distribuição e acumulação do fósforo solúvel (extração com H₂SO₄ 0,025N + HCl 0,05N) na camada arável do Latossolo Roxo distrófico (Norte do Paraná) e do Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (Sul do Paraná) após 4 e 3 anos de cultivo respectivamente, relacionado ao sistema de cultivo e a sucessões de culturas. Médias de 3 repetições.

Tipo de solo e tempo de cultivo	Profundidade da amostra cm	Sucessões de culturas e sistemas de cultivo*					
		S/T/S		M/T/M		S/T/M	
	PC	PD	PC	PD	PC	PD	
Teor de matéria orgânica (%)							
Latossolo Roxo distrófico (LRd) após 4 anos de cultivo	0-5	12,4	49,5	7,6	21,5	10,8	38,4
	10-May	10,0	22,6	6,9	12,1	10,4	15,4
	15-Oct	9,4	12,3	5,8	7,1	8,0	8,8
	15-20	7,4	7,4	5,0	5,7	5,4	6,1
	20-25	5,6	7,4	4,8	5,5	4,5	6,8
	25-30	5,4	5,6	4,7	3,4	4,3	5,6
	Médias	8,4	17,5	5,8	9,2	7,2	13,5
Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (LEd) após 3 anos de cultivo	0-5	15,5	30,2	18,7	23,6	14,8	23,9
	10-May	15,7	27,2	18,4	19,0	15,7	20,2
	15-Oct	13,9	19,6	14,4	16,5	12,6	15,9
	15-20	10,1	13,0	12,8	11,7	10,8	11,4
	20-25	5,4	9,2	7,4	7,3	9,4	7,5
	25-30	4,3	6,1	4,5	5,9	4,0	6,0
	Médias	10,8	17,5	12,7	14,0	11,2	14,1

(*) S/T/S – Trigo em sucessão contínua com soja. M/T/M – Trigo em sucessão contínua com milho. S/T/M – Trigo em sucessão alternada com soja e milho PC – Plantio convencional. PD – Plantio direto. Dados de Muzilli, O. (Acordo IAPAR/ICI, 1980).

d. Acumulação do K, Ca E Mg e efeitos da acidificação

Tem-se verificado na literatura de maneira geral que no P.D. há maior concentração de bases do que no sistema convencional apesar de haver trabalhos indicando semelhança na distribuição destes nutrientes (Tabela 91). A acidificação em profundidade não deixa de ser um ponto que tem que ser levado em consideração no P.D., apesar que tal processo é diretamente dependente dos seguintes aspectos: tipo de solo (se arenoso ou argiloso, de CTC baixa ou alta), uso de gesso, auxilia em muito a redistribuição destas bases em profundidade, cultura e variedades (mais ou menos

tolerante a pH mais ácido), condições climáticas, regiões com sérios problemas de “verônicos” e déficit hídrico acentuado devem ter a subsuperfície corrigida quimicamente.

Tabela 91 - Distribuição do K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis na camada arável do Latossolo Roxo distrófico (Norte do Paraná) e Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (Sul do Paraná) após 4 e 3 anos de cultivo respectivamente, relacionados ao sistema de cultivo e a sucessões de culturas. Médias de 3 repetições.

Tipo de solo* e tempo de cultivo	Profundidade da amostra	Sucessões de culturas e sistemas de cultivo*					
		S/T/S		M/T/M		S/T/M	
		PC	PD	PC	PD	PC	PD
		Teores de K^+ trocável (emg/100ml)					
LRd (LVf)	0-5	0,70	0,81	0,59	0,78	0,60	0,78
	10-May	0,58	0,63	0,52	0,64	0,58	0,67
	15-Oct	0,54	0,46	0,51	0,41	0,53	0,55
	15-20	0,45	0,36	0,40	0,41	0,42	0,46
	20-25	0,35	0,36	0,36	0,38	0,37	0,45
	25-30	0,35	0,32	0,37	0,35	0,34	0,42
	Médias	0,49	0,49	0,46	0,49	0,47	0,55
LEd (LV)	0-5	0,25	0,25	0,30	0,24	0,31	0,32
	10-May	0,23	0,20	0,25	0,18	0,28	0,22
	15-Oct	0,14	0,12	0,16	0,13	0,20	0,15
	15-20	0,10	0,09	0,10	0,10	0,14	0,12
	20-25	0,07	0,07	0,07	0,07	0,10	0,10
	25-30	0,07	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06
	Médias	0,14	0,13	0,16	0,13	0,18	0,16
		Teores de Ca^{2+} trocável (emg/100ml)					
LRd (LVf)	0-5	5,64	6,54	5,09	6,02	4,93	7,23
	10-May	5,65	5,96	5,21	5,98	3,14	6,47
	15-Oct	5,51	5,59	4,92	5,81	3,20	7,10
	15-20	5,28	5,32	5,01	5,63	3,09	6,11
	20-25	4,93	4,82	4,71	5,30	2,88	6,01
	25-30	4,75	4,41	4,52	5,11	2,89	6,03
	Médias	5,29	5,44	4,91	5,64	3,35	6,49

	0-5	5,29	5,91	5,61	5,35	5,02	5,58
	10-May	5,66	5,71	5,60	5,40	5,31	5,46
	15-Oct	5,31	5,42	5,38	5,11	5,11	5,23
LEd (LV)	15-20	4,57	4,62	5,27	4,70	4,45	4,79
	20-25	3,50	3,96	3,74	3,87	3,57	4,17
	25-30	3,03	3,57	3,11	3,50	2,94	3,72
	Médias	4,61	4,86	4,78	4,65	4,40	4,82
		Teores de Mg²⁺ trocável (emg/100ml)					
	0-5	1,78	2,33	1,42	2,06	1,42	2,27
	10-May	1,81	2,11	1,40	1,90	1,48	1,98
	15-Oct	1,68	1,78	1,52	1,70	1,55	1,94
LRd (LVf)	15-20	1,58	1,60	1,45	1,48	1,52	1,59
	20-25	1,45	1,54	1,33	1,48	1,41	1,63
	25-30	1,34	1,56	1,28	1,37	1,38	1,53
	Médias	1,61	1,82	1,40	1,66	1,46	1,82
	0-5	1,88	1,88	1,71	1,83	1,60	1,81
	10-May	1,90	1,80	1,75	1,87	1,70	1,81
	15-Oct	1,87	1,70	1,77	1,81	1,70	1,82
LEd LV)	15-20	1,63	1,49	1,74	1,67	1,53	1,73
	20-25	1,30	1,31	1,30	1,41	1,29	1,46
	25-30	1,18	1,25	1,18	1,36	1,07	1,37
	Médias	1,63	1,57	1,57	1,66	1,48	1,67

(*) LRd – Latossolo Roxo distrófico, após 4 anos de cultivo. Led – Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso após 3 anos de cultivo. (*) S/T/S Trigo em sucessão contínua com soja. M/T/M – Trigo em sucessão contínua com milho S/T/M – Trigo em sucessão alternada com soja e milho. PC – Plantio convencional. PD plantio direto.

12.5 Neutralização da acidez do solo por resíduos vegetais

Em relação ao calcário e ao gesso ficou evidente que: uso do calcário permite a elevação do pH normalmente nas camadas superficiais. A baixa mobilidade do Ca e Mg na forma de CaCO₃ ou MgCO₃ se deve à ausência de íons acompanhantes, uma vez que o HCO₃ é instável, se transformando em H₂O e CO₂. Em solos arenosos observou-se que a reação com calcário pode se dar também a maiores profundidades.

O gesso propicia enriquecimento de bases em profundidade, como tem-se observado por diversos autores (Pavan, 1994 e Oliveira e Pavan 1996, Caires, 1999).

Entretanto, tem sido demonstrado o aumento do pH do solo pela aplicação de material orgânico (Hoyt e Turner, 1975, Franchini et al. 1996). A capacidade de neutralização da acidez do solo por resíduos vegetais está associada aos seus teores de cátions e carbono orgânico solúvel, que normalmente é maior em resíduos de adubos

verdes. No caso de resíduos orgânicos de culturas como a soja ou o milho, capacidade de neutralização da acidez está relacionada a redução dos teores de cátions e carbono solúvel com o avanço da idade da cultura.

Vários experimentos feitos no IAPAR, todos eles em 1999, usando extratos vegetais mostraram que a sua percolação por colunas de solo neutraliza a acidez até a camada subsuperficial (Figura 76). No caso da aveia preta e do nabo forrageiro o pH na camada superficial passou de 4,1 no controle para 5,2 e 5,3, respectivamente. Na faixa dos 20 cm o pH esteve na faixa dos 4,3 contra 4,2 na testemunha.

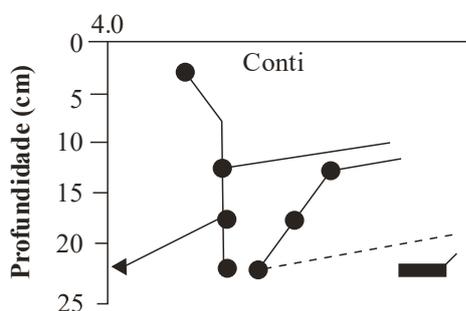


Figura 76 - pH do perfil do solo após percolação do extrato vegetal.

As principais reações de ligantes orgânicos, solúveis em resíduos vegetais, responsáveis pela neutralização da acidez na superfície do solo (ou subsolo) envolvem a participação de radicais carboxílicos e são as seguintes:



Em ambiente alcalino (pH superior a 7,0) as reações se processam pelos radicais amídicos e fenólicos da matéria orgânica, a saber:



Como se nota a natureza anfótera de resíduos vegetais faz com que aumente o pH dos solos ácidos e reduza o pH dos alcalinos.

12.6 Transporte em profundidade no solo de cátions por ligantes orgânicos

A mobilidade de cátions em solos minerais segue a seguinte ordem: $\text{Na} > \text{K} > \text{NH}_4 > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Al}$. Os cátions monovalentes são removidos mais facilmente em água por se encontrarem longe do centro de cargas do coloide, principalmente na forma iônica, enquanto, que os polivalentes que estão mais próximos ao centro de carga e sofrem várias reações no solo que tendem a diminuir sua mobilidade. Os cátions divalentes podem estar presentes no solo nas seguintes formas: íons livres, adsorvidos, precipitados, complexos orgânicos e inorgânicos.

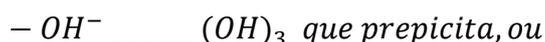
Uma das condições indispensáveis para a lixiviação de cátions no solo é a presença de ânions solúveis acompanhantes, tais como o cloreto (Cl^-), o nitrato (NO_3^-), o nitrito (NO_2^-), o sulfato (SO_4^{2-}), o acetato (OAc^-), o formato (OFor^-). O cálcio dos sais solúveis de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ e CaCl_2 é facilmente transportado em subsuperfície, porém como são sais neutros não aumentam o pH e nem reduzem a toxidez de Al. Recentemente vários trabalhos têm demonstrado a mobilização de Ca para o subsolo na forma orgânica, como por exemplo, na forma de sulfato de Ca (Watt et al. 1991). Por outro lado, a presença de resíduos orgânicos, tais como o sulfato, ricos em bases, na subsuperfície de um solo ácido tende a reagir com o H^+ , elevando o pH.

Recentemente Miyazawa et al., (1998) avaliaram os efeitos de resíduos vegetais nas propriedades químicas do perfil do solo. Os resíduos de aveia preta, nabo forrageiro, mucuna cinza e leucena foram os que proporcionaram os maiores aumentos nos teores de Ca e Mg na camada subsuperficial de solos ácidos, e com sensível redução do Al.

12.7 Neutralização do alumínio em solos através do uso de resíduos orgânicos

Entre as espécies solúveis de Al encontrados em solos ácidos o Al^{3+} é a mais tóxica para as plantas. Sua redução ou eliminação é feita pela ação do calcário. A redução

da toxidez de Al após a aplicação de resíduos orgânicos ocorre através dos seguintes processos químicos:



O grau de neutralização da toxidez de Al por ácidos orgânicos é determinado pela estabilidade do complexo orgânico formado. Assim é que Hue et al. (1986) classificou os principais ácidos orgânicos quanto a capacidade de amenização do Al tóxico para plantas de algodão da seguinte forma: (1) forte: cítrico, oxálico, tartárico; (2) moderado: málico, malônico, salicílico; (3) fraco: succinico, láctico, fórmico, ftálico, acético. Em trigo, é usando solução nutritiva Miyazawa et al. (1992) encontrou a seguinte ordem de eficiência: cítrico, tartárico oxálico, húmico, malônico, maléfico, salicílico, succinico. Além da toxidez de Al, os resíduos vegetais tendem também a reduzir os efeitos maléficos do Mn.

A menor movimentação de cátions polivalentes no perfil do solo no plantio convencional, em relação ao plantio direto, apesar da produção de mesma quantidade de resíduos vegetais, deve-se principalmente a maior taxa de decomposição dos resíduos com a incorporação no plantio convencional. Sendo assim os efeitos das calagens em áreas de plantio direto tendem a ser mais duradouro do que no sistema convencional.

12.8 Análise de solo e remanejamento da fertilidade

Em P.D. a amostragem do solo deve ser procedida com maior frequência (pelo menos a cada 2 anos para solos de baixo CTC e 3 anos para solos de alta CTC), em 2 profundidade; 0-10 cm, 10-40 cm. Visando periodicamente possibilitar melhor controle das ervas e uma distribuição uniforme dos nutrientes assim como eventuais correções em

profundidade, alguns agricultores têm optado por uma mobilização do solo através do plantio convencional, após cada 5 a 6 anos de P.D. Eventuais correções da acidez podem ser feitas aplicando o corretivo na superfície seguido de uma escarificação. Correções mais profundas devem ser feitas com mobilização do solo ou associando o calcário com o gesso.

Grande parte dos pesquisadores e técnicos nesta área fazem a seguinte recomendação: Usar as mesmas recomendações no P.D. de adubação do sistema convencional. No caso do nitrogênio é indicado acrescentar 20 a 30% a mais nos primeiros 3 a 4 anos de instalação do PD sendo que autores recomendam para o milho que se antecipe 30% do nitrogênio na cultura que antecede o milho. Há controvérsias de resultados.

Na dúvida use a recomendação usual na cultura principal. Quanto ao calcário use a recomendação usual, porém para aplicação em 10 cm de profundidade. Se possível usar o gesso associado. Fazer a correção para 50% da saturação ou 60% ou 70% de acordo com a exigência da cultura. Trabalhos tem indicado que ao longo do tempo em P.D. e com o aumento do teor de matéria orgânica a necessidade de calagem tem diminuído. O principal fator neste caso se deve a ação da matéria orgânica (representada pelos restos de culturas anuais) como possível agente de reação de redução da acidez.

12.9 Tendências no plantio direto em culturas anuais

O que se tem observado ao longo dos últimos anos em relação ao plantio direto tem sido alguns inconvenientes ligados no manejo de solos. Entre eles salientam-se os seguintes: Compactação motivada pelo tráfego de máquinas; Encharcamento temporário principalmente em sistema irrigado, ocasionando a proliferação de doenças e pragas; Deficiência nutricionais causadas por indisponibilidade de alguns micronutrientes entre eles o zinco e o manganês. Sendo assim e em algumas regiões do Brasil os agricultores periodicamente e após a colheita de invernos, utilizam um escarificador destorroados em toda a área de plantio direto.

12.10 Plantio direto (PD) em cana-de-açúcar

No PD de cana seguido de cana os principais passos são os seguintes: Programar adequadamente o corte da cana a ser reformada assim como a aplicação do Roundup e o posterior plantio da cultura. Talvez este tópico seja o mais importante no êxito ou no fracasso do sistema, além da escolha adequada do solo. Para este caso evita-se solos de textura média a argilosa devido ao acentuado grau de compactação que normalmente tais solos apresentam. Os solos mais indicados sem dúvida nenhuma são os de textura média-arenosa aos arenosos. A liberação da área deve ser preferencialmente cedo, julho-agosto, para se ter tempo suficiente para a realização das operações. Nesta ocasião proceder as operações de limpeza da área, com a remoção de tocos, raízes, pedras (quando possível), correção das erosões antigas, modificações do sistema viário e conservacionista. Quando a soqueira tiver com 50 a 70 cm de altura, sem colmo visível, proceder a aplicação do herbicida. A soqueira dissecada seria como uma cultura de espera contra a erosão.

Aplicação dos insumos sendo o calcário deve ser aplicado em área total, mas como não pode ser incorporado proceder da seguinte maneira: Aplicar 70% em área total e o restante posteriormente no sulco de plantio da cana. Associar o gesso com o calcário em área total. O procedimento para auxiliar nestes eventos seria a antecipação da aplicação do calcário nos cortes anteriores, antes da reforma. Havendo necessidade de fosfatagem use FNR antes da sulcação. Na operação de tampação da cana-de-açúcar aplicar o fósforo (use fósforo solúvel) através de adubadeiras convencionais, porém espalhando da melhor maneira o adubo no sulco.

Proceder a sulcação e o plantio se possível com GPS no mesmo alinhamento anterior ou (sem GPS) proceder a sulcação na entrelinha ou um novo alinhamento rompendo as linhas da cultura anterior.

12.11 PD de cana de açúcar seguido de soja seguido de cana

O procedimento é semelhante ao caso anterior do item e após a aplicação do glifosato, aguardar 3 a 4 dias e plantar a soja em out-nov, com adubação normal para esta cultura. Usar variedade precoce de soja para ser colhida no máximo em fev-mar. Após a colheita da soja proceder as operações de plantio da cana-de-açúcar. Na sulcação use apenas PK.

12.12 PD em solo argiloso

A opção neste caso seria o de fazer o preparo convencional destes tipos de solos, como já foi explicado, para atenuar o problema de compactação, no período de agosto a outubro, e proceder ao plantio de uma cultura soja ou amendoim. Após a colheita destas culturas proceder ao plantio direto da cana na palhada da soja ou do amendoim. Outra opção seria o de utilizar uma cultura de espera como também já foi explicado.

12.13 História do PD em cana-de-açúcar

Em meados da década de 80 teve início principalmente no Estado de São Paulo o PD nesta cultura, perdurando até os primeiros anos da década de 90, quando foi praticamente abandonado. As principais causas constatadas na época para a redução deste tipo de atividade nesta cultura foram as seguintes: Queda de produtividade atribuído principalmente pela compactação e a não adequada correção química; Aumento de pragas de solos; Escolha muitas vezes de áreas inadequadas, principalmente de textura mais argilosa.

Entretanto, atualmente com o advento de novas tecnologias, inseticidas e nematicidas mais eficientes tais sistema tende a ser novamente utilizado, com sensíveis vantagens para a área ambiental. Quanto no manejo dos fertilizantes a maneira mais apropriada se refere a usar as exigências nutricionais para produzir 1,0 tonelada de colmos e deduzir do estoque do solo (Tabela 92).

Tabela 92 - Exigência nutricional de cana-de-açúcar.

Exigência nutricional	Kg/ton de colmos
Nitrogênio	1,1
Fósforo (P ₂ O ₅)	0,45
Potássio (K ₂ O)	1,2

12.14 Adubação da cana planta e soqueira

Quanto ao nitrogênio em cana planta usa-se na faixa de 0 a 60 kg/ha, sem haver necessidade de cobertura, independente da textura do solo. Em relação ao fósforo e ao potássio utilize as curvas de calibração para as diversas regiões canavieiras (Tabela 93).

Tabela 93 - Adubação em plantio de cana-de-açúcar.

Fósforo ppm	Kg/ha P₂O₅	Potássio cmol/dm³	Kg/ha K₂O
Menor 5	150	Menor 0,8	180
5 a 10	120	0,8 a 0,16	150
11 a 20	90	0,17 a 0,30	120
20 a 40	60	0,31 a 0,45	90

No caso de cana soca use as exigências nutricionais para N e K em função da estimativa de produção na proporção de 1:1 (Tabela 94).

Tabela 94 - Teores de N e de K em soqueira de cana-de-açúcar.

Expectativa produção colmo	N	K (análise solo) mmolcdm⁻³		
		< 1,5	1,5 – 3,0	> 3,0
t/ha	kg/ha	kg/ha K₂O		
< 60	60	90	60	30
60 – 80	80	110	80	50
80 – 100	100	130	100	70
> 100	120	150	120	90

Quanto ao fósforo em soqueira se a quantidade aplicada no plantio for suficiente não há necessidade de aplicar. Caso contrário, e a partir do terceiro corte aplique 30 a 35 kg/ha de P de uma fonte solúvel, por corte adicional.

12.15 Efeitos da palha e a quantidade de nutrientes

Em regiões mais frias, a presença da palha tem danificado a brotação das socas, reduzido a temperatura do solo, aumentado o ataque de cigarrinhas e reduzido significativamente a produtividade. Dados da região de Piracicaba indicam queda de 10 a 15% na produtividade quando se compara com a cana queimada (devido a lenta brotação de soqueira). Ataques de cigarrinha tem sido comum praticamente em toda região canavieira de São Paulo e Mato Grosso com sensível queda na produtividade.

De maneira geral após o corte de cana crua tem ficado sobre a superfície do solo em torno de 12 a 20 t/ha/ano de matéria seca, o que daria um total de nutrientes relacionados a seguir (Tabela 95)

Tabela 95 - Teores de nutrientes da palha que fica na superfície do solo após a colheita.

Nutrientes	kg/ha
N	54,7
P	4,4
K	76,0
Ca	54,9
Mg	25,5
S	15,1

Numa primeira análise pode-se pensar em substituir nas adubações, de nitrogênio e de potássio. Entretanto, tais nutrientes necessitam ser liberados pela mineralização através da ação dos microrganismos. Tal liberação infelizmente não é semelhante para todos os nutrientes (Tabela 96).

Tabela 96 – Material seco (MS) da palhada, nutrientes e carboidratos estruturais contidos na palhada amostrada em 1996 e na remanescente (1997).

Ano	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	C	Hemicel*	Cel*	Lig*	Com. Cel.*	C/S	C/N
1996	13,9a	64a	6,6a	66a	25a	13	9a	6255a	3747a	5376a	1043a	3727a	97a	695
1996	10,8b	53b	6,6a	10b	14b	8b	8b	3642b	943b	5619a	1053a	2961b	68b	455

*Hemicel = hemicelulose; Cel. = celulose; Lig. = lignina; Com. Cel. = conteúdo celular. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t, ao nível de 5% de probabilidade.

A quantidade de MS (massa seca) em 1996 era de 13,9 t/ha e no ano seguinte estava 10,8 t/ha, ou seja, mineralizado 3,1 t/ha (20% de redução). Os nutrientes ocupam constituintes diferentes da MS. Assim o N encontra-se na celulose e lignina, enquanto, que o K na Hemicelulose e Conteúdo Celular. A mineralização do K, Ca e Mg em relação ao total contido na palhada foi de 85%, 44% e 39%, respectivamente. A mineralização do N da palhada foi pequena (18%). Sendo assim é inevitável a imobilização do N e a grande mineralização de K e, portanto, a relação NK nas adubações deve ser revista.

Dados preliminares obtido na Usina da Barra tem indicado que nas áreas de corte na palha houve necessidade ao aumento do teor de N nas adubações e redução no de K.

Atualmente, a aplicação de fontes nitrogenadas sobre a palha da cana é a alternativa mais prática em virtude das dificuldades de incorporação sob a palha. Tal prática tende a promover a imobilização temporária do nitrogênio devido a elevada relação C/N da palha. Dependendo da fonte aplicada há maiores riscos de perdas por volatilização do N amoniacal.

Os dados da literatura são unânimes em demonstrar que a aplicação da ureia na superfície as perdas de N são substanciais, nas faixas de 40 a 60%. Nos trabalhos feitos indicam que as perdas por volatilização da ureia aplicado a superfície na faixa de 50 e 100 kg/ha atingiram um máximo de perdas após 5 dias de aplicação (Figura 77). Tais perdas podem ser reduzidas com umidade (chuva ou vinhaça, ocorrida ou aplicada logo após a adubação).

Quando incorporado as perdas foram negligíveis. Observe o bom desempenho do NH₄NO₃ aplicado tanto na superfície como enterrado. (Figura 77).

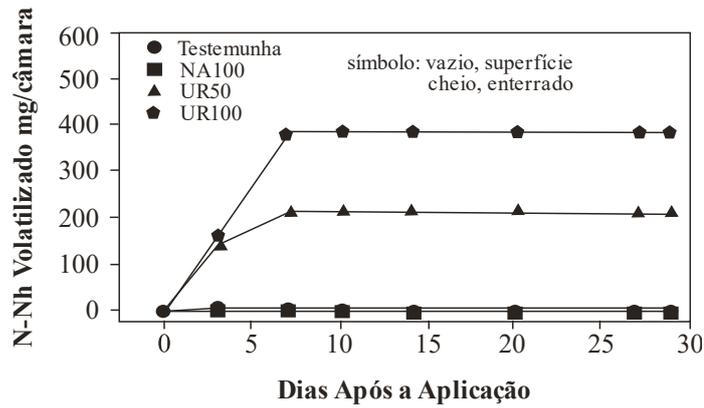


Figura 77 - Perdas de N por volatilização de amônia com a aplicação de ureia (UR) ou nitrato de amônio (NA) em cana colhida crua. 1: adubo incorporado ao solo (CANTARELLA et al. 1998 - dados não publicados).

Em experimentos a Copersucar em Piracicaba obtiveram diversos resultados relacionados as perdas por volatilização usando vinhaça, ureia, uran e nitrato de amônia. Os resultados mostraram que (Figura 78):

No solo LVA-5, em período seco da safra 96/97, houve maior perda de nitrogênio por volatilização no tratamento com 100 m³/ha de vinhaça + uran aplicado sobre o solo sem palha (V + USS), chegando a 12 kg de N/ha oriundos dos 100 kg de N/ha do fertilizante. No tratamento vinhaça + uran aplicado sobre a palha de cana ocorreu uma perda de 7 kg/ha de nitrogênio. A Figura 78 mostra os resultados da volatilização de amônia procedentes da vinhaça e do uran, onde os tratamentos foram: VSP: Vinhaça sobre a palha; V + USP: Vinhaça + uran sobre a palha; VSS: Vinhaça sobre o solo; V + USS: Vinhaça + uran sobre o solo; V+ UES: Vinhaça + uran enterrado sob o solo.

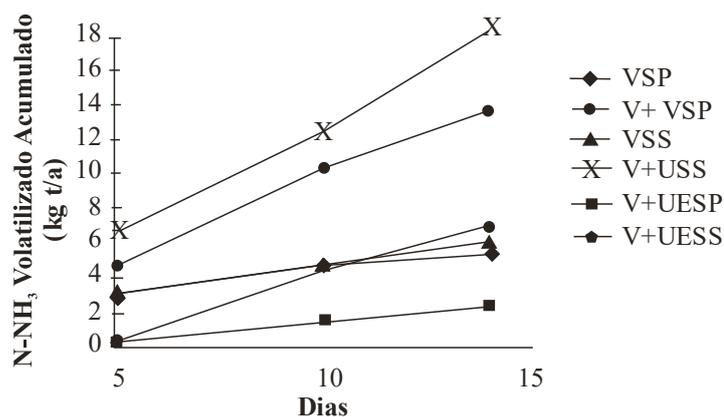


Figura 78 - Volatilização de amônia (N-NH₃) acumulado (kg/há) em três épocas após a aplicação de vinhaça e uran.

Em outro experimento desenvolvido em solo argiloso, (LR-1), em período úmido da safra 96/97, a aplicação de 100 m³/ha de vinhaça + uran sobre a palha promoveu uma volatilização de 6,5 kg de N/ha, contra 2,8 kg de N/ha em aplicação sobre o solo sem palha. Nos tratamentos com vinhaça + nitrato de amônio as perdas foram respectivamente, 6 e 2 kg de N/ha.

Na safra 97/98, em solo PVA-2 e período úmido, o tratamento 100 m³/ha de vinhaça + uréia apresentou uma volatilização de 16 kg de N/ha oriundos dos 100 kg de N/ha aplicados sobre a palha.

12.16 Cultivo das soqueiras de cana crua

Em experimentos de longa duração nas Usinas São Martinho, Santa Luiza, São Francisco AB, da Pedra os resultados foram os seguintes (Tabela 97).

Tabela 97 - Cultivo em soqueira com palha nas usinas selecionadas de São Paulos:

Tratamentos	Nº de Experimentos	Média por tratamento
		t/ha
Sem cultivo e sem adubo	7	76
Com cultivo e sem adubo	14	75
Com cultivo e com adubo	16	85
Sem cultivo e com adubo	13	88

Como se nota a colocação de adubo na superfície, sobre a palha, sem cultivo, a produtividade tem sido maior (88 t/ha contra 85 t/ha). Os dados relacionados ao cultivo com palha, normalmente tem dado resultados menores do que as áreas sem cultivo. A principal razão para este fato se refere a danificação do sistema radicular pelo cultivador que neste caso é bastante superficial. Em áreas onde se aplica vinhaça é recomendado um cultivo prévio para facilitar a absorção do produto, caso contrário há escorrimento e perda. A aplicação do adubo na superfície sobre a linha ou na entrelinha não tem dado diferença na produtividade. Os resultados não são consistentes. Por outro lado, a aplicação do adubo em área total pode até ser feito, porém deve ser evitado nas seguintes condições como em solos de baixa fertilidade, e em áreas declivosas.

Na opção de se usar nematicida ou inseticida nas socas há obrigatoriedade de incorporação do produto ao lado da soqueira ou cortando a soqueira. Neste caso o uso do GPS é obrigatório. A colocação destes produtos na superfície, sem incorporação e sem GPS, é perigosa para a área ambiental.

Na Usina da Barra, SP, foram feitos dois experimentos. Um experimento em solo argiloso (LR) em área com palha, (Tabela 98) foi observado que a remoção da linha da cana-de-açúcar com palha com ou sem cultivo a produtividade foi sensivelmente maior do que as áreas onde não foi removido a palha (média de produtividade de 101 t/ha contra 78 t/ha). Novamente neste caso não houve diferença entre cultivar ou não cultivar.

Tabela 98 – Ensaio de cultivo em áreas com palha em solo argiloso na Fazenda Quebra Pote. Instalação 9/98. Variedade: PO86-1363.

Tratamentos	Sub-Tratamentos	TCH	TPH
Sem cultivo, com adubo	100% com palha	85	12,4
Com cultivo, com adubo	100% com palha	76	11,1
Com cultivo, sem adubo	100% com palha	72	10,4
Média		78	11,3
Sem cultivo, com adubo	Sem palha na linha	106	16,2
Com cultivo, com adubo	Sem palha na linha	107	16,2
Com cultivo, sem adubo	Sem palha na linha	90	13,7
Média		101	15,4

Em outro experimento na mesma usina (Tabela 99) em solo arenoso na Fazenda São Francisco do Tietê, com a Variedade: RB835089 – 2º corte. Entretanto, são necessários alguns cuidados ao analisar tais dados, principalmente quando se inclui o fator varietal. Sabe-se que há variedades que não brotam bem, inclusive em solo arenoso. Um caso típico é a RB72454. Além disso é preciso analisar a época do corte da cana-de-açúcar. Nos períodos mais frios é conveniente remover a palha da linha nesta usina. Neste caso, sem cultivo e com adubo, foi o melhor tratamento.

Tabela 99 - Ensaio cultivo em áreas com palha. Fazenda: São Francisco do Tietê - zona: 1917 — talhão: 15. Instalação 8/98 - corte 7/99.

Tratamentos	Sub-Tratamentos	TCH	TPH
Sem cultivo, com adubo	100% com palha	69	9,3
Com cultivo, com adubo	100% com palha	64	8,5
Com cultivo, sem adubo	100% com palha	48	6,3
Média		60	8,0
Sem cultivo, com adubo	Sem palha na linha	68	9,0
Com cultivo, com adubo	Sem palha na linha	55	7,1
Com cultivo, sem adubo	Sem palha na linha	43	5,7
Média		55	7,3

12.17 O plantio direto e o sistema conservacionista

Com o advento do plantio direto tem sido comum na maioria dos agricultores a prática de reduzir ou eliminar o número de terraços e muitas vezes aderir ao plantio “morro abaixo”. É necessário neste caso alguns pontos a considerar, a saber: Em muitas regiões do Brasil, principalmente as de inverno seco e quente, é difícil formar uma adequada camada orgânica de proteção na superfície, e neste caso a remoção parcial ou total dos terraços pode ocasionar erosão. A cobertura orgânica de fato protege o solo contra a erosão, mas o excesso de água que não se infiltrou tende a escorrer na superfície do solo, principalmente se houver declividade suficiente. Neste processo, parte do adubo,

dos corretivos, dos inseticidas, fungicidas e herbicidas tendem a ser arrastados pelo deflúvio superficial contaminando mais a área ambiental (Figura 79).

Sendo assim recomenda-se muita prudência e bom senso nesta questão. Não esquecer que os terraços de base larga, quando adequadamente construídos permite perfeitamente o tráfego de máquinas e equipamentos.



Figura 79 - Sistema de erosão em área de soja no Paraná com remoção de terraços

13 CAPÍTULO 13: SOLOS DE ARGILA DE ALTA ATIVIDADE DE DRENAGEM LENTA A IMPEDIDA

13.1 Principais características

Relevo plano a suave ondulado, podendo ocorrer micro relevo associado (pequenas depressões ou em casos extremos, as dolinas). As maiores áreas de ocorrência dos vertissolos estão no Rio Grande do Sul, Recôncavo Baiano (região úmida) e em regiões de ambiente ústico a semiárido como em alguns estados nordestinos principalmente no Vale do Rio São Francisco.

São solos argilosos (ou siltosos), rasos a moderadamente profundos, drenagem lenta a impedida. O material de origem pode ser calcário. A consistência, no estado seco de umidade, é dura a extremamente dura e quando molhada é muito plástica a extremamente pegajosa. Durante o período seco é comum a presença de fendas de largura e profundidade variáveis (4 a 5 cm de largura por 40 até 100 cm de profundidade). A fração argila é de alta atividade, formado por argilas expansivas, com CTC elevada, e de maneira geral de saturação de bases acima dos 60% podendo atingir valores na faixa de 90 a 100% em ambiente semiárido. Raramente tais solos são distróficos.

O teor de cálcio e magnésio depende diretamente do material de origem (Tabela 100), com relações Ca/Mg as mais variadas, indo de 2/1 a 10/1 podendo chegar inclusive a 100/1 como já foi observado em alguns Vertissolos da região do Rio São Francisco, em capítulos anteriores. Dependendo do material de origem o teor de potássio pode ser elevado, faixa de 4 a 6% da CTC, ou baixo, da mesma maneira que o fósforo.

É comum a ocorrência de sódio nestes solos, cujo teor tende a aumentar à medida que as condições climáticas tendem a ficar mais secas. Com isso a condutividade elétrica pode aumentar de valor normalmente quando o teor deste elemento tende a ultrapassar os 15% da CTC.

Em ambientes semiáridos o pH tende a ficar acima de 6,5 podendo atingir faixas de 7,5 a 8,3, e com isso causar deficiência de micronutrientes, principalmente ferro e boro.

13.2 Os inconvenientes do sódio

A macroestrutura é grande e de grau forte quando seco, porém ela é instável quando úmido, justamente devido a presença do sódio. Ele é desestabilizador da estrutura. Ao agir como dispersante as argilas podem ser levadas em suspensão pela água e depositadas em outro local, assoreando sulcos de plantio e danificando a germinação de sementes ou a brotação das culturas semi-perenes ou perenes.

Por outro lado, a argila dispensada pelo sódio pode migrar na vertical, dentro do perfil, e bloquear os poros. As principais consequências deste fato entre outros se refere ao aumento do sistema erosivo, redução da infiltração e redução das trocas de gases.

A própria ação do sódio como dispersante pode bloquear os poros logo na superfície do solo, formando crostas que uma vez secas prejudicam a germinação das sementes. Em determinadas situações de excesso de umidade e com a drenagem lenta pode haver proliferação de doenças do sistema radicular.

13.3 Resumo dos solos

Um resumo destes solos, obtidas pelo projeto RADAM ou pelas contribuições dos autores, pode ser visto na Tabela 100.

Tabela 100 - Resumo das características de perfis de vertisstolos do Brasil
Regiões Semiárida e Úmida.

Prof. (cm)	Argila %	Cationes					CTC %	V %	Ki mmho/cm	CE %	Na %	pH H ₂ O
		Ca	Mg	K	Na	Meq/100g						
Perfil 92 – Ceará – Boletim 28 - 1973												
0-20	31	24	9	0,7	0,4	35	97	2,7	0,5	1	7,0	
-40	43	13	12	0,3	0,9	31	88	2,8	0,4	3	5,8	
-80	44	12	13	0,3	2,6	31	92	2,8	3,0	7	7,5	
Perfil 93 – Ceará												
0-20	30	17	4	0,6	0,16	23	100	4,3	-	1	7,9	
20	30	18	5	0,8	0,10	25	100	4,1	-	1	8,2	
80	32	19	11	0,1	0,11	30	100	4,0	-	1	8,2	
Perfil 253 – Bahia – Boletim 52-1979 – semiárido												
0-10	40	37	4	0,5	0,19	41	100	2,4	-	-	8,0	
-30	41	38	4	0,2	0,14	42	100	2,4	-	-	7,7	
30-50	45	37	3	0,2	0,13	42	96	2,5	-	-	6,9	
Perfil 253 – Bahia – São Francisco												
0-10	42	47	2	0,11	0,2	49	100	3,5	-	1	8,5	
Oct-35	40	44	1	0,01	0,3	46	100	3,3	-	1	8,4	
100	40	44	2	0,02	0,6	47	100	3,5	-	3	8,3	
Perfil 260 – Bahia – Recôncavo – Zona úmida												
0-25	60	20	8	0,3	0,7	35	37	3,4	-	2	6,2	
54	75	24	10	0,3	2,0	39	94	3,9	-	5	6,9	
-75	78	24	10	0,2	3,2	37	100	3,5	-	9	7,5	
Perfil 54 – Sergipe – Boletim 36 - 1975												
0-12	41	25	6	0,5	0,66	36	92	4,0	-	0	6,7	
40	54	30	9	0,5	0,19	41	92	4,0	-	0	7,0	
70	57	25	14	0,2	0,28	50	100	3,8	-	1	7,4	

13.4 Práticas de manejo

a. Região úmida

As práticas agrícolas nestes solos, entre elas o preparo do solo, o plantio e os tratamentos culturais, devem ser feitos num período de umidade muito curto. O preparo convencional do solo no período seco é praticamente impossível de ser executado devido a elevada coesão. O máximo que pode ser feito seria um preparo raso, com grades. Entretanto, como são solos de maneira geral férteis, não há necessidade de incorporação profunda de nutrientes e muito menos de calcário, além do fato de serem solos que tendem a compactar pouco devido ao sistema de expansão e contração das argilas.

No período úmido pode se fazer um preparo mais elaborado, porém o tempo de trabalho é pequeno, havendo, portanto, maior necessidade de equipamentos e máquinas, o que encarece o custo agrícola. Qualquer teor de umidade acima do necessário impossibilita trabalhar, pois são solos muito plásticos e muito pegajosos.

Após a colheita da cultura anual, fins do período chuvoso, é possível realizar as operações de preparo convencional. Havendo necessidade pode-se inclusive usar subsoladores com o intuito de melhorar a drenagem. Deste período até o início do novo plantio é possível que haja infestação com ervas daninhas. Neste caso use o glifosato, dessecando o mato, evitando assim gradeações em período muito úmidos.

Os tratos culturais como as adubações de cobertura, o controle de ervas daninhas, as pulverizações, todas elas operações mecanizadas, e durante o período úmido ou chuvoso é praticamente impossível de ser feito. As aplicações de herbicida e fertilizante pode ser feito com avião.

Num nível de manejo mais elevado, o uso de irrigação torna mais viável as operações no período seco. As culturas perenes e semi perenes que podem ter baixa eficiência num plantio sem irrigação podem se viabilizar com o plantio no período seco.

b. Em região semi-árida

Em um sistema de baixo nível de manejo tais solos apresentam poucas opções de trabalho, a não ser pastagens e agricultura de subsistência apesar de serem solos de excepcional fertilidade. Num sistema mais elevado de manejo, com irrigação, as opções de manejo são bem maiores. Assim é que o preparo do solo pode ser feito na época seca assim como as práticas culturais.

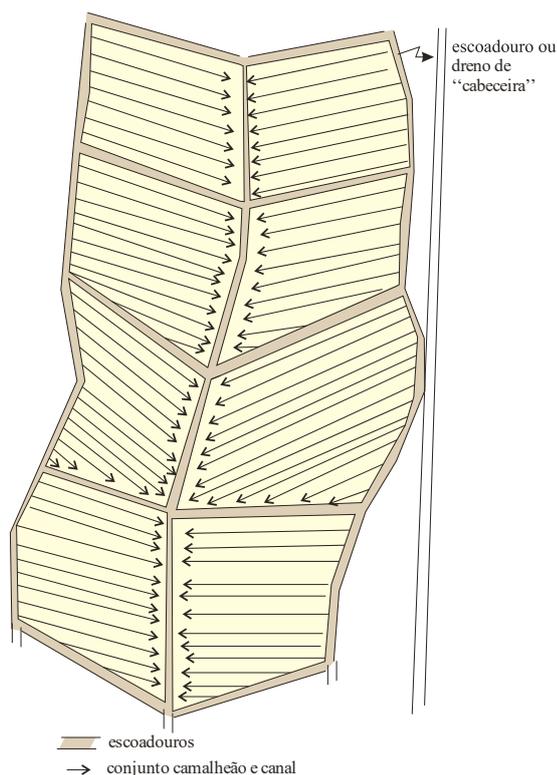
13.5 Esquema de sistemas de plantio e drenagem superficial

Como os vertissolos apresentam drenagem lenta a impedida é necessária a redução do excesso de umidade tanto da superfície como da subsuperfície. A drenagem convencional, com as aberturas de drenos a determinados espaçamentos, é cara e se possível deve ser evitada. Apesar de cara a drenagem com os drenos abertos em muitos

casos ela é necessária. Uma opção muito utilizada em tais solos é a de instalar um sistema de drenagem superficial, mais barata e muitas vezes tão eficiente quanto a convencional.

A drenagem superficial é feita direcionando o excesso de água superficial através da entrelinha rebaixada da cultura para um escoadouro e daí para um dreno principal. A entrelinha rebaixada pode ser feita através da construção de camalhões onde é executado o plantio, em ligeiro desnível.

Os croquis anexados ilustram tais procedimentos (Figuras 80 a 84). Os camalhões erguidos de base simples ou de base larga podem ser construídos com arado ou equipamentos especiais, para as culturas terem uma drenagem melhor. Quanto mais erguidos, melhor a drenagem. Na sulcação, em camaleão ou não, o excesso de umidade é direcionado para os escoadouros ou drenos. Os camalhões servem para culturas anuais, semi perenes e perenes. Porém as culturas podem ser plantadas, sem os camalhões.



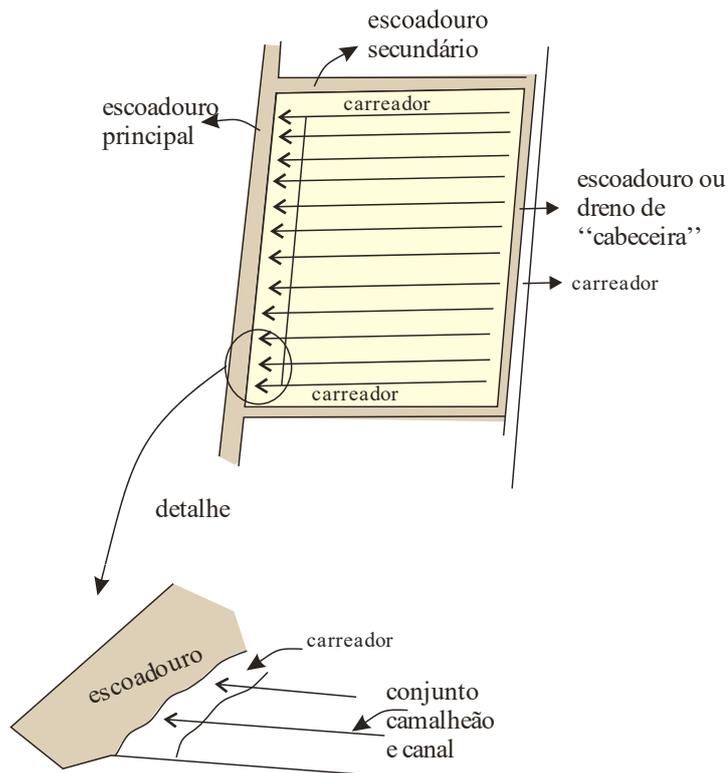


Figura 80 - Planejamento para o plantio em área de Vertissolo e/ou solos argilosos com Ta e drenagem impedida.

TIPOS DE CAMALEÃO

1. Camaleão de base larga para plantio cultura anual.

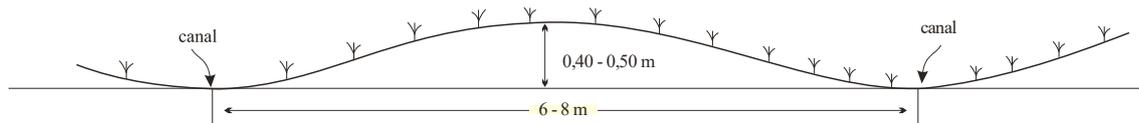


Figura 81 - Camaleão de base larga para plantio cultura anual.

2. Exemplo do tráfego e camaleão de base estreita, cultural e anual.

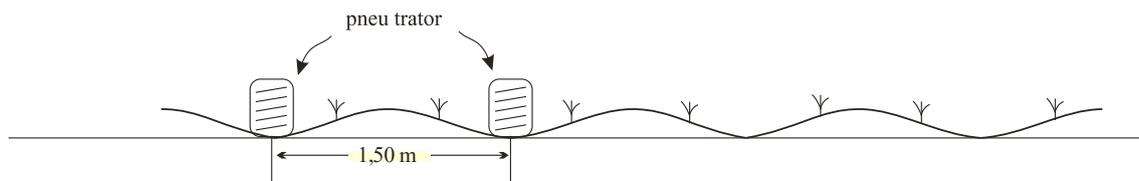


Figura 82 - Exemplo do tráfego e camaleão de base estreita, cultural e anual.

3. Camaleão, base estreita, cultura semi perene (cana-de-açúcar no espaçamento de 1,50 m).

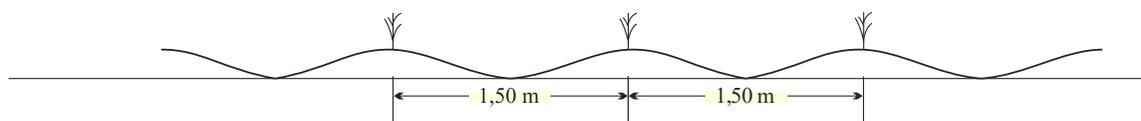


Figura 83 - Camaleão, base estreita, cultura semi perene (cana-de-açúcar no espaçamento de 1,50 m).

4. Camaleão de base estreita no espaçamento de 1,50/0,70 m.

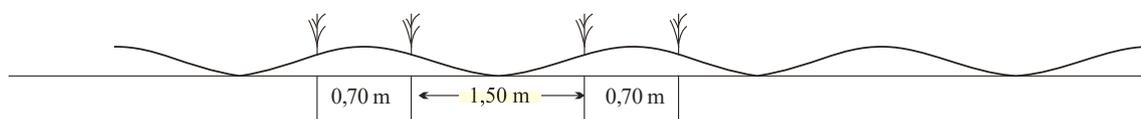


Figura 84 - Camaleão de base estreita no espaçamento de 1,50/0,70 m

13.6 Vantagens e limitações dos solos de argila de atividade alta

a. Classificação

Os solos aqui classificados incluem a Categoria 2 do sistema de Classificação de Solos Brasileira assim como solos classificados em níveis inferiores, com argila 2:1 e 1:1 de argila de alta atividade. Em consequência disto, os solos aqui classificados podem ter diferentes níveis. Excluindo os Vertissolos e os solos Hidromórficos Ta, pode-se agrupar os solos de argila de alta atividade (Ta) com drenagem moderada em duas classes, sendo a primeira os solos com gradiente textural abrupto ou menos acentuado. Nesta categoria podem ser incluídos as diversas classes dos solos podzolizados (inclusive os Bruno Não Cálcico e alguns Planossolos) com as seguintes texturas binárias; areia/argila; média/argila; média/muito argilosa; argila/argila; argila/muito argilosa. Podem ser classificados como solos com gradiente textural (SCG).

A outra categoria pode ser classificada como Solos sem o gradiente textural (SSG) ou com gradiente menos acentuado. Nesta categoria podem ser incluídos principalmente

os Brunizens Avermelhados (Chernosolos), assim como alguns perfis de Terra Roxa (Nitosolos), ambos, porém, de argilas de alta atividade.

b. Principais características

Relevo: de maneira geral o relevo é ondulado a forte ondulado, com interflúvios curtos, heterogêneo, dificultando a mecanização. Em alguns casos podendo inclusive ocorrer em relevo montanhoso. Em relevo plano a exceção são os Planossolos.

Profundidade do solo: normalmente não são muito profundos, ficando na faixa de 1,00 a 1,50 m de solo. É comum estar associados com solos mais rasos, cambissolos ou mesmo solos litólicos. No caso das Terra Roxas (Nitosolos) e Brunizem Avermelhado (Chernosolos) a presença de pedras é uma constante.

Textura (teor de argila 2:1 e 1:1): no horizonte B a maioria dos solos são Ta apresentam textura argilosa ou mista, podendo, entretanto, ocorrer texturas mais grosseiras, como em alguns solos podzolizados originados de arenitos.

Mineralogia: é mista, para a maioria dos casos, tendo a caulinita dividindo com os minerais 2:1 entre eles as micas, a vermiculita e a montmorilonita. No caso específico de solos desenvolvidos de diabásio, o teor de óxido de ferro é mais elevado do que dos demais solos desenvolvidos de outros materiais.

Estrutura do Bt: como são solos argilosos no B associado com minerais 2:1 a estrutura é bem desenvolvida, normalmente em blocos, de grau forte. A consistência quando seco é dura a muito dura e quando molhada muito plástica e muito pegajosa, restringindo assim as opções de manejo, principalmente no que se refere as operações de preparo, plantio e colheita no período úmido.

Drenagem: é moderada para a maioria dos solos (SCG), isto devido justamente a sua mineralogia 2:1. É comum encharcamento temporário, inclusive entre os horizontes A e B. No caso do Brunizem Avermelhado, como o teor de óxido de ferro é mais elevado, a drenagem é melhor.

Retenção de umidade: ela é elevada em ambos os grupos de solos. Porém nos solos SCG o tempo de retenção desta umidade é maior do que no outro grupo, o que não deixa de ser vantajoso (SSG).

Risco de erosão: maior nos solos SCG, assim como os riscos de assoreamento e encharcamento de sulco.

Fertilidade: A maioria dos solos (SCG) são distróficos ou álicos, raramente eutróficos (Tabela 101). No caso dos álicos o teor de alumínio pode atingir valores razoáveis, de 3 a 10 ou mesmo 16 meq/100g o que dificulta e encarece a recuperação química. A tendência é a de ter o Al aumentando em profundidade tomando os horizontes mais inferiores pouco explorado pelo sistema radicular. O teor de potássio em muitos casos é elevado, isto devido ao material de origem, no caso os folhelhos e argilitos. A relação Ca/Mg é variável indo de 2/1 até 10/1.

Solos eutróficos: neste caso os teores de Ca e Mg são elevados, porém com relação Ca/Mg também é variável, de 2/1 a 6/1 (Tabela 101) ou até mais como relata a literatura. Em casos de pH acima de 6,0 e com V% na faixa de 80 a 90% é possível a deficiência de alguns micronutrientes.

Quantidade de calcário e gesso: no caso dos solos distróficos ou álicos, devido a elevada CTC e ao elevado poder tampão, a quantidade de calcário é apreciável, bem acima das 10 t/ha. Quanto ao gesso, sua ação em profundidade de precipitar o alumínio, não tem ocorrido, justamente devido ao elevado teor em Al. O uso do gesso nestes casos é mais recomendado como fonte de enxofre.

Tabela 101 - Exemplos de solos podzolizados e Brunizem Avermelhado com argila de atividade alta.

Profundidade cm	Argila %	M.O. %	pH H ₂ O	Ca	Mg	K	Al	CTC	V	Al
				Meq/100g					%	%
Perfil 6 – PVA – eutrófico – Amazonas (Acre)										
0-20	25	2,3	6,6	31	4,9	0,5	0	116	89	0
20-45	46	0,8	7,0	25	5,7	0,5	0	81	84	0
45-85	57	0,6	6,5	26	7,0	0,5	0	72	84	0
Perfil 8 – PVA – álico – Amazonas (Acre)										
0-20	27	0,8	5,2	4,2	2,5	0,2	3,2	55	46	31
40-75	47	0,6	4,9	2,0	2,0	0,1	9,5	50	20	67
75-110	52	0,5	4,8	1,2	0,7	0,2	12,2	51	20	67
Perfil 10 – PVA – eutrófico – Amazonas (Acre)										
0-20	22	3,0	6,1	16,0	2,4	0,20	0,0	21	86	0,0
20-35	29	0,9	6,0	17,0	2,1	0,06	1,6	23	83	0,0
35-80	32	0,7	6,2	22,0	2,7	0,07	0,8	30	85	0,0
Perfil 1 – PVA – álico – Bahia										
0-15	26	1,9	4,8	1,3	0,1	0,12	4,1	12	14	72
15-45	57	0,6	5,1	0,2	0,1	0,12	10,3	18	4	95
45-90	70	0,2	5,2	0,2	0,1	0,20	16,8	21	3	96
Perfil 2 – Brunizem Avermelhado – Paraná										
0-20	38	2,4	6,1	8,2	4,1	0,80	0,0	22	60	0,0
40-60	52	1,9	6,2	12,2	3,6	0,41	0,0	25	65	0,0
60-90	48	0,7	6,4	14,1	3,4	0,40	0,0	28	64	0,0

13.7 Práticas de manejo

Eficiência das operações agrícolas é baixa justamente devido suas características físicas e mineralógicas relatadas anteriormente. Ela é mais atenuada nos solos anteriores. De maneira geral as práticas de manejo não diferem muito dos Vertissolos, assim vejamos.

a. Região úmida

As práticas agrícolas nestes solos, entre elas o preparo do solo, o plantio e os tratamentos culturais devem ser feitos num período de umidade muito curto.

Assim é que o preparo convencional do solo no período seco é praticamente impossível de ser feito devido a elevada coesão, principalmente se tais solos estiverem

erodidos, expondo o horizonte B mais denso. O máximo que pode ser feito seria o preparo raso com grade inclusive em casos de horizonte superficial ser mais arenoso. No período úmido pode-se fazer um preparo convencional mais de acordo, porém o tempo de trabalho é curto, o que encarece o custo agrícola. Qualquer teor de umidade acima do necessário já impossibilita trabalhar nestes solos.

Como sugestão e após a colheita da cultura anual, ou seja, fins do período chuvoso, é possível realizar as operações de preparo convencional como já foi indicado em capítulos anteriores. Havendo necessidade pode-se inclusive usar o subsolador associado ou não ao arado. O uso do arado em tais solos é necessário para a incorporação do corretivo. Deste período até o início do novo plantio é possível que haja infestação com ervas daninhas, use o glifosato. Nos demais plantios insistir no plantio direto.

A recuperação destes solos tem que ser feita gradativamente, não ultrapassando as 10-12 t/ha de corretivos por ano. A intenção neste caso seria a de se conseguir uma razoável correção do V% até as profundidades de 25 a 35 cm, uma vez que correções a maior profundidade é muito difícil de ser atingida. Como se observa uma vez corrigido esta camada a quantidade de bases é apreciável mais do que suficiente para a maioria das culturas. O uso do gesso auxilia a ação do calcário, como já foi visto.

Em caso de cultura de cana-de-açúcar o procedimento seria o seguinte: aplicar o corretivo em torno de 70 a 80% em área total assim como 100% do gesso. Após a abertura do sulco aplicar o restante do corretivo dentro do sulco. Durante o ciclo da cultura e periodicamente realizar as aplicações do calcário associado com o gesso em área total.

Na sulcação usar o sulcador subsolador atingindo a profundidade de 45 a 50 cm. O grande inconveniente do plantio em pleno período chuvoso é a possibilidade da área sofrer erosão, encharcamento de sulco ou assoreamento. Utilize culturas de espera como já foi explicado, porém mantendo o plantio no início e final das chuvas. Como a drenagem é lenta fazer o plantio em ligeiro declive, acompanhando os terraços que devem ser construídos em ligeiro declive.

Em um nível de manejo mais elevado, usando irrigação, as opções de trabalhar com maior segurança seria aumentada consideravelmente sem riscos da perda de plantio. A cana-de-açúcar na região de Piracicaba, onde ocorre tais solos é plantada durante o período seco, de outono/inverno, irrigada com vinhaça. Em situações extremas de

encharcamento temporário, usar a associação drenos com o plantio no camaleão como já foi indicado.

b. Em região semiárida

Em um sistema de baixo nível de manejo tais solos apresentam poucas opções de trabalho, a não ser em pastagens e culturas de subsistência, apesar de serem solos de fertilidade variável. Num sistema com irrigação, as opções de manejo são bem maiores, sendo que as práticas de preparo, plantio e colheita podem ser feitas em qualquer época. Os solos álicos ou os distróficos, após a recuperação química tomam-se solos muito produtivos.

14 CAPÍTULO 14: VANTAGENS E LIMITAÇÕES DOS SOLOS ARENOSOS

14.1 Considerações gerais

Solos arenosos são tipicamente com menos de 15% de argila, mas os com menos que 25%, em termos de manejo tem um comportamento bastante semelhante. Aqui se enquadram os Latossolos médio-arenosos e os Neosolos Quartzarênicos. É comum nos meios acadêmicos discussão a respeito do menor potencial dos solos arenosos em termos competitivos com os argilosos na produtividade agrícola, devido a baixa capacidade de troca e o baixo teor de matéria orgânica. A resposta para esta questão deve ser cuidadosa pois irá depender de uma série de fatores entre eles o nível de manejo. Apenas para ilustrar alguns fatos vejamos que 60 a 65% da citricultura do Estado de São Paulo está plantada em solos de textura arenosa a média. A produtividade de cana-de-açúcar em determinadas regiões, como no oeste de São Paulo, em solos de textura arenosa, é tão alta como em solos argilosos tidos como mais férteis. A maturação de frutas ou de outras culturas, como a cana-de-açúcar, atinge valores mais elevados de açúcares nos solos arenosos.

São solos quimicamente mais fáceis e baratos de serem recuperados. As reações químicas se processam com maior rapidez devido à baixa CTC. As reações com o fósforo são atenuadas e sendo assim gasta-se menos adubo fosfatado.

As brotações de culturas perenes (pastagem) ou semi-perene (cana-de-açúcar) no período seco são melhores do que em solos argilosos. Em irrigação a quantidade de água para atingir a capacidade de campo é menor. Os solos arenosos permitem o plantio fora da época chuvosa, devido a baixa retenção de umidade do que os solos argilosos. Em períodos chuvosos a eficiência do plantio ou da colheita é maior nos solos arenosos.

Porém para serem competitivos eles devem ser trabalhados em níveis médios a elevados de manejo. Por outro lado, há diferenças entre os solos arenosos e que devem ser discutidos pois nem todo solo arenoso reage da mesma maneira.

14.2 Tipos de solos arenosos

Em termos de variação textural em profundidade os solos arenosos podem ser classificados em dois grupos: Solos arenosos sem gradiente textural, com teor de argila entre 15 a 25% ou inferior a 15%. Nesta categoria se inclui os Latossolos de maneira geral, vermelhos ou amarelos e abaixo de 15% de argila se inclui as Areias Quartzosas (SG) ou Neossolo Quartzarêmico.

Solos arenosos com gradiente textural (CG) entre os horizontes A (inclui os albicos) e o B. Nesta categoria se inclui os diferentes solos podzolizados (podendo ter também alguns planossolos) com as seguintes texturas binárias: muito arenosa/arenosa, muito arenosa/média, muito arenosa/argilosa, arenosa/média, arenosa/argilosa, média/argilosa.

Solos arenosos com camadas variáveis de textura em profundidade. Nesta categoria se inclui os solos de aluvião.

14.3 Vantagens e limitações

Relevo: para os solos com gradiente textural (CG) ele é ondulado a forte ondulado, irregular, com interflúvios curtos, exceto alúvios que tem relevo plano. Nos solos sem gradiente (SG) ele é plano a suave ondulado, com interflúvios longos, uniforme, mais favorável a mecanização.

Drenagem: os solos do grupo SG drenam melhor do que o outro grupo (CG). Tal fato se deve ao maior teor de argila do horizonte B do grupo CG assim como a uma estruturação mais desenvolvida.

Tipos de argila: nos solos CG há dominância de caulinita, podendo ocorrer vermiculita cloritizada, enquanto no horizonte B é possível a ocorrência também de poucos minerais expansivos e micas (em caso de arenitos de Bauru em São Paulo). Por outro lado, no caso dos solos SG, mais intemperizados, há dominância de caulinita e óxidos

Capacidade de Troca de Cátions (CTC): ambos os grupos de solos é pH dependente e a CTC baixa nas camadas superficiais (o termo baixo significa inferior a 5

m.eq/100 g de solo). Entretanto, nos horizontes B dos solos CG a CTC pode ser maior dependendo do teor de argila e de sua natureza. É normal valores entre 5 e 10 meq/100 g.

Fertilidade: a maioria dos solos são distróficos ou álicos para ambos os grupos. Exceto para alguns solos CG, cujo material de origem seja o arenito com cimento calcário, a saturação de bases pode ser elevada, atingindo valores acima de 60%. Nestes casos o teor de potássio normalmente é elevado, pois a rocha é rica em ortoclásio.

A relação Ca/Mg para ambos os grupos fica na faixa de 2/1 até 5/1 a 8/1. O teor de Al trocável tanto nos solos distróficos como nos álicos é baixo, inferior a 1.0 meq/100 g, principalmente para os solos do grupo SG e nos horizontes superficiais do grupo CG. Entretanto, nos solos CG e álicos, o teor de Al no horizonte B pode atingir valores superiores a 1.0 meq/100 g, isto porque o teor de argila é mais elevado.

Teor de fósforo: para ambos os casos é extremamente baixo o poder tampão é baixo o que não deixa de ser vantajoso

Ação do calcário e do gesso: a correção da saturação das bases para ambos os solos é feita com pequena quantidade de corretivo, principalmente para os horizontes superficial. Tendo baixa CTC a ação do gesso em profundidade é muito boa.

Frequência de aplicação do corretivo: devido a CTC ser mais baixa a frequência de aplicação dos corretivos não é grande. Dependendo da intensidade do uso destes solos a frequência tem ficado na faixa de 1,0 a 2,0 t/ha podendo ser um pouco maior no grupo de solo CG.

Poder tampão: é baixo para ambos os grupos.

Lixiviação: é mais acentuado no grupo SG. O horizonte B do grupo CG pôr ter mais argila e drenagem mais lenta apresenta menor risco de lixiviação.

Retenção de umidade: a quantidade de água retida é maior nos solos CG, inclusive o tempo de retenção. Isto se deve ao fato da variação textural, pois uma vez estando seco a camada superficial a umidade presente no horizonte B não se perde por evaporação, pois a ascensão capilar é bloqueada devido a maior porosidade da camada superficial. Tal fato permite que os solos CG possam ser manuseados, inclusive para o plantio, em épocas mais secas. Isto tem ocorrido com o plantio de culturas perenes como café, citrus, seringueira e com o plantio de cana-de-açúcar.

Proliferação de pragas: devido ao baixo teor de matéria orgânica a proliferação de nematoides por exemplo é grande em ambos os grupos de solos.

Risco de erosão: é grande para ambos os grupos, porém maior para os solos CG, inclusive os riscos de assoreamento e encharcamento temporário dentro do sulco de plantio.

Eficiência das operações de preparo, plantio e colheita: é menor para os solos do grupo CG, justamente devido ao relevo mais ondulado e aos maiores riscos de erosão.

Produtividade agrícola: é maior nos solos CG. Sistema conservacionista e nos solos SG os terraços podem ser em nível enquanto nos CG os terraços podem ser em desnível. Independentemente, do tipo de cultura fazer sempre a opção para o plantio direto e as culturas de cobertura.

Os dados da Tabela 102 permitem ter uma visão dos solos arenosos do Oeste de São Paulo extraídos da Usina Quata, SP.

Profundidade cm	Argila %	M.O. %	K	Ca	Mg	CTC	V	Al
			Meq/100g				%	%
PVA – eutrófico								
0-25	6	1,2	0,15	2,8	0,6	5,1	70	0
25-50	5	1,0	0,09	2,4	0,4	4,1	71	0
50-90	21	0,8	0,12	2,0	0,5	3,6	72	0
PVA – distrófico								
0-25	9	0,8	0,12	1,2	0,2	3,0	48	21
25-50	15	0,6	0,09	1,2	0,4	4,3	41	18
50-90	25	0,6	0,07	0,9	0,3	4,2	33	36
PVA – álico								
0-25	18	0,9	0,11	0,5	0,2	3,9	20	51
25-50	20	0,8	0,10	0,1	0,1	3,7	8	80
50-90	28	0,7	0,02	0,1	0,1	3,3	8	82
LVE – álico								
0-25	14	0,8	0,08	0,2	0,2	3,6	14	72
25-50	18	0,7	0,07	0,1	0,1	4,5	6	87
50-90	21	0,7	0,04	0,5	0,1	3,9	20	56
LVE – epi-eutrófico								
0-25	13	1,3	0,45	2,1	0,4	3,8	53	9
25-50	17	0,9	0,12	0,5	0,2	3,0	26	43
50-90	22	0,7	0,06	0,2	0,1	2,9	14	64
AQ – epi-eutrófico								
0-25	6	0,8	0,08	1,7	0,4	3,4	64	0
25-50	9	0,7	0,08	1,4	0,3	3,3	54	18
50-90	9	0,5	0,05	0,3	0,1	2,1	24	62

Tabela 102 — Dados analíticos de perfis selecionados de solos arenosos.

15 CAPÍTULO 15: MANEJO DO SOLO E APROVEITAMENTO DA ÁGUA

15.1 Considerações gerais

A água pelas múltiplas funções que desempenha no sistema solo-planta-atmosfera é de fundamental importância para a normalidade dos processos de manejo. Foi observado nos capítulos anteriores a ação isolada deste produto, porém seria importante esclarecer que ela age simultaneamente em todos os processos de manejo. Apenas para esclarecer a produção de 1,0 kg de soja há necessidade de 2.000 l de água. Foi visto também o sistema de plantio e de corte em função do calendário agrícola das principais culturas das regiões sul, sudeste, centro-oeste excluindo o Nordeste, e algumas regiões norte do país.

15.2 O conhecimento da planta

Para um adequado planejamento de sistemas de manejo, onde envolve o aproveitamento da água é preciso alguns conhecimentos da planta, do clima e das características do solo que possam interferir na demanda da água.

Vejamos alguns aspectos relacionados a planta, no caso de grãos.

O arroz é uma gramínea C3, com sistema radicular fasciculado, o qual cresce gradualmente, desde o plantio até a fase de emborrachamento, quando atinge seu máximo de desenvolvimento e de atividade. A partir do florescimento, no entanto este sistema começa a degenerar até atingir a fase de maturação de grãos, com a maioria das raízes mortas. Apesar de ser uma cultura tolerante ao Al e a deficiência de cálcio do solo, seu sistema radicular concentra-se mais na superfície do solo, o que torna a cultura muito vulnerável a falta de água principalmente nos estágios mais sensíveis (emborrachamento). Na fase de crescimento vegetativo, os déficits hídricos não afetam muito a produtividade.

O milho é uma gramínea C4, cujo sistema radicular fasciculado atinge profundidades maiores, 60 a 100 cm ou mais, desde que não haja limitações químicas ou físicas. Por outro lado, é sensível ao encharcamento, inclusive temporário. O seu crescimento é limitado pela alta concentração de Al e pelo baixo teor de cálcio do solo (Figuras 85 e 86). Por poder explorar um volume maior de solo esta gramínea é menos

vulnerável a veranicos do que o arroz. Entretanto, a sua produção pode sofrer queda se a falta de água no solo coincidir com a floração. A falta de água durante o enchimento dos grãos pode também diminuir a produção, embora em menor escala. Durante a fase de crescimento vegetativo da planta e maturação de grãos, a falta de umidade tem pouco efeito na produção final.

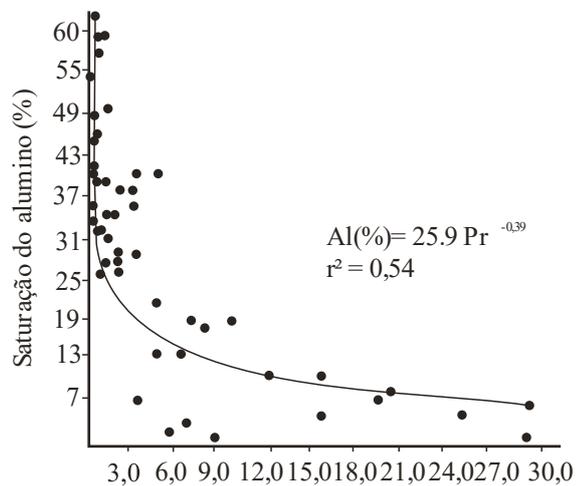


Figura 85 - Relação de saturação de alumínio com o peso seco de raízes de milho (Luchiari Jr. & Resende, 1982).

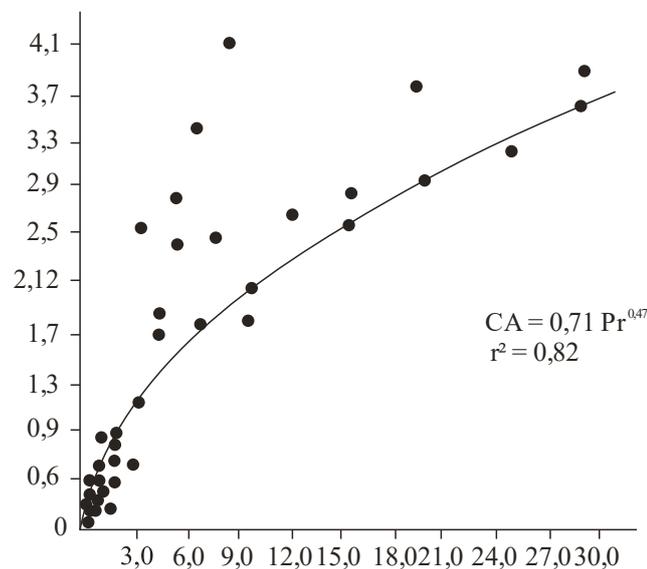


Figura 86 - Relação dos teores de cálcio com o peso seco de raízes de milho (Luchiari, Jr. & Resende. 1982).

A soja é uma leguminosa C3, que possui um sistema radicular pivotante, de crescimento rápido e vigoroso desde os estágios iniciais de desenvolvimento, atingindo seu máximo no início do florescimento. Neste estágio e desde que não haja limitações ao desenvolvimento radicular, o pivô das raízes pode alcançar 1,0 a 1,5 m ou mais, com grande concentração de raízes laterais, principalmente nos primeiros 50 a 60 cm. Os estágios mais sensíveis a falta de água são o de florescimento e o de formação de grãos. A redução da produção varia de acordo com a duração do veranico.

O feijão, também uma leguminosa C3 tem sistema radicular pivotante, podendo alcançar profundidade na faixa de 1,0 a 1,5 m (desde que não haja impedimento físico, químico ou biológico) e grande crescimento lateral de raízes, concentrados nos primeiros 30 cm. A falta de umidade durante o período vegetativo pode provocar o retardamento do ciclo e a maturação não uniforme, mas não afeta a produtividade. Porém a falta de umidade durante a floração e a formação de grãos pode comprometer a produtividade.

O trigo de sequeiro é uma gramínea C3 e seu sistema radicular é fasciculado e se inicia com a formação de um sistema primário, composto por raízes seminais. Em seguida começa a formação de um sistema adventício, crescendo inicialmente no sentido horizontal para em seguida se desenvolver em profundidade atingindo 0,9 a 1,2 m, e um raio entre 0,15 a 0,25 m. Os estágios sensíveis a falta de umidade seriam durante o perfilhamento, onde a falta de umidade reduz a quantidade de perfilhos; na floração; no enchimento de grãos.

15.3 Variedades e cultivares

A deficiência hídrica afeta todas as plantas, sendo que o grau de prejuízo pode variar entre espécies e entre cultivares de uma mesma espécie. Isto se deve a sua carga genética que permite ajustes diferencialmente em situações de falta de água.

Experimentos de competição de variedades ou cultivares conduzidos em diversas regiões brasileiras e nas mais diferentes condições tem indicado as melhores opções nas decisões de plantio sob estresse hídrico. Um dos exemplos pode ser o conduzido no Brasil Central, em área de cerrado, com a soja (Luchiari et al. 1986). Tais autores se utilizaram do Índice de Susceptibilidade a Seca (ISS) e verificaram que em relação as onze

variedades de soja a Cultivar Tropical (Figura 87) foi a mais susceptível com ISS de 1,8, e a Doko, a mais resistente, com um ISS de 0,2.

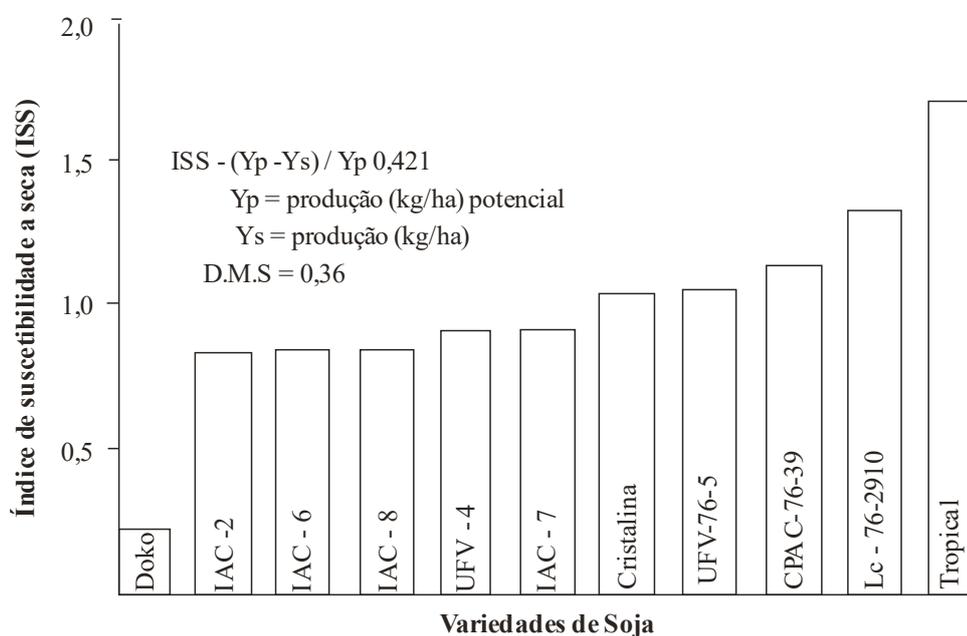


Figura 87 - Variações nos Índices de Suscetibilidade à Seca, sob veranico, de 11 cultivares de soja (EMBRAPA-CPAC, 1982).

Diferenças mais acentuadas foram encontradas no milho. Em outras culturas tal procedimento deve também ser seguido fazendo com que as diferenças varietais observadas apontem para a possibilidade de se contornar as irregularidades do período chuvoso através do plantio de cultivares mais tolerantes a deficiência hídrica.

Sobre este aspecto é necessário que se insista na escolha adequada da variedade ou cultivar a ser plantada, sendo ainda uma das opções mais baratas dentro das opções de manejo. Apenas para exemplificar, na cultura de cana-de-açúcar, há elencos de variedades adaptadas as mais diferentes condições de estresse hídrico. Por outro lado, é também necessário compreender que as variedades frequentemente perdem sua capacidade produtiva (doenças e pragas), muitas vezes em questão de poucos anos e sendo assim é preciso muita atenção e estar sempre bem-informado a respeito das novas variedades e suas características permitindo uma adequada escolha por ocasião do plantio.

15.4 Veranicos

Em termos das práticas de manejo relacionadas a planta para atenuar os efeitos dos veranicos citam-se as diferentes épocas de plantio e ao uso de variedades ou cultivares de maturação diferenciada.

15.5 Evapotranspiração

No caso específico da redução da evapotranspiração pode-se citar: cobertura do solo, uso de antitranspirantes (visa a cobertura da folha para prevenir a perda de água ou para fechar os estômatos). Contudo, um bom antitranspirante deve ser pouco permeável ao vapor de água e bastante permeável ao CO₂, como os silicones e os polietilenos. Entretanto, na prática parece difícil encontrar um material viável para este tipo de solução.

15.6 Densidade de plantio

Outra prática utilizada na tentativa de reduzir o estresse hídrico é o de reduzir a densidade de plantio. Como a transpiração e conseqüentemente a evapotranspiração crescem com o aumento do índice da área foliar (IAF), uma vez que se reduza tal área reduz-se as perdas de umidade. Entretanto, cabe aqui uma ressalva: se não ocorrer veranicos a produção de uma cultura menos densa será menor do que a de uma de densidade maior de população, uma vez que a acumulação de matéria seca depende do IAF.

Outra prática muitas vezes desprezada em situações de estresse hídrico é o adequado controle de plantas daninhas, doenças e pragas.

15.7 Compactação através do penetrômetro

Diversas propriedades do solo podem influenciar a dinâmica e retenção de água, entre elas a porosidade e a textura como visto em capítulos anteriores, inclusive a mineralogia. Entretanto, é necessário enfatizar um aspecto importante na disponibilidade da água do solo qual seja a resistência mecânica a penetração radicular, na cultura de soja e arroz, como ilustrado na Tabela 103 (Luchiari et al. 1986).

Tabela 103 – Valores de resistência a penetração do penetrômetro de mola e da capacidade de água disponível (Luchiari et al., 1986).

Tratamentos	Resistência a penetração (kg/cm ²)						Água disponível (mm ³)
	Profundidade em cm						
	0-10	20-Oct	20-30	30-40	40-50	50-60	0-40
Área virgem	7,3	5,4	5,4	5,4	7,3	8,5	17,4
Soja c/ incorporação + 1 ton. calcário	0,8	11,8	14,0	11,8	8,5	6,3	21,3
Soja s/ incorporação + 4 ton. calcário	3,5	24,5	16,7	8,5	8,5	6,3	20,6
Soja c/ incorporação + 4 ton. calcário	7,3	20,1	14,0	8,5	7,3	7,3	20,4
Arroz c/ incorporação + 1 ton. calcário	1,2	11,8	16,7	6,0	4,0	3,5	25,4
Arroz s/ incorporação + 3 ton. calcário	1,4	5,4	8,5	8,5	7,3	5,4	17,8
Arroz c/ incorporação + 4 ton. calcário	1,2	7,3	7,3	8,5	6,3	6,3	20,6

Fonte: (Luchiari et al., 1986).

Tais autores trabalharam também com o penetrômetro, porém com quantidade de umidade variando de “umidade atual” com “umidade a pF 3,0” (solo seco) com Vegetação Natural designado de A, de Cultivo Comercial designado de B e Plantio Direto designado de C. Verificou-se que independentemente do tipo de manejo a umidade a pF 3,0 teve maior resistência a compactação. No Cultivo Convencional faixa de 25 cm de profundidade com resistência de 30 kg/cm² do que no Plantio Direto com pico na profundidade do solo faixa de 15 cm com resistência de 18 kg/cm². A vegetação Natural teve um acréscimo no solo seco na profundidade de 30 cm e uma resistência na faixa de 8 kg/cm². Com isso indica que a compactação em kg/cm² é influenciada com solo seco (maior resistência) e úmido (menor resistência). É interessante notar que embora os valores de densidade estejam bem abaixo dos considerados críticos (entre 1,5 e 1,9 g/cm³) os de resistência a penetração ultrapassam 14 kg/cm³, na umidade correspondente a 1,0 bar, o que é considerado como limite para o crescimento radicular.

Observe que a resistência a penetração do penetrômetro em comparação com a mata, na maioria da cultura de soja a dificuldade do sistema radicular para penetrar nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm inclusive com as 4,0 t/ha de calcário. No caso do

arroz houve um caso com valores de 16,7 com 1,0 t de calcário sendo que os demais não houve malefícios.

Uma vez que a resistência a penetração aumenta com a diminuição da umidade é necessário considerar que mesmo dentro de padrões de umidade tidos como normais o crescimento das raízes fica prejudicado.

Portanto, é necessário cuidados especiais no que se refere a atenuação do grau de compactação. As práticas ali salientadas devem ser adotadas no preparo convencional adequado para as características de cada solo; o uso de culturas de espera; o uso de plantio direto entre outros.

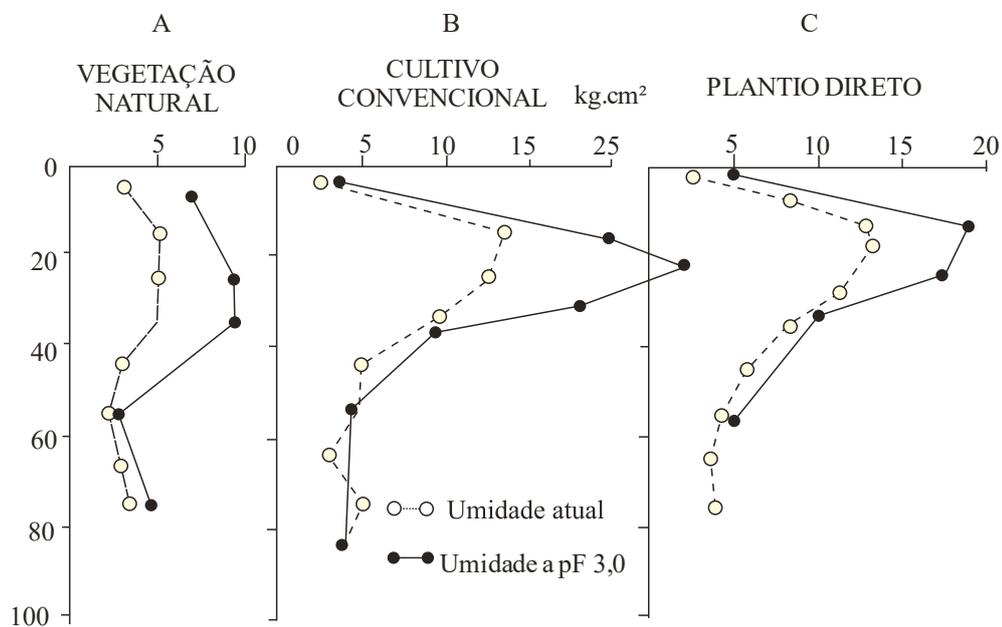


Figura 88 - Resistência mecânica de um solo sob três diferentes condições de utilização, em São Gotardo, MG. **Fonte:** (Luchiari et al., 1986).

15.8 Teores de cálcio, alumínio e gesso

Em relação ao crescimento radicular de raízes do trigo com quatro dias de idade e amostras de subsolo de dois solos LV e LE e os teores de alumínio e de cálcio em profundidade, sendo o LV sem alumínio porém com doses crescentes de cálcio e verificaram a medida que o teor de cálcio aumentava o crescimento radicular também aumentava. No caso do LE os teores de cálcio foram praticamente semelhantes ao LV, de

0,01 a 1,15 meq/100g e os teores de alumínio de 1,58 meq/100 g para 1,26 meq/100g. Verificaram que a medida que houve aumento do teor de cálcio o de alumínio decrescendo de 1,58 para 1,26 meq/100 g. O teor de crescimento radicular foi semelhante nos dois solos. Em relação a estes resultados, nota-se que os teores de cálcio são fundamentais para os dois solos. No caso do alumínio do solo LE, o teor de cálcio faz a diferença, porém, os teores de alumínio também (Tabela 104).

Tabela 104 - Crescimento de raízes de trigo, com quatro dias de idade, em amostras de subsolo de LV e LE tratados com diferentes doses de CaSO₄.

Solo LV			Solo LE		
Ca	Al	Crescimento	Ca	Al	Crescimento
(meq/100g)		(cm)	(meq/100g)		(cm)
0,008	0	1,8	0,01	1,58	2,9
0,15	0	8,2	0,15	1,39	9,5
0,65	0	13,0	0,71	1,39	12,9
1,05	0	12,3	1,15	1,26	14,6

15.9 Técnicas integradas de manejo de água, solo e planta

Em regiões onde a presença de veranicos é frequente, onde não se utiliza de irrigação plena ou suplementar, é preciso usar todo o conhecimento relacionado ao tema principalmente se os solos forem de baixa fertilidade.

Um trabalho desta natureza foi realizado no Brasil Central (Luchiari Jr. & Resende, 1982) usando a cultura do milho (Cargill 111), em latossolo de textura média-argilosa, álico. Os 12 tratamentos utilizados neste trabalho estão resumidos na Tabela 105. O experimento foi montado durante o período seco e constou de 12 tratamentos.

Simulação com irrigação, sem o veranico: o experimento foi irrigado em sulcos em contorno, e adicionado água sempre que o potencial do solo de 0 a 15 cm atingia -0,6 atm (tratamento designado: com irrigação suplementar, sem veranicos).

Simulação com veranicos: a simulação do veranico as irrigações foram suspensas por um período de 24 dias, iniciado quando da emissão da folha-bandeira (tratamento designado: sem irrigação).

A fertilidade constou de dois níveis de adubação a *maciça*, composta de corretivos (240 kg de P_2O_5 , 100 kg de K_2O e 10 kg de Zn por ha), aplicados a lanço e incorporados por grade niveladora e adubação de plantio (20 kg de N, 60 kg de P_2O_5 e 40 kg de K_2O por ha).

O outro nível de adubação de *manutenção*, composta de uma adubação de plantio (20 kg de N, 80 kg de P_2O_5 , 40 kg de K_2O e 3 kg de Zn por ha) e de uma cobertura de 40 kg de N por ha. As fontes de N, P_2O_5 , K_2O e Zn foram respectivamente o sulfato de amônio, superfosfato simples, cloreto de potássio e sulfato de zinco.

Profundidade de incorporação do calcário: (a) superficial a 25 cm com arado de disco e (b) profunda, com arado de aiveca, a 40 cm.

Densidade de plantio: alta com 60.000 plantas/ha e baixa com 40.000 plantas/ha.

Para se observar os efeitos de outras técnicas, o tratamento 9, tido como referência foi modificado. Assim para se observar o efeito do gesso fez-se a adição de 3,5 ton/ha de gesso (tratamento 10) e para se observar o efeito da cobertura do solo foi adicionada, logo após a emergência das plantas, uma camada de 10 cm de altura de palha de trigo (tratamento 11) e para se observar o efeito da substituição da fonte de fósforo, o supersimples foi substituído pelo super triplo (tratamento 6).

Tabela 105 - Descrição dos tratamentos de um experimento, visando a comparação de técnicas que reduzam os efeitos do veranico.

Tratamento (n°)	Irrigação suplementar	Adubação	Calcário	População	Outros
1	com	maciça	superficial	alta	
2	com	manutenção	superficial	alta	
3	sem	maciça	profundo	baixa	
4	sem	maciça	profundo	alta	
5	sem	manutenção	profundo	baixa	
6	sem	maciça	superficial	alta	superf. triplo
7	sem	manutenção	superficial	baixa	
8	sem	manutenção	superficial	alta	
9	sem	maciça	superficial	alta	
10	sem	maciça	superficial	alta	gesso coberta.
11	sem	maciça	superficial	alta	morta
12	sem	maciça	superficial	baixa	

Fonte: (Luchiari Jr. & Resende, 1982).

15.10 Produtividade

As produções estão resumidas na Figura 89 com valores de 0-1000-2000-3000-4000-5000 kg/ha dos tratamentos 1 a 12 no segundo ano de cultivo. Em relação ao tratamento padrão (tratamento 9) as técnicas que aumentaram a produção foram: (1) irrigação suplementar (tratamentos 1 e 2); cobertura morta (tratamento 11); gesso (10); e calcário profundo (4). Todas as técnicas de elevado nível de manejo. Já as técnicas de baixa produção (3, 5, 7 e 12) de substituição da fonte de fósforo (6) e de adubação de manutenção (5, 7 e 8) não trouxeram benefícios, ou seja, promoveram produções menores do que a do tratamento padrão.

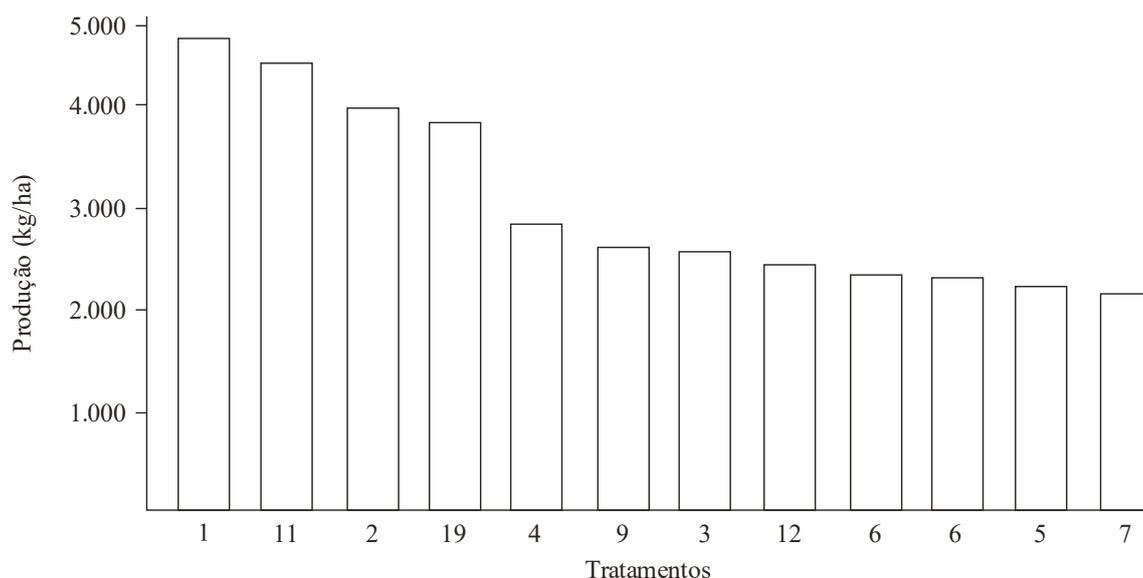


Figura 89 - Produções dos tratamentos, em que são comparadas as técnicas de manejo do sistema água-solo-planta.

A irrigação suplementar foi a técnica mais eficiente. Entretanto, ela produziria melhores retornos quanto maior for o nível de fertilidade do solo. Em relação a este caso tome o tratamento 1, o de maior produção (adubação maciça, com irrigação e sem veranico) e compare com o tratamento 2 (adubação de manutenção, porém também irrigado e sem veranico) que produziu menos, em torno de 630 kg/ha. Esta diferença, se deve a adubação corretiva do tratamento 1 uma vez que os dois tratamentos receberam irrigação.

Por outro lado, o tratamento 11, sem irrigação, porém com adubação maciça associado com a cobertura morta e sem irrigação, produziu mais, em torno de 320 kg/ha, do que o tratamento 2, com irrigação. O tratamento 10, onde se utilizou de adubação maciça junto com o gesso produziu quase que a mesma quantidade do tratamento 2 onde se utilizou a irrigação suplementar.

Os quatro primeiros tratamentos de mais alta produtividade a saber tratamentos 1, 11, 2 e 10 tiveram uma população alta de sementes por hectare, da mesma maneira que os tratamentos 4 e 9 estes, porém de produtividade bem mais baixa do que os anteriores, porém de produtividade superior aos demais tratamentos. Como exemplo o tratamento 3, sem irrigação suplementar porém com adubação maciça, incorporação profunda de calcário e baixa densidade de semente teve uma produtividade inferior ao tratamento 9, padrão.

15.11 Desenvolvimento radicular

O desenvolvimento radicular deste experimento foi relacionado com teores de cálcio. Assim sendo o teor de cálcio do tratamento 4 mostram os efeitos da incorporação profunda do calcário, com valores superiores a 1,2 meq/100 ml em até 30-40 cm de profundidade. Enquanto, que no tratamento 9 com teores da mesma grandeza foram conseguidos somente até 20-30 cm. A incorporação mais profunda proporcionou, ainda, uma melhor distribuição de raízes no perfil, nas camadas 20 a 60 cm. No tratamento 6, com super triplo, houve grande concentração de raízes e de cálcio até os 30 cm de profundidade. Em consequência da falta de cálcio em profundidade houve pouco crescimento radicular. No tratamento com gesso houve um enriquecimento de cálcio em profundidade e com isso maior crescimento radicular, o mesmo podendo-se dizer do tratamento 11 com cobertura morta, porém com adubação maciça e uso de sulfatos.

O crescimento diferenciado de raízes (em função da lixiviação do cálcio) permitiu que a cultura sob estresse hídrico, extraísse água do solo em quantidade proporcional a profundidade do sistema radicular. Assim quanto maior o sistema radicular maior a extração de água e em consequência, maior produtividade. A exceção foi o tratamento com cobertura morta que por evitar perdas por evaporação direta da água do solo consumiu menor quantidade de água.

15.12 Práticas de manejo

As principais opções de manejo nesta área se referem também as práticas para atenuar as perdas por evaporação entre elas a cobertura morta ou viva (como cultura de espera), uso de quebra ventos em regiões onde os efeitos dos ventos favorecem a evaporação. Por outro lado, as práticas conservacionistas, no sentido de reter o excesso de água por ocasião das chuvas, devem ser incentivadas. Neste particular é preciso rever as questões da eliminação ou diminuição dos terraços em áreas de plantio direto assim como em área com em desnível acentuado. Tais práticas tendem a remover parte das águas das chuvas que caem sobre as áreas e que podem fazer falta por ocasião dos veranicos.

16 CAPÍTULO 16: CULTIVO CONTÍNUO COMO FATOR DE DEGRADAÇÃO DE SOLOS

16.1 Considerações gerais

É comum nos mais diversos meios, mas principalmente nos acadêmicos, discussões relacionadas ao tema acima, normalmente tendendo para conclusões pessimistas. Para nós o termo “degradação” envolve: (1) o desgaste físico do solo através da erosão, da redução da porosidade e da aceração, da redução da água disponível etc., (2) o desgaste químico do solo através de seu empobrecimento em nutrientes ou no enriquecimento de substâncias tóxicas as plantas como Mn e Al, ou na salinização e alcalinização das terras etc., (3) o desgaste biológico, através da redução da matéria orgânica a níveis críticos e as alterações das atividades biológicas, com a proliferação de pragas e doenças.

Em relação a erosão ocorre a erosão geológica e a erosão natural. Em relação a primeira nada se pode fazer e em relação a segunda os fatores da natureza interferem como o clima e as chuvas e há uma mistura das erosões, geológica e natural. O presente capítulo se refere unicamente as perdas de produtividade devido aos problemas físico, químico e biológico dos solos.

Em nossa opinião o uso muitas vezes inadequado de um solo faz com que haja perda de sua capacidade produtiva, e conseqüentemente tornam-se degradados. A perda da capacidade produtiva pode estar relacionada a um determinado fator isolado (fator limitante), como a deficiência de um determinado micronutriente, ou então estar relacionado a um conjunto de fatores, como a erosão onde há perda de parte do solo como um todo.

Em relação a tais aspectos, os solos foram degradados devido a atividade humana, por falta de conhecimento ou por razões econômicas. Por outro lado, é necessário também entender que em certos casos os solos podem originalmente estar degradados, sem haver a interferência humana, ou mesmo antes da remoção da cobertura vegetal (mata ou cerrado).

Em relação a este aspecto observe os dados analíticos da Tabela 106, que representa exemplos de solos de duas importantes regiões do Brasil, Amazônia e Cerrado. Apesar de serem solos de maneira geral argilosos ou muito argilosos, bem drenados e de topografia plana a suavemente ondulada, a fertilidade representada pelo índice da saturação das bases (V%) e teor de fósforo, é extremamente baixa. Solos com tais características não conseguem sustentar produções economicamente viáveis.

Resultados tem demonstrado (Smyth e Cravo, 1989) baixas produções, tendendo a zero logo após o terceiro cultivo na região Amazônica em solos semelhantes. Em nossa opinião tais solos já originalmente são degradados quimicamente.

Tabela 106 - Resultados analíticos de alguns perfis das regiões Amazônica e Cerrado (**Fonte:** Demattê et al., 1985).

Profundidade	Argila %	pH H ₂ O	Al meq/100g	Ca+Mg	V %	M	P ppm
<i>Região Amazônica – Mata Tropical</i>							
Manaus – Latossolo Amarelo Álico							
0-8	76	4,4	1,5	1,9	12	33	1
22-Aug	80	4,3	1,0	0,2	6	79	1
50-125	88	4,5	1,0	0,1	6	88	1
Purus – latossolo Amarelo Álico							
0-10	45	3,5	2,2	0,40	10	80	2
30-Oct	52	3,9	1,6	0,18	6	80	1
50-100	67	4,2	1,2	0,14	4	77	1
Coari – Podzólico Vermelho Amarelo Álico							
0-10	16	3,0	6,5	0,32	8	90	2
Oct-40	27	3,2	6,4	0,22	4	96	1
80-100	57	3,9	6,2	0,14	4	97	1
<i>Brasil Central – vegetação de Cerrado</i>							
Cristalina – Goiás – Latossolo Vermelho Amarelo Álico							
0-10	86	4,9	0,9	0,30	6	69	2
25-Oct	85	5,0	0,6	0,10	3	75	1
25-65	88	5,6	0,0	0,10	3	0	1
Catalão – Goiás – Latossolo Roxo Álico							
0-25	47	5,3	0,5	0,21	3	71	3
50-80	55	5,6	0,2	0,10	2	67	1
Uberlândia – MG – Latossolo Vermelho Escuro Álico							
0-20	76	4,8	1,0	0,10	2	83	2
50-100	76	5,2	0,3	0,10	2	73	1

Outro aspecto relacionado a este tema se refere a textura do solo. Solos extremamente arenosos em profundidade como as Areia Quartzosa (Neosolos quartzarênicos) já apresentam severas limitações ao uso agrícola, principalmente na baixa retenção de umidade, no baixo teor de matéria orgânica, na grande facilidade de erodir e na extremamente baixa fertilidade natural. Tais solos já são por natureza degradados, física, química e biologicamente. O presente capítulo terá como objetivo o de analisar resultados analíticos de solos submetidos a cultivos intensivos durante muitos anos e verificar se o grau de degradação, se está ou não interferindo na produtividade. O parâmetro para controle será o solo sob mata.

Para este trabalho foram escolhidos três sistemas de cultivo intensivo, sendo um com a cultura de cana-de-açúcar (por mais de 25 anos) o outro com culturas anuais com irrigação em plantio direto, (por mais de 15 anos) e o terceiro com pastagem com alta intensidade de pastejo por mais de 10 anos.

16.2 Cultura da cana-de-açúcar

É uma das culturas que explora intensamente o solo e que mais compacta através de equipamentos e tráfego de veículos pesados. O número de operações sobre os talhões de cana-de-açúcar em um ciclo de 5 cortes (em torno de 60 a 65 meses) é variável, mas em média consta das seguintes atividades:

a. Operações de plantio, com preparo convencional do solo.

Pelo menos 2 gradeações sendo uma pesada (grade de 32 a 34'') e outra intermediária (28'') seguida de uma mais leve de pré-plantio: aplicação de corretivos, terraceamento envolvendo mobilizações de máquinas, construção de estradas e carregadores, aração e/ou subsolagem, sulcação, plantio (envolvendo caminhões pesados que compactam o solo): cobertura do sulco, aplicação de herbicida. Na eventualidade de se plantar uma cultura como rotação, soja ou amendoim, o número de operações aumenta ainda mais.

b. Operações de colheita e cultivo de soqueira.

Queima da cana, corte manual ou mecânico (a colhedeira pesa na faixa de 15 a 20 t) sendo acompanhada por caminhões ou transbordos, cultivo, aplicação de herbicida. As

atividades deste item se repetem por 5 cortes no mínimo. Em média e em um ciclo de 5 cortes tem-se de 35 a 50 operações sobre os talhões de cana.

c. Ambientes estudados.

Região de *Lençóis Paulista*, SP com perfis 1 a 7, divididas por texturas como os Latossolos Vermelho Escuro distrófico, argiloso, sendo o P1 sob mata, o P2 com cana planta e o P3 com cana soca. Mesma região com o mesmo solo sendo o P4 sob mata e o P5 com cana soca. Mesma região, com o Latossolo Vermelho Escuro, textura média-arenosa, sendo o P6 sob mata e o P7 com cana soca.

Região de *Ribeirão Preto*, SP com Latossolo Roxo, sendo o P8 sob mata e o P9 com cana planta e o P10 com cana soca. Tais solos receberam vinhaça. Região da *Barra Bonita*, SP com a Terra Roxa Estruturada eutrófica, sendo o P11 sob mata e o P12 em cana soca. Região de *São Carlos*, SP com as Areias Quartzosa, sendo o P13 sob mata e o P14 em cana soca.

No geral são solos cultivados por mais de 25 anos com cana, tendo sido efetuado pelo menos 5 reformas.

16.3 Dados físicos

A Tabela 107 (profundidade até 100 cm) resume os dados de densidade e porosidade dos perfis da região de *Lençóis Paulista*. Os valores da densidade do solo entre os perfis de mata e os perfis de cana soca indicam compactação, tanto nos solos argilosos como nos de textura média, representado pelo aumento da densidade. O aumento da densidade traz reflexos na redução da porosidade, principalmente na macro porosidade. Este é um fato que ocorre normalmente em qualquer tipo de cultura que se utiliza equipamentos mecanizados e não pode ser tornado como um fato isolado, mas fazendo parte do sistema. Como o solo é um sistema poroso, não rígido, qualquer operação pesada sobre ele altera a porosidade.

Por outro lado, quando se reforma novamente a área é possível resgatar parcialmente a densidade e conseqüentemente a porosidade através das operações de preparo. Observe os dados do P1 em relação ao P2, a densidade da camada superficial, de 1,37 g/cm³ é próxima ao valor do perfil na mata, com 1,30 g/cm³. Podemos afirmar,

portanto, que durante o ciclo desta cultura há uma degradação física no que se refere a densidade e porosidade (aumento da compactação no caso) porém, com a reforma é possível reverter parcialmente este quadro.

Tabela 107 - Valores de densidade do solo, porosidade total, macro poros e micro poros dos solos cultivados e sob mata.

Profundidade cm	Densidade do solo (g/cm ³)	Poros totais	Macro poros	Micro poros
			%	
P1 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (mata)				
0-10	1,30a	45a	26	19
20-Oct	1,51a	30a	12	18
60-100	1,36a	36a	16	20
P2 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (cana planta)				
0-10	1,37a	37a	21	16
20-Oct	1,66a	24a	7	17
60-100	1,52a	35a	20	15
P3 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (cana soca)				
0-10	1,46a	26a	16	20
20-Oct	1,71a	23a	8	15
60-100	1,44a	35a	18	17
P4 – Latossolo Vermelho Escuro álico argiloso (mata)				
0-10	1,39a	44a	22	22
20-Oct	1,50a	39b	20	19
60-100	1,30b	42a	19	23
P5 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (cana soca)				
0-10	1,60b	34c	13	21
20-Oct	1,68b	31c	9	22
60-100	1,18c	45a	19	26
P6 – Latossolo Vermelho Escuro álico média-arenosa (mata)				
0-10	1,45a	35a	28	7
20-Oct	1,47a	34a	27	7
60-100	1,53a	29a	22	7
P7 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico média-arenosa (cana soca)				
0-10	1,65a	28b	17	11
20-Oct	1,79a	23b	13	10
60-100	1,63a	29a	19	10

A Tabela 108 (profundidade até 100 cm) resume os dados dos perfis de Latossolo Roxo (região de *Ribeirão Preto*), Terra Roxa Estruturada (região da *Barra Bonita*) e Areia Quartzosa (região de *São Carlos*). Em relação aos resultados do Latossolo Roxo (perfil 8 sob mata, perfil 9 com cana planta e P10 com cana soca), note que apesar de ser um solo muito argiloso (teor de argila superior a 60%) as variações de densidade não são acentuadas como nos casos anteriores tanto em cana soca como principalmente em cana planta. A porosidade, tanto total como as macro e micro porosidade tendem a refletir os dados da densidade. Em relação a este solo, que por características texturais, deveria estar muito compactado, isto não ocorre. O principal fator neste caso se deve ao tipo de prática de manejo adotada nesta área que tem recebido com frequência (anualmente) vinhaça na faixa de 200 a 300 m³/ha, produto este que tende a atenuar a compactação pois favorece em muito a melhoria das condições químicas do solo com sensível aumento do sistema radicular.

Para o caso da Terra Roxa Estruturada a situação é diferente, justamente devido as alterações das práticas culturais. A disciplina quanto ao controle de tráfego sobre os talhões de cana não é boa assim como a retirada da cana em condições de umidade no solo tem sido permitida nesta região. Portanto, as alterações na macro porosidade foram mais acentuadas do que no caso anterior, do Latossolo Roxo (Tabela 108).

No caso das Areias Quartzosas (RQ) da região de São Carlos, SP os dados da porosidade são indicados na Tabela 108. Verifica-se que a porosidade em função da macro porosidade na mata é maior do que macro porosidade na soca deste solo. Neste caso indica que a densidade na mata (1,45 g/cm³) é menor do que a densidade da soca (1,65 g/cm³) na superfície. Repare que a segunda profundidade da soca é bem inferior em comparação na mata, indicando com isso que a soca é mais compactada do que a mata.

Tabela 108 - Valores de densidade do solo, porosidade total, macro poros e micro poros dos solos cultivados e sob mata.

Profundidade cm	Densidade do solo (g/cm ³)	Poros totais	Macro poros	Micro poros
			%	
P1 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (mata)				
0-10	1,30a	45a	26	19
20-Oct	1,51a	30a	12	18
60-100	1,36a	36a	16	20
P2 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (cana planta)				
0-10	1,37a	37a	21	16
20-Oct	1,66a	24a	7	17
60-100	1,52a	35a	20	15
P3 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (cana soca)				
0-10	1,46a	26a	16	20
20-Oct	1,71a	23a	8	15
60-100	1,44a	35a	18	17
P4 – Latossolo Vermelho Escuro álico argiloso (mata)				
0-10	1,39a	44a	22	22
20-Oct	1,50a	39b	20	19
60-100	1,30b	42a	19	23
P5 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (cana soca)				
0-10	1,60b	34c	13	21
20-Oct	1,68b	31c	9	22
60-100	1,18c	45a	19	26
P6 – Latossolo Vermelho Escuro álico média-arenosa (mata)				
0-10	1,45a	35a	28	7
20-Oct	1,47a	34a	27	7
60-100	1,53a	29a	22	7
P7 – Latossolo Vermelho Escuro distrófico média-arenosa (cana soca)				
0-10	1,65a	28b	17	11
20-Oct	1,79a	23b	13	10
60-100	1,63a	29a	19	10

Em relação aos solos mais arenosos (Areia Quartzosa, RQ) no perfil sob mata a densidade de 1,28 g/cm³ na camada superficial do perfil com mata para 1,51 g/cm³ no perfil com cana soca, apesar de estatisticamente não ser significativa, é acentuada (Tabela 109). Tal resultado vem indicar que também em solos arenosos há compactação superficial. Entretanto, quando se observa as variações da porosidade nota-se serem pequenas.

Tabela 109 - Valores de densidade do solo, porosidade total, macro poros e micro poros dos solos cultivados e sob mata.

Profundidade cm	Densidade do solo (g/cm ³)	Poros totais	Macro poros	Micro poros
			%	
P8 – Latossolo Roxo distrófico m. argiloso (mata)				
0-10	1,14a	54a	19	35
20-Oct	1,21a	53a	23	30
60-100	1,17a	53a	20	33
P9 – Latossolo Roxo distrófico m. argiloso (cana planta)				
0-10	1,20a	53a	18	35
20-Oct	1,36a	48a	18	32
60-100	1,20a	51a	19	32
P10 – Latossolo Roxo distrófico argiloso (cana soca)				
0-10	1,20a	52a	12	40
20-Oct	1,30a	48a	12	36
60-100	1,14a	49a	16	33
P11 – Terra Roxa Estruturada eutrófica argilosa (mata)				
0-10	1,30a	47a	24	23
20-Oct	1,53a	38a	18	20
60-100	1,11a	53c	29	24
P12 – Terra Roxa Estruturada distrófica argilosa (cana soca)				
0-10	1,45a	39a	13	26
20-Oct	1,64a	31b	9	22
60-100	1,21a	48c	22	26
P13 – Areia Quartzosa álica (mata)				
0-10	1,28a	48a	38	10
20-Oct	1,41a	38a	29	9
60-100	1,45a	38a	30	8
P14 – Areia Quartzosa álica (cana soca)				
0-10	1,51a	39a	30	9
20-Oct	1,56a	31a	22	9
60-100	1,43a	39a	30	9

Médias seguidas da mesma letra não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey Não foi feita análise estatística para macro poros e micro poros.

Como se verificou a variação nas densidades, aumentando nas socas de cana, podemos afirmar que houve a degradação da estrutura. Porém, por ocasião das reformas dos canaviais, (cana planta) houve um sensível retorno dos valores da densidade (redução da compactação) para as condições próximas a da mata, podendo se afirmar que as práticas convencionais de preparo do solo permitiram tal fato. Neste caso a degradação

física foi atenuada para níveis mais razoáveis, perfeitamente administrável, num sistema de agricultura que exige muito do solo no caso desta cultura. Entretanto, é preciso entender que é praticamente impossível reverter tais resultados para a situação de mata. Além deste aspecto e neste tipo de cultura, sempre haverá um certo grau de compactação.

16.4 Retenção de umidade

Nesta retenção foram vistos na região de Lençóis Paulista os perfis P1 a P3 e os perfis P6 e P7, nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm e 60-100 cm assim como nas demais regiões. Em relação a estes perfis a retenção de umidade há perdas, ou melhor redução, na quantidade de água retida tanto a altas como a baixas tensões nas camadas até 20 cm. A partir desta camada não há diferenças entre as curvas. Em relação as curvas de retenção de umidade (Figura 90) destes solos note que a baixas tensões a curva da cana planta se aproxima do perfil da mata. A tensões mais elevadas a retenção de umidade é maior na cana planta. Entretanto, as curvas de retenção para a cultura cana soca são distintas das demais, retendo bem menos água a baixas tensões, influência direta da redução da porosidade.

Em relação as curvas de retenção de umidade (Figura 90) destes solos note que a baixas tensões a curva da cana planta se aproxima do perfil da mata. A tensões mais elevadas a retenção de umidade é maior na cana planta. Entretanto, as curvas de retenção para a cultura cana soca são distintas das demais, retendo bem menos água a baixas tensões, influência direta da redução da porosidade.

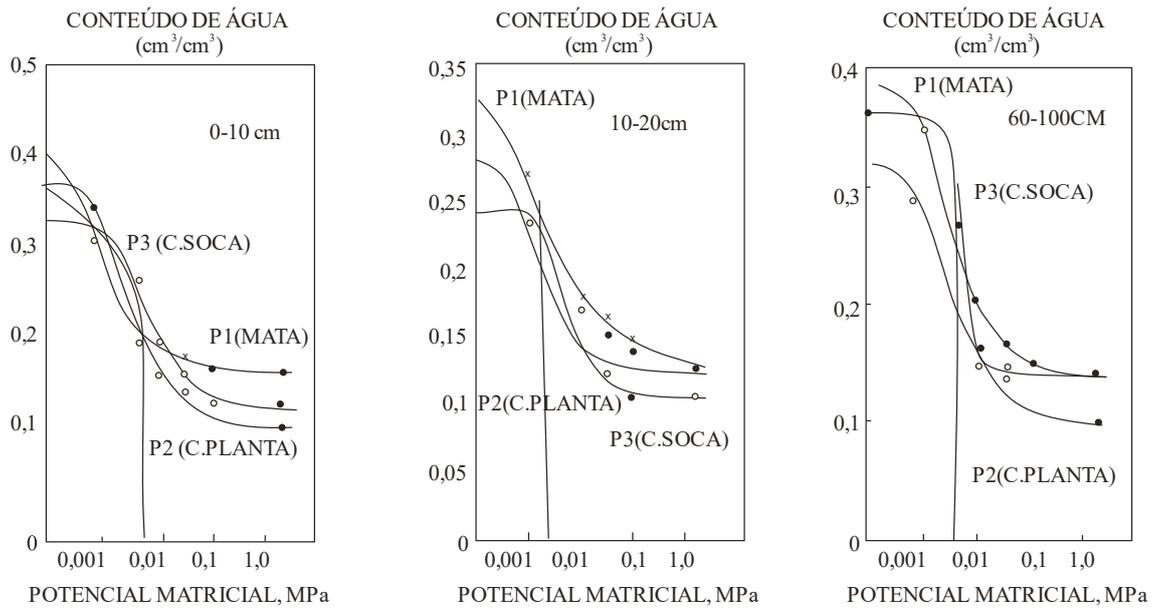


Figura 90 - Curvas de retenção do LE argiloso (P1, P2 e P3).

No caso de solos mais arenosos perfis 6 e 7 (Figura 91) note que as variações nas curvas de retenção de umidade são mais acentuadas, principalmente a baixas tensões. Nesta posição o perfil de mata retém mais umidade do que o P6, cana soca. Entretanto a tensões mais elevadas o perfil com cana soca retém mais umidade do que na mata ou então há uma tendência de semelhança neste segmento das curvas.

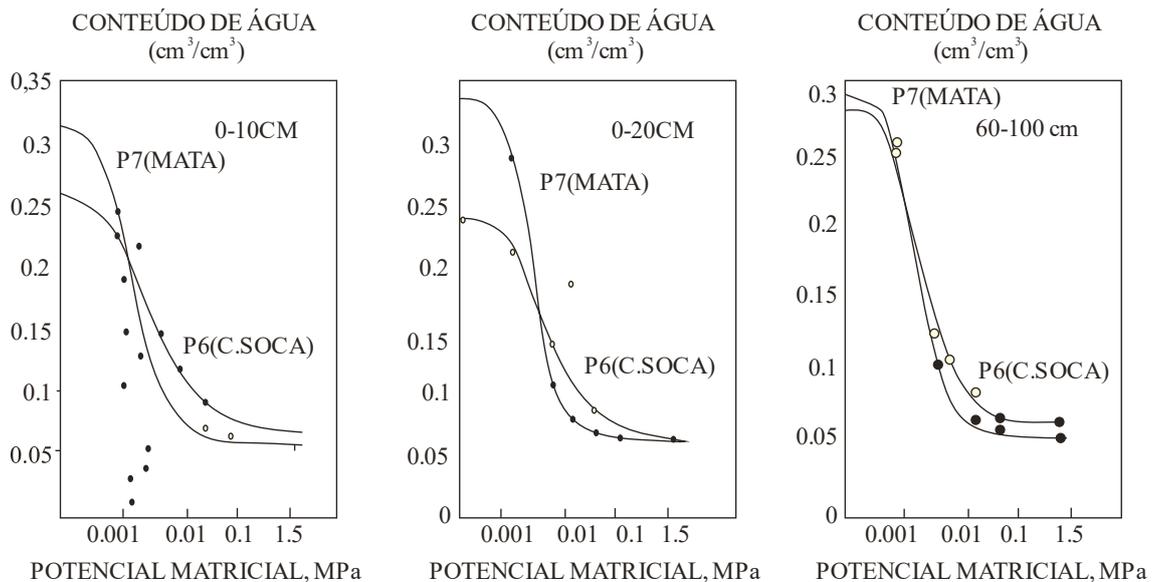


Figura 91 - Curvas de retenção de água do LE média-arenosa (P6, P7).

Por outro lado, e dependendo da prática de manejo, tal redução de umidade pode ser atenuada, como foi o caso do Latossolo Roxo da região de Ribeirão Preto, quando se comparou as curvas do solo sob mata com o perfil da cana planta. É nosso ponto de vista que ao se trabalhar com o solo, independentemente do sistema de manejo, determinadas propriedades se alteram como foi o caso da porosidade e da retenção de umidade, mas perfeitamente compatível com esta cultura. As curvas de retenção de umidade deste solo são totalmente semelhantes em termos de tendência dos demais solos. Na camada superficial elas diferem também nas baixas e elevadas tensões, enquanto, que nas demais profundidades praticamente não há diferença entre elas (Figura 92).

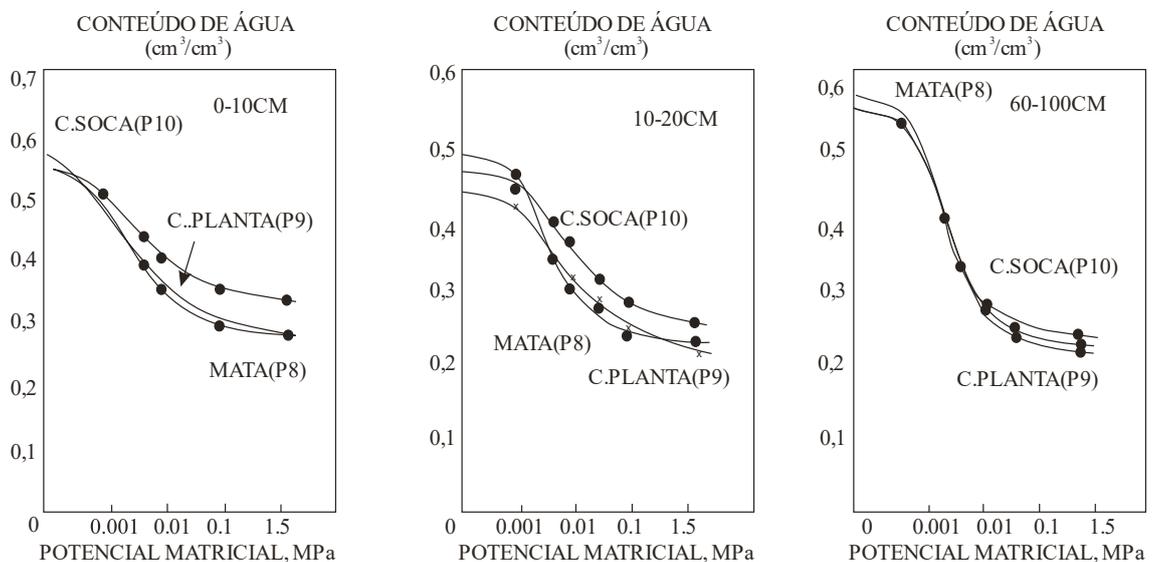


Figura 92 - Curvas de retenção de água do LR - média-argilosa (P8, P9, P10).

Em relação aos perfis de Areias Quartzozas de São Carlos, nos perfis a 60-100 cm há semelhanças de curvas. Nas baixas tensões o perfil sobre mata assim como nas altas tensões as curvas são maiores. Porém na profundidade de 10-20 cm no perfil e nos demais inclusive na mata, há perdas tanto nas baixas tensões como nas altas (Figura 93).

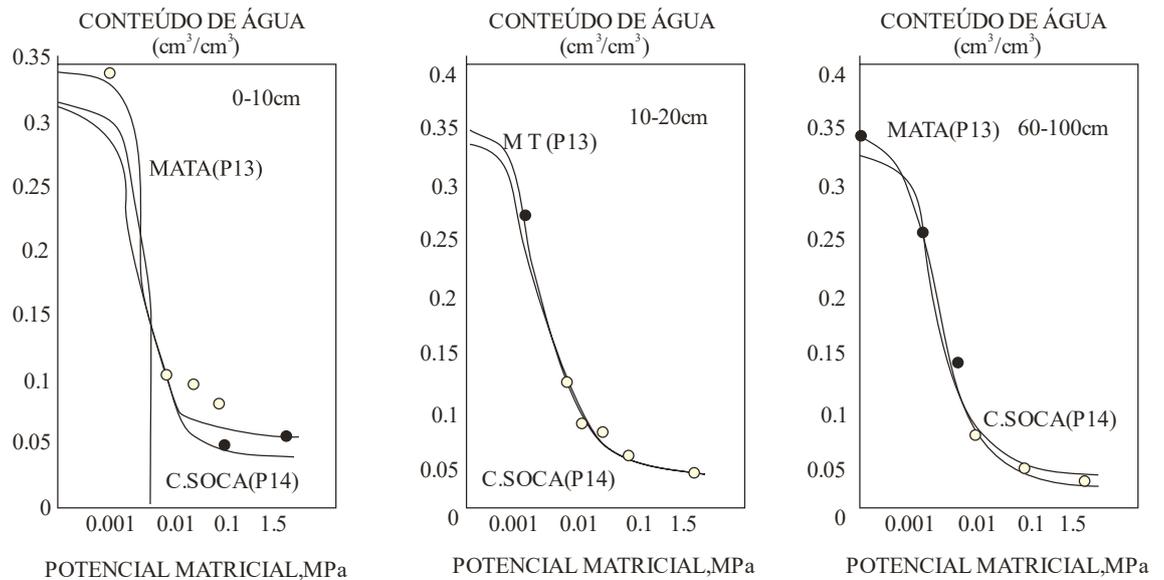


Figura 93 - Curvas de retenção de água da AQ (P13, P14).

16.5 Fertilidade dos solos

A profundidade de solos está no eixo Y de zero até 100 cm e no eixo X os dados da fertilidade. Tais resultados serão apresentados em forma de gráficos pois permite melhor visualização. O teor de cálcio em profundidade e principalmente nos solos originalmente álicos ou distróficos, foi maior do que na mata (Figura 94). Diferenças bastante acentuadas foram obtidas nos perfis do Latossolo Roxo. O teor na camada superficial do perfil sob mata foi de 0,7 passando para 1,5 meq/100 na cana planta. A Saturação de Bases, novamente, para todos os solos, exceto a Terra Roxa (NV), tiveram os valores aumentados sensivelmente, tanto na superfície como nas camadas mais inferiores, observe os dados, do Led (LV), argiloso (Figura 95).

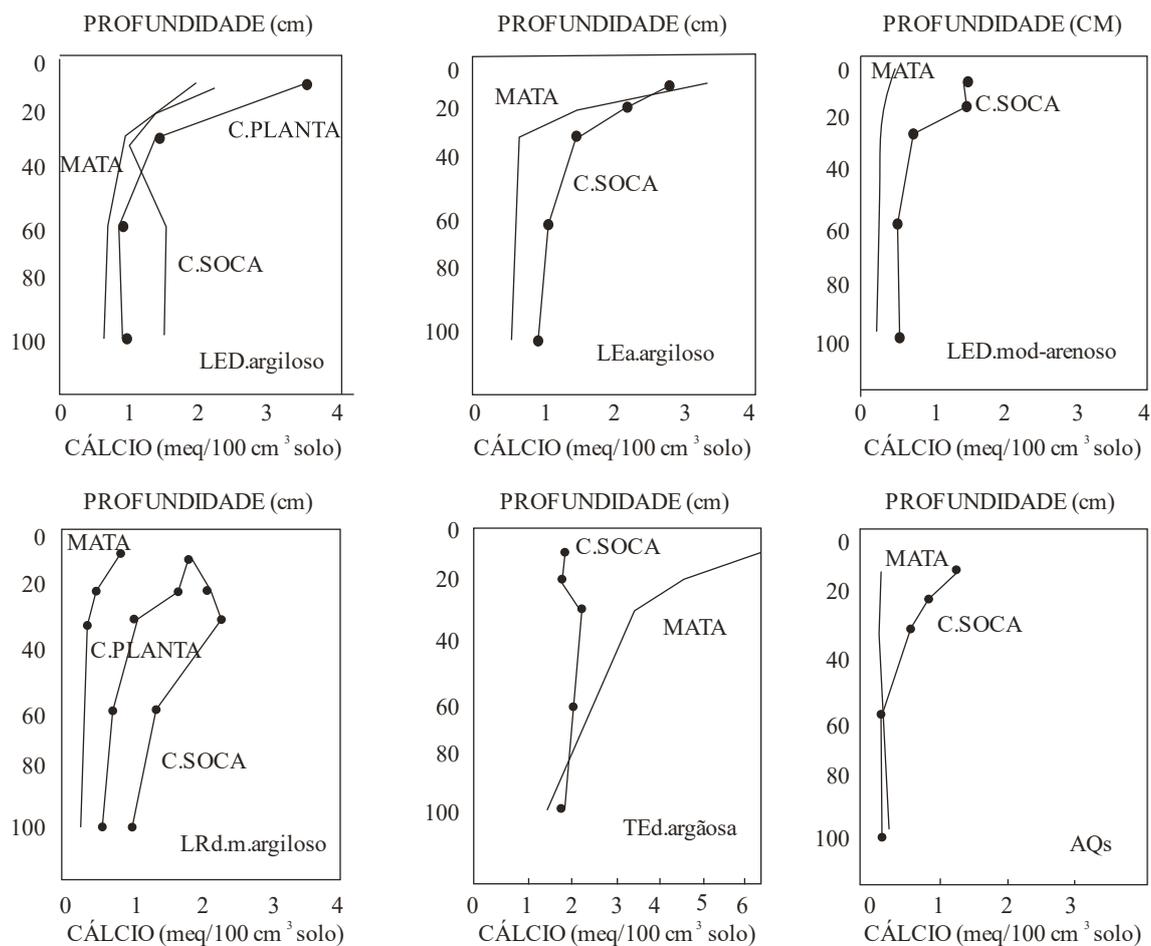


Figura 94 - Distribuição do cálcio em profundidade.

Os valores, da cana soca são inferiores ao da cana planta. Isto se justifica pelo fato da cana soca explorar por 5 a 6 anos o solo sem reposição de bases. Por ocasião das reformas, tanto a calagem como a gessagem, permitem um maior enriquecimento. Atualmente tem sido prática nesta cultura a aplicação de corretivos e de gesso também em cana soca, atenuando assim o empobrecimento.

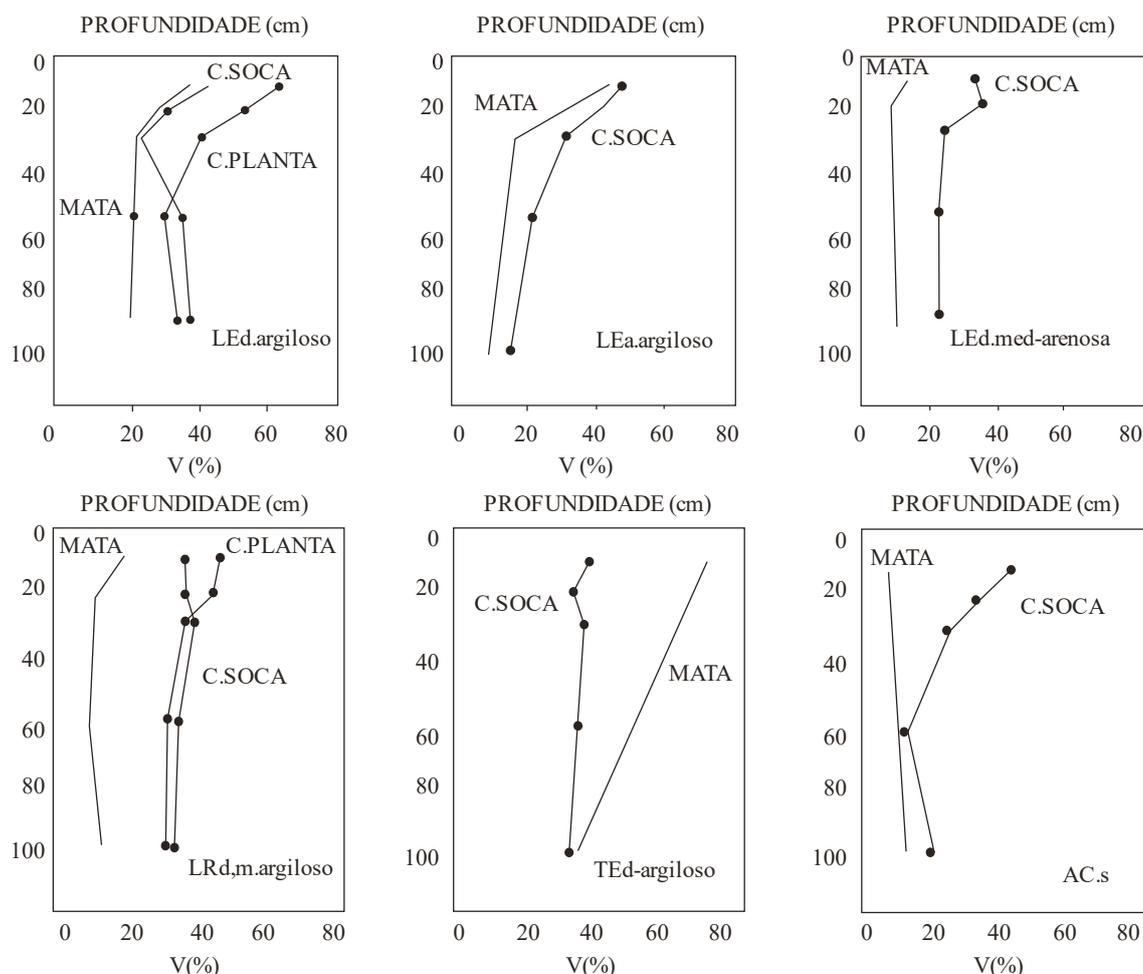


Figura 95 - Saturação em bases (V%) dos solos estudados.

A única diferença de empobrecimento neste nutriente foi no perfil da Terra Roxa, que originalmente era eutrófico. Quanto ao teor de alumínio, em todos os perfis, exceto na Terra Roxa, houve sensível redução, tanto na superfície como na sub superfície, deste elemento tóxico do solo (Figura 96). Para o caso do fósforo, sem exceção, houve sensível melhora nos níveis ilustrados na Figura 97.

Teor de matéria orgânica, como não deveria de ser a remoção da cobertura vegetal, mata ou cerrado, tende a reduzir o teor de matéria orgânica, como já foi visto em capítulos anteriores.

Como se observou, em todos os solos estudados houve sensível melhoria nas condições químicas, ou seja, não houve degradação, pelo contrário, houve enriquecimento tanto na superfície como na subsuperfície. A única exceção neste caso foi a Terra Roxa eutrófica da região da Barra Bonita. Neste solo houve empobrecimento,

porém não a níveis que se pode considerar degradados. A principal razão deste fato, porque os solos férteis estão empobrecendo, se deve unicamente a negligência dos usuários em não manter a fertilidade também nestes solos. Tal fato é mais comum do que se imagina, os proprietários de solos de alta fertilidade querem usar a fertilidade natural e não repõe o que as culturas estão extraindo.

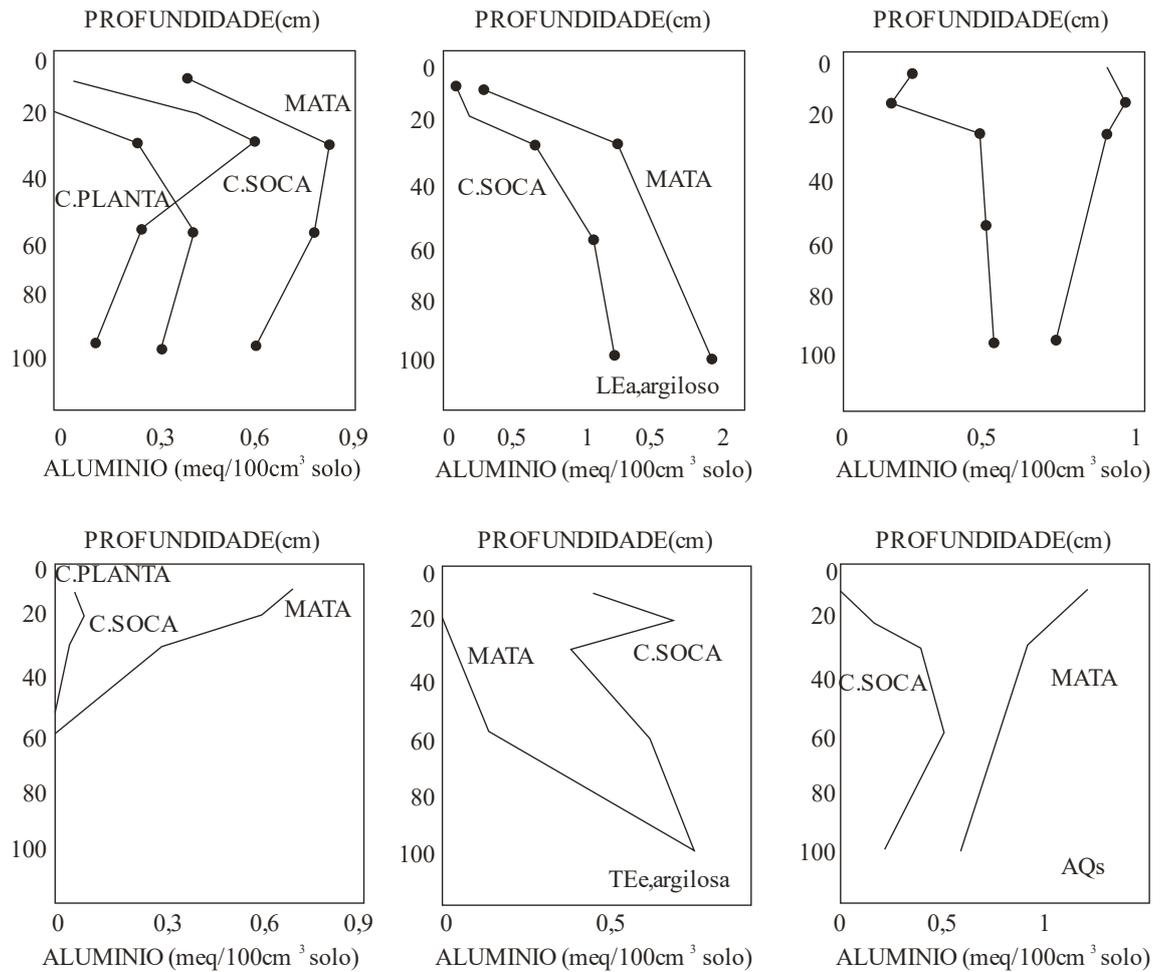


Figura 96 - Distribuição do alumínio em profundidade.

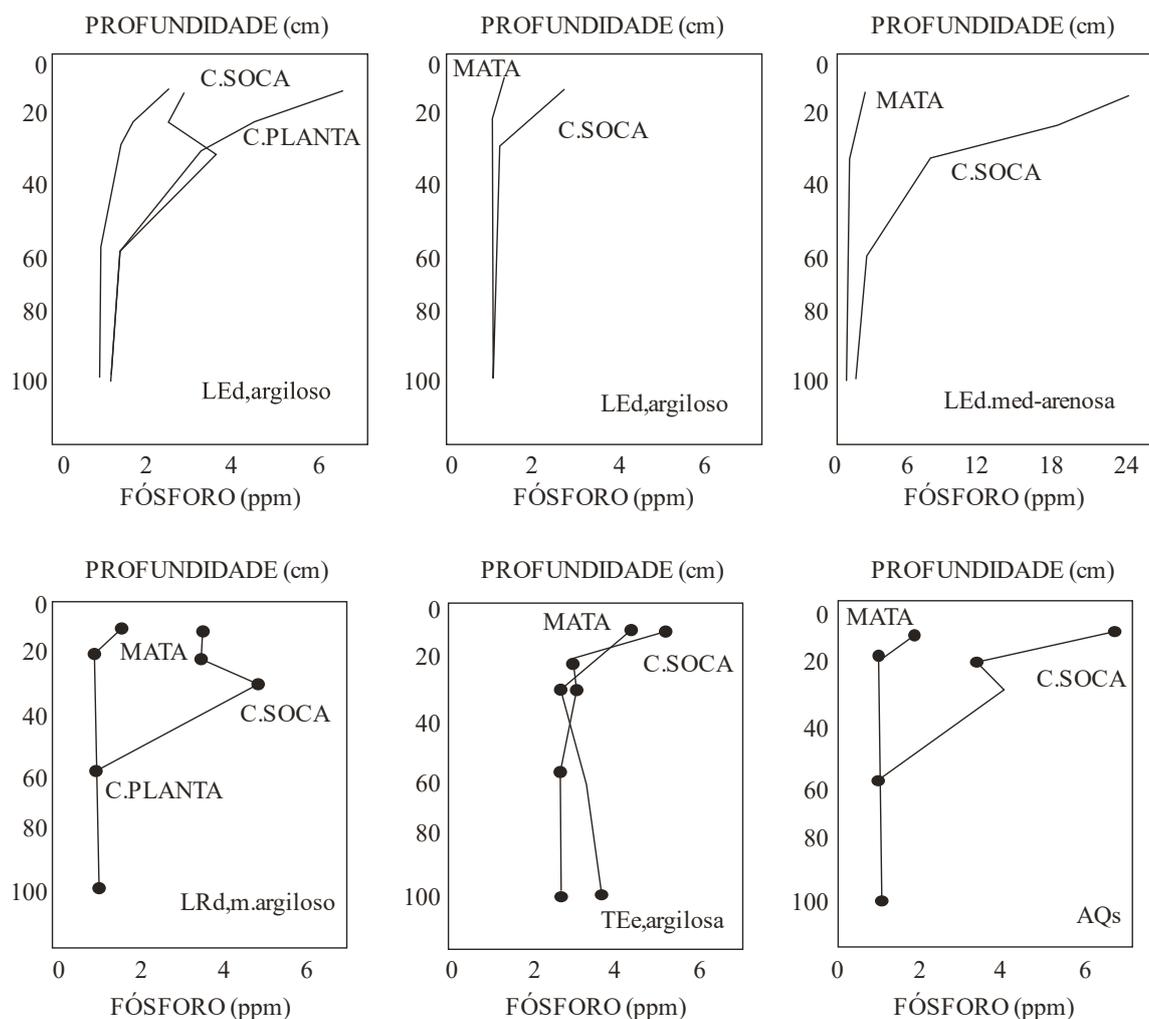


Figura 97 - Distribuição do fósforo em profundidade.

Como foi verificado ao longo dos resultados obtidos, houve sensíveis alterações das propriedades dos solos provocadas pelo cultivo, principalmente nas propriedades físicas e químicas. É necessário, entretanto, que se faça um questionamento: as alterações observadas têm contribuído para o decréscimo da produtividade? Ou em outras palavras: a degradação dos solos tem reduzido a produtividade? Aparentemente não, no caso das regiões estudadas.

Os resultados da Tabela 110 resumem dados de produtividade da Usina Barra Grande de Lençóis Paulista, onde parte deste trabalho foi realizado. Note que ao longo dos nove anos de observação a produtividade, média do ano de 1986/87, estava na faixa de 72 t/ha passando para valores, sempre crescentes, a partir de 1991, até as 88 t/ha em 1994.

Entretanto, tal aumento se deveu a uma série de práticas de manejo que culminaram com tal desempenho, entre elas: a recuperação química mais bem conduzida, alteração do espaçamento, mudanças no perfil varietal, planejamento adequado de plantio e de sulcação com maior rigor e disciplina quanto ao controle de tráfego nos talhões.

Tabela 110 - Média de produtividade (t/ha) de cana por categoria das safras no período 1986/1994, da usina Barra Grande em Lençóis Paulista, SP.

Cortes	Saфра								
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
1º	93	90	105	104	114	102	102	115	109
2º	79	80	80	82	79	90	94	97	88
3º	71	70	71	70	68	80	86	80	82
4º	60	63	66	63	59	69	74	74	73
Outros	62	58	66	64	58	67	66	67	67
Média	71	71	74	74	72	80	85	84	88

Fonte: Departamento Agrícola da Usina Barra Grande de Lençóis Paulista, SP, 1996

16.6 Culturas anuais: região de Guáira, SP

Esta região é uma das grandes produtoras de grãos praticando uma agricultura de nível elevado de manejo inclusive com irrigação tendo uma média de 2,5 a 2,7 culturas/ano, apresentando uma das maiores concentrações de pivô central do Estado de São Paulo. Nos anos 93/94 foi desenvolvido um trabalho com o objetivo de verificar os níveis de degradação química nos solos submetidos a cultivos intensivos, por longo tempo e sob irrigação. Para isso foram escolhidas três áreas distintas, designadas de Área I, Área II e Área III. A base de comparação das propriedades químicas com as áreas cultivadas foi amostragem de solo sob vegetação natural, mata ou cerrado.

A Tabela 111 resume os históricos de cada uma das três áreas. Em cada área foram abertas três trincheiras amostradas e analisadas. As áreas I e III localizadas respectivamente nas Fazenda Lagoa do Fogão e Santa Clara, ambas no município de Guáira, apresentaram o Latossolo Roxo álico como o solo representativo e o cerrado como vegetação natural. A profundidade de amostragem nas trincheiras foi na área I na faixa de 210 a 310 cm e de 220 cm a 330 cm na área III.

A parcela sob cerrado da área I foi designada de P11 e as parcelas de cultivo de P12 e P13. A P12 tem sido cultivada desde 1984 com plantio direto e irrigado, distante 40 m da P11; a P13 com cultivo convencional entre 1960 e 1983 e a partir daí com plantio direto, irrigado, distante 300 m da P11.

A área III, é mais antiga em termos de agricultura, sendo o P31 representando a parcela sob cerrado: e os P32 e P33 com agricultura convencional de 1956 a 1983 e a partir daí com plantio direto e irrigado. A área II localizada na Fazenda Coqueiros, tem como solo representativo o Latossolo Roxo eutrófico e a vegetação de mata onde foi amostrado o P21 na profundidade da trincheira de 190 a 210 cm. Tanto o P22 e o P23 foram cultivadas a partir de 1956, num sistema convencional e foram amostrados em trincheira na profundidade de 140 a 160 cm no P22 e 190 a 210 cm no P23. Durante todo este período as áreas têm recebido corretivos e adubos em quantidades apreciáveis, inclusive adubos contendo enxofre em suas formulações.

Tabela 111 – Localização, solos, caracterização do histórico do uso e manejo da terra referente às áreas observadas.

Designação do Perfil de solo	Histórico da área representada por cada perfil
Área I, localizada na Fazenda Lagoa do Fogão Latossolo roxo textura argilosa álico (Typic Acriudox)	
P11	Parcela com vegetação de cerrado preservado.
P12	Parcela desde 1984 com plantio direto e irrigado por aspersão (PDI), distante 40 m do P11.
P13	Parcela com cultivo convencional (PC) entre 1960 a 1983 e a partir daí com plantio direto e irrigado (PDI), distante 300 m do P11.
Área II, localizada na Fazenda Coqueiros Latossolo roxo textura argilosa eutrófico (Typic Eutrordox)	
P21	Parcela com vegetação de mata (floresta subtropical) preservada.
P22	Parcela desmatada em 1956, cultivada por sistema convencional (SC) de 1956 a 1990, com algodão e milho até 1973 com soja e sorgo até 1990, também em sistema convencional (SC).
P23	Parcela desmatada em 1956, cultivada com café de 1956 a 1965, com algodão de 1965 a 1973, com soja, de 1973 a 1981, por sistema convencional e com soja-milho-feijão, de 1981 a 1983, por sistema convencional e irrigação por aspersão (SCI).
Área III, localizada na Fazenda Santa Clara Latossolo roxo textura argilosa álico (Typic Hapludox)	
P31	Parcela com vegetação natural de cerrado preservado.
P32	Parcela após desmatada, por volta de 1956 cultivada com algodão, milho e soja, em sistema Convencional (SC) até 1977. A partir daí procedeu-se a rotação soja-milho.
P33	Parcela semelhante ao local P32 até 1987, depois foi cultivo de soja-milho-feijão sob sistema de irrigação (SCI).

16.7 Dados de argila e de fertilidade

Os resultados químicos dos solos estudados estão representados nas Tabelas 112 e 113 assim como nas Figuras correspondentes. Os resultados do pH em H₂O indicados nas Tabela 112 e 113 tem indicado sensível aumento para as áreas I e III representado pelos solos álicos, até os primeiros 50 cm de profundidade, ficando sempre acima de 5,5 ou próximo a 6,0. Esta melhoria nesta propriedade do solo se deve ao uso de corretivos.

Em função do aumento do pH houve sensível aumento nos teores de cálcio e de magnésio. O teor de cálcio, por exemplo, na camada superficial do P11 de 3,9 m.eq/100g passou para 12,5 m.eq/100 g no P12 e 26,6 no P13. O mesmo fato ocorreu no P32e P33. Além disso houve sensível enriquecimento destas bases em profundidade, indo até os 110 cm no P12 e 310 cm no P13. O enriquecimento em maior profundidade do P13 se deve ao maior tempo de cultivo.

Tabela 112 - Características granulométricas e químicas dos perfis estudados.

Profundidade cm	Argila gkg ⁻¹	pH		P mgkg ⁻¹	Ca	Mg	K	Al	H+Al	S	T
		H ₂ O	KCl								
Área I – P11											
00-25	450	5,0	4,4	16,0	3,9	5,1	1,3	9,2	72,0	10,3	82,3
25-45	480	5,2	4,5	3,0	0,1	1,2	0,4	6,4	47,0	1,7	48,7
50-70	520	5,0	4,7	1,0	0,5	0,7	0,3	2,2	34,0	1,5	35,5
90-100	470	5,1	5,2	1,0	0,1	0,6	0,2	0,8	25,0	0,9	25,9
190-210	490	5,5	5,6	1,0	0,2	0,4	0,2	0,8	20,0	0,8	20,8
290-310	470	5,6	6,0	1,0	0,5	0,4	0,1	1,0	16,0	1,0	17,0
Área I – P12											
20-May	600	5,5	4,6	15,0	12,5	2,6	1,4	2,2	52,0	16,5	68,5
25-50	650	5,3	4,7	1,0	6,0	2,6	0,9	1,8	38,0	9,5	47,5
50-70	640	5,1	4,9	1,0	1,8	1,3	0,4	0,8	28,0	3,5	31,5
90-110	670	5,1	5,4	1,0	2,3	1,7	0,3	0,6	22,0	4,3	26,3
110-210	690	5,1	5,8	1,0	0,4	1,0	0,7	0,6	20,0	2,1	22,1
Área I – P13											
00-24	330	5,8	5,7	24,7	26,6	10,8	1,7	0,8	25,0	39,1	64,1
25-50	410	5,5	5,6	0,7	9,3	4,6	1,4	0,7	25,0	15,3	40,3
65-85	400	5,2	5,7	0,4	11,6	3,4	1,1	1,0	22,5	16,1	38,6
110-130	460	5,2	6,5	0,4	9,9	3,3	1,2	0,8	16,4	14,4	30,8
200-220	530	5,3	6,9	0,4	3,3	2,5	0,6	0,9	13,4	6,4	19,8
290-310	430	6,0	7,1	0,4	2,0	1,4	1,7	0,9	12,0	5,1	17,1
Área II – P21											
00-20	310	6,7	6,3	14,0	65,9	13,8	2,1	0,8	16,0	81,8	97,8
20-40	390	7,0	6,3	17,0	33,8	16,1	1,5	0,6	18,0	51,4	69,4
40-70	550	6,9	6,1	12,0	22,2	10,5	3,2	0,6	20,0	35,9	55,9
90-110	530	6,7	5,9	3,0	5,8	4,6	4,0	6	22,0	14,4	36,4
190-210	490	6,3	6,0	1,0	3,0	5,1	0,6	6	20,0	8,7	28,7

Tabela 112 - Continuação

Profundidade cm	Argila gkg ⁻¹	pH		P mgkg ⁻¹	Ca	Mg	K	Al	H+Al	S	T
		H ₂ O	KCl								
Área II – P22											
18-Mar	360	6,2	6,2	26,5	69,5	18,2	1,9	1,0	25,0	89,6	114,6
May-40	430	6,0	5,8	5,8	43,9	9,4	0,7	0,7	27,7	54,0	81,7
50-64	470	6,1	5,9	5,4	34,3	8,4	0,6	0,8	25,0	43,3	68,3
80-100	430	6,1	6,0	2,9	28,2	10,0	0,9	0,9	22,5	39,1	61,6
140-160	420	6,2	6,5	0,7	12,4	4,8	0,7	0,9	16,4	17,9	34,3
Área II – P23											
00-10	440	5,6	5,4	50,5	32,1	10,5	3,0	1,1	27,7	45,6	73,3
15-35	550	5,2	5,1	3,3	15,8	6,8	2,8	1,2	27,7	25,4	53,1
50-70	510	5,8	5,7	1,1	16,9	4,3	0,9	0,8	18,2	22,1	40,3
90-110	520	5,9	6,1	0,7	23,8	5,6	1,2	0,9	16,4	30,6	47,0
190-210	470	4,9	6,0	0,4	7,9	4,8	1,1	0,9	18,2	13,8	32,0
Área III – P31											
00-20	430	5,2	4,4	9,0	1,5	2,0	0,9	10,6	80,0	4,4	84,4
25-45	560	5,2	4,6	1,0	0,1	0,2	0,4	4,2	42,0	0,7	42,7
60-90	560	5,2	5,5	1,0	0,1	0,5	0,2	1,2	31,0	0,8	31,8
100-120	540	5,2	5,5	0,4	4,0	1,3	0,1	1,0	20,0	6,2	26,4
200-220	540	5,4	5,8	0,4	4,0	1,1	1,2	0,9	18,0	6,3	24,5
300-320	470	5,7	6,2	0,4	6,0	1,5	1,2	0,7	13,0	8,5	22,2
Área III – P32											
00-20	390	5,6	5,6	20,3	22,7	12,7	0,7	1,0	30,8	36,1	66,9
25-45	620	5,8	5,7	1,1	8,2	4,7	0,6	0,8	20,2	13,5	33,7
60-80	560	4,7	5,6	0,4	6,6	2,8	0,9	1,0	22,5	10,3	32,8
100-120	480	4,5	5,7	0,4	2,8	1,2	0,5	0,8	20,2	4,5	24,7
200-220	480	4,6	5,8	0,4	4,6	1,4	1,0	0,8	20,2	7,0	27,2
300-320	490	5,2	6,3	0,4	10,3	2,0	1,1	0,8	13,4	13,4	26,8
Área III – P33											
00-15	340	5,8	5,6	19,6	19,1	11,9	0,7	0,8	34,3	31,7	66,0
20-40	380	5,5	5,4	1,8	6,9	3,8	0,7	0,9	34,3	11,4	45,7
65-85	490	5,1	6,4	0,4	2,6	2,0	0,6	0,8	18,2	5,3	23,5
100-120	430	5,2	6,6	0,4	2,0	1,8	0,5	1,0	14,8	4,3	19,1
200-220	490	5,3	6,7	0,4	1,6	1,4	0,6	0,9	14,8	3,6	18,4

Em relação ao potássio o enriquecimento foi menor, mas também com incremento em profundidade principalmente no P12 e P13 (Figura 98). Os perfis P11 e P31, sob cerrado apresentaram maior teor de Mg do que de Ca. Tal fato não é comum, porém tem sido constatado em solos argilosos muito intemperizado, principalmente na região de

cerrados. Uma possível explicação se refere ao “Ca ocluso”, ou seja, o Ca que estariam no interior dos micros agregados não estariam “disponível” para as plantas, porém ao se efetuar a análise química ele aparece.

O teor de Al para estas duas áreas, são baixos tanto em superfície como em subsuperfície nas parcelas cultivadas, novamente ilustrando os efeitos dos corretivos e do sulfato. Em relação ao fósforo as análises vêm demonstrar a pequena mobilidade no solo, havendo concentração apenas nas camadas superficiais dos perfis das áreas I e III.

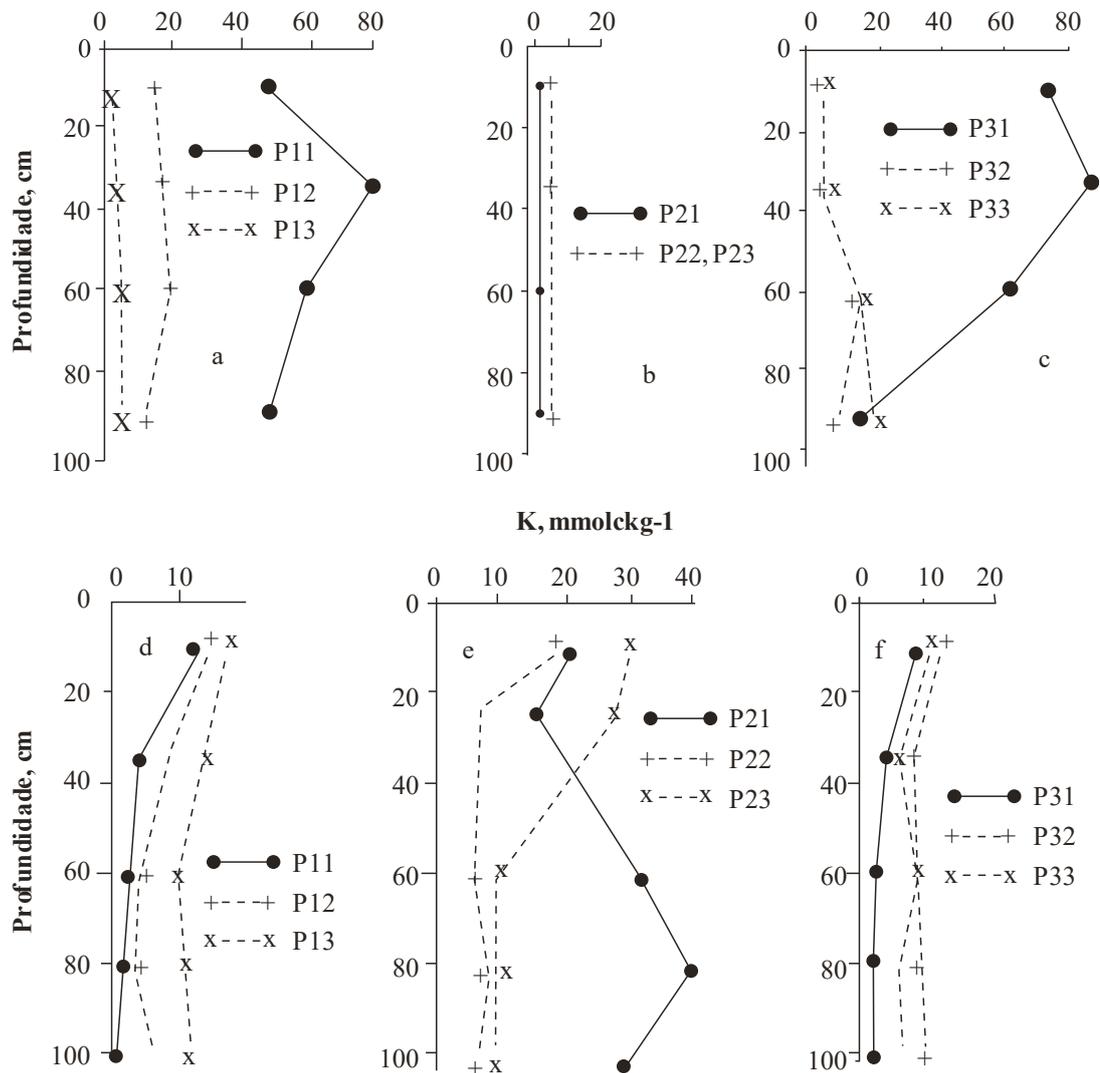


Figura 98 - Saturação por alumínio (a, b, c) e K (d, e, f) em profundidade nos solos estudados: (a, d) área I; (b, e) área II; (c, f) área III. As profundidades foram acertadas para 0-100 cm.

Os resultados do Latossolo Roxo eutrófico, Área II, tem demonstrado ligeiro empobrecimento em Ca, Mg, e K assim como no fósforo, porém os níveis ainda são elevados. A saturação com Al, de todas as áreas estudadas (Figura 98) vem ilustrar o seguinte: Nos perfis P11 e P31, os solos têm o caráter álico, enquanto, que nos perfis cultivados o caráter álico foi eliminado. Nos perfis da Área II, houve pequeno aumento da saturação com Al.

Em relação as relações Ca/Mg e saturação das bases (Figura 99) os dados são os seguintes: Para as parcelas não cultivadas das áreas com cerrado a relação Ca/Mg é inferior a 1 enquanto, que nas áreas cultivadas tais relações aumentaram para a faixa de 2 a 5/1, enquanto, que no Latossolo Roxo eutrófico a relação decresceu. Quanto a saturação das bases os perfis álicos foram transformados em epieutróficos, melhorando sensivelmente tais solos. Entretanto para os solos da área II houve empobrecimento, porém, mantendo ainda o caráter eutrófico.

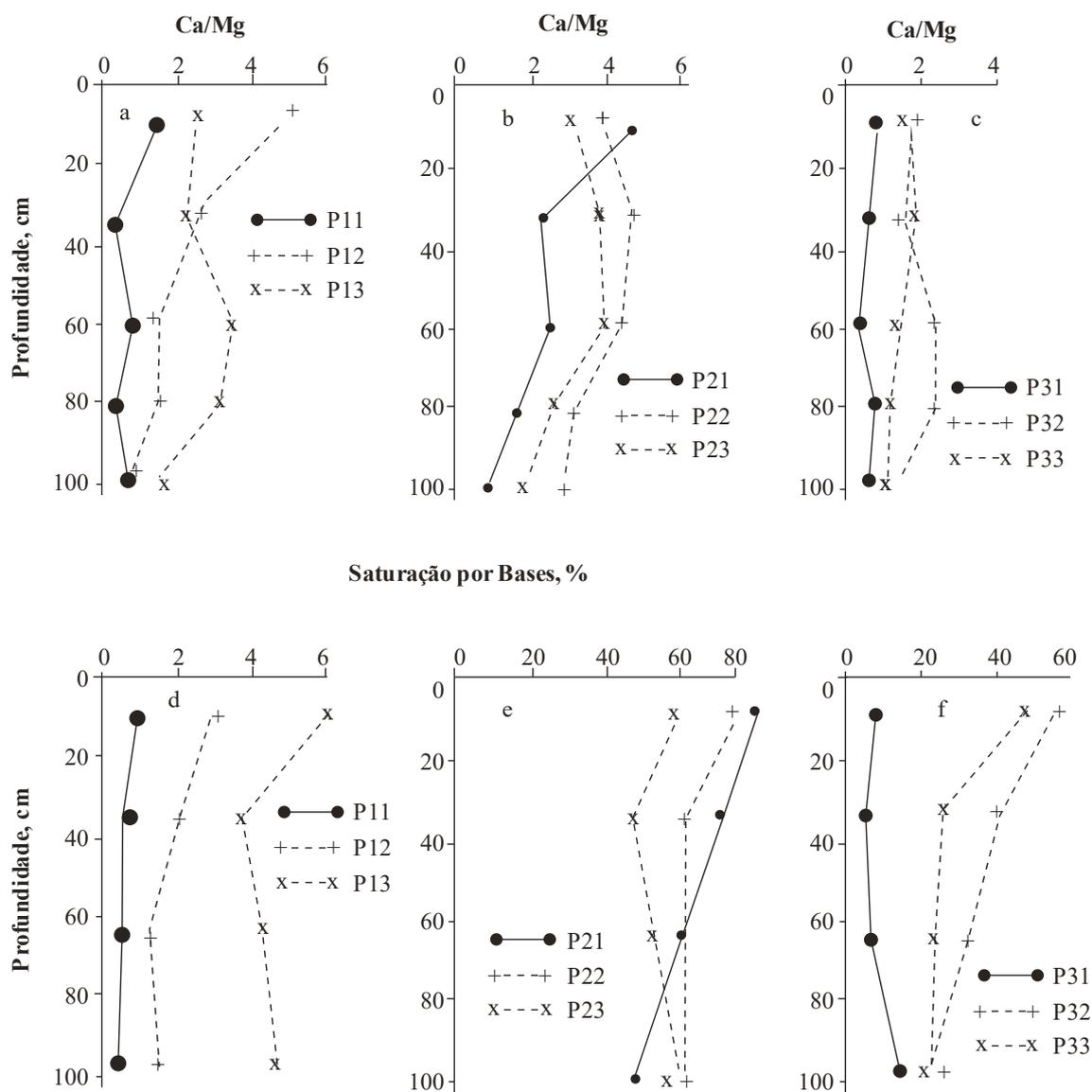


Figura 99 - Relação Ca/Mg (a, b, c) e saturação por bases (d, e, f) em solos profundidade dos solos estudados: (a, d) área I; (b, e) área II; (c, f) área III.

Quanto ao teor de matéria orgânica e delta pH (Figura 100) nota-se: Redução do teor de matéria orgânica das áreas cultivadas principalmente no perfil P21 quando comparado com o P23. Explicações para tais casos já foram feitas em capítulos específicos.

Apesar do plantio direto estar sendo utilizado nos últimos 8 a 10 anos, o teor de matéria orgânica não tem atingido o valor original dos padrões sob vegetação natural. Devido a redução do teor de matéria orgânica houve deslocamento do delta pH para faixas mais básicas dos perfis cultivados, o que pode favorecer a translocação profunda de nutrientes.

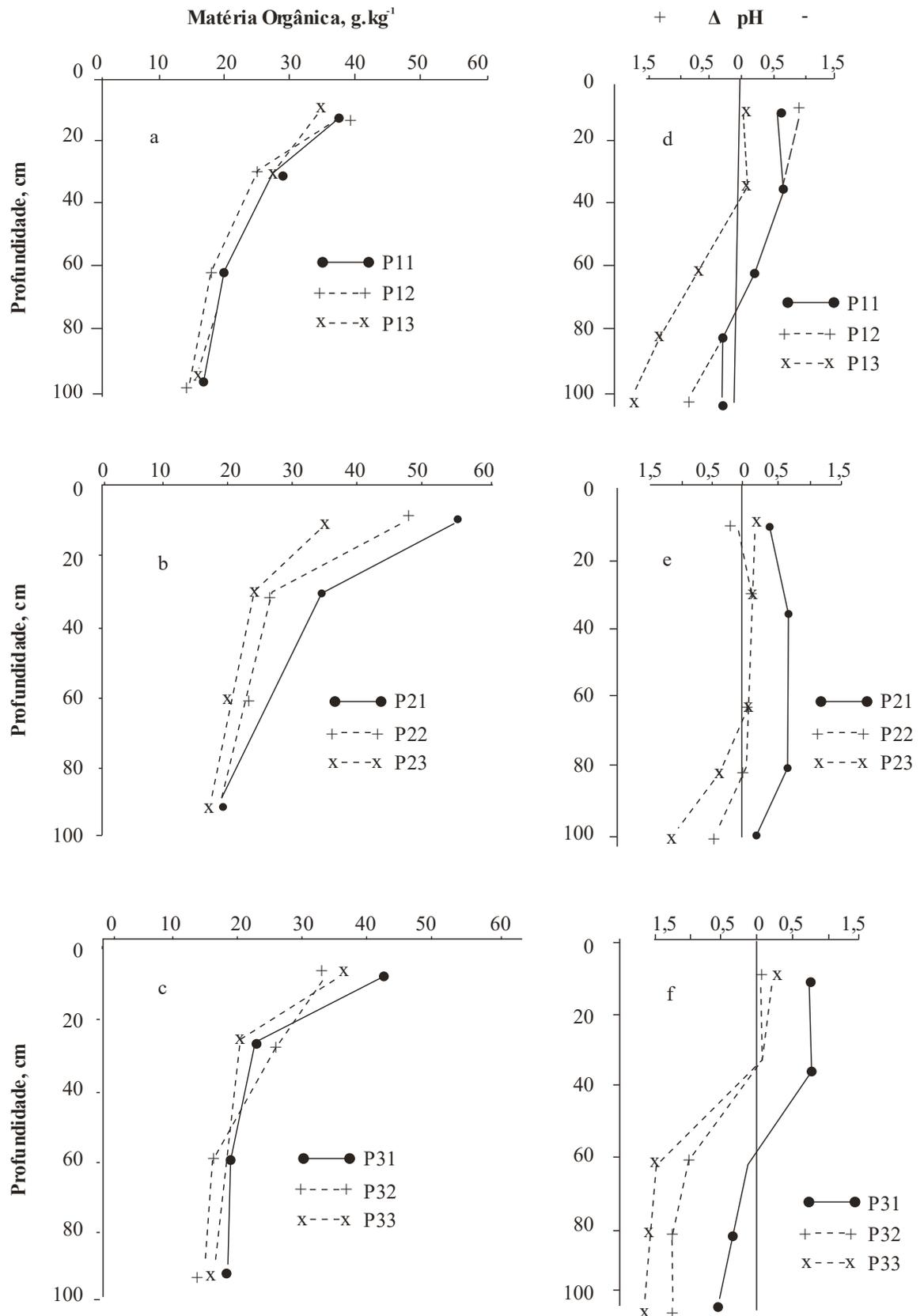


Figura 100 - Distribuição da matéria orgânica (a, b, c) e valores de Δ pH (d, e, f) em profundidade nos solos estudados: (a, d) área I; (b, e) área II; (c, f) área III.

Como se observou pelos resultados obtidos, em solos cultivados com agricultura de alta intensidade de manejo, houve sensível melhora nos dados químicos dos solos pobres, inclusive transformando os solos álicos em epiutróficos. Por outro lado, nos solos de boa fertilidade houve empobrecimento, porém não a níveis que se pode considerar degradados. A principal razão para este fato se deve novamente a negligência dos usuários, em não manter também a fertilidade nos solos de elevada fertilidade.

16.8 Pastagem

A Fazenda Tainá está localizada no município de São Pedro no Estado de São Paulo com uma área total de 104 ha. Os solos são representados pela Areia Quartzosa (Neossolo quartzarênicos) e a principal atividade tem sido a pecuária leiteira. Os resultados obtidos, em 1999 são os seguintes: Rebanho: média de 6,31 UA/ha (cerca de 16 vezes a média nacional). Produção de leite: cerca de 105 vezes a média nacional.

Níveis de adubação utilizados: para o Capim Elefante para corte: 450 - 115 - 450 (kg/ha-ano de N – P₂O₅ – K₂O). Para silagem de milho na safra: 203 – 126 - 210 (kg/ha-ano de N – P₂O₅ – K₂O) sendo adicionado 5,0 kg/ha-ano de Zn e 20 kg/ha-ano de S.

A evolução dos resultados durante 7 anos, em relação as análises do solo, estão resumidos na Tabela 114.

Tabela 114 - Resultados das análises Areia Quartzosa para silagem de Capim Elefante (Napier Roxo) na Fazenda Tainá, SP.

Ano	P resina ppm	M.O.	m.eq/100g					V %
			K	Ca	Mg	S	T	
0-20 cm								
Cerrado	2	0,9	0,06	0,07	0,1	0,86	3,0	28
1990	5	1,1	0,11	0,90	0,60	1,61	3,11	51,69
1991	37	1,40	0,13	1,40	0,80	2,33	3,83	60,79
1992	29	2,54	0,12	1,41	0,80	2,30	3,70	63,50
1993	81	1,73	0,15	1,48	1,08	3,70	4,80	77,40
1994	50	1,04	0,15	1,70	1,08	2,90	4,30	67,50
1995	71	1,60	0,07	1,42	0,79	2,30	3,80	59,50
1997	76	1,60	0,12	2,70	1,30	4,12	5,72	72,00
20-40 cm								
Cerrado	1	0,4	0,02	0,35	0,08	0,45	2,1	21
1992	10	2,30	0,15	0,75	0,36	1,30	2,70	46,00
1993	36	1,25	0,08	0,57	0,27	0,90	3,10	30,00
1994	25	0,78	0,13	1,11	0,54	1,80	3,80	47,00
1995	25	1,21	0,04	0,39	0,35	0,80	2,60	30,00
1997	30	1,30	0,08	0,90	0,40	1,38	3,88	36,00

Em dois anos de trabalho o nível de fósforo passou de 2 ppm para o patamar elevado de 27 ppm, chegando a atingir valores de 50 ppm. A saturação de bases originalmente na faixa de 28% rapidamente subiu para a faixa de 60%, se mantendo neste patamar ao longo do tempo. O Ca e Mg também tiveram aumentos significativos, contribuindo inclusive para melhorar os valores da CTC (de 3,0 passou para 5,5 meq/100 g). Quanto ao teor de matéria orgânica, houve sensível melhora saindo do patamar de 0,9% atingindo valores de 1,70%.

Fica, portanto, a pergunta: usando um elevado nível de manejo químico e biológico em solo tido como degradado originalmente, houve maior ou menor degradação?

16.9 Considerações finais

Há convicção de que um sistema de manejo adequadamente aplicado e conduzido, permita melhorar sensivelmente as diversas propriedades dos solos, recuperando-os, mantendo-os produtivos e reduzindo sensivelmente os processos erosivos. Por outro lado,

é necessário que se entenda que ao se lançar a qualquer atividade agrícola, determinadas propriedades do solo, como a porosidade, podem ser alteradas para patamares tidos como marginais. Entretanto, foi mostrado que o sistema de manejo pode reverter parcialmente esta redução da porosidade, não a níveis originais de uma mata ou cerrado, porém em patamares perfeitamente compatíveis para obtenção de razoáveis produtividade.

Entretanto, é também de conhecimento geral que as terras quando inadequadamente trabalhadas, se degradam, com perdas de seu potencial produtivo, erodindo e contaminando ainda mais o ambiente. Um dos exemplos atuais deste processo se refere ao abandono de terras recém desbravadas para atividade pecuária na Amazônia, devido as perdas da capacidade produtiva dos solos, atribuído principalmente a rápida queda da fertilidade.

É necessário, entretanto, salientar que diversos proprietários de áreas nesta região têm suas terras adequadamente conduzidas e manejadas, em níveis médios a elevado de manejo, com média anual de 1,5 UA/ha (Unidade Animal), melhorando sensivelmente a fertilidade dos solos.

17 CAPÍTULO 17. REGIÕES AMAZÔNICA E CERRADOS: OPÇÕES DE MANEJO

17.1 Considerações gerais

Quando o tema relacionado ao desenvolvimento da Amazônia vem à tona, reações as mais variadas, vindas de todas as direções, relacionadas aos efeitos maléficos ao ambiente devido ao desmatamento, erosão, poluição e a própria desertificação.

Quanto a tais aspectos é preciso muito cuidado e critério quanto a julgamentos muitas vezes imediatista, principalmente após os grandes insucessos da instalação da pecuária em diversas áreas desta região em anos passados assim como os fracassos total ou parcial de empreendimentos agrícolas, como foi o caso da região Bragantina no Pará, Aripuanã no Norte de Mato Grosso e de algumas Agrovilas ao longo da Transamazônica. Em relação a tais fatos é preciso entender que a região Amazônica é constituída por aproximadamente 56.4 % do Brasil (8.5 milhões de km²), com acentuada variabilidade de solos, clima e condições de infraestrutura. Sendo assim, o tamanho da Amazonia existe espaço mais do que suficiente para as muitas atividades que se queiram implantar inclusive com os parques nacionais assim como as reservas naturais e espaço para os índios

Por outro lado, e independentemente destes exemplos, grande parte da Amazônia é constituída por solos de baixa fertilidade, e tal vez esteja aqui um dos fatores de maior limitação regional. Entretanto, conhecimentos a respeito dos solos, do clima, do uso adequado de corretivos e fertilizantes, de novas variedades e herbicidas associados com alternativas de manejo para as diferentes culturas e condições necessárias de infraestrutura e mercado, e uma política agraria séria, acredito serem os meios pelos quais pode-se explorar a Amazônia.

Pecuaristas, com mentalidade empresarial, estão atualmente elevando o nível de manejo de suas pastagens e com isso conseguindo mudar a face desta região, com produtividade na faixa de 1,25 a 1,5 UA/ha.

O objetivo principal deste capítulo é o de analisar as diferentes opções de manejo para esta região assim como verificar os aspectos relacionados a fertilidade dos solos, sua

recuperação química e a possibilidade ou não de garantir urna produtividade competitiva, econômica e duradoura. Entretanto a região amazônica em termos de objetividade representa áreas para reservas legais, índios, áreas para agricultura, sistemas agro-silvo-pastoril, sistemas pecuárias e culturas, áreas inundáveis etc.

Por outro lado, achamos por bem traçar um comparativo desta região com a região dos cerrados, cujo desenvolvimento não deixa de ser um marco na área no Brasil, sendo atualmente responsável pela produção de 35 milhões de toneladas de grãos com apreciável produtividade. É bom lembrar que esta região a 25-30 anos atras era relegada a não se desenvolver devido à baixa fertilidade de suas terras e do clima. E não foi o que aconteceu.

17.2 O ambiente das regiões Amazônica e dos Cerrados

No caso climático de ustico, udico e perudico foi utilizado os teores do Soil Taxonomy dos EUA por razões da época de trabalho assim como os nomes dos solos. A região de Cerrados ocupa 2,0 milhões de km² enquanto a região Amazônica, praticamente mais que o dobro, com 4,6 milhões de km² (Figura 101).



Figura 101 - Localização das regiões dos Cerrados e Amazônica.

As condições climáticas da Amazônia são mais variáveis do que do Brasil Central (Tabela 115). Assim é que o clima tropical chuvoso com uma estação seca bem definida abrange 52% da Amazônia contra 95% no Brasil Central. O restante da área na Amazônia apresenta um clima tropical chuvoso sem estação seca definida (clima Perudico com 20%) e os 28% de clima Udico com clima tropical chuvoso com um período seco previsto de até 90 dias sendo no Cerrado de 5%. As precipitações pluviométricas estão na faixa dos 1.300 a 3.000 mm com média de 2.100 mm na Amazônia e 1.500 mm nos cerrados. Em termos de radiação solar, tomando Manaus como referência, é menor do que a região dos Cerrados.

Tabela 115 - Resumo das características climáticas das regiões dos Cerrados e Amazônica.

Características climáticas	Regiões	
	Cerrados ⁽¹⁾	Amazônica ⁽²⁾
	1200 a 1600	1300 a 3000
Precipitação pluviométrica (mm/ano)	(65%) 1000 a 2000	Média = 2100
Temperatura (°C)	(86%) 22 a 27 °C	25 a 27 °C
Radiação solar (cal/cm2/dia)	475 a 500	373 (Manaus)
Déficit hídrico solo	4 a 6 meses = 90%	0 a 5 meses
Regime de umidade do solo	ústico = 95% údico = 5%	ústico = 52 údico = 28 perúdico = 20
Período chuvoso	(set) out – abril (maio) mai (jun) – set (out)	(set) out-abril (maio) mai (jun) – set (out)

(1): Adamoli et al. (1986); (2) Demattê (1988).

Em termos de solos sem correções, ambas as regiões são dominadas por Oxisolos e Ultisolos, 60% da região dos Cerrados e 73% na região Amazônica, respectivamente. Os solos de boa fertilidade e favoráveis a agricultura são representados em torno de 7% para ambas as regiões (Tabela 116). Solos arenosos, profundos, com sistema de manejo agrícola considerado baixo, as Areia Quartzosas, são representadas por 15,3% da região dos Cerrados e bem menor na região Amazônica, 5%. Solos rasos em relevo montanhoso ou forte ondulado, representados pelos Litólicos, são em torno de 7% para ambas as regiões. As Lateritas Hidromórficas ocupam em torno de 6% na região dos Cerrados e 4% na região Amazônica. Áreas favoráveis a mecanização é dominada principalmente pelos Oxisolos, Areias Quartzosas e grande parte dos Ultisolos e alfissolos ficando em torno de 60-70% em ambas as regiões.

Tabela 116 - Distribuição dos solos das regiões dos Cerrados e Amazônica.

Soil Taxonomy	Regiões		Relevo
	Cerrados ⁽¹⁾	Amazônica ⁽²⁾	
	(2,0 milhões de km ²)	(4,6 milhões de km ²)	
Oxisolo	LE (20%); LVA (25%)	LA + LVA = 34%	plano a suave
	LR (3%) = 48%		ondulado
Ultisolo	PVA (7%); PVAal (4%) = 11%	PVA = 39%	ondulado a forte ondulado
Alfissolo	PVAe (5%); TE (1,7%) = 6,7	PVAe (6%); TE (1,0%) = 7%	ondulado a forte ondulado
Psamment	AQ = 15,3%	AQ + Phi = 5%	plano
Aquept;	Lat. Hi = 6%	Lat. Hi = 4,0	ondulado a plano
Entissolo;	Litólico = 7,3%	Litólico + Cambissolo =	forte ondulado
Inceptisol		6%	a montanhoso
Inceptisol	3,7%	-	forte ondulado a montanhoso
Entissolo;	Gley + Alúvio = 2%	Gley + Alúvio = 4%	relevo plano
Inceptisol	outros = 1%	outros = 1%	

(1) Fonte: Adamoli et al. (1986); (2): Demattê (1988): LE: Latossolo Vermelho Escuro; LVA: Latossolo Vermelho Amarelo (ambos textura média ou argilosa); LR: Latossolo Roxo; LA: Latossolo Amarelo (textura argilosa a muito argilosa); PVA: Podzólico Vermelho Amarelo; TE: Terra Roxa Estruturada; AQ: Areia Quartzosa; Lat. Hi: Laterita Hidromórfica; Phi: Podzol hidromórfico.

Quimicamente a maioria dos solos são de baixa fertilidade, onde os teores de Ca+Mg raramente ultrapassam os 1,5 meq/100g para a região Amazônica (Tabela 117) e 1,0 meq/100g para a região dos Cerrados (Tabela 118). A saturação por alumínio, para a

grande maioria dos solos, de ambas as regiões, ultrapassa os 50% considerado tóxico para grande parte das culturas (Lopes, 1983). Os teores das bases estão abaixo do valor crítico para a nutrição das plantas e frutos, o qual juntamente com o elevado teor de Al representam os maiores empecilhos para o desenvolvimento radicular.

Tabela 117 - Principais características químicas e teor de argila de perfis de solos selecionados da região Amazônica.

Profundidade cm	Argila %	pH H ₂ O	C	Al	Ca	Mg	K	CTC	Al	P
			%			meq/100g		%	ppm	
Manaus – (AM) Latossolo Amarelo Álico (Typic Acrortox, argiloso, caulinitico, isohitérico)										
0-8	76	4,6	3,0	1,1	1,7	0,3	0,19	3,2	33	2
22-Aug	80	4,4	0,9	1,1		0,2	0,09	1,4	79	1
50-150	88	4,6	0,3	1,0		0,1	0,04	1,1	88	1
Santarém – (PA) Latossolo Amarelo álico, textura média (Haplortox)										
0-30	26	3,4	1,2	1,1	0,02	0,14	0,04	0,14	81	3
30-60	36	3,7	0,9	0,8		0,11	0,01	0,10	85	2
85-100	37	4,0	0,5	0,8		0,10	0,01	0,93	85	2
Purus – (AM) Latossolo Amarelo álico, argiloso (Allic Haplortox)										
0-10	41	3,5	2,7	2,2	0,43	0,02	0,11	2,9	80	4
30-Oct	51	3,9	1,0	1,6	0,18	0,17	0,04	2,1	80	2
50-100	67	4,2	0,4	1,2	0,18	0,14	0,02	1,5	77	1
Coari – (AM) Podzólico Vermelho Amarelo álico, média/argilosa (Allic Paleudult)										
0-5	16	3,0	6,0	6,5	0,12	0,33	0,20	7,2	90	6
25-May	27	3,2	1,2	6,4		0,22	0,06	6,7	96	2
80-110	47	3,9	0,3	6,2		0,14	0,03	6,4	97	-
Rio Branco – (Acre) Podzólico Vermelho Amarelo álico (Allic Paleudult)										
0-6	14	3,9	1,6	1,8	1,2	0,6	0,39	4,2	43	30
20-Jun	9	3,6	0,8	3,2	0,2	0,3	0,15	3,9	95	10
50-110	32	4,2	5,8	5,8	0,3	0,3	0,06	6,6	88	4
Ouro Preto – (RO) Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico (Ultic Tropudalf)										
0-12	18	6,5	1,3	0	6,5	1,6	0,31	8,4	0	6
Dec-32	22	6,3	0,9	0	2,6	1,6	0,24	4,4	0	-
70-112	34	5,7	0,2	0	5,0	1,9	0,28	7,1	0	-

Fonte: Demattê (1988).

Tabela 118 - Principais características químicas e teor de argila de perfis de solos selecionados da região dos Cerrados.

Profundidade cm	Argila %	pH H ₂ O	C %	Al Ca+Mg K			CTC	Al %	P ppm	V %	Ki
				meq/100g							
Cristalina – (GO) Latossolo Vermelho Amarelo álico muito argiloso (Typic Haplustox) ⁽¹⁾											
0-10	86	4,8	2,2	1,1	0,3	0,13	8,8	69	4	6	1,0
25-Oct	85	4,8	1,8	0,6	0,1	0,08	6,7	75	3	3	1,0
25-65	88	5,2	0,7	0,1	0,1	0,01	2,9	0	2	3	1,0
Cocalzinho – (GO) Latossolo Vermelho Escuro distrófico argiloso (Typic Acrustox) ⁽¹⁾											
0-25	63	4,0	1,8	0,7	0,7	0,09	7,0	47	6	11	0,8
50-80	66	4,7	1,0	0,2	0,1	0,04	3,5	50	2	7	0,9
Catalão de Goiás – (GO) Latossolo Roxo álico argiloso (Rhodic Acrustox) ⁽¹⁾											
0-25	47	5,3	1,4	0,5	0,2	0,03	7,0	71	4	3	1,2
50-80	51	5,2	1,0	0,2	0,1	0,01	4,2	67	2	2	1,2
Uberaba – (MG) Latossolo Vermelho Amarelo álico textura média (Quartzipsamment Acrustox) ⁽²⁾											
0-14	12	5,3	0,6	0,2	0,1	0,07	2,8	50	3	7	0,9
36-76	16	5,4	0,4	0,1	0,1	0,02	1,6	50	2	6	0,9
Uberlândia – (MG) Latossolo Vermelho Escuro álico muito argiloso (Typic Acrustox) ⁽²⁾											
0-13	76	4,8	1,9	1,0	0,1	0,11	8,1	83	3	2	1,2
30-55	76	5,2	1,1	0,3	0,1	0,06	4,8	53	2	2	1,2
55-100	78	5,2	0,7	0,1	0,1	0,06	3,4	70	2	3	1,1
Planera – (MG) Latossolo Roxo distrófico argiloso (Rhodic Acrustox) ⁽²⁾											
0-15	65	4,8	1,2	0,7	0,3	0,10	6,5	65	4	6	0,9
15-34	65	4,9	0,9	0,2	0,1	0,05	4,4	50	2	5	0,9
34-123	69	5,5	0,7	0,0	0,1	0,03	2,5	0	2	4	0,9

Fonte: (1) EMBRAPA (1983); (2) EMBRAPA (1982).

Em termos físicos domina em ambas as regiões solos de textura média a argilosa ou muito argilosa. Apesar da similaridade na classificação, os Oxisolos e Ultisolos da Amazônia apresentam algumas diferenças químicas e mineralógicas com os dos Cerrados. Os solos da Amazônia são menos intemperizados do que os dos Cerrados cuja fração argila é constituída por óxidos de ferro e gibbsita, enquanto, que na Amazônia há dominância de caulinita (Figura 103). O índice Ki para os Oxisolos da Amazônia está na faixa de 1,5 a 2,0, enquanto, que os dos Cerrados está abaixo de 1,5. Além deste aspecto, os solos da Amazônia são mais ácidos e apresentam teores de Al e CTC mais elevados do que os solos dos Cerrados, tanto na superfície como na subsuperfície (Figura 104).

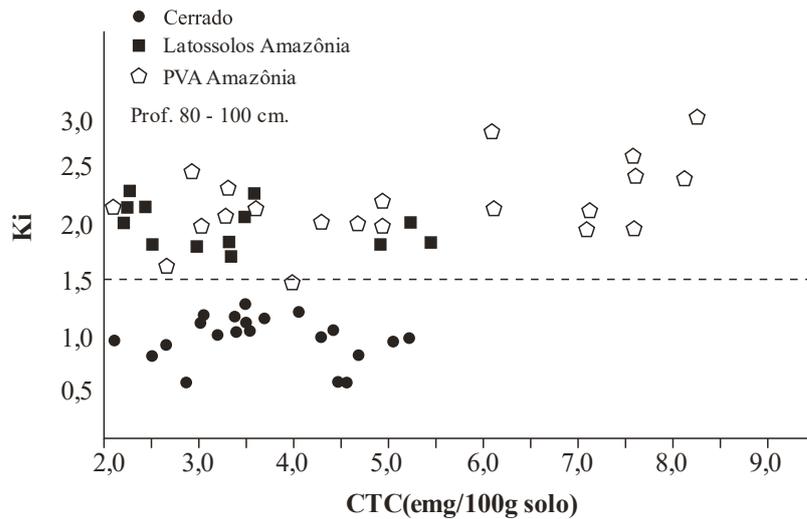


Figura 102 - Relação entre K_i e a CTC dos solos argilosos das regiões estudadas e entre os Latossolos e os PVA da Amazônia na profundidade 80-100 cm. **Fonte:** Demattê & Demattê (1993).

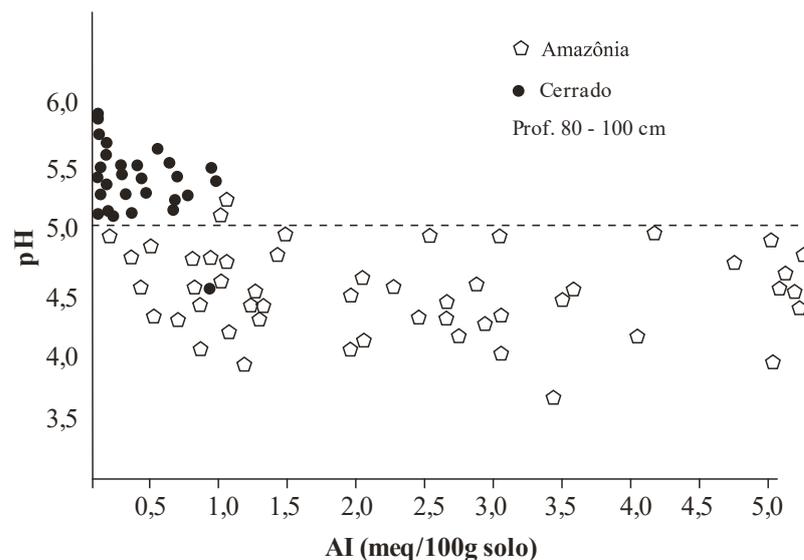


Figura 103 - Relação entre o pH e o teor de Al trocável em meq/100g das duas regiões, na profundidade 88-100 cm. **Fonte:** Demattê & Demattê (1993).

Em relação as frações mais grosseiras, a composição mineralógica é bastante simples para os solos bem drenados como os Latossolos e Podzólico vermelho amarelo (PVA) que apresentam dominância de quartzo. Nos solos podzolizados de argila de alta atividade, além do quartzo, há ocorrência de plagioclásios e microclinas (Demattê, 1988).

Em condições oxidantes, as mais comuns nas regiões estudadas, os óxidos de ferro, hematita e goethita são os produtos mais estáveis. Melfi et al. (1979) distinguiram diversas coberturas pedológicas. A saber:

Cobertura pedológica goethítica

Solos unicamente com goethita, são representados pelos Latossolos Amarelos, dominantes na região Amazônica. Solos com goethita e hematita associados. Tem-se nesta categoria os solos claros plínticos disseminados na Bacia Amazônica sobretudo ao longo do vale do Rio Amazonas e nas partes deprimidas do Alto Araguaia e Alto Xingu. Solos com goethita nos horizontes superiores, e hematita, nos horizontes inferiores (horizontes mais avermelhados) é progressivamente substituída pela goethita nos horizontes superiores (horizontes mais amarelados). A área de ocorrência deste caso é pequena na Amazônia, os solos são Brunos.

Cobertura pedológica hematítica

Solos unicamente com hematita. Pouco comum na Amazônia, mas comum nos Cerrados, restrito nas áreas de rochas básica, e intermediária dando as Terras Roxas e os Latossolos Vermelho Escuros. Solos como hematita e goethita associados. A hematita é o óxido dominante, estando, porém, associado a proporções variáveis de goethita. Ocorrem principalmente nos Latossolos Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo, este último comum na região Amazônica e no Latossolo Vermelho Amarelo dos Cerrados.

17.3 Fatores limitantes ao uso agrícola

Solos com deficiência em fósforo são encontrados na grande totalidade, em ambas as regiões, na faixa de 90% (Tabela 119). A toxidez de alumínio e o baixo teor de potássio são fatores também limitantes, na faixa de 75%. As bases cálcio e magnésio apresentam deficiências em 70% dos solos da Amazônia e 76 e 90%, respectivamente, na região dos Cerrados. É digno de nota que 7% das terras de ambas as regiões não apresentam limitações quanto ao uso agrícola. Deficiências de micronutrientes têm sido relatados na região dos Cerrados (Lopes & Fox, 1977), como na Amazônia (Cravo & Smyth, 1991). As limitações quanto as condições hídricas para culturas semi-perenes e perenes são mais severas principalmente na região dos Cerrados. Tais restrições estão associadas ao regime

ústico de umidade do solo, porém, salientar que em se referindo a cultivos anuais a restrição hídrica cai praticamente para zero.

Solos com drenagem restrita e áreas com elevado risco de inundação, são representados por 24% e 12% da região Amazônica e Cerrados, respectivamente. Tais áreas incluem solos aluviais (várzeas) e terraços elevados, porém com drenagem restrita. Muitas dessas várzeas, entretanto, não são severamente castigadas por inundações, sendo, portanto, propícias para a produção de alimentos.

Aproximadamente 55% da Amazônia e 97% dos Cerrados apresentam solos com baixa capacidade de troca efetivo com valores inferiores a 4 emg/100g de terra. Aparentemente valores como estes ao invés de serem considerados maléficis, devido a maior lixiviação, podem ser considerados benéficos. As razões seriam as seguintes: A translocação parcial de bases em profundidade pode aumentar o volume de exploração radicular como tem sido comentado por diversos pesquisadores em outras regiões (Morelli et al, 1991); as correções da acidez, necessitam de menor quantidade de corretivos.

Praticamente 8 a 10% dos solos das regiões Amazônica e dos Cerrados possui elevado potencial para erodir. Este baixo percentual é devido ao fato de que grande parte da área possui relevo plano a suave ondulado (Sanchez & Cochrane, 1980; Adamoli et al, 1986), e devido a estrutura favorável de muitos Oxisolos para a drenagem interna das águas. Grande parte dos solos de alta erodibilidade estão localizados em relevo declivoso, ou fazendo parte dos solos arenosos. Quanto aos alfissolos e Ultissolos com gradiente textural, adequadas práticas de manejo podem reduzir sensivelmente os riscos de erosão.

Outros fatores limitantes que devem ser levados em consideração principalmente na região Amazônica se referem ao elevado potencial de ervas daninhas existentes na região é a falta de mão-de-obra.

Tabela 119 - Fatores limitantes ao uso agrícola das regiões Amazônica e dos Cerrados.

Características limitantes	Região Amazônica ⁽¹⁾ Inclusive outros países	Brasil Central Cerrado ⁽²⁾
Química		
Deficiência de fósforo	96	92 ⁽²⁾
Deficiência de potássio	77	85 ⁽²⁾
Toxidez de Alumínio	73	78 ⁽²⁾
Deficiência de enxofre	72	-
Deficiência de Ca	70	76 ⁽²⁾
Deficiência de Mg	70	90 ⁽²⁾
Fixação de fósforo	65	-
Deficiência de Zn	62	95 ⁽²⁾
Deficiência de Cu	30	70 ⁽²⁾
Baixa CTC	55	97 ⁽²⁾
Sem grandes limitações	7	6 ⁽³⁾
Física		
Baixa retenção de umidade	56	65 ⁽³⁾
Drenagem pobre de risco inundação	24	12 ⁽³⁾
Estresse de seca (> 3meses) – para cultura semi-perene, perene	53	95 ⁽³⁾
- Para cultura anual	0	0
Solos rasos	8	7 ⁽³⁾
Áreas declivosas (> 30%)	6	5 ⁽³⁾
Endurecimento da laterita	4	6 ⁽³⁾
Textura arenosa até 2 m	5	15 ⁽³⁾
Erodibilidade	8	10 ⁽⁴⁾

Fonte (1):Modificado de Sanches & Cochraine (1980); (2): Lopes (1983); Adamoli et al., (1986); (4): EMBRAPA (1982).

17.4 Métodos de limpeza do terreno

É consenso entre os técnicos, pesquisadores, assim como de agricultores esclarecidos de que a escolha do método adequado de limpeza, assim como a sua

execução, é sem dúvida o primeiro e talvez o passo mais importante que poderá afetar a futura produtividade da área, assim como a dinâmica de nutrientes.

Dentre o conjunto de fatores que pode afetar a dinâmica dos nutrientes, pode-se citar os métodos de limpeza do terreno e as práticas de manejo após a limpeza. Após a retirada da floresta, uma série de mudanças se processam tanto na superfície como na subsuperfície do solo. Como exemplo, cita-se as alterações do clima do solo no que tange ao aumento da temperatura, a redução na disponibilidade da água e na amplitude térmica. Diniz & Bastos (1980) indicaram que na profundidade de 10 cm do solo a variação da temperatura máxima entre 9 e 15 horas foi de 25 a 26°C no solo com floresta e de 24 a 33°C para o solo desnudo.

As alterações químicas são também acentuadas, principalmente a disponibilidade de nutrientes que decrescem rapidamente nas áreas de cultivo (Sanchez et al., 1983), queda menos acentuada nas áreas de pastagem (Serrão et al. 1979) e menor ainda no reflorestamento (Russel et al., 1983).

17.5 Uso do fogo como meio de limpeza da área

O uso do fogo é controverso. Aliado a controvérsia do uso do fogo na limpeza do terreno ele impacta sobremaneira nas questões climáticas. O objetivo neste tópico é ilustrar as questões ligadas ao solo. Em resumo, deve-se evitar ao máximo o uso da prática. Procedimento: remoção de madeira de valor econômico; derrubada mecânica ou manual; uso do fogo; enleiramento; uso de carvão nas leiras; queimada das leiras; espalhamento das leiras com máquina; uso de máquinas para remoção de raízes, grades pesadas.

Numa queimada de floresta tropical a temperatura do ar a 2 cm da superfície do solo pode atingir 450 a 500 C. No solo há um decréscimo da temperatura na razão de 100 C por cada centímetro de profundidade dentro dos primeiros 5 cm (Sanchez, 1976). A partir desta profundidade não há alteração significativa da temperatura. A temperatura atingida na queimada de uma letra é alta. Apesar deste fato, é bem conhecido a ação benéfica da maior quantidade de cinzas das leiras, onde normalmente a produtividade é maior.

Após a remoção da cobertura vegetal (com ou sem o uso do fogo) há aumento da temperatura do ar e do solo. No sul do Para e na profundidade de 10 cm do solo a variação da temperatura máxima entre 9 e 15 horas foi entre 25 e 26 C para o solo florestado e de 24 a 38 C para o solo desnudo.

Há alteração do regime de umidade do solo, com as chuvas atingindo a superfície do solo com maior intensidade, reduzindo a infiltração e aumentando a erosão.

É largamente difundido o fato de que a queima da mata causa a deterioração das propriedades físicas do solo. As evidências, entretanto, tem demonstrado que tal efeito é dependente das propriedades dos solos. Em solos argilosos houve inclusive aumento da infiltração em área com fogo quando comparado com áreas sem o uso do fogo. Entretanto em solos arenosos é possível a formação de crostas superficiais devido a depauperação da estrutura. A textura dos solos não se modifica com o fogo.

Em relação as propriedades biológicas do solo com o uso do fogo ele pode alterar e provocar mudanças significativas na microflora do solo. Após um fogo de intensidade alta, onde a vegetação e a serrapilheira são destruídos, os microrganismos do solo possuem novas condições a saber: aumento na fonte de carbono através das raízes profundas e material residual do fogo; condições de crescimento e reprodução mais favorável devido ao aumento da temperatura e umidade motivado pela remoção da cobertura florestal; faixa de pH mais favorável devido a ação das cinzas, que tendem a aumentar este valor; maior quantidade de nutrientes disponível na forma iônica, também devido a ação das cinzas.

Tais fatores agindo em conjunto favorecem a multiplicação acentuada dos microrganismos, imobilizado grande quantidade de N, reduzindo assim suas perdas.

Estudos realizados por Silva (1978) na Bahia informa sobre diferenças não significativas causadas por vários graus de queima na flora de fungos. Neste mesmo trabalho verificou que com o tempo não haver diminuição na produção de bactérias e actinomicetos durante os primeiros 30 dias após uma queima considerável (Figura 104). Com a derrubada e queima da mata a taxa de decomposição da celulose aumentou acentuadamente, se mantendo em taxa crescente até os 75 dias após queima

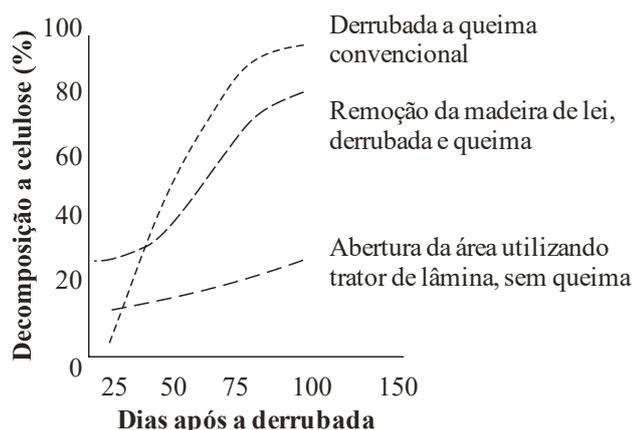


Figura 104 - Efeito da queimada sobre a atividade microbiológica medida pela taxa de decomposição de celulose em função do tempo após o corte da floresta, sul da Bahia. (Fonte: SILVA, 1988).

Tais pesquisadores trabalharam também em relação ao número de microrganismo, bactérias, actinomicetos e fungos antes e após fogo, ao longo do tempo, de março de 1980 a dezembro de 1981. O trabalho de contagem foi efetuado em três profundidade do solo, a saber: 0-2cm, 2-4 cm e 4-6 cm antes e após a queima. Em relação as bactérias notam-se que no primeiro mês, março, a 0-2 cm de profundidade, a quantidade de bactéria na área queimada foi ligeiramente inferior a área não queimada, porém a diferença não foi significativa. Nas demais profundidades, não houve diferenças entre os tratamentos. Em abril e setembro, e na profundidade 0-2 cm, a quantidade de bactérias na área queimada foi significativamente maior. Nas demais profundidades não houve diferença. Em fevereiro e outubro de 1981, em todas as profundidades não houve diferenças entre os tratamentos. O menor número de bactérias observado neste período se deve ao período seco.

Quanto aos actinomicetos e fungos a tendência foi a mesma em relação as bactérias, ilustrando com isso o fato de que a ação do fogo, nos microrganismos do solo, não tem sido tão prejudicial como se preconiza.

Em relação a mesofauna a ação do fogo tem sido bem mais prejudicial (Tabela 120). Note que dentro do elenco da mesofauna na floresta primária, das 20 espécies, apenas 7 foram reconhecidas após o fogo. Entretanto, após 6 anos com postagem, houve uma regeneração parcial desta mesofauna, com 14 espécies.

Tabela 120 - Grupos mesofauna presentes nos ecossistemas de floresta primária, floresta queimada e pastagem com 6 anos, em áreas de 300 cm².

Grupos faunísticos	Ambientes estudados		
	Floresta primária	Floresta queimada	Pastagem com 6 anos
Collembola	X	X	X
Protura	X	-	X
Diplura	X	-	X
Coleoptera	X	X	X
(adulto)			
Coleoptera (larva)	X	X	X
Homoptera	X	X	X
Hemiptera	X	X	-
Isoptera	X	-	-
Formicidae	X	-	X
Acari	X	X	X
Pseudoscorpionida	X	-	X
Araneida	X	-	X
Isopoda	X	-	X
Copepoda	X	-	-
Pauropoda	X	-	X
Diptera	X	X	X
Symphyla	X	-	X
Polychaeta	X	-	-
Mollusca	X	-	-
Lumbricidae	X	-	-
Nº de grupos	20	7	14

X = presente e - = ausente. Fonte: TEIXEIRA & SCHUBART (1988).

A absorção de nutrientes pelas plantas, quando o fogo dizima a vegetação, não ocorrerá até que nova vegetação se estabeleça, ou natural ou com novo plantio. Se a revegetação for rápida o potencial de perdas de nutrientes após o fogo será reduzido e o mecanismo de imobilização permanece praticamente inalterado. Entretanto se a

vegetação for retardada por algum motivo, demora no plantio por exemplo, grandes perdas de nutrientes ocorrerão devido a lixiviação e erosão, como já foi visto anteriormente, assim como está ilustrado na Figura 105.

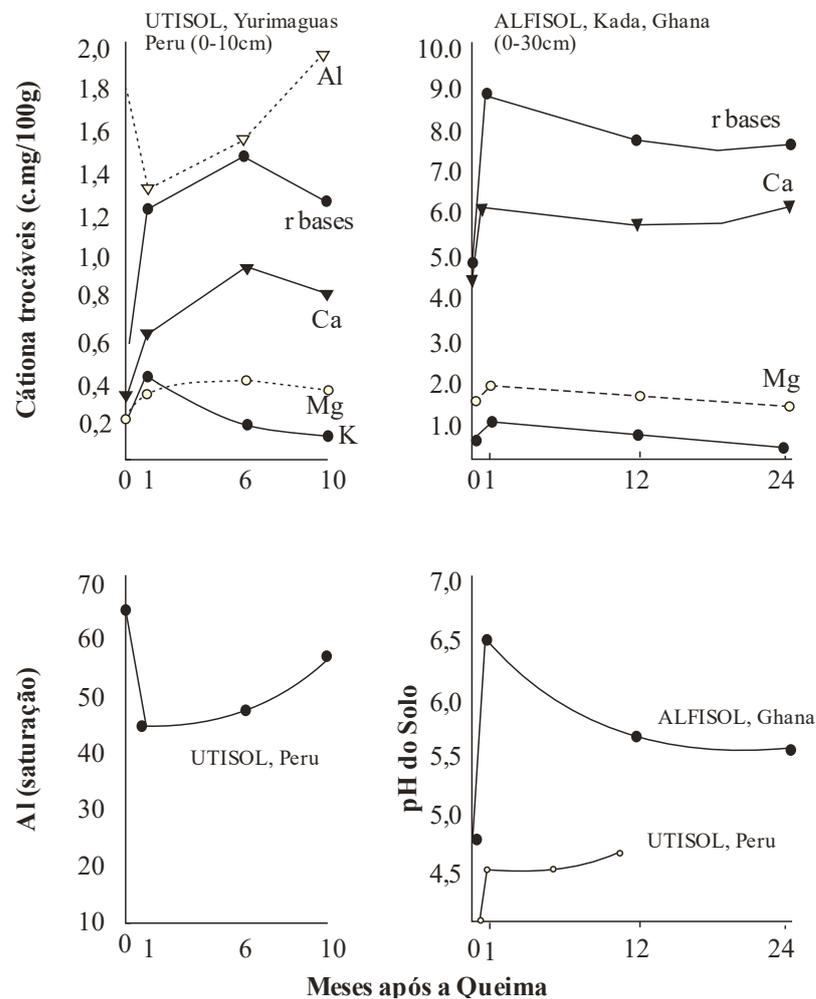


Figura 105 - Dinâmica das bases trocáveis e acidez do solo após a derrubada e queima da floresta em Ultisol de Yurimáguas, Peru, e Alfissol de Ghana. (Fonte: SANCHES & SALINAS, 1983).

17.6 Procedimento de limpeza sem usar o fogo

Os procedimentos são os seguintes: remoção de madeira de valor econômico; remoção de madeira com a finalidade de transformar em carvão; derrubada do restante da floresta, manual ou mecânica, deixando secar. A quantidade de material remanescente é variável, ficando em tomo de 300 a 400 t/ha. A questão que vem à tona neste estágio e

que devem ser analisadas com muito rigor seriam o custo da retirada deste material (caminhão basculante havendo necessidade de 20 a 26 viagens) assim como o local de deposição deste material. O restante do material que eventualmente ainda ficou é enleirado ou enterrado para manter a área limpa.

Nos processos de limpeza a serrapilheira será parcial ou totalmente removida do sistema. Nas operações de preparo do solo, gradeação e demais operações, o material é incorporado ao solo, o que irá imobilizar parcialmente o nitrogênio mineral existente. A fertilidade do solo que já em muito baixa continua baixa, pois não houve nenhuma alteração que justificasse a melhoria do sistema. Pelo contrário, o solo pode empobrecer ainda mais por uma razão bastante simples: como a fertilidade é muito baixa o tempo para que a cultura (ou a pastagem) se instale e proteja o solo contra a erosão e lixiviação é grande, bem maior se o solo fosse mais fértil. Todos os nutrientes existentes na biomassa, inclusive o nitrogênio e enxofre, são removidos do sistema.

17.7 Métodos de limpeza com e sem fogo

É fato bastante conhecido de que a limpeza da área usando o método tradicional de derrubada com machado e queima ou derrubada e limpeza com máquina, sem queima, apresenta uma tendência de queda de produtividade ao longo do tempo principalmente na área sem fogo se fertilizantes não forem utilizados (Salinas, 1978; Sanchez, 1985; Alegre et al., 1986; Benitez & Nureña, 1985; 1986; Lal, 1986).

Rendimentos relativos de cinco culturas consecutivas, (Tabela 121) tem indicado que no tratamento de lâmina KG + queima, grade pesada, teve o mesmo rendimento do que o “corte manual e queima”, em torno de 28% da produção máxima. Utilizando-se fertilizantes, os rendimentos aumentaram sensivelmente para todos os tratamentos. Novamente o tratamento “Lâmina KG + queima + grade” teve também um desempenho semelhante ao tratamento “corte manual e queima”. O pior tratamento foi de Lâmina reta sem queimar.

Tabela 121 - Efeito dos métodos de preparo do terreno e de manejo após limpeza, na produção relativa de cinco culturas consecutivas, após limpeza de uma floresta secundária de 25 anos em um Ultisol, Yurimáguas, Peru.

Método de limpeza	Sem preparo e sem fertilizante	Com preparo e com fertilizante
	Produção máxima acumulada (1)	
	%	
Corte manual e queima	27	93
Lâmina reta (buldôzer)	7	47
Lâmina KG	14	65
Lâmina KG + queima + grade pesada	28	89

(1): Produtividade máxima de cinco culturas consecutivas em t/ha: arroz sequeiro – 4,0; soja – 2,3; milho – 5,2; arroz sequeiro – 2,5; milho – 3,3.

Fonte: Alegre (1985).

Além das variações na fertilidade do solo, os métodos de limpeza tendem a alterar uma série de propriedades físicas, entre elas a infiltração da água em mm/hora e a densidade do solo g/cm^3 e o diâmetro médio em milímetro (Tabela 122). Tais resultados indicam que houve alterações nestes índices ilustrando que as práticas tendem a compactar o solo.

Tabela 122 - Efeitos dos métodos de limpeza do terreno nas propriedades físicas e carbono orgânico da superfície do solo em cultivo contínuo em um Ultisol, Yurimáguas, Peru.

Método de limpeza	Meses após limpeza nº	Infiltração mm/hora	Massa Específica g/cm ³	Diâmetro médio mm	C orgânico %
Antes da limpeza	0	324	1,16	0,48	1,04
Corte manual e queima	3	204	1,27	0,42	1,05
Lâmina (Bulldôzer)	3	14	1,42	0,29	0,82
Lâmina KG	3	22	1,28	0,36	0,87
Corte manual e queima	23	107	1,32	0,38	1,03
Lâmina (Bulldôzer)	23	15	1,42	0,36	1,02
Lâmina KG com disco	23	110	1,32	0,36	0,89

Fonte: Alegre (1985).

17.8 Propriedades químicas do solo com o uso do fogo

No processo de queima há incorporação de nutrientes através das cinzas como em Manaus com 9,2 t/ha de cinzas enquanto no Peru foi de 12,0 t/ha. Isto se deve a diferença no porte das vegetações destas duas regiões, maior no Peru. No caso de Manaus a incorporação de fosforo foi muito pequena ficando evidente, a baixa quantidade deste elemento nos solos amazônicos. Entretanto, a maioria dos resultados obtidos nesta região tem indicado que ao longo do tempo, 12 a 15 meses após a queima, os níveis de nutrientes decrescem

Quanto a dinâmica dos nutrientes e demais atributos químicos do solo ao longo do tempo em tratamentos com e sem uso do fogo, tem sido estudado por diversos pesquisadores, principalmente em Yurimáguas no Peru e em Manaus. Lopes et al. (1987), comparou a dinâmica de nutrientes obtido num Latossolo Amarelo argiloso, caulínítico de Manaus (Smyth & Bastos 1984) com os dados de um Podzólico Vermelho-amarelo de textura areia sobre média, de Yurimáguas (Sanchez et al., 1983) ao longo de 40 meses.

A disponibilidade do fósforo aumentou acentuadamente no caso do PVA logo após a queima, devido a influência das cinzas, da textura mais arenosa, da biomassa e dos elementos mineralógicos 2:1, passando de 6 para 17 ppm de P, mantendo-se neste patamar até o sexto mês, decrescendo a partir daí (Figura 106). No caso do LA (76% de argila) de

Manaus, o aumento na disponibilidade do fósforo foi bem menos acentuado, porém decrescendo após o tempo

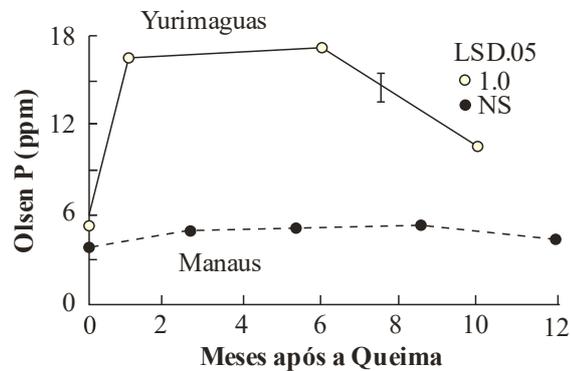


Figura 106 - Acúmulo de Fósforo (Método de Olsen modificado) em um Typic Paleudult em Yurimáguas, Peru, e um Typic Acrorthox em Manaus, Brasil. **Fonte:** Sanchez et al (1983), Smyth & Bastos (1984).

Quanto as diferenças nos teores de C e N (Figura 107) dos dois solos, maiores para o LA, estão relacionados a textura mais arenosa em Yurimaguas e bem mais argilosa em Manaus. Deve-se entender que após a retirada da mata, o clima do solo muda acentuadamente, com aumentos na temperatura na redução na disponibilidade de água e na variação da amplitude da temperatura.

Tais características alteram a taxa de decomposição da matéria orgânica havendo queda no teor de matéria orgânica no solo. Convém frisar, que tal queda é inevitável em situações como está com a remoção da mata. Ao longo do tempo o solo tende a novo equilíbrio da matéria orgânica.

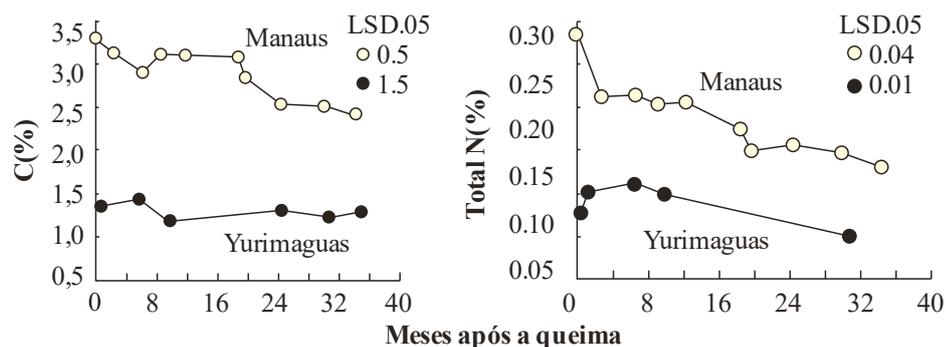


Figura 107 - Porcentagem de carbono e nitrogênio total em um Typic Paleudult em Yurimáguas, Peru, e um Typic Acrorthox em Manaus, Brasil. **Fonte:** Sanchez et al. (1983), Smyth & Bastos (1984).

Embora a queima elimine grande parte do carbono orgânico presente na vegetação assim como do nitrogênio e do enxofre, ela tem pouco efeito na matéria orgânica do solo. Contrariamente a crença popular, a queima controlada não destrói a matéria orgânica do solo, resultados estes comprovados por diversos pesquisadores entre eles o de Hernani et al. (1987) e Morris et al. (1981).

Tais pesquisadores determinaram a quantidade de N até 45 cm de profundidade do solo e obtiveram 783 kg/ha e na mata com queima inclusive a serapilheira foi de 1.303 kg/ha. A ação do fogo tende a eliminar o N que não está no solo, da mesma maneira que também seria perdido se não fosse utilizar o fogo.

Numa série de trabalhos de diversos pesquisadores em relação aos efeitos da queima nos teores de C e N total do solo verificaram relação ao C orgânico que os teores antes da queima e após a queima não são muito diferentes. Em alguns casos o teor de carbono após queima é superior ao teor antes da queima devido as cinzas. Quanto ao N total no solo os teores após queima são, na maioria das vezes, mais elevados. Em relação a mineralização do nitrogênio em áreas queimadas e não queimadas foi observado que as maiores modificações se processaram na camada superficial do solo (0-2 cm). As transformações nesta profundidade se estendem ao longo do tempo, no caso 1 ano de observação, com valores significativos do aumento da mineralização do N com o fogo.

Tabela 123 - Teores de nitrogênio na floresta e no solo ate 0-45 cm.

Componentes	N total (Kg/ha)	Proporção (%)
Folhas	72	3,5
Galhos	264	12,7
Raízes	834	40,0
Liter	52	2,5
Madeira Morta	80	3,8
Solo		
0 – 20 cm	715	34,3
20 – 40 cm	70	3,4
40 – 45 cm	0	0,0
TOTAL	2.087	100,0

Fonte: (Herrera e Jordan. 1984).

A dinâmica do pH, alumínio trocável e a saturação de alumínio com o fogo significa que houve aumento no caso do pH e decréscimo do alumínio e saturação de alumínio, porém logo em seguida aumentando se não forem utilizados químicos (Figura 108).

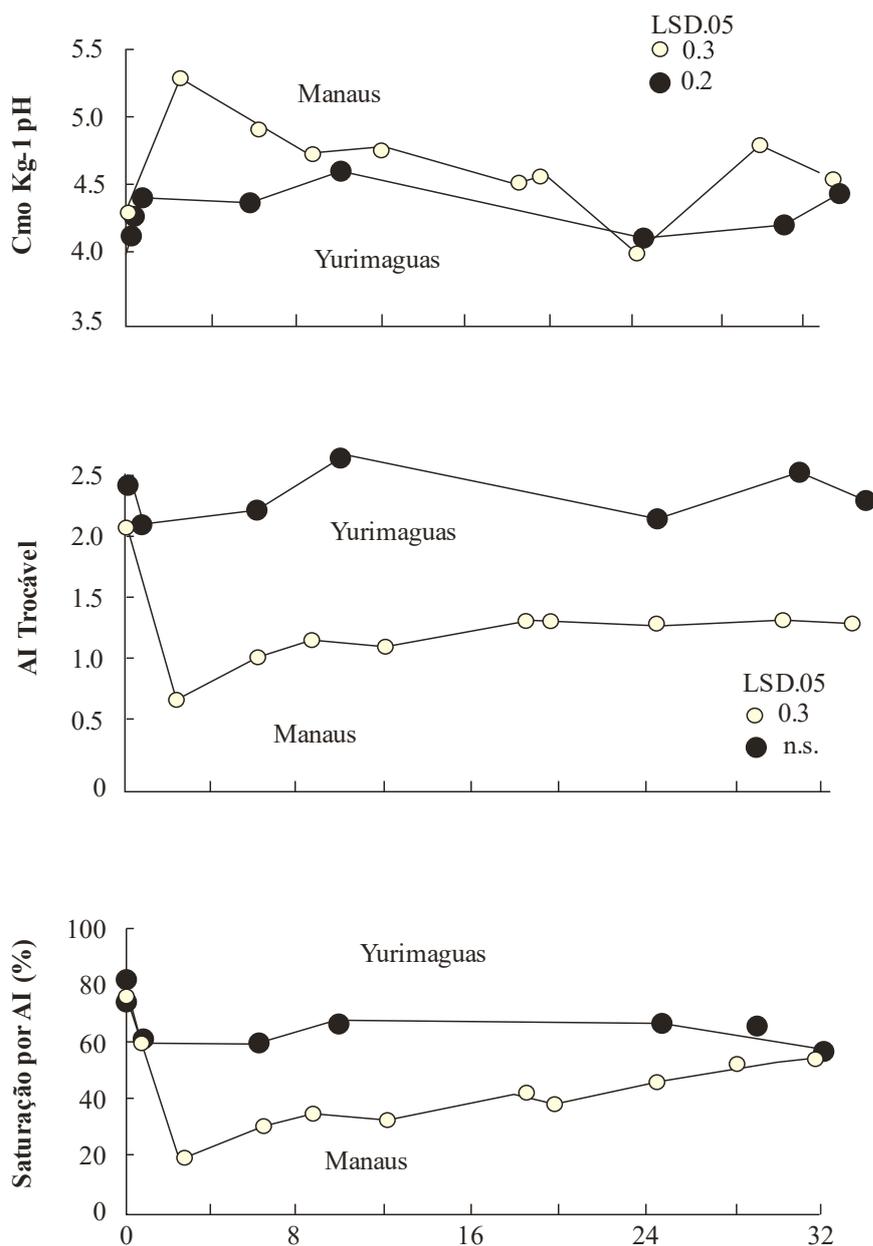


Figura 108 - Nível de acidez, do solo em um Typic Paleudult em Yurimáguas, Peru, e em um Typic Acrorthox em Manaus, Brasil. **Fonte:** Sanchez et al (1983), Smyth & Bastos (1984).

A dinâmica das bases ao longo do tempo tende a seguir a mesma tendência, ou seja, aumento inicial devido a ação das cinzas, principalmente para o K e Mg, com redução gradativa ao longo do tempo. Se não houver reposição de tais bases, o sistema após os 32 meses tende a estar nos mesmos níveis iniciais, antes do fogo, principalmente para o K e Mg (Figura 109).

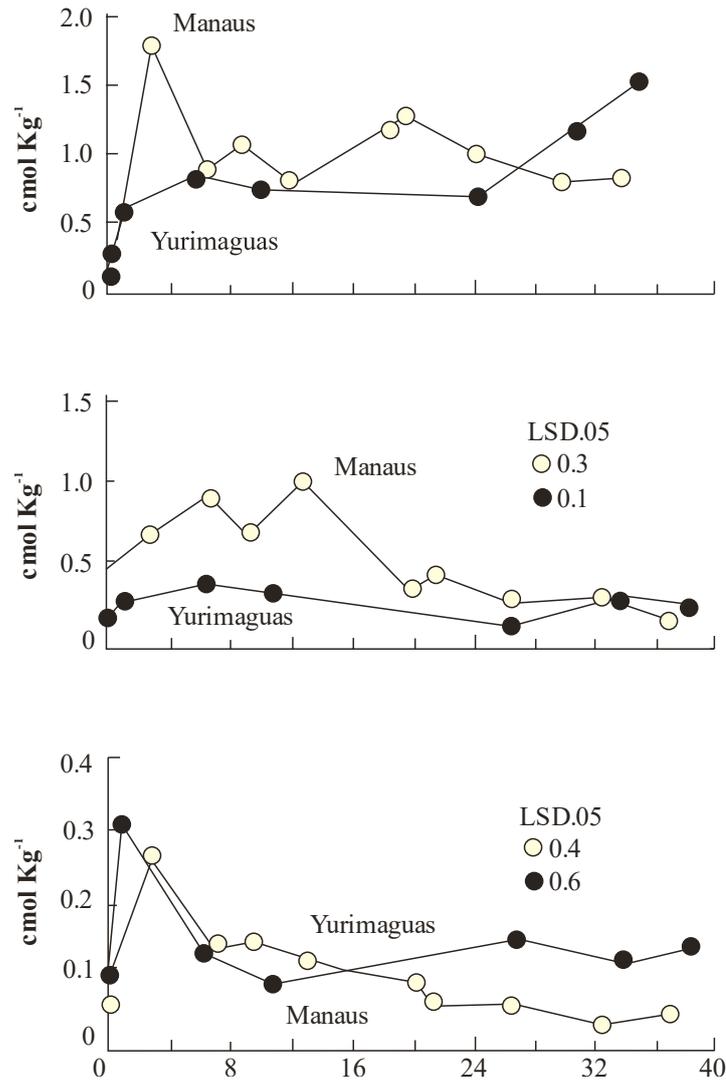


Figura 109 - Bases Trocáveis para um Typic Paleudult em Yurimáguas, Peru, e um Typic Acrorthox em Manaus, Brasil. **Fonte:** Sanchez et al (1983), Smyth & Bastos (1984).

As deficiências dos nutrientes em relação ao percentual ao longo do tempo são ilustrados na Tabela 124 As deficiências para o N, alumínio tóxico e Cu foram mais comuns no Oxisol, enquanto, que o Mg e o P foram mais comuns no Ultisol.

Tabela 124 - Comparação da sequência de limitação química durante 35 meses de cultivo intensivo em Oxisolo do Brasil e Ultisolo do Peru dos trópicos úmidos.

	Primeira limitação ocorrente (meses depois de queimar)	
	Oxisolo ¹	Ultisolo ²
	Manaus, Brasil	Yurimáguas, Peru
Deficiência de N ³	28	6
Alumínio tóxico	18	1
Deficiência Mg	3	12
Deficiência de K	9	4
Deficiência de P	1	10
Deficiência de S	-	6
Deficiência de Cu	28	1
Deficiência de B	-	6

1. Adaptado de Smyth & Bastos (1984). 2. Dados de Sanchez et al. (1983). 3. Deficiência de N relatado após um longo período de cultivo de legumes.

17.9 Sistemas de manejo e a sustentabilidade da fertilidade

A abordagem de um tema como este deve ser feita, analisando os atributos do solo ao longo do tempo e de acordo com as principais opções de manejo que se tem conhecimento e que estão sendo usados ou introduzidos ou sugeridos para a região Amazônica.

Como se observou, a grande totalidade dos solos destas duas regiões apresentam na baixa fertilidade, sendo os fatores mais limitantes ao uso agrícola. Entretanto, os Oxisolos da Amazonia são solos de argila de baixa atividade apresentam um sistema mineralógico em profundidade com delta pH pouco negativo ou mesmo positivo assim como o químico representado pela baixa CTC que aceitam muito bem uma recuperação química em profundidade. Reside neste ponto a grande vantagem destes solos, e as práticas de manejo devem ser direcionadas para este objetivo.

Sanchez & Benites (1983) sugerem algumas alternativas de manejo para a Amazônia e que podem perfeitamente ser aplicadas a outras regiões tropicais, (Tabela 125).

As várzeas “baixas” são praticamente inundadas todos os anos, porém, as “altas” são inundadas em períodos menos frequentes. As várzeas baixas são representadas principalmente pelos Aquepts, Aqualfs, Udalfs ou, em alguns casos, Udols, todos eles com elevada fertilidade natural. As várzeas são formadas pela contribuição de material de origem rico em nutrientes vindo das regiões de montanhas, como os Andes. Martinelli et al. (1993) estudando solos de várzea do rio Amazonas numa extensão de aproximadamente 1.700 km, verificaram serem elas de elevada fertilidade, com saturação por bases acima de 80% e capacidade de troca com valores entre 10 e 20 emg/100g de terra, bem superior à dos Oxisols e Ultisols.

Quanto as “terras firmes” representados principalmente pelos Oxisolos e solos podzolizados os autores sendo possível de ser ocupados com culturas de alto e baixo de investimento, pastagens, reflorestamento, sistemas agroflorestais. Seria adicionado Reservas Indígenas, Parques Ecológicos assim como áreas inundáveis, áreas montanhosas para preservação da flora e fauna.

Tabela 125 - Opção de manejo para a região Amazônica de acordo com as unidades de relevo e solos.

Unidades de relevo	Tipo de solo	Opções de manejo
Várzea	Aquent/Aquept	Culturas com alto nível de investimento
- Baixa		Culturas com baixo nível de investimento
- Alta (Restingas)	Aquept/Aqualf/Udalf/Udol	Sistema agroflorestal
Terra Firme		Pastagens (búfalos)
Terraços elevados (0 – 8%)	Oxisolos e Ultisolos	Culturas com alto nível de investimento
		Culturas com baixo nível de investimento
		Pastagens
		Sistema agroflorestal
		Reflorestamento
Colinas (15 – 30%)	Ultisolo/ Inceptisol	Pastagens
		Sistema agroflorestal
		Reflorestamento
		Preservação flora/fauna
Montanhas (> 30%)	Entissolo/ Inceptisol	Preservação flora/fauna
		Sistema agroflorestal

Fonte: Adaptado de Sanchez (1985).

Na região Amazônica possui em torno de 24,8 milhões/ha de várzea consideradas aptas para a exploração com culturas anuais (Cravo & Smyth, 1991). Devido a boa fertilidade natural destes solos e sua proximidade com os rios, esforços devem ser dirigidos para a sua utilização com culturas irrigadas, principalmente o arroz. Esta cultura é uma das boas opções de manejo, principalmente devido a estabilidade das produções em sistema de irrigação com produções anuais de cinco colheitas com valores variando de 12,0 a 15,2 t/ha.

Entretanto, é necessário entender que a variabilidade de solos aluviais nesta região é muito grande e devido a este motivo é necessário identificá-los adequadamente e conduzir experimentos. Por outro lado, devido as próprias características dos solos aluviais serem periodicamente fertilizados, permite uma sustentabilidade da produtividade muito longa, mesmo em situações adversas. Com nível de manejo elevado é possível explorar ainda melhores tais áreas, como é o caso do Projeto Formoso no Estado do Tocantins.

17.10 Agricultura com alto nível de investimento

É bastante comum a crença de que o cultivo contínuo é um fator de degradação da fertilidade de solos, principalmente na região Amazônica. Entretanto, os resultados obtidos por muitos autores têm demonstrado exatamente o contrário.

Sanchez et al. (1983) reuniu resultados (Tabela 126) a respeito das variações das propriedades dos primeiros 15 cm de solo da Estação Experimental em Yurimáguas, no Peru. Os experimentos testados são de longa duração (94 meses), num total de 20 colheitas consecutivas.

Tabela 126 - Variações das propriedades do solo com floresta, e após 94 meses de intenso cultivo; com 20 colheitas de arroz-milho-soja, com adição de corretivos e fertilizantes em Ultisol de Yurimáguas, Peru.

Propriedades químicas do solo	Antes da limpeza Sep-72	94 meses após a limpeza May-80
pH (1:1 água)	4,0	5,7 (*)
Matéria orgânica %	2,13	1,55 (*)
Al trocável, emg/100g	2,27	0,06 (*)
Ca trocável, emg/100g	0,26	4,98 (*)
Mg trocável, emg/100g	0,15	0,35 (*)
K trocável, emg/100g	0,10	0,11 (**)
CTC efetiva, emg/100g	2,76	5,51 (*)
% alumínio	82	1 (*)
P disponível ppm	5	39 (*)
Zn disponível ppm	1,5	3,5 (**)
Cu disponível ppm	0,9	5,2 (*)
Fe disponível ppm	650	398 (*)
Mn disponível ppm	5,3	1,5 (*)

(*): Significância ao nível de 0,05;

(**): Não significante.

Neste experimento os pesquisadores observaram que o pH da superfície do solo neste intervalo de tempo aumentou de 4.0 (muito ácido) antes da remoção da floresta, para uma faixa favorável de 5,7. Logo após o efeito da queimada o pH atingiu valor de 6,2 decrescendo depois ao longo dos anos atingindo valores mais baixos, em torno de 5,0 no terceiro ano. Neste ano e no seguinte, houve aplicação de calcário fazendo com que o

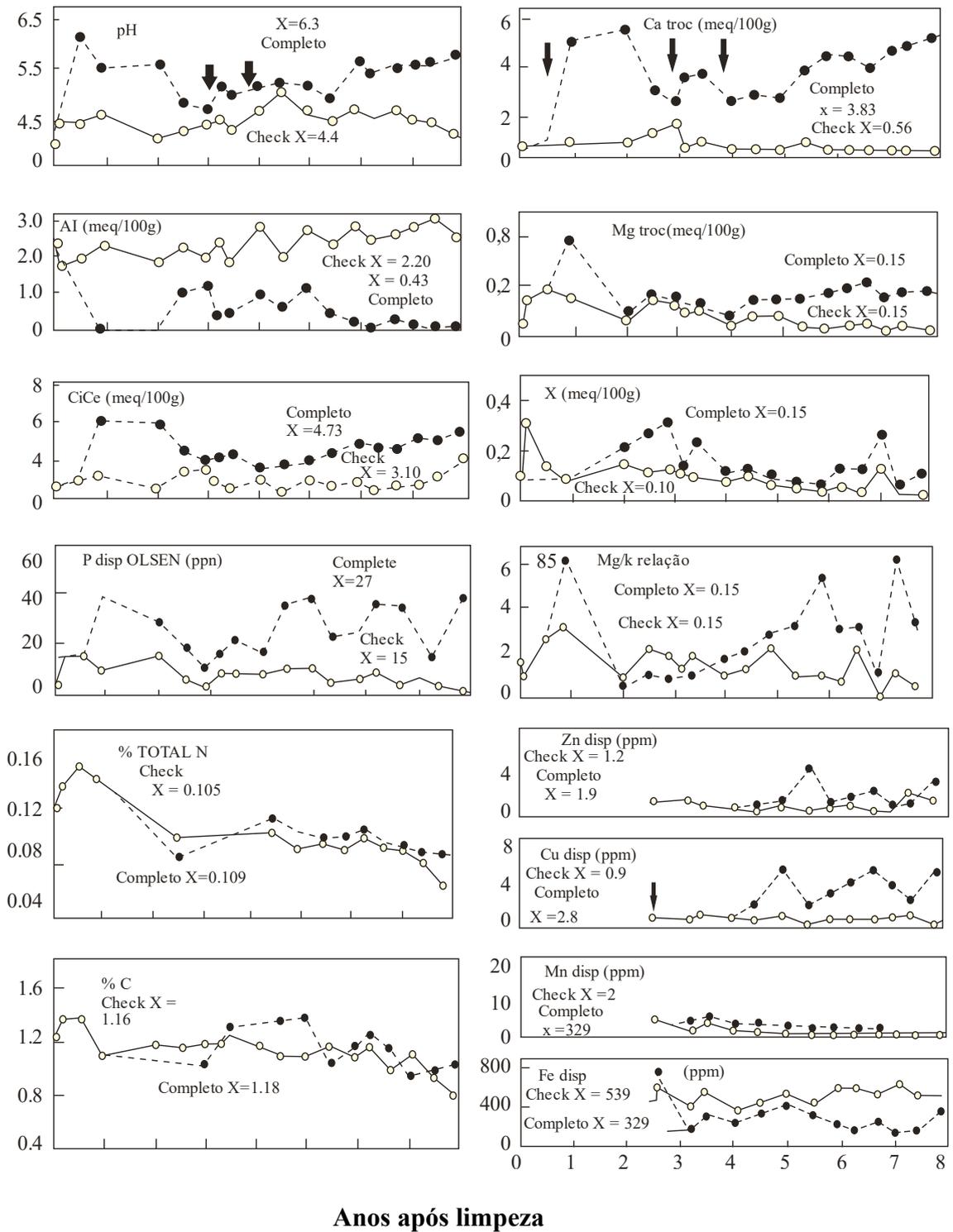
pH atingisse um novo patamar ao redor de 5,7 a partir do sexto ano e se mantendo nesse nível desde esta época.

O teor de carbono orgânico decresceu em torno de 27%, sendo que grande parte da perda ocorreu durante o primeiro ano. Comparando-se, por outro lado, os teores de carbono das áreas que receberam fertilizantes e corretivos, com as áreas que não receberam tais insumos. Nota-se que o teor de carbono orgânico é maior nas áreas fertilizadas comprovando-se com isso que o cultivo contínuo, bem manejado, mantém níveis mais elevados de matéria orgânica

O teor de alumínio decresceu acentuadamente, passando de níveis muito elevados, 2,27 emg/100g (última relação) para 0,06 emg/100g. Ao longo do tempo, o teor deste elemento acompanhou as oscilações do pH e do teor de cálcio. O teor de cálcio aumentou cerca de 20 vezes (parte em consequência da aplicação de calcário) e o magnésio praticamente dobrou.

O teor de potássio não aumentou apesar das adubações com este elemento, sugerindo com isso sua rápida utilização pelas culturas e perdas devido à lixiviação. A CTC efetiva praticamente dobrou passando de 2,76 a 5,31 e.mg/100g. Como consequência das calagens que modificaram as cargas pH dependentes da caulinita e dos óxidos de ferro. Ao longo do tempo, a oscilação da CTC efetiva também acompanhou a oscilação do pH. Sem dúvida nenhuma, este acentuado aumento da CTC efetiva é um dos grandes êxitos no manejo das cargas em solos tropicais.

O manejo de fertilizantes também elevou substancialmente o nível de fósforo disponível, indo de níveis críticos baixos a valores em torno de 30 ppm (método de Olsen). Os diversos picos encontrados nos anos 4 e 6 são devido a fertilização fosfatada. A mesma tendência é encontrada para o zinco e o cobre. O manganês disponível, entretanto, decresceu próximo a níveis de deficiência em ambos os casos. O ferro disponível permaneceu consideravelmente acima dos valores críticos da faixa dos 20 aos 40 ppm (Figura 110).



○ Fertilização completa inclusive calagem

● Sem fertilização

Figura 110 - Dinâmica dos nutrientes na superfície do solo, durante 8 anos após limpeza num Ultisol ácido em Yurimáguas, Peru. Rotação de 3 culturas no ano, sem fertilizantes ou calcário (testemunha) ou com fertilização. **Fonte:** Sanches et al. (1983).

17.11 Uso dos corretivos e desenvolvimento radicular dos solos tropicais

Dentre os tópicos relacionados ao manejo das propriedades químicas dos solos tropicais, o bloqueamento ao desenvolvimento radicular causado pela deficiência de bases ou pela elevada saturação de alumínio no subsolo é um dos principais fatores de baixa produtividade.

As camadas inferiores da maioria dos Oxisolos e Ultisolos são inférteis, ácidas e frequentemente atuam como barreira química ao desenvolvimento profundo do sistema radicular e as raízes não conseguem vencer esta barreira (Ritchey et al., 1980). Tais características tendem a produzir um sistema radicular bastante raso (o subsolo pode apresentar água disponível, mas as plantas não conseguem alcançá-la). Nesta situação é frequente a planta sofrer deficiência hídrica, mesmo quando o solo apresenta umidade no subsolo. A principal consequência é a perda de produtividade. Tal bloqueamento químico não se limita unicamente à região Amazônica, pois é também comum nos solos ácidos das regiões dos Cerrados do Brasil Central e em Oxisolos e Ultisolos da região subtropical brasileira.

Como estratégia de manejo para vencer tal barreira nas regiões tropicais as principais práticas são devidamente conhecidas tais como aplicação profunda de calcário (consequentemente aumento da dosagem do corretivo), estímulo ao movimento descendente do cálcio, magnésio e potássio e bloqueamento do alumínio, uso de cultivares e espécies tolerantes ao alumínio.

Uma das vantagens de muitos solos ácidos e de baixa fertilidade e que apresentam elevada porosidade e baixa CTC efetiva, dados estes favoráveis ao movimento descendente das bases principalmente do cálcio e do magnésio. Neste movimento vertical, as bases são acompanhadas pelos ânions, principalmente sulfatos que podem bloquear o alumínio (Pavan, 1981) e enriquecendo o subsolo e favorecendo com isso o desenvolvimento radicular.

Bandy (1980) indicando na Tabela 127 ilustra as mudanças dos teores de bases e do Al em duas profundidades do solo, a 0-15 e 15-30 cm. Após 40 meses de incorporação de calcário a 15 cm, em um Ultisolo, com cultivo contínuo por 5 anos e meio, a acidez do subsolo diminui gradualmente à medida que se aumenta as doses de calcário acima do recomendado. Com 8 t/ha de calcário e após 40 meses, o teor de Al a 30 cm de profundidade é inferior a 50%.

Tabela 127 - Teores de Ca e Mg em duas profundidades de solo e saturação de Al após 40 meses de aplicação do calcário em um Ultisolo no Peru.

Calcário t/ha	Ca + Mg trocáveis		Saturação Al	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
	emg/100g		%	
0	1,6	1,4	59	74
1	1,9	1,4	55	65
2	2,7	1,4	39	63
4	3,6	1,8	15	53
8	4,7	2,8	9	30
16	5,2	3,7	5	13

Fonte: Bandy (1980).

Na faixa de 2,0 t/ha de calcário a alteração no Ca+Mg é sensível apenas na camada superficial. Para haver alterações nas camadas mais inferiores é necessário doses mais elevadas acima da recomendação usual, na faixa de 4,0 t/ha ou mesmo 8,0 t/ha.

O processo de enriquecimento químico ainda continua ao longo do tempo dependendo da quantidade de corretivo usado. Nesta mesma linha de trabalho, dados do Relatório de Solos Tropicais (NCSU, 1983) tem demonstrado que doses de até 8,0 t/ha de calcário em Ultisolo tem enriquecido sensivelmente o subsolo em bases e reduzido o teor de Al após 102 meses da aplicação do corretivo (Figura 111). Com as 8 t/ha de calcário a saturação com Al a 30 cm de profundidade foi reduzido a 50% e a 45 cm foi reduzido de 90% a 60%. O volume de enraizamento das culturas e a produtividade neste caso aumentaram à medida que a barreira química formada pelo alumínio ou a deficiência das bases diminuiu (Bandy, 1980).

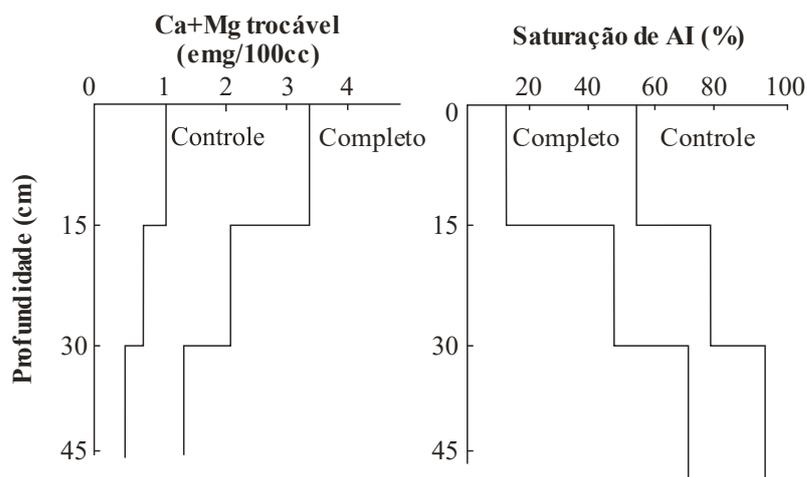


Figura 111 - Efeitos residuais de aplicação de calcário (8 t/ha) incorporado a 15 cm de profundidade nos teores de Ca+Mg e saturação de Al de um ultissolo álico do Peru. Os dados foram obtidos 102 meses após a aplicação do calcário. **Fonte:** NCSU (1983).

Como foi salientado, o cultivo contínuo devidamente manejado tende a melhorar as propriedades da camada superficial do solo, assim como das camadas inferiores. Como no manejo das culturas há necessidade da utilização de fertilizantes e corretivos, é de se esperar que ao longo do tempo as camadas também inferiores do solo sejam melhoradas.

Visando tais características, Sanchez et al., (1982), utilizando corretivos e calcário resumiram a distribuição, em profundidade 0-50 cm, das principais propriedades químicas de um experimento de longa duração realizada em um Ultisol. Após o início do experimento aos 90 meses, o teor de cálcio e magnésio, aos 45 cm de profundidade, são significativamente mais elevados quando comparados com o solo padrão. A 50 cm de profundidade, o teor de cálcio atingiu valores de 1,0 emg/100 g contra 0,2 emg/100g da testemunha. A saturação de alumínio na testemunha, de 0 a 50 cm de profundidade, era de 80% e caiu para 40 % a 30 cm de profundidade e a valores abaixo de 5% a 15 cm de profundidade. A CTC efetiva a 30 cm de profundidade atingiu valores em torno de 4,5 emg/ 100 g, contra 3 e.mg/ 100 g na testemunha (Figura 112)

O cultivo contínuo sem a adequada utilização de fertilização pode resultar em perda da fertilidade e degradação do solo.

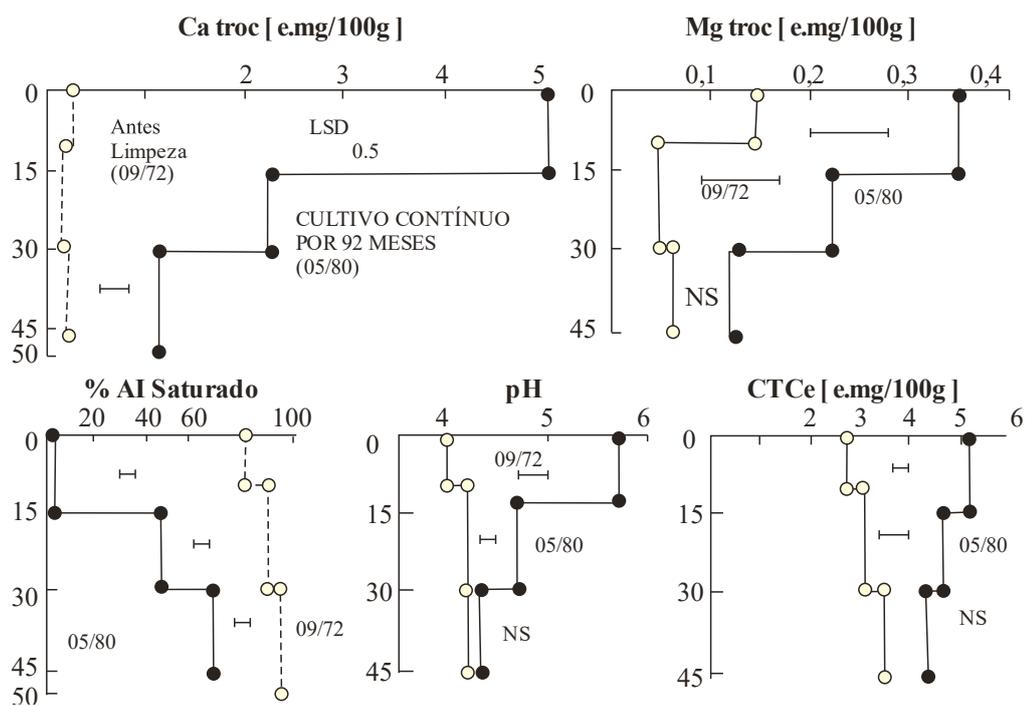


Figura 112 - Melhoramento das propriedades químicas em profundidade depois de 90 meses de cultivo contínuo em rotação de arroz-milho-soja, em Ultisolo ácido. **Fonte:** Sanchez et al. (1982).

Esta opção de manejo se baseia na utilização de um nível mais elevado de investimento nas áreas de “terras altas”, representada pelos Oxisolos e Ultisolos. Tal sistema pode ser utilizado quando as seguintes condições são encontradas: regiões com infraestrutura, tais como estradas, mercado, crédito, jazidas de corretivos, mão de obra havendo necessidade de utilização de corretivos, fertilizantes, herbicidas, mecanização, sementes de alta qualidade etc.

Tal sistema está baseado na “construção” da fertilidade do solo ao longo do tempo, com o uso adequado de corretivos e fertilizantes assim como no desenvolvimento de variedades que mais se adaptam as condições da Amazônia associado as práticas de manejo. Tal ponto de vista foi juntamente utilizado na região do Brasil Central, com êxito.

Smyth & Cravo (1989) estudaram a contribuição da adição de fertilizantes e corretivos na produtividade do arroz, milho e soja durante 5 anos de cultivo contínuo em Manaus. No final de 11 colheitas, num total de 21 t/ha de grãos, foram colhidas do tratamento completo de fertilizantes, contra 1,7 t/ha na testemunha. Sem o fertilizante e o corretivo a tendência seria zero de produtividade (Figura 113).

O efeito benéfico do calcário começa a aparecer a partir da 3ª colheita quando já decresce o efeito das cinzas motivado pela queimada da floresta. A associação do calcário com o fertilizante tende a aumentar sensivelmente a produtividade assim como sustentá-la ao longo do tempo. A quantidade total de fertilizantes usada no tratamento completo corresponde a uma média anual de 67 kg/ha de N, 66 de P e 80 kg/ha de K. Uma única aplicação de Cu (1,0 kg/ha), Mo (0,2 kg/ha) e calcário (2,0 t/ha) foram feitas.

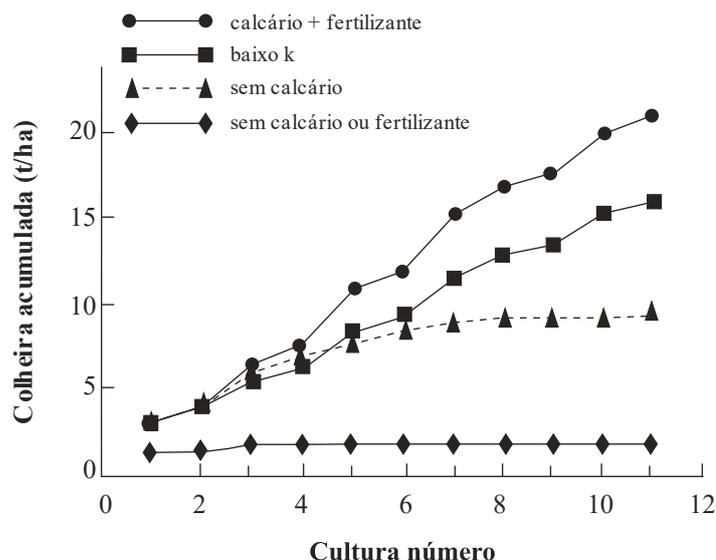


Figura 113 - Produtividade cumulativa de grãos em 11 colheitas consecutivas (arroz, soja, milho) em função de calagem e fertilizante em Latossolo Amarelo de Manaus - Período de 1981 a 1986. **Fonte:** Cravo & Smyth (1991).

Estudos de longa duração nesta linha de trabalho tem sido desenvolvido em Yurimáguas, no Peru (Alegre et al. 1991), estando atualmente com 17 anos (iniciou em 1972). Os resultados têm indicado que a produtividade se tem mantido em patamares razoáveis para a região. Assim é que para a 32ª colheita de soja a produção foi de 2,5 t/ha para o tratamento completo e produção zero para a testemunha (Figura 114).

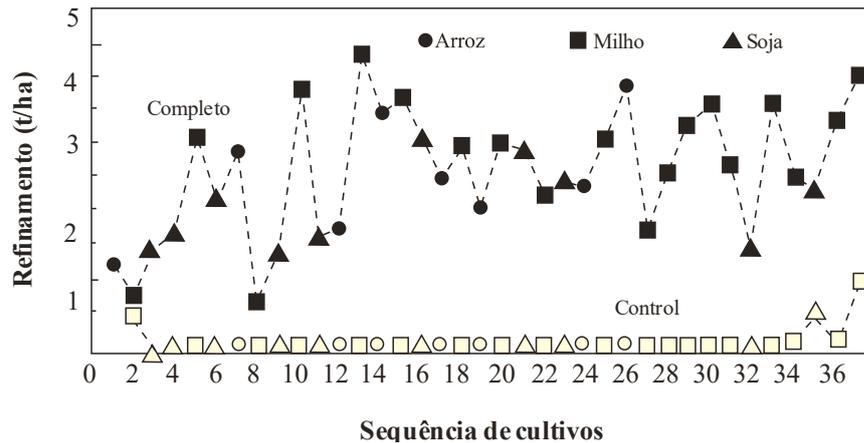


Figura 114 - Rendimentos em grãos para 37 cultivos consecutivos de 1972 a 1989 em um Ultisolo de textura areia/média, em Yurimáguas, Amazônia Peruana. Tratamento completo: média anual de 65 kg/ha N; 66 de P e 80 kg/ha de K. Algumas aplicações de micronutrientes e calcário foram feitas. **Fonte:** Alegre et al. (1991).

Produções de soja acima de 2,0 t/ha foram obtidas em 5 colheitas. Para o milho na 33ª colheita a produção foi de 3,5 t/ha. Produções de milho acima de 3,0 t/ha foram obtidas em 11 colheitas. Como se observa, tais produtividades estão acima da média nacional. Em ambos os casos é preciso salientar a fragilidade do sistema quando não se utiliza insumos e a garantia de produção quando se utiliza adequadamente fertilizantes e corretivos.

A Tabela 128 ilustra as quantidades de calcário e fertilizantes recomendados durante os 12 anos de pesquisas, em Yurimáguas. As quantidades são necessárias para cultivo contínuo de rotação anual com arroz, milho, soja ou arroz amendoim e soja em um Ultisol ácido (Sanchez et al., 1982), que são praticamente as mesmas recomendadas por Cravo & Smyth na Amazonia brasileira (1983).

Tabela 128 - Quantidade de nutrientes e corretivos indicados, para a região de Yurimáguas.

Fertilizantes e Corretivos (1)	Quantidade	Frequência
Calcário, t/ha	3	A cada três anos
Nitrogênio kg/ha	80-100	Arroz e milho somente
Fósforo, kg P/ha	25	Toda cultura
Potássio, kg K/ha	80-100	Toda cultura
Magnésio, kg Mg/ha	18 kg	Toda cultura (a menos que seja usado calcário dolomito)
Cobre, kg/ha	1	Uma vez ao ano ou cada 2 anos
Zinco, kg/ha	1	Uma vez ao ano ou cada 2 anos
Boro, kg/ha	1	Uma vez ao ano
Molibdênio kg/ha	20g	Misturado com as sementes de leguminosas.

⁽¹⁾ Deficiências de calcário e enxofre são atendidas pela aplicação de calcário, superfosfato simples e pelas fórmulas dos adubos contendo Zn, Cu. Fonte: Sanchez et al. (1982).

Tais níveis de fertilizantes não diferem daqueles utilizados para a cultura do milho, soja e amendoim em Ultisols do sudoeste dos Estados Unidos (Sanchez, 1985) e dos Oxisols e Ultisols do sul do Brasil e Região Central dos Cerrados. Dados obtidos ao redor de Yurimáguas mostraram que este sistema é economicamente viável em muitas culturas, levando-se em consideração a relação custo-benefício (Hernandez & Coutu, 1981).

Por outro lado, o manejo do fertilizante também tem sido testado, como o caso do fósforo (Smjhlh & Cravo, 1989), em aplicação no sulco e em área total em Oxisol argiloso. Os resultados (Figura 115) indicam que a relação custo/benefício é favorável para o fósforo, assim como não indicando as diferenças quanto a maneira de aplicação deste fertilizante (no sulco ou a lanço), aliás, resultados semelhantes aos encontrados no Brasil Central, também em Oxisol argiloso.

A lucratividade da adubação tem indicado que sem o P não há retomo econômico. A despeito da similaridade dos lucros entre os 2 tratamentos (aplicação no sulco e a lanço), as aplicações no sulco foram mais vantajosas durante os 4 cultivos iniciais devido a um melhor parcelamento dos custos do fertilizante entre todos os plantios.

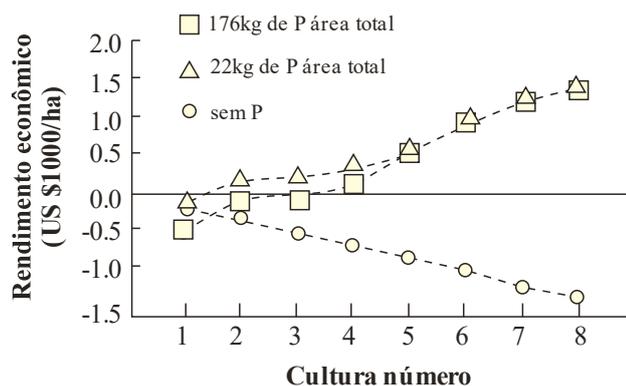


Figura 115 - Rendimento econômico (US\$/ha) de 8 cultivares sucessivas de milho-cowpea (rotação anual) em função do método de aplicação do P (176 kg/ha de P aplicado numa única vez em área total e 22 kg/ha de P aplicado no sulco em cada cultura) em Latossolo Amarelo argiloso, Manaus. **Fonte:** Smyth & Cravo (1989).

Estudando os efeitos de doses de N, P, K, Cu e calcário. Cravo & Smyth (1991) notaram aumento de produtividade entre 1981 a 1990 nas 18 culturas sucessivas de arroz, soja, milho e caupi (Tabela 129) e os efeitos isolados de tais tratamentos. Os maiores incrementos na produtividade se devem ao fósforo e ao calcário. Aparentemente 0,2 kg/ha de cobre por cultivo é suficiente para suprir as culturas. Sem o calcário a produtividade média é baixa, 0,5 t/ha chegando a 2,0 t/ha de produtividade com 6,0 t/ha de corretivo.

Tabela 129 - Rendimento total de grãos em função de tratamentos no estudo de dinâmica de nutrientes, ao período de 1981-1990. Dados somente dos tratamentos que deram resposta em 18 cultivos sucessivos.

Tratamento	Adubo e Calcário		Rendimento total de grãos				Prod. média/ cultivo	
	Total	média/ cultivo	Arroz	Soja	Milho	Caupi		Total geral
	kg/ha		t/ha					
Testemunha	0	0	1,1	0,5	0,1	0,1	1,7	0,1
P ₁	132	7,3	2,4	3,8	12,5	3,9	22,5	1,3
P ₂	264	14,7	2,5	4,2	16,1	6,0	28,7	1,6
P ₃	396	22,0	3,0	5,1	19,9	7,3	35,2	2,0
N ₁	337	18,72	2,9	5,0	15,1	6,3	29,3	1,6
N ₂	594	33,0	3,0	4,0	15,0	5,6	27,6	1,5
N ₃	890	49,4	2,1	4,3	17,3	6,2	30,0	1,7
K ₀	0	0	2,5	3,5	6,9	4,6	17,4	1,0
K ₁	350	19,4	1,1	3,8	14,2	5,6	24,6	1,4
K ₂	700	38,9	1,2	5,6	19,1	6,4	32,3	1,8
K ₃	1400	77,8	0,9	4,6	16,1	5,4	27,0	1,5
Cu ₀	0	0	0,9	4,0	15,1	6,4	26,3	1,5
Cu ₁	3	0,2	1,6	5,1	20,4	6,6	33,7	1,9
Cu ₂	6	0,3	1,5	4,9	19,2	6,4	31,9	1,8
Calc ₀	0	0	1,1	2,8	1,5	3,3	8,7	0,5
Calc ₁	2000	111	1,6	4,9	15,4	6,7	28,6	1,6
Calc ₂	4000	222	1,8	5,3	21,0	6,9	34,9	1,9
Calc ₃	6000	333	1,6	5,1	22,5	5,9	35,0	2,0

Fonte: Cravo & Smyth (1991)

Quanto ao calcário associado ou não ao gesso também foi testado por tais pesquisadores com resultados positivos para o milho, caupi e soja (Tabela 130).

Tabela 130 - Rendimentos de grãos de milho, caupi, soja em função da aplicação de calcário e gesso em latossolo amarelo de Manaus.

Calcário	Gesso	Milho				Caupi					Soja
						1984		1985		1986	
		84	85	86	87	Ipean	Ipean	VITA-3	Ipean	VITA-3	
t/ha											
0,0	0	0,3	0,9	1,6	1,4	1,1	0,6	0,5	0,7	0,7	1,0
1,5	0	1,6	2,7	2,1	1,8	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9
1,0	0	2,1	3,5	2,9	2,6	1,4	0,7	0,9	0,8	0,8	1,9
2,0	0	2,2	3,3	2,7	2,5	1,3	0,7	0,8	0,8	0,8	1,8
4,0	0	2,3	3,4	3,4	3,1	1,4	0,8	0,9	0,9	0,9	2,2
0,0	1	1,6	2,0	2,0	2,3	1,2	0,7	0,8	0,6	0,8	1,4
1,0	1	2,1	3,6	3,3	2,7	1,4	0,7	0,7	0,8	0,9	1,8
2,0	1	2,6	3,2	3,6	3,4	1,5	0,9	0,9	0,8	1,0	2,1
DMS 5%		0,8	0,8	0,8	0,7	n.s.	n.s.	0,1	0,8		
Corretivo							0,1	0,1			
								n.s.	n.s.		

1: Adaptado somente em 1983. 2: Aplicado antes dos cultivos de milho em 1984 e 1986. Fonte: Cravo & Smyth (1991).

Com o uso de 1,0 t/ha de gesso as produções foram razoáveis, indicando que apesar deste produto não ser corretivo de acidez, a ação do cálcio e do enxofre é favorável nestes tipos de terras. Além do mais a associação de 1,0 t/ha de calcário com 1,0 t/ha de gesso tem dado melhor resultado ao longo do tempo na produtividade do milho quando se utiliza apenas as 2,0 t/ha do calcário.

A associação da calagem com P e K também tem seus efeitos benéficos. As respostas acumulativas em rendimentos de grãos de 17 cultivos consecutivos são positivas. A importância da calagem é indicada pela comparação de rendimentos (Figura 116) entre as doses 0,2 e 4 t/ha de calcário com níveis de P e K. Com tais níveis de calcário, o rendimento total aumentou de 8,5 t/ha para 32,5 t/ha. Os tratamentos receberam 2 t/ha no primeiro cultivo e 1,0 t/ha no quinto cultivo de milho, quando o efeito residual da primeira aplicação começou a diminuir.

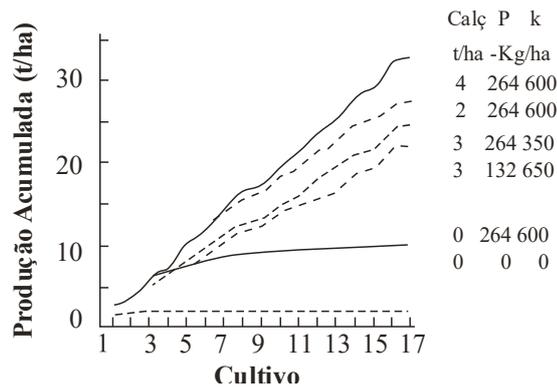


Figura 116 - Rendimentos acumulados de 17 cultivos consecutivos de arroz (1), soja (3), milho (6) e caupi (7) em função da aplicação de calcário, P e K durante seis anos de cultivo em um latossolo amarelo na Amazônia central. **Fonte:** Cravo & Smyth (1991).

A grandeza da resposta a calagem dependeu tanto da cultura como do tempo de aplicação do calcário (Figura 117). Sem calagem houve uma forte redução no rendimento da soja e do milho. Durante os quatro cultivos iniciais do milho não houve diferenças quanto as doses de 2 e 4 t/ha de calcário. Contudo, nos últimos dois cultivos o rendimento de 2 t/ha de calcário foi a metade do obtido com 4 t/ha. Isto significa que o efeito residual de 2 t/ha neste Oxisol argiloso deve ser em torno de 5 anos.

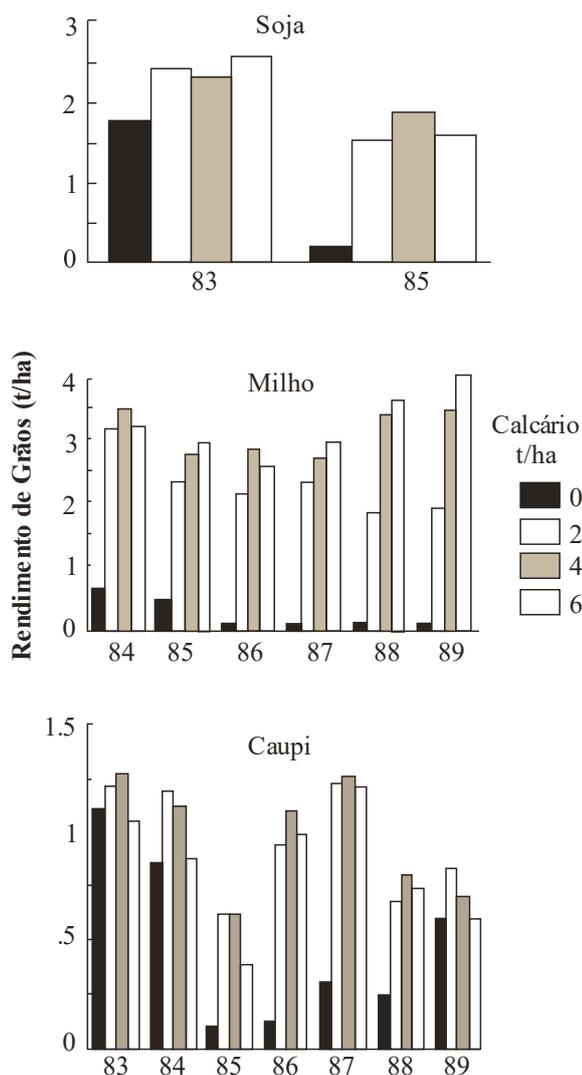


Figura 117 - Rendimentos de grãos de soja, milho e caupi em função de doses de calcário aplicados em latossolo amarelo antes do plantio da soja em 1983. **Fonte:** Cravo & Smyth (1991).

O relacionamento entre os rendimentos relativos de milho e soja com os níveis de acidez do solo foram diferentes daqueles e observados para o caupi (Figura 118), menos exigente em bases. No caso da soja e do milho verifica-se que são extremamente exigentes em termos de acidez sendo que os cultivos, grande parte, estão na faixa de 20% de rendimentos relativos.

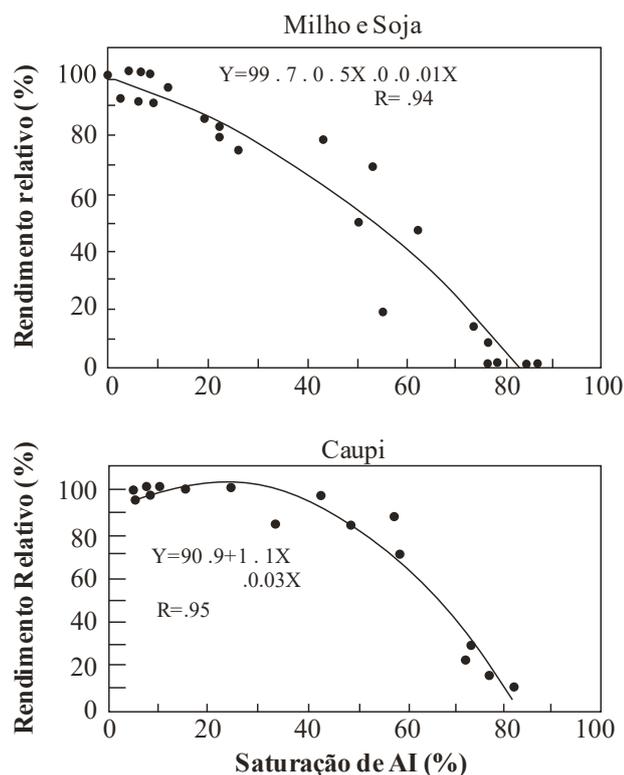


Figura 118 - Relacionamento entre rendimentos relativos de 15 os cultivos consecutivos de soja, milho e caupi e saturação de Al em 4 doses de calcário aplicadas em latossolo amarelo muito argiloso de Manaus. **Fonte:** Smyth & Cravo (1991).

17.12 Outras alternativas de manejo: baixo investimento

Quanto aos demais sistemas de manejo ou seja: “culturas com baixo nível de investimento ou de baixa intensidade”, “agricultura migratória”, “sistema agroflorestal” e como exemplo o sistema “peach-palm plantation”, as análises de fertilidade devem ser feitas separadas do sistema com elevado nível de investimento, pois o uso periódico de corretivos e fertilizantes causa diferenças na produtividade agrícola.

Os possíveis pontos básicos para o desenvolvimento do sistema de “culturas com baixo nível de investimento” estão baseados nos seguintes pontos: utilização de variedades tolerantes às condições de baixa fertilidade dos solos; máximo retorno de resíduos das culturas para o solo; maximização de produção por unidade do fertilizante químico aplicado; utilização dos atributos favoráveis dos solos ácidos e inférteis; utilização de fixação biológica do nitrogênio etc.

Trabalhos relacionados a obtenção de variedades tolerantes a acidez tem sido desenvolvida para a região Amazônica (Nicholaides & Piha, 1985; Alegre et al., 1991). Apesar dos esforços realizados, variedades tolerantes de milho e soja ainda não foram obtidas com sucesso. O kudzu e o arroz continuam ainda sendo as melhores espécies tolerantes a acidez. Algumas variedades de amendoim e soja parecem ser tolerantes a toxidez de Al mas apresentam baixa produtividade.

Benites & Nureña (1985) selecionaram os cultivares de arroz e cowpea para testes no sistema de rotação com baixo insumo, em Yurimáguas no Peru. Após a colheita do arroz (Variedade:Africano desconhecido) foi plantado um caupi tolerante a acidez, Vita 6 ou Vita 7 da IITA. Após o ciclo do caupi, toda a palha do arroz e da leguminosa foi espalhada na superfície do solo e o arroz novamente plantado (Tabela 131). Os resultados mostraram uma elevada produção de arroz mesmo na área que recebeu fertilizantes. A combinação do presente caso, de cultivares tolerantes a acidez, associado ao plantio direto (cultivo mínimo) e o completo retomo dos restos de cultura do caupi e do arroz, pode ter sido o responsável por tais resultados.

Tabela 131 - Produtividade em sistema de rotação de baixo nível de investimento, após limpeza e queima de uma floresta secundária de 10 anos, em Ultisolo ácido de Yurimáguas, Peru, durante os primeiros 29 meses (setembro 1982 e janeiro-1985).

Sequência de cultura	Época de plantio mês/ano	Produtividade-grãos	
		Sem calcário ou fertilizantes	Fertilizantes nas culturas 2, 4 e 6 t/ha
1. Arroz-Carolina	Sep-82	2,44	2,44
2. Arroz-Africano	Feb-83	2,99	3,11
3. Cowpea Vita-7	Sep-83	1,09	1,24
4. Arroz Africano	Dec-83	2,77	3,22
5. Cowpea Vita-7	May-84	1,19	0,94
6. Arroz Africano	Sep-84	1,84	2,02
Total		12,32	12,98

Fonte: Benites & Nureña (1985).

Por outro lado, não há certeza, entretanto, de que este sistema possa sustentar elevadas produções por muito tempo. Os resultados estão indicando isto, ou seja, queda gradativa na produção de arroz ao longo do tempo.

Pesquisas feitas em Yurimáguas utilizando o Kudzu (*Pueraria phaseoloides*) como adubo verde (Sanchez, 1985) têm mostrado alguma vantagem, assim como também algumas limitações. O kudzu cresce abundantemente na região Amazônica, sendo relativamente fácil de ser eliminado através do corte e queima durante os períodos de seca. Alterando um ano de cultura com um ano de kudzu como adubo verde, têm-se produzido quantidade de grãos (Sanchez, 1985). Entretanto, continua havendo ainda a queda de produção ao longo do tempo (Tabela 132).

Tabela 132 - Desempenho do sistema de baixo nível de manejo usando o kudzu em rotação sem adição de calcário e fertilizantes, em Ultisol de Yurimáguas.

Ano	Manejo empregado	Produção milho (1ª cultura após queima)	Produção arroz (2ª cultura após queima)
1977	Queima floresta secundária de 20 anos. Plantio	4,0	
1978	1ª cultura de kudzu	-	-
1979	Queima kudzu. Plantio	1,1	1,7
1980	2ª cultura de kudzu	-	-
1981	Queima kudzu. Plantio	0,7	1,5

Fonte: Sanchez (1985).

Frazão et al. (1980) realizaram uma análise econômica de sistemas de produção múltiplos, envolvendo mandioca, milho e caupi, sob forma de cultivos solteiro, consorciado e em rotação na região Bragantina no Pará. O sistema mandioca e milho consorciado, seguido de rotação com caupi mostrou ser o mais eficiente entre os sete sistemas estudados tanto no que se refere à importância alimentar, quanto ao emprego de mão-de-obra familiar durante o ano. O monocultivo de milho foi o que menos produziu e o de menor renda bruta do sistema. Sistemas de produção em policultivo têm sido testados na Amazônia brasileira com relativo sucesso (Andrade & Frazão, 1980; Frazão et al., 1980; Lima & Sanchez Junior, 1978). Resultados experimentais de longa duração no sistema de consórcio são ainda poucos e inconclusivos.

Por outro lado, muitos Oxisols e Ultisols de baixa fertilidade em seu estado natural, possuem diversos fatores positivos que podem teoricamente ser empregados com vantagens no manejo, tais como a solubilização do fósforo natural, maior do que em solo menos ácido. Neste caso, o aproveitamento da própria acidez do solo na solubilização de

rochas fosfatadas não deixa de ser uma vantagem nestes solos ácidos. Além disso, a baixa capacidade de troca efetiva destes solos favorece o movimento descendente de bases, principalmente de cálcio e magnésio, enriquecendo a sub superfície. Tais aspectos, entretanto, são considerados muito frágeis.

O emprego da fixação biológica do nitrogénio é sem dúvida nenhuma um dos tópicos que deve ser focado quando se trata do manejo também em solos de baixa fertilidade nos trópicos úmidos. A fixação biológica do nitrogénio está, neste caso, e em termos práticos, limitada ao binômio Leguminosa - Rhizobium.

Algumas das plantas de importância económica que estão adaptadas às condições de solos ácidos são leguminosas, entre elas o caupi. Das forrageiras tolerantes a acidez é citada as dos géneros *Stylosanthes*, *Desmodium*, *Centrosema*, *Pueraria* (Sanchez & Salinas, 1983). Para que tais leguminosas fixem suficiente nitrogénio, é necessário que os requerimentos nutricionais e o grau de tolerância a acidez do solo pelo rizóbio associado, seja ajustado às condições da planta (Munns, 1978). Caso contrário o crescimento das plantas será muito afetado devido a deficiência de nitrogénio. As espécies de *Rhizobium* diferem em sua tolerância aos diversos níveis de acidez do solo (Munns, 1978, 1979; Halliday, 1979). Em consequência destes fatos, as práticas de manejo requerem que se ajustem as necessidades e tolerâncias nutricionais tanto das leguminosas como dos rizóbios.

Este assunto, entretanto, tem que ser ainda muito pesquisado e diversas perguntas devem ser respondidas adequadamente. Questionamentos são frequentes tais como na prática se pode inocular as micorrizas, ou se existem espécies mais efetivas que possam competir com as nativas e persistir nos solos?

Quedas de rendimentos neste sistema de manejo tem sido debatido, além de Yurimúguas e Amazônia (Cravo, 1991), nas regiões de Pichis no Peru, Rio Frio na Costa Rica, Chapare na Bolívia, Rondônia no Brasil.

Como se observa, o sistema de manejo com “baixo nível de investimento”, tende a degradar os solos no aspecto relacionado a fertilidade. A quantidade de nutrientes incorporada pelas cinzas e restos de culturas não é suficiente para sustentar ciclos consecutivos de culturas nas opções de manejo testadas. Neste caso, o solo não consegue sustentar a produtividade. Com a queda da fertilidade a pressão das ervas daninhas, pragas

e doenças é muito grande obrigando o agricultor a abandonar a área. Tal sistema pode ser considerado como transitório entre o “cultivo migratório” e as demais opções.

Existe, entre muitos cientistas e no meio intelectual, o conceito de que a “vocação natural” da Amazônia é para árvores e a cobertura arbórea deve substituir as coberturas proporcionadas pelas culturas ou pastagens. Sistemas agroflorestais são os que associam culturas e/ou pastagens com florestas ou reflorestamento. Tal sistema é amplamente generalizado entre os índios amazônicos (Pech, 1982; Hecht, 1982; Denevan et al., 1983) e alia uma série de vantagens, que de acordo com Dubois (1982) seriam: menor risco de perturba o quanto ao ciclo hidrológico, principalmente na região Amazônica onde 50% do balanço hídrico depende da evapotranspira o continental (Salati & Vose, 1982); melhor adapta o do sistema aos solos de baixa fertilidade da região Amazônica.

Essas duas considera es, de caráter ecológico, não deixam de consolidar a convic o de que os agroecossistemas, mais assemelhados ao ecossistema “mata natural”, apresentariam uma maior segurança do ponto de vista de conserva o do meio ambiente e uma melhor bioprodutividade, particularmente em solos distróficos e álicos. Apesar deste sistema estar sendo utilizado desde longa data pelos silvícolas, pouco conhecimento se tem a respeito quando aplicado em larga escala, bem como devido a deficiências de espécies florestais para serem testadas (Russel, 1983; Romero & Romero, 1984)

Alguns avanços foram obtidos no sentido de estudar os efeitos dos reflorestamentos nas propriedades dos solos dos trópicos úmidos (Sanchez et al., 1985). Russel (1983), trabalhando no Jari, notou diferença na acidez e na quantidade de bases existente entre áreas com *Gmelina* arbórea e *Pinus caribaea*, no reflorestamento da região (Figura 119).

Tal autor notou que na área da *Gmelina* houve sensível melhora no pH e fósforo sendo que os teores finais são superiores ao estado natural. O pinus tende a perder mais nutrientes do que a *Gmelina*, mantendo, entretanto, o “status” natural.

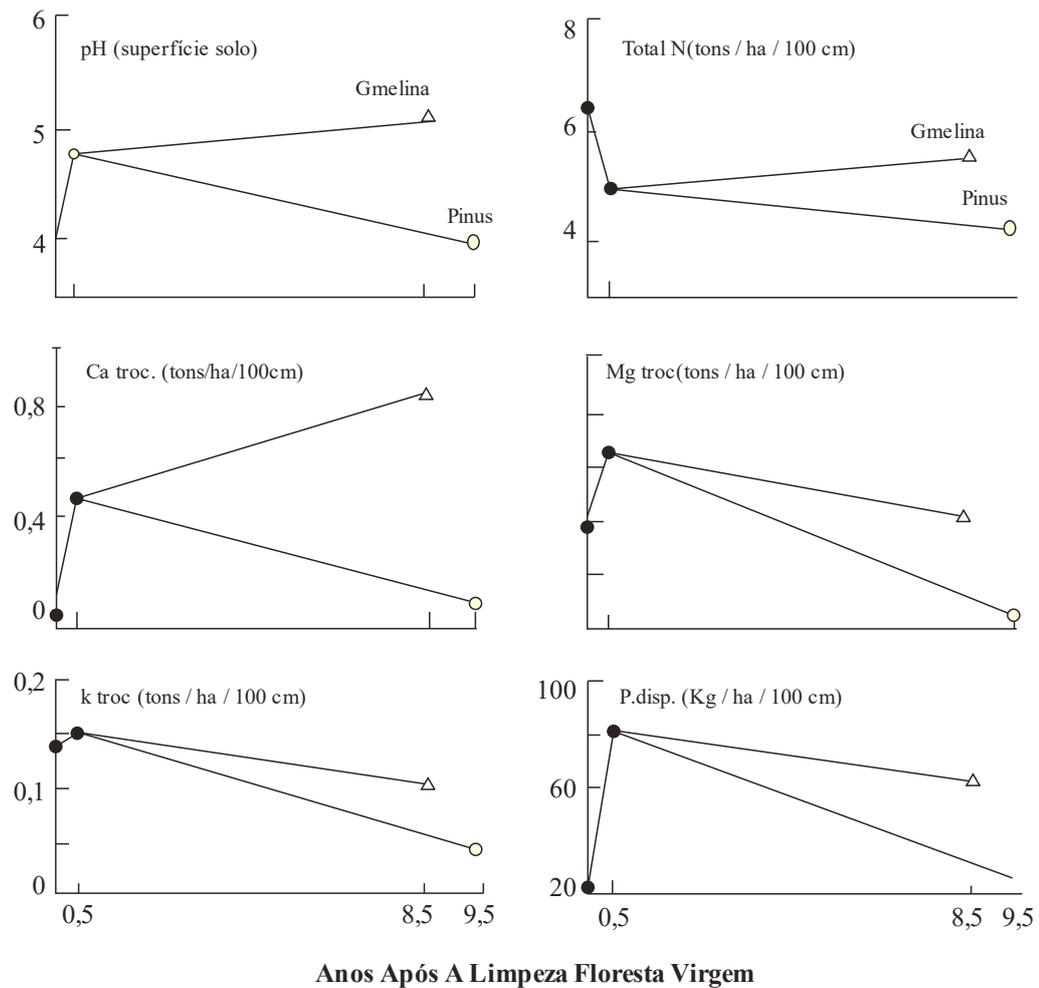


Figura 119 - Efeito de *Pinus caribaea* e *Gmelina arborea* nas propriedades químicas de um Ultisolo arenoso até 1 in de profundidade, Jari-Brasil. **Fonte:** Russel (1983).

Russel (1983) trabalhando com os ganhos e perdas de nutrientes, tanto em área de floresta como em reflorestamento implantados com *Pinus* e *Gmelina*, observou que as maiores perdas por lixiviação ocorreram por ocasião da limpeza da área (Tabela 133). As perdas por lixiviação decresceram acentuadamente à medida que o *Pinus* vai atingindo a idade adulta. Neste estágio o sistema é semelhante a floresta.

Tabela 133 - Ganhos e perdas de nutrientes no ecossistema, em Ultisolo arenoso, Jari, PA.

Localização/Situação	P	K	Ca	Mg
	kg/ha			
Floresta úmida	+0,10	-2	0,3	-5
Floresta cortada	+0,06	-25	-22	-12
Floresta cortada e queimada	-0,06	181	-84	137
Pinus 1-6 meses de idade	-0,02	-80	-73	-71
Pinus 11-1,5 anos após 8,5 anos de Gmelina 1	+0,09	1	1	-3
Introdução pela atmosfera	0,14	10	16	3

Fonte: Russel (1983).

Os trabalhos de ganhos e perdas de nutrientes têm sido examinados também em outras culturas. Santana & Cabala-Rosand (1984) desenvolveram trabalhos relacionados a entrada e saída de nutrientes em uma cultura de cacau de 17 anos de idade, localizada em Itabuna, Bahia, em alfissolo de boa fertilidade. O cacau neste caso, estava sombreado por uma leguminosa, *Erythrina fusca*.

Sanchez et al. (1991) trabalhando com diversos sistemas de condução na Amazonia Peruana verificaram que o balanço entre os nutrientes que entravam (atmosfera e serrapilheira) e saíam (colheita de feijão plantado em consórcio e lixiviação) é positivo para o nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio e praticamente neutro para o magnésio. Quando a cultura é adubada as perdas por nitrogênio tendem a decrescer ainda mais. Tais resultados são bastante promissores, pois neste caso não estaria havendo a degradação dos solos. Quanto a produtividade de culturas anuais nestes outros sistemas ela é sempre menor quando comparado com o “sistema com alto investimento ou de elevada intensidade” (Tabela 134).

A produtividade para 4 colheitas de milho no sistema agroflorestal foi de 4,4 t/ha. A produtividade de 0,77 t/ha da quarta colheita neste sistema foi baixa comparada com o sistema de “baixa intensidade” com 1,44 t/ha ou “peach-palm plantation” com 1,35 t/ha.

Tabela 134 - Produtividade de culturas anuais e a época de plantio em diferentes sistemas de manejo obtidas em Ultisol de Yurimáguas.

Nº de cultura	Cultura	Sistemas de manejo			
		Elevada intensidade	Baixa intensidade	Agroflorestal multi extrato	Peach-palm plantation
		t/ha			
4 ^a	arroz (09/86)				
	milho (11/86)		1,44a	0,77b	1,35a
	arroz (02/87)				0,52
5 ^a	cowpea (04/87)		0,90		
	soja (06/87)	2,3			
6 ^a	cowpea (07/87)				0,46
	milho (10/87)	3,45			
7 ^a	soja (05/88)	1,90			
8 ^a	milho (09/88)	3,09			
9 ^a	soja (06/89)	2,55			
Total		25,54	5,9	4,4	6,4

Fonte: Sanchez et al. (1991).

Dados a respeito da dinâmica dos nutrientes em tais sistemas, desde o Cultivo Migratório até a Floresta secundária (Uribe et al., 1991) tem indicado que as maiores diferenças entre os sistemas de manejo testados foram observadas nos primeiros 15 cm de solo, possivelmente devido ao maior fluxo de nutrientes presente devido aos processos de absorção, lixiviação e mineralização. Os dados do tratamento “floresta secundária” indicaram níveis mais baixos de nutrientes e os mais elevados níveis de acidez quando comparado com os demais sistemas.

Após os 36 meses de observação o nível do Al trocável na “Floresta Secundaria” era de 2,33 cmol/L contra 0,94 para o tratamento “Peach Palm”, 1,15 para o tratamento “Agroflorestal multistrato” e 1,45 para o sistema de “baixo nível”. O baixo nível de nutrientes se deve a intensa imobilização pela matéria orgânica e microrganismos na floresta secundária. Quanto aos demais sistemas houve poucas diferenças entre eles.

Os efeitos das cinzas não se manifestam logo após o fogo. Picos nos níveis de nutrientes ou de acidez podem ser observados aos 3 a 6 meses após o fogo.

Os picos de liberação de nutrientes nos 3 meses (no meio da estação úmida) pode ter sido causado pela rápida mineralização (Tabela 135).

Tabela 135 - Mudanças* nas propriedades químicas dos solos (0-15 cm) em relação ao tempo em sistemas não manejados quimicamente.

Meses após queima	Sistemas de manejo				
	Cultivo migratório	Baixo nível	Agroflorestal-Multistrata	Agroflorestal-Peach-palm	Floresta secundária
Al (cmol/L)					
-1	1,57 b	2,47 a	1,16	1,36 b	1,87 ab
0	1,56	1,84	1,45	1,39	- ns
3	1,09 b	1,79 ab	0,94 b	0,89 b	2,25 a
6	0,76 b	1,35 ab	0,75 b	0,68 b	2,07 a
12	1,11	1,11	0,61	0,45	0,69 ns
18	0,55 b	1,35 ab	0,53 b	0,69 ab	1,97 a
24	0,92 b	1,61 ab	0,97 b	0,97 b	2,19 a
36	0,64 b	1,45 ab	1,15 ab	0,94 ab	2,3 a
K (cmol/L)					
-1	0,11	0,09	0,10	0,10	0,09 ns
0	0,20	0,19	0,17	0,16	- ns
3	0,23 a	0,29 a	0,21 ab	0,26 a	0,11 b
6	0,18 b	0,19 ab	0,17 b	0,21 a	0,11 c
12	0,07 b	0,09 a	0,08 ab	0,11 a	0,07 b
18	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10 ns
24	0,09 ab	0,09 ab	0,07 b	0,10 a	0,08 ab
36	0,12 a	0,08 b	0,08 b	0,08 b	0,11 ab

Tabela 135 – Continuação.

Ca (cmol/L)					
-1	1,01	0,86	0,92	0,93	1,01 ns
0	0,77	1,12	0,87	0,83	- ns
3	0,77	0,92	1,23	1,09	0,63 ns
6	1,19 ab	1,10 ab	1,09 ab	1,27 a	0,72 b
12	1,14 ab	1,10 ab	0,97 ab	1,35 a	0,66 b
18	1,37 a	0,110 ab	1,32 a	1,20 a	0,68 b
24	1,11 a	0,88 ab	0,95 a	1,08 a	0,50 b
36	0,89 a	0,92 a	0,68 a	1,02 a	0,38 b
Mg (cmol/L)					
-1	0,18	0,17	0,17	0,15	0,17 ns
0	0,15	0,22	0,18	0,16	- ns
3	0,32 ab	0,30 ab	0,34 a	0,31 ab	0,15 b
6	0,28 a	0,27 a	0,26 a	0,25 a	0,14 b
12	0,25 a	0,22 ab	0,21 ab	0,23 a	0,15 b ns
18	0,30 a	0,25 ab	0,28 a	0,24 ab	0,20 b
24	0,21	0,20	0,21	0,20	0,12 ns
36	0,23 a	0,20 ab	0,19 a	0,19 a	0,13 b
Olsen P(mg/L)					
-1	9,6	9,0	9,9	10,7	10,7 ns
0	10,5	10,9	8,9	9,9	- ns
3	12,1	8,6	11,0	11,6	6,5 ns
6	8,1	7,3	7,4	8,8	5,3 ns
12	10,5	8,1	9,1	10,7	7,0 ns
18	10,7	13,1	11,0	13,4	14,1 ns
24	8,4	9,1	7,5	9,0	7,8 ns
36	6,6	6,3	5,1	7,3	8,4 ns

(*) Tratamentos seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes a 5% no teste de Duncan-Waller.

Fonte: Uribe et al. (1991).

Na profundidade de 15 a 30 cm (Tabela 136) de solo o efeito residual parece ser mais efêmero, porém sendo ainda mais favorável aos demais sistemas quando comparado com a floresta secundária. Os níveis das bases Ca, Mg, K estão abaixo do nível crítico para a maioria das culturas principalmente o K. Entretanto os níveis de alumínio são maiores após o tempo de experimento na “Floresta Secundaria” comparados com os demais sistemas de manejo assim como decréscimos nos demais nutrientes

Como se verifica, a dinâmica de nutrientes nestes sistemas é bastante frágil e os solos devem ser manejados adequadamente para não se esgotarem totalmente. A fragilidade destes sistemas é mais devido ao baixo nível de nutrientes no sistema do que as próprias características químicas dos solos. Estas respondem favoravelmente ao enriquecimento com corretivos e fertilizantes como já foi visto.

Tabela 136 - Mudanças* nas propriedades químicas dos solos (15 a 30 cm) em relação ao tempo em sistemas não manejados quimicamente.

Meses após queima	Sistemas de manejo				
	Cultivo migratório	Baixo nível	Agroflorestal- Multistrata	Agroflorestal- Peach-palm	Floresta secundária
Al (cmol/L)					
-1	2,64 bc	3,73 a	2,37 c	2,73 bc	3,31 ab ns
0	2,62	3,31	2,66	2,65	- ns
3	2,49 ab	3,30 ab	2,11 b	2,18 b	3,56 a
6	2,35	3,00	2,17	2,21	3,19 ns
12	1,75	2,19	1,68	1,61	2,23 ns
18	2,68 ab	3,39 a	1,90 b	2,73 ab	2,85 ab
24	3,04	3,67	2,65	2,83	4,11 ns
36	2,21	3,11	2,30	2,09	3,68 ns
K (cmol/L)					
-1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05 ns
0	0,04	0,06	0,05	0,06	- ns
3	0,16 a	0,14 a	0,14 ab	0,17 a	0,06 b
6	0,11 a	0,12 a	0,11 a	0,14 a	0,05 b
12	0,08	0,08	0,12	0,09	0,04 ns
18	0,08	0,08	0,07	0,07	0,10 ns
24	0,04 ab	0,05 ab	0,05 ab	0,06 a	0,03 b
36	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07 ns
Ca (cmol/L)					
-1	0,50	0,48	0,54	0,51	0,54 ns
0	0,52	0,55	0,60	0,60	- ns
3	0,41 ab	0,37 ab	0,51 a	0,47 a	0,27 b
6	0,35	0,35	0,36	0,37	0,36 ns
12	0,29	0,31	0,33	0,44	0,31 ns
18	0,48	0,50	0,50	0,37	0,31
24	0,24	0,24	0,21	0,24	0,20 ns
36	0,40 a	0,38 a	0,33 ab	0,43 a	0,20 b

Tabela 136 – Continuação.

	Mg (cmol/L)				
-1	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07 ns
0	0,06	0,09	0,07	0,07	- ns
3	0,10 ab	0,10 ab	0,14 a	0,10 ab	0,07 b
6	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04 ns
12	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07 ns
18	0,14 a	0,14 a	0,15 a	0,11 ab	0,07 b
24	0,07	0,07	0,07	0,08	0,05
36	0,10 a	0,08 ab	0,09 ab	0,10 a	0,05 b
	Olsen P(mg/L)				
-1	6,4	5,0	5,5	6,2	5,0 ns
0	2,8	3,3	4,2	4,2	- ns
3	5,8	4,6	5,8	6,4	3,7 ns
6	3,3	3,0	4,0	4,0	3,5 ns
12	4,5	4,2	5,4	5,7	4,0 ns
18	6,1	7,4	8,4	7,6	8,4 ns
24	4,7	4,2	4,2	5,8	4,5 ns
36	5,0	5,0	5,1	6,7	4,9 ns

(*) Tratamentos seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes a 5% no teste de Duncan-Waller.

Fonte: Uribe et al. (1991)

17.13 Sistemas agro-silvo-pastoril (SASP)

Sob o nome de SASP se agrupa um conjunto de técnicas de uso que implica na associação ou combinação deliberada de um componente lenhoso (seja floresta ou frutíferas), com pecuária e/ou cultivos no mesmo terreno, com interações significativas ecológicas e/ou econômicas. Quando só há interesse para o componente arbóreo e animal fala-se de Sistema Silvopastoril (SSP). Tais combinações podem ser simultâneas ou sequências no tempo e no espaço. Quando há o interesse para o componente agrícola tem-se Sistema Agropastoril (SAP), considerados mais simples.

Na implantação os tópicos são os seguintes: utilização de áreas já degradadas pelas pastagens; desenvolvimento de sistemas heterogêneos, reduzindo os riscos de ataque de pragas e doenças; aumentar o nível de utilização do terreno; garantir maior equilíbrio de produção; aproveitar melhor a mão de obra ao longo do ano.

Para isso seria necessário o conhecimento detalhado das espécies a serem plantadas assim como um planejamento adequado quanto a disposição das espécies na

área a serem exploradas e o planejamento quanto a condução e exploração das espécies. Tal sistema é prática comum nos silvícolas

A Figura 120 indica alguns exemplos de sistemas já instados.

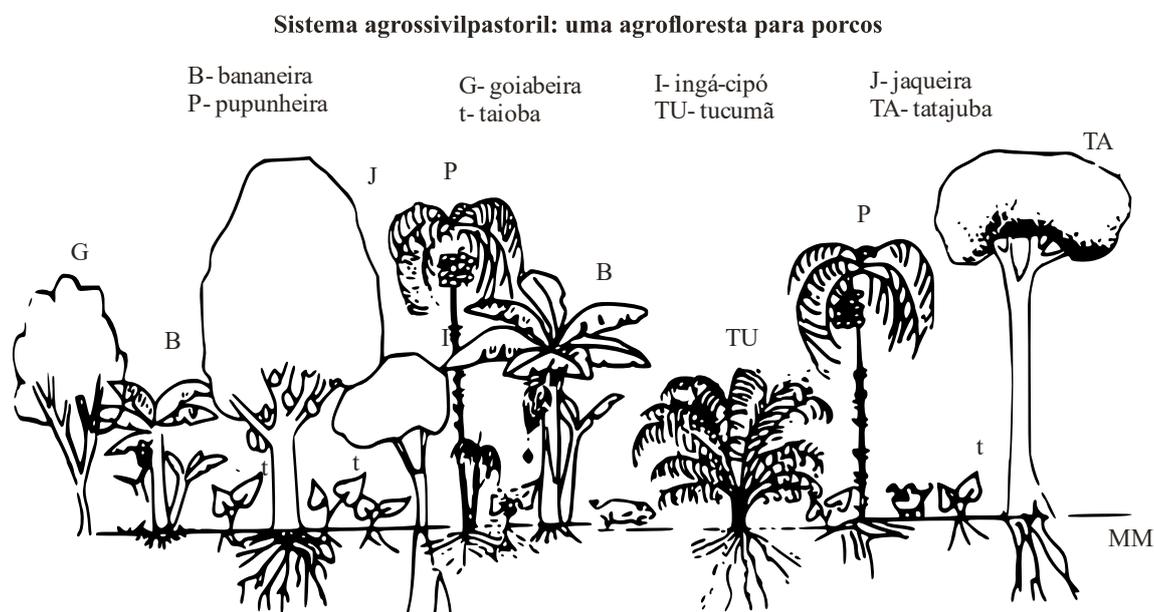


Figura 120 - Sistemas Agrossilvopastoril caracterizados pela criação ou manejo de animais em consórcios silvi-agrícolas. Exemplos: agrofloresta para criação de porcos; um quintal com fruteiras, hortaliças e galinhas.

17.14 Sistemas SASP com altos insumos

Neste caso o solo pode dever ser preparado convencionalmente, corretivo e adubado em função das espécies escolhidas, de componentes perenes como mogno, paricá, ingá. Como componentes anuais pode se usar arroz e mandioca ou componentes anuais sequenciais como milho, seguido de caupi, seguido de mandioca. Os exemplos são muitos e podem ser usados como componentes perenes: eucalipto, tatajuba, paricá. Combinações de gramíneas com leguminosas: (P. maximum comercial + centrosema nubences e Bmchiaria humidicola comercial + centrosema nubencens) e uma cultura alimentar de milho.

No caso de se utilizar a própria floresta pode-se optar por uma combinação de floresta raleada, com plantas que se desenvolvem à sombra (cacau, guaraná, pimenta do reino) ou combinações de feijó, mogno e andiroba, com cacau, guaraná.

A passagem de um sistema com culturas de ciclo curto para um sistema Silvo-Pastoril, incluindo café e freijó pode ser observado na Figura 121.

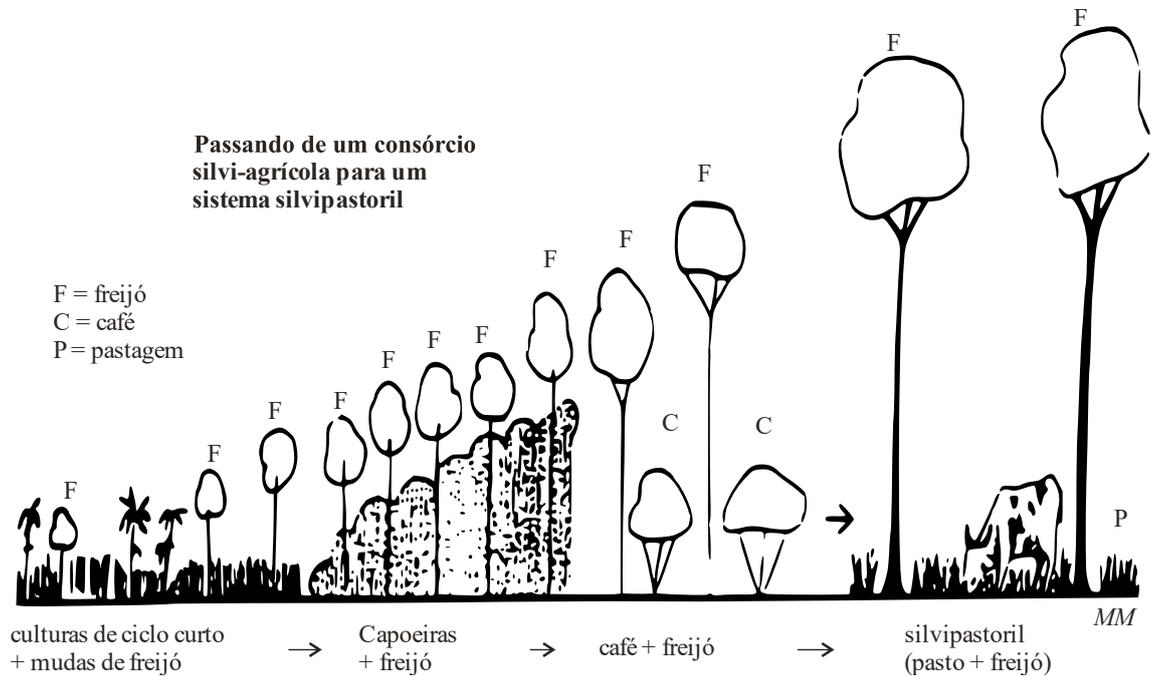


Figura 121 - Passagem de um sistema de culturas e freijó para um sistema Silvo Pastoril com Freijó e pastagem.

17.15 Pastagens – Considerações gerais

A pastagem tem sido no Brasil a atividade de vanguarda agrícola nas aberturas de novas áreas, principalmente na Amazônia. Apesar da grande euforia inicial, o estabelecimento de muitas áreas com pastagens nesta região constituiu fontes de controvérsias e fracassos.

De modo geral a instalação de pastagens em áreas mata seguiam as seguintes etapas: remoção das espécies de madeira de lei (quando havia interesse econômico e tempo viável); derrubada da mata, manual ou mecânica; remoção de parte da vegetação para obtenção de carvão (também dependia do interesse econômico e tempo viável); queima da biomassa no auge das secas; plantio da gramínea no início das chuvas.

A produção inicial medida pela massa seca/há de pastagem era considerada boa, inclusive a capacidade de suporte, isto devido principalmente pelas cinzas. Após um

período variável, em tomo de 5 a 6 anos, a capacidade de suporte da pastagem começava a declinar, e em consequência se iniciava o processo de degradação das pastagens sendo ocupado pela “juquira” (erva invasora) assim como a brotação de ervas daninhas e uma vegetação de porte mais elevado (floresta secundária). Quando a infestação com “juquira” em grande, 90 a 100%, e floresta secundária, a área era abandonada e novas áreas eram abertas repetindo-se as mesmas atividades.

Diversos fatores foram analisados para justificar a queda da produtividade das pastagens, entre elas os seguintes: baixa fertilidade natural das terras: baixa qualidade das forragens; forragens muito exigentes em solos (na ocasião usou-se muito o P.maximum); gramíneas inadequadas para a região; pragas e doenças e sistema de manejo inadequado das pastagens; desconhecimento das reações do ambiente em relação a esta atividade e parte econômica.

Além destes fatores limitantes o homem tem contribuído, em muitos casos, para acelerar o processo de redução da produtividade. Um processo de queima mal-conduzido ou de uma semeadura mal executada, ou de uma super lotação animal, podem comprometer a instalação da pastagem, devido a mais rápida exposição da superfície do solo a erosão e a lixiviação.

Resultados de experimentos de longa duração são também apresentados por Serrão et al. (1979) em áreas de pastagens. Tais autores obtiveram dados de regiões de solos distintos na Amazônia brasileira como em Paragominas no Pará, em um Oxisolo (Latosolo Amarelo) de textura argilosa, álico. O outro localizado na região de Suiá – Missu, um Oxisolo de textura média, álico. Após o corte e a queima da vegetação natural foi implantado pastagens, com capim colônia (P. maximum), e ao longo dos anos, num total de 13, foram obtidos resultados de análises de solos (Figura 122).

Tais resultados têm indicado que após 13 anos de observação nota-se que tanto o pH como as bases (Ca, Mg, K) apresentam níveis superiores ao estágio inicial, antes do fogo, indicando sensível enriquecimento do sistema. Ao longo do tempo a tendência, devido ao fogo, havendo decréscimo a seguir atingindo novo patamar, porém superior os teores iniciais.

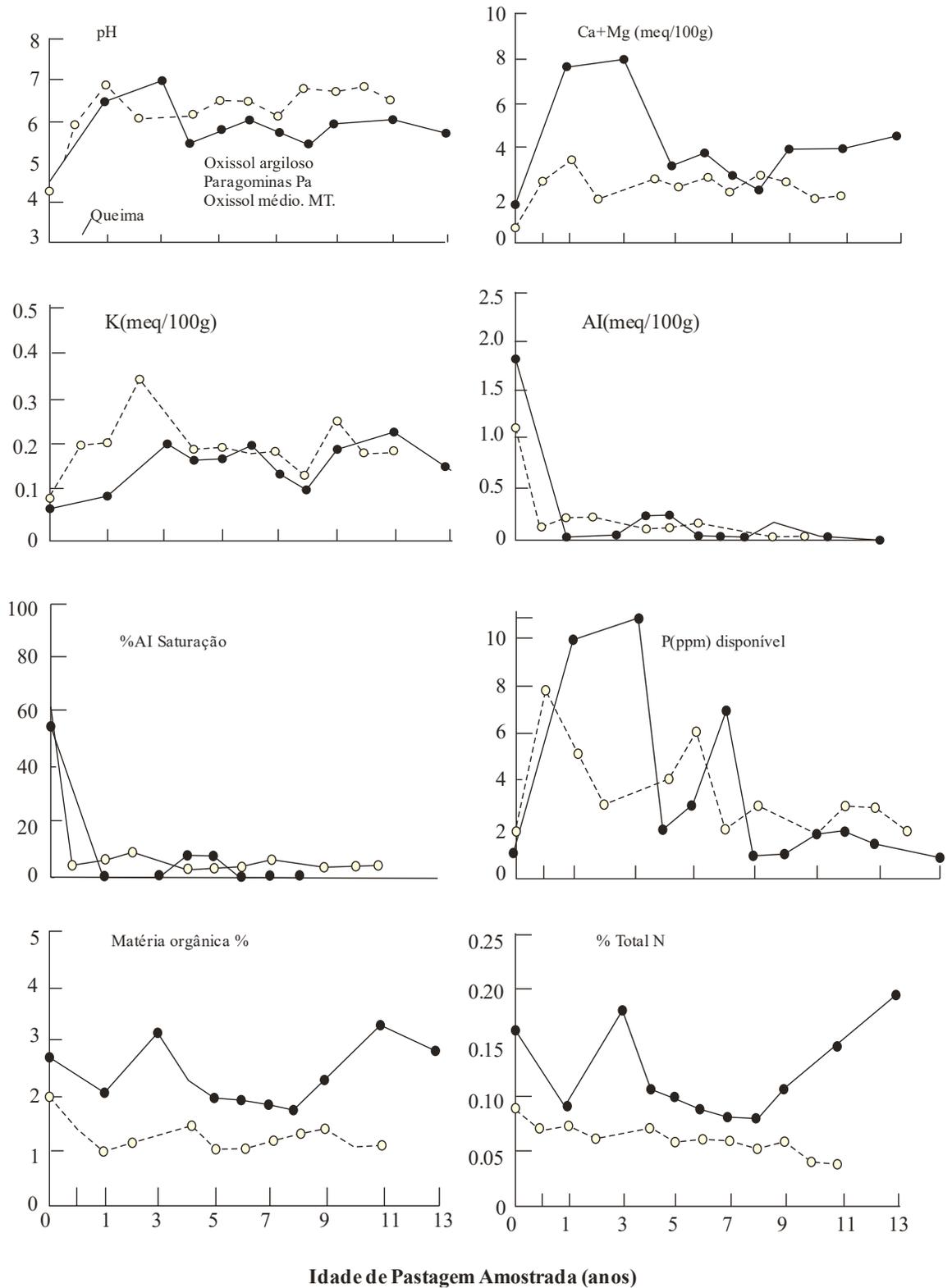


Figura 122 - Mudanças nas propriedades química com a camada superficial de Oxisolo argiloso e de textura média com pastagem de *Panicum maximum* de idade conhecida nos Estados do Pará e Mato Grosso. **Fonte:** Serrão et al. (1979).

17.16 Recuperação de pastagens degradadas: níveis alto e médio de manejo

De maneira geral os procedimentos irão depender de um adequado planejamento (nível alto de manejo) a respeito do levantamento dos níveis de infestação com “juquira” e uma programação ao longo dos anos sobre o percentual de área a ser recuperado. Por outro lado, é necessário um plano de ação para a condução das pastagens (tipos de gramíneas a ser colocado, divisão de pastagens, lotação quantidade de animal por hectare etc.) caso contrário o efeito benéfico não ocorrerá.

a. Recuperação de áreas para nível elevado de manejo

Com uma infestação de 80 a 90% com “juquira” o procedimento é o de gradear a área e dependendo do porte da vegetação há necessidade de grades pesadas seguido de grades intermediarias. Se houver vegetação de porte é preciso nova derrubada e queima, seguido de enleiramento e esparramamento, para depois iniciar as gradeações.

Aplicar o calcário elevando o nível de saturação para 50 a 60%. Aplicar o fósforo, usando o superfosfato simples, (o enxofre é necessário neste processo) na faixa de 80 Kg/ha de P205 em solo de textura media arenosa e 100 Kg/há em solo argiloso (adicionar 30 Kg/ha do FTE BR 12 junto com o fósforo). Incorporar com grade. Semear a gramínea no início das chuvas. Em cobertura, no primeiro ano aplicar 60 kg/ha de nitrogênio e 60 Kg/ha de K₂O.

Em pastagem já instalada aplicar no início das chuvas 40-80-40 Kg/ha de N- P₂O₅-K₂O. Em cobertura aplicar 60-00-60 Kg/ha. No caso, do calcário fazer o acompanhamento com análises periódicas do solo.

Fazer as deduções dos fertilizantes de acordo com as curvas de calibração. Apesar de não ser regra geral, há solos na Amazônia, principalmente no sul do Pará e no Acre onde teor de potássio é razoável e neste caso fazer as deduções de acordo com as curvas de calibração.

Manter a área limpa com o uso da roçadeira. Evitar queimar a pastagem e gradear as soqueiras. Tal procedimento tem permitido a pecuaristas atingirem 2,5 a 3,0 UA/ha nesta região.

b. Recuperação de áreas degradadas para nível médio de manejo

Repetir a limpeza da área visto no exemplo anterior. Aplicar 60 Kg/ha de P₂O₅ (na forma de SFS) em solo de textura média arenosa ou 80 Kg/ha se solo argiloso. Incorporar com grade e semear. A cada 2 anos voltar a aplicar as mesmas quantidades de fósforo. Manter a área limpa, roçando-a. Evite queimar e gradear as soqueiras.

c. Efeitos dos fertilizantes nas pastagens

A Tabela 137 resume a produção relativa de gramíneas e leguminosas com e sem a adubação completa em áreas de pastagens degradadas de Rondônia, em PVA de textura média argilosa. Os principais dados são os seguintes: o fósforo é o elemento no mínimo, tanto para as gramíneas como para a leguminosa. A produção sem o fósforo foi praticamente semelhante a testemunha, em torno de 50% da produção relativa. O segundo elemento em falta foi o enxofre, sendo seguido pelo potássio e o complexo de micronutriente e finalmente o corretivo.

Há diferenças de respostas para as gramíneas, sendo a menos exigentes a B. Humidicola, porém ainda o fósforo neste caso é limitante.

Tabela 137 - Produção relativa (%) de forragem de gramíneas e leguminosas com adubação completa menos um nutriente e sem adubação, em áreas de pastagens degradadas de Rondônia.

Adubação	Espécies			Leguminosas ²
	B. decumbens ¹	H. rufa ¹	B. humidicola ²	
Completo (C) ³	100	100	100	100
C - P	57	45	56	55
C - K	70	84	74	60
C - S	62	53	84	77
S - Cal	75	72	95	79
C - FTE-BR 12	73	67	92	59
Testemunha	54	44	70	46

Fontes: 1. Gonçalves et al. (1990a). 2. Costa et al. (1989b).

Completo = P + K + S + Ca + FTE-BR 12. P = 100 kg de P₂O₅/ha (superfosfato triplo). K = 100 kg de K₂O/ha (cloreto de potássio). S = 50 kg de S/ha (elementar). Cal = 1.000 kg de calcário dolomítico/ha (PRNT = 100%). FTE BR-12 = 30 kg/ha (mistura comercial de micronutriente)

Foi visto que o fósforo é o elemento principal em falta sendo assim foi feito em experimentos levando-se em relação a este nutriente em pastagens degradadas com diferentes percentuais de degradação (% de invasoras ou juquira) (Tabela 138). Pode ser observado que numa área com 75 a 80% de invasores praticamente não há forragem disponível. Neste caso a limpeza da área seguido pela queima e vedando o pasto reduziu para 50% as invasoras e aumentando para 1,5 t/ha de massa seca. Porém não resolveu o problema. Repetindo-se o mesmo procedimento anterior, porém aplicando 50 Kg/ha de fósforo, (superfosfato simples) o percentual de invasores foi reduzido para 5% e a produção de massa seca passou para 5,0 t/ha (Tabela 138).

Tabela 138 - Efeito da adubação fosfatada na recuperação na Amazônia de pastagens degradadas de *Panicum maximum*l.

Tratamento	Forragem disponível (t de MS/ha)	Invasora (%)	Teor de P (%)
Pastagem degradada	-	75-80	-
Limpeza + queima	1,5	50	0,08
Limpeza + queima + 50 kg de P ₂ O ₅ /ha	5,0	5	0,13

Fonte: Serrão et al. (1979).

Em 1990, Gonçalves et al trabalhando com pastagens degradadas utilizou teores de fósforo de zero a 150 kg/ha com três variedades e observou que após quatro meses de aplicação verificaram que teores de 75 kg/ha seriam suficiente para o máximo de produção aplicado em área total sendo que o P.maximum foi o que menos produziu em termos de massa seca. Ao mesmo tempo verificaram que através das análises de fertilidade na faixa de 0-20 cm seria suficiente para saber quando deveriam aplicar novamente o fósforo (Tabela 139).

Tabela 139 - Rendimento de matéria seca (t/ha) de pastagens degradadas de P. maximum, B. decumbens e H. rufa, em função da fertilização fosfatada.

Doses de P ₂ O ₅ (kg/ha)	P. maximum ¹	B. decumbens ²	H. rufa ²
0	7,72	10,36	10,62
25	9,28	10,49	13,94
50	10,61	13,42	14,93
75	14,44	15,95	17,14
100	12,46	14,37	15,54
150	11,39	14,56	15,72

Fontes: Gonçalves et al. (1990).

Em relação as fontes de fosforo estes mesmos autores verificaram que as fontes solúveis, SFT e STS, são superiores ao Hiperfosfato, e a medida que na mistura aumenta o Hiperfosfato e reduz o SFS, a produção decresce. Entretanto com ½ de SFT e ½ de Hipervofato a produtividade foi semelhante ao SFT. Tal experimento foi realizado em Porto Velho, RO, com a gramínea Panicum maximum.

Tabela 140 - Rendimento de matéria seca (t/há) de Panicum maximum, em função da aplicação de diferentes fontes de fósforo. Porto Velho, Rondônia, 1981/1983.

Tratamentos	Primeiro Ano ¹	Segundo Ano ¹	Total
Testemunha	6,94 e	3,47 d	10,41 e
Superfosfato Triplo (SFT)	13,64 a	7,54 bc	21,18 ab
Superfosfato Simples (SFS)	13,21 abc	8,38 bc	21,59 ab
Hiperfosfato (H)	10,55 d	6,54 c	17,09 cd
SFS + H	13,23 ab	7,31 bc	20,54 ab
SFS + SFT	12,67 abcd	10,82 a	23,49 a
SFT + H	12,09 bcd	9,10 ab	21,19 ab
SFS + H	11,85 bcd	6,49c	18,34 bcd
SFS + H	10,17 d	6,44 c	16,61 d

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (P > 0,05) pelo teste de Duncan.

Tais pesquisadores resumiram os dados sobre o efeito da carga animal e da fertilização fosfatada em pastagem de B. Observaram que quando se adiciona o fósforo há ganhos de peso nas duas cargas animais/ha de 1,8 e 3,2, sobrando ainda forragem disponível (Tabela 141).

Tabela 141 - Efeito da carga animal e da fertilização fosfatada sobre o desempenho produtivo de novilhos Nelore e a disponibilidade de forragem em pastagens de *Brachiaria humidicola*. Porto Velho, Rondônia, 1978/82.

Tratamentos	Carga animal (na/ha) (an/ha)	Ganho de peso		Forragem disponível (t MS/ha)
		kg/an	kg/ha	
B. humidicola (BH)	1,8	150	270	2,67
	3,2	107	342	2,36
BH + 50 kg P ₂ O ₅	1,8	183	329	3,44
	3,2	150	480	3,12

Fonte: Gonçalves et al. (1990e).

17.17 Considerações finais sobre Amazônia

Como foi discutido a grande totalidade dos solos da região Amazônica são profundos, de textura média a argilosa ou muito argilosa, bem drenados e com relevo favorável a mecanização. As condições climáticas são favoráveis a agricultura de maneira geral. A fertilidade dos solos é baixa com sérios problemas nutricionais tanto na superfície como principalmente na subsuperfície. Minerais primários intemperizáveis na fração argila na maioria dos Oxisols e Ultisols são rasos não havendo, portanto, reserva nutricional. A CTC efetiva não é marginal, pelo contrário, apresenta valores na faixa dos 4 a 6 meq/ 100g solo, muito favorável a recuperação química inclusive na subsuperfície.

Dentre os sistemas de manejo sugeridos para a região Amazônica é necessário analisá-los cuidadosamente, porém acredita-se que todos eles têm seu espaço e devem ser cada vez mais desenvolvidos e conhecidos. Uns são mais frágeis do que outros como o “Cultivo com Baixa Intensidade” comparado com o “Cultivo com Alta Intensidade”; outros por sua vez talvez mais seguros, como o uso das várzeas controladas para o cultivo do arroz; outros menos agressivos ao ambiente como o sistema Agroflorestal ou Agrossilvopastoril.

No que se refere a sustentabilidade da fertilidade dos solos, é preciso entender que um sistema, com baixo teor de nutrientes, tanto na superfície como na subsuperfície, submetido a precipitações pluviométricas médias de 2.100 mm é frágil e tende a se deteriorar ao longo do tempo dependendo de como se pretende utilizá-lo. O próprio “Cultivo Migratório” é um exemplo milenar desta fragilidade.

Os sistemas “Agroflorestais” são os que apresentam maior semelhança com o ambiente de mata no que se refere as perdas e ganhos de nutrientes apresentando regra geral balanço zero ou positivo, continuando ainda muito frágil.

Quanto ao sistema de agricultura ou pecuária de “elevado nível de investimento”, os experimentos de longa duração têm demonstrado que as reações dos solos frente ao uso de corretivos e fertilizantes são semelhantes aos demais Oxisols e Ultisols de outras regiões brasileiras.

A “construção” da fertilidade dos solos se processa da mesma maneira tradicionalmente conhecida em outras regiões brasileiras. Neste aspecto, uma vez recuperados quimicamente, os solos da região Amazônica são produtivos e conseguem sustentar sua fertilidade ao longo do tempo.

Haverá necessidade, entretanto, de mais pesquisas específicas, nos diversos sistemas de manejo tais como do detalhamento das diversas calibrações nutricionais, assim como dos níveis de corretivos, frequência de utilização dos insumos e dinâmica dos nutrientes ao longo do tempo assim como dos necessários cultivares.

Finalmente, é necessário enfatizar o que tem ocorrido na região dos Cerrados do Brasil Central. Uma região tida no passado, como infértil e frágil hoje já é responsável pela produção de 35% de grãos do país. Em termos de solos fica a pergunta: “No que difere a fertilidade dos solos dos Cerrados com a região Amazônica?”. Não há diferença.

18 CAPÍTULO 18. MAPEAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS – CONCEITOS E APLICAÇÕES

18.1 Considerações iniciais

Para realizar um manejo adequado de qualquer cultura, é necessário conhecer o solo no qual ocorrerá a implantação. Neste caso, a caracterização do meio físico, o solo, é de suma importância, pois é a partir dela que se consegue colocar em prática todo o conhecimento exposto nos capítulos anteriores. É comum haver, no meio agrícola, confusão na comunicação do conceito de solo. No cotidiano, vincula-se solo, com as questões químicas e de fertilidade. Tal fato está atrelado a tradição em ensino e na natureza do objeto, qual seja, o fertilizante apresenta resultados imediato ao agricultor, enquanto o solo propriamente dito, se verifica a prazo mais longo. Por exemplo, adubar um solo pobre, rapidamente se observa a resposta na planta. Adubar o mesmo solo, mas que tem um nome, Argissolo, por exemplo, o agricultor não fez o mesmo vínculo. Para ele, quem de fato impactou na produção, foi o fertilizante 'naquela terra'. Entretanto, a dinâmica do soluto, da água e do fertilizante aplicado pelo agricultor, está intimamente vinculada ao processo de enraizamento e por consequência, a produtividade. Logo, conseguir fazer com que o agricultor entenda que fertilidade é diferente de pedologia, mas que ambas se completam, é uma árdua tarefa.

Sabendo da importância dos conceitos pedológicos e seu impacto na produtividade de uma cultura, bem como no direcionamento do seu manejo, foi desenvolvido este tópico. Primeiramente o tópico apresenta a classificação do solo, ou, como se dá o nome ao 'indivíduo'. Posteriormente, é apresentada a técnica clássica de mapeamento, e por fim, as relações com o manejo propriamente dito. Serão abordados solos com maior uso em agricultura. Além disso, as características apresentadas valem principalmente para as culturas de grãos, cana, eucalipto, pinus, citrus e café. Culturas específicas como frutíferas por exemplo, podem não apresentar as mesmas características de produtividade do aqui relatado.

Maior detalhamento sobre este tópico ver: (a) sobre análises de solos para pedologia, Donagema et al (2011); (b) classificação de solos (Santos et al., 2018), (c)

morfologia de solos Santos et al. (2005), (d) levantamento e mapeamento de solos (Santos et al., 2019).

18.2 Mapeamento pedológico – definição e metodologia

Mapa pedológico é um produto onde foram delimitados os diferentes tipos de solo em uma determinada área. Cada tipo de solo (o qual podemos chamar agora de classe), é a designação de um nome que traz embutido uma série de características. Tais características seguem regras definidas como uma chave pela Santos et al. (2018). O delineamento destes tipos de solo tem toda uma técnica como tradagens, perfis, trabalhos de campo, análises de solo, uso de fotos aéreas, imagens de satélites, sensores, gps entre outros equipamentos. Associe a isso a experiência do intérprete e chega-se ao produto final.

Os solos podem ser vistos de diferentes formas e ângulos, o que torna a sua percepção e delineamento mais fácil. A figura 122 l indica as formas de visualização (forma micro: exemplo, textura no tato, análise de solo; forma longitudinal: visão de corte entre altitude e distância, permitindo inferir a situação em corte; visão em relevo: verifica as formas da superfície. Visão pontual: seria no ponto, numa trincheira ou numa tradagem; visão espacial: trata da visão do mapa mostrando a espacialização representada pelos pontos). Uma das bases é descobrir os limites das diferenças entre solos ao longo de uma topossequência. Isso facilitará ligar as linhas em toda a imagem (Figura 122 m). A detecção dos limites dos solos pode ser realizada por diferentes estratégias, utilizando-se de tradagens, trincheiras, técnicas de geotecnologias ou geoprocessamento, entre outras. O método clássico se utiliza das tradagens para achar limites em conjunto com o relevo (unidade de mapeamento), enquanto a trincheira serve para definir a classificação do solo (unidade taxonômica). O importante é detectar sua alteração ao longo da vertente.

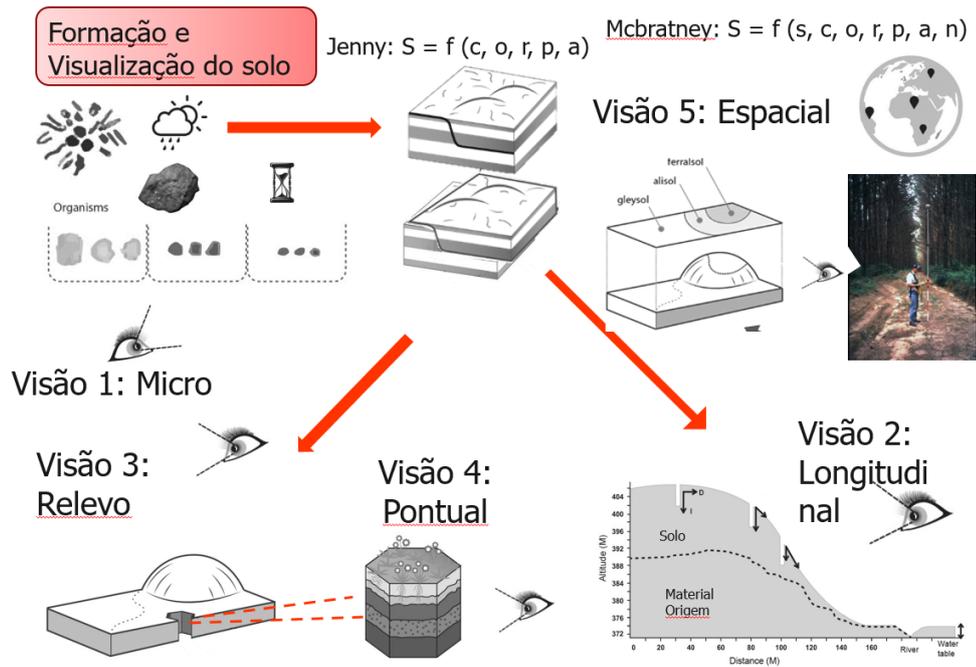


Figura 1221 - Ilustração da formação e formas de visualização do solo

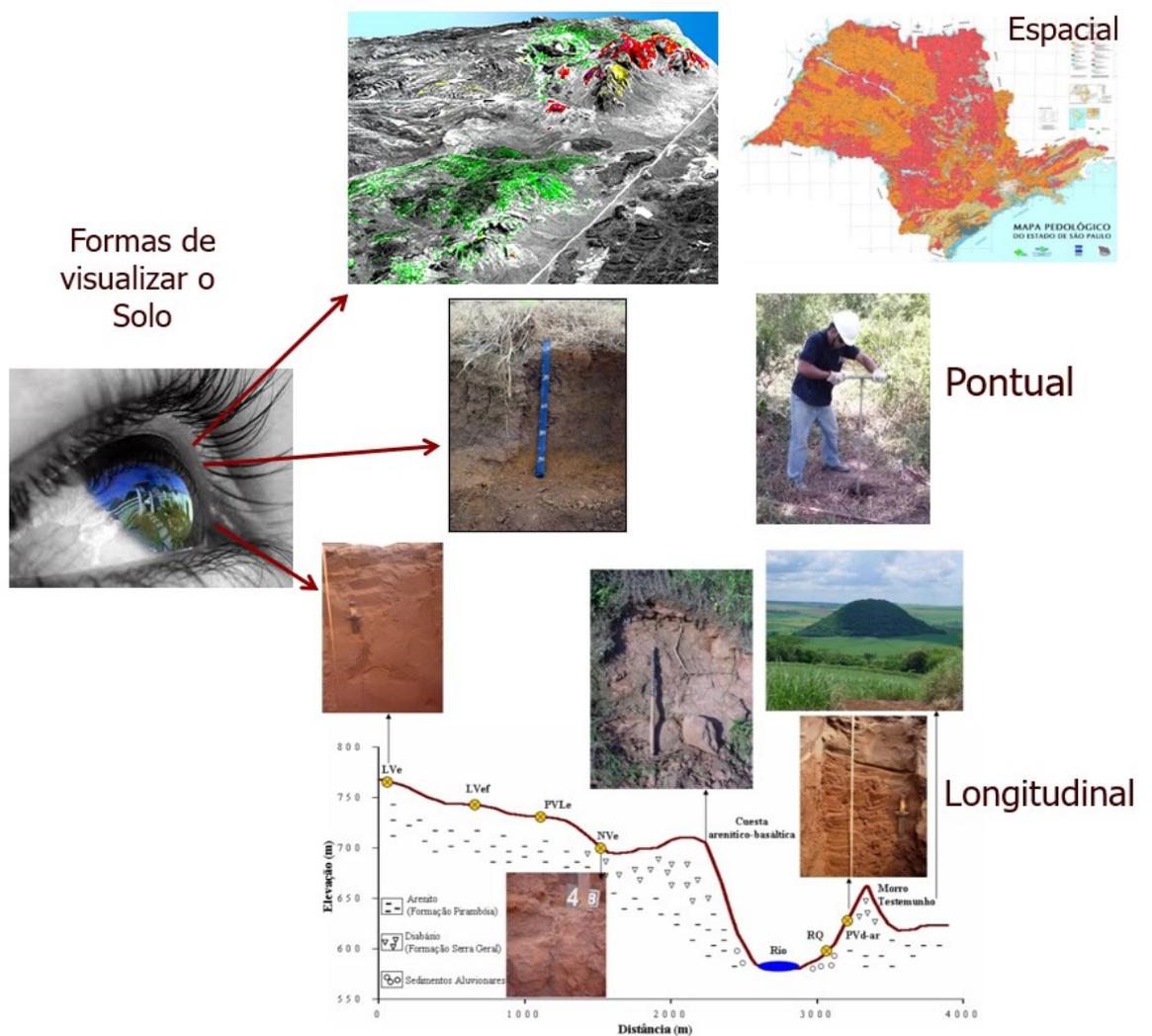


Figura 122l - Ilustração da formação e formas de visualização do solo

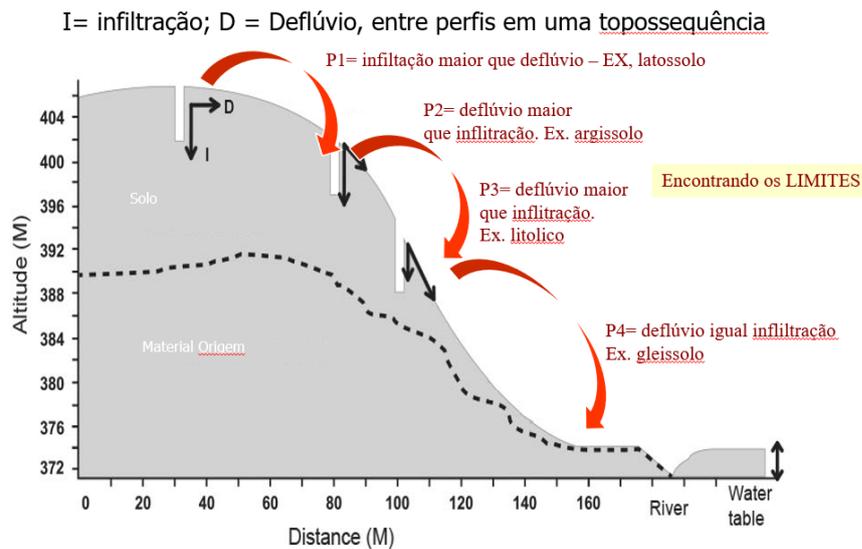


Figura 122m - Observação de solos ao longo de uma topossequência com o intuito de detectar os limites de solos

Inicialmente é importante entender os termos básicos unidade de mapeamento e unidade taxonômica. A figura 122n exemplifica. Para dar início a um mapeamento pedológico é necessário eleger os mapas base a ser utilizados. Entre eles temos fotografias aéreas preto e branco, fotografias aéreas coloridas, fotografias aéreas infravermelha, cartas altimétricas, imagens de satélite, de radar, entre outros. Trata-se de uma base cartográfica em cima da qual serão feitas todas as anotações de campo, de solos, para posterior decalque das delimitações. A figura 122r mostra os diferentes tipos de mapas base. A figura 122 s exemplifica uma fazenda tendo como **mapa base** uma foto aérea colorida e covariáveis calculadas como o índice de vegetação (NDVI) e uma imagem com solo exposto). Além disso, tem-se as imagens de satélite com solo exposto e as imagens da biomassa.

Termos básicos: Unidade taxonômica, Unidade de mapeamento (Exemplo)

Uma classe de solo= Um nome

Uma unidade taxonômica. Refere-se ao perfil onde taxonomicamente se chegou a um nome

Uma unidade de mapeamento = Refere-se a uma área.

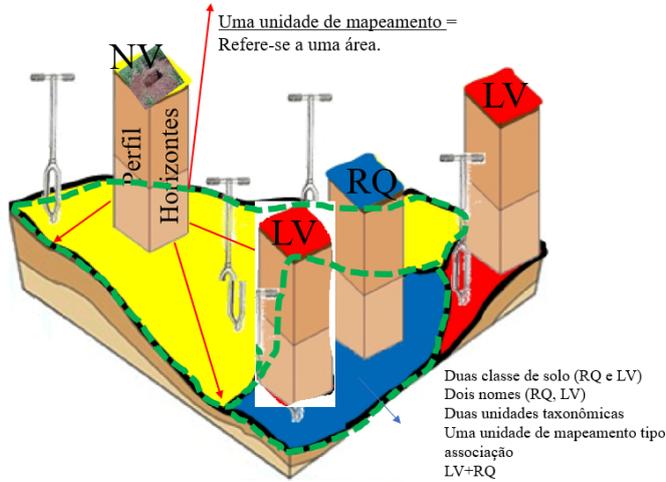


Figura 122 n – Ilustração do significado de unidades de mapeamento e unidade taxoômica.

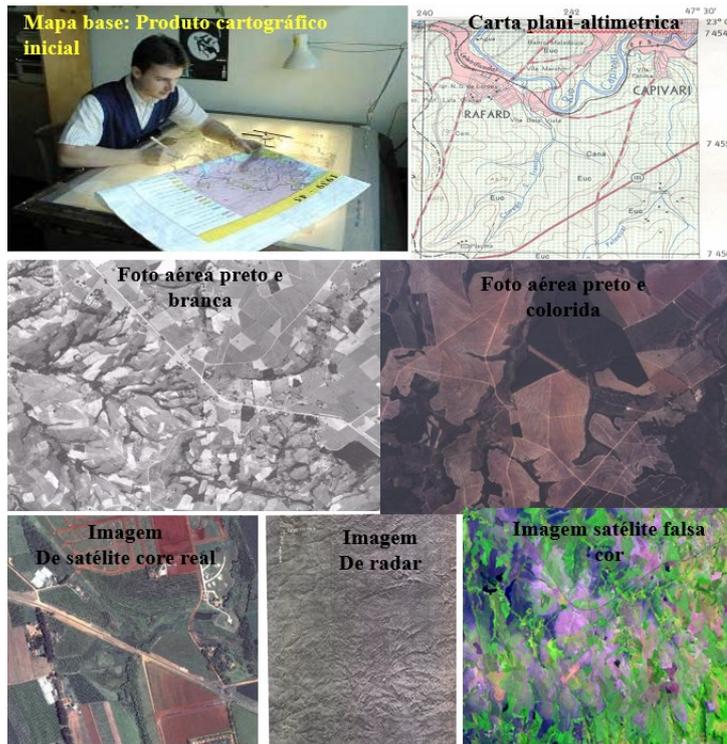


Figura 122.r. Exemplos de mapas base em mapeamentos pedológicos.

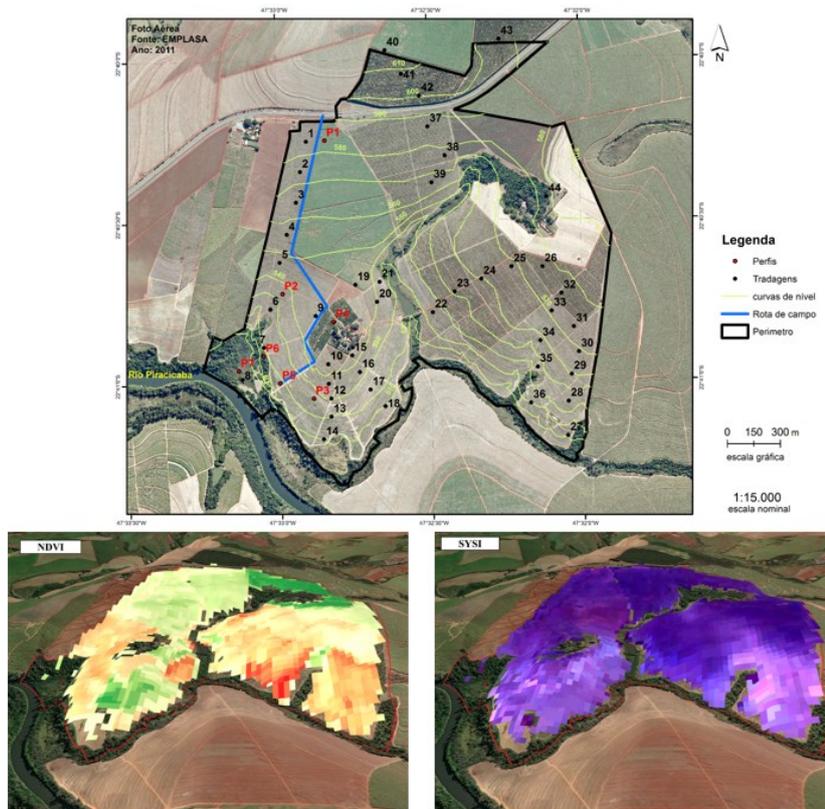


Figura 122.s. Produtos como apoio no delineamento de solos: carta planialtimétrica com foto aérea ao fundo e os pontos de análise demarcados; uma imagem com o índice de vegetação (NDVI) e uma imagem com solo exposto via satélite (mais arroxado mais argiloso). (Foto Fazenda Santa Rita, Piracicaba, São Paulo, material didático)

O planejamento de campo deve ser realizado previamente através do máximo de produtos cartográficos possíveis como fotografias aéreas preto e branco, coloridas, infravermelhas, imagens de satélite, de radar, cartas planialtimétricas entre outros. Tais materiais irá orientar o profissional na demarcação dos locais a visitar no campo (Exemplo figura 122 t).

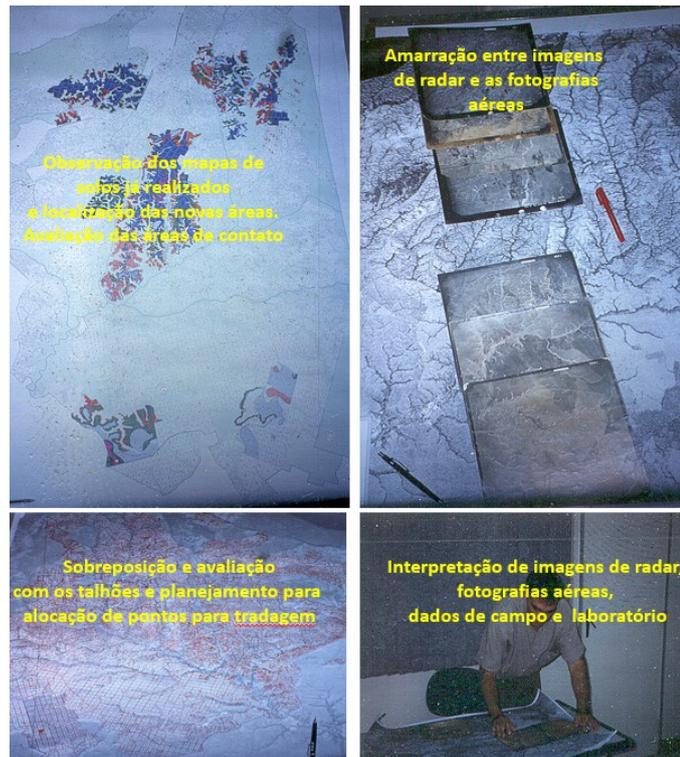


Figura 122t - Exemplo de planejamento de demarcação de pontos para análise em campo através da convergência de imagens de radar, fotos aéreas e cartas planialtimétricas.

Além disso, pode-se inserir nesta estratégia de mapeamento, o delineamento prévio, conforme indicado na figura 122u. A figura 122v ilustra uma sequência clássica no mapeamento, incluindo a técnicas automatizadas (pedometria).

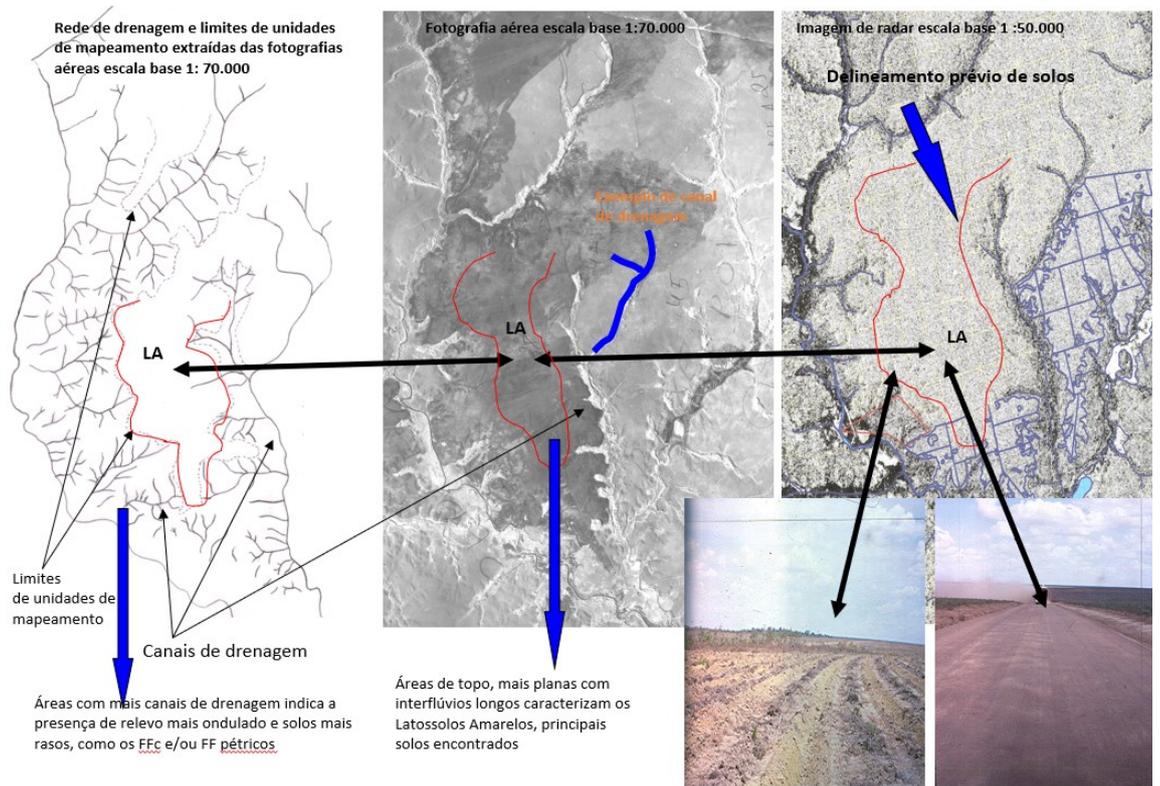


Figura 122u - Exemplo de delineamento prévio via produtos cartográficos e experiência em fotopedologia e imagens de satélite. Neste caso, utilizando fotos aéreas em preto e branco com imagens de radar.

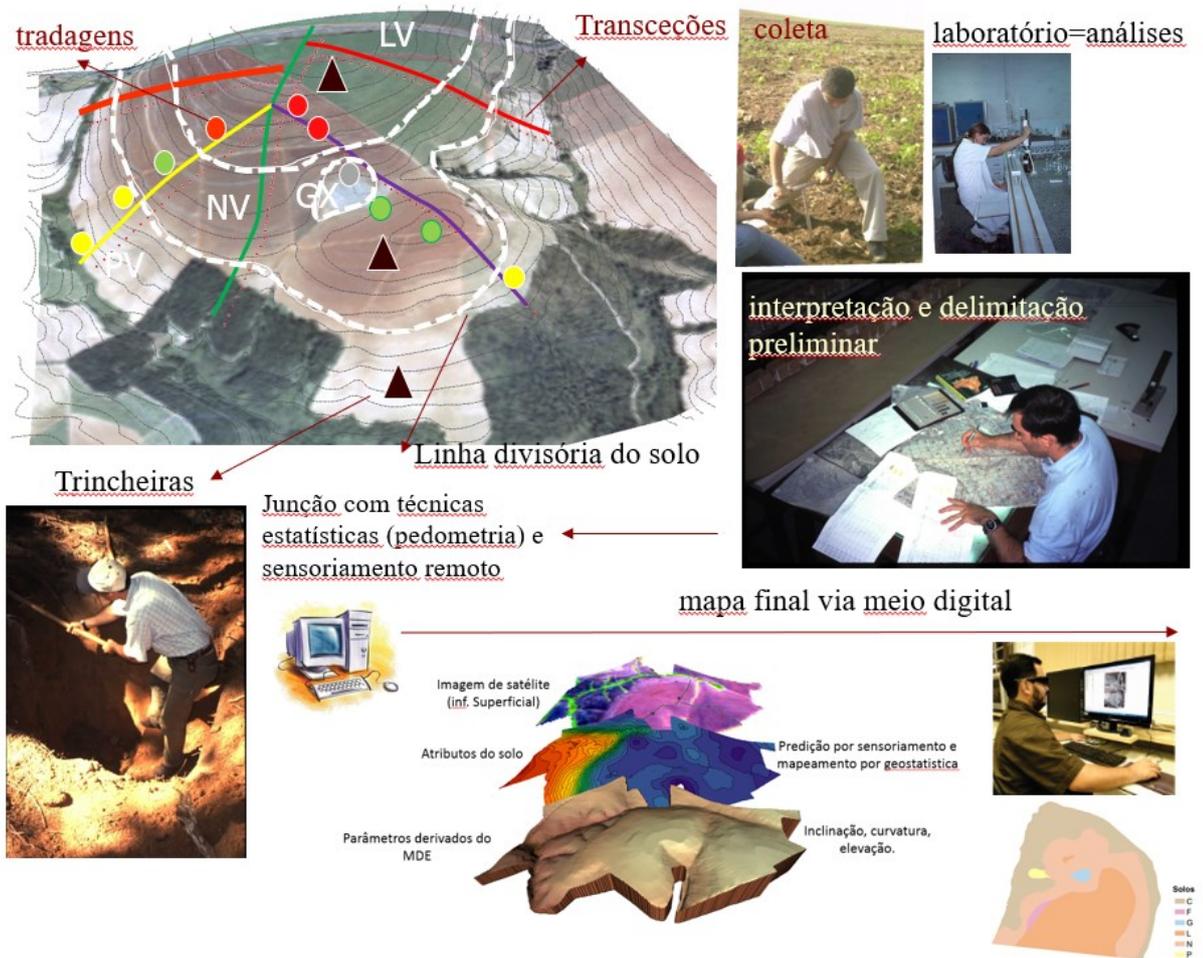


Figura 122v – Ilustração de um delineamento pedológico clássico, utilizando no final a pedometria. Foto: Caio Fongaro.

O número de pontos de observação (densidade amostral, segue as regras definidas por Embrapa e são ilustrados e adaptados no quadro abaixo.

Quadro. Densidade de observação amostral para fins de mapeamento pedológico. A densidade inclui avaliações em tradagens, perfis e demais visitas a campo. Os valores são variáveis função dos produtos cartográficos, das tecnologias e relevo da área. Fonte: Embrapa 1995.

Tipo de levantamento	Número de hectares para cada observação	Número de observações
Detalhado	2,5 a 5 ha./observação	0,2 a 4 obs/ha.
Semidetalhado	5 a 50 ha./observação	0,02 - 0,2 obs/ha.
Reconhecimento	100 a 2500 ha./observação	0,04 a 2,00 obs/km ²
Exploratório	acima de 2500 ha./observação	menos de 0,04 obs/km ²
Esquemático	sem especificação	sem especificação

A demarcação de pontos pode ser realizada manualmente através dos métodos da topossequencia (pontuando da parte alta para a mais baixa) ou grid em formato de grid (Figura 122 a,b). Hoje também se utiliza com muita frequência o sistema automatizado de demarcação de pontos como o latin-hipercube (Mendonça Santos et al., 2008; Minasny & McBratney, 2006).

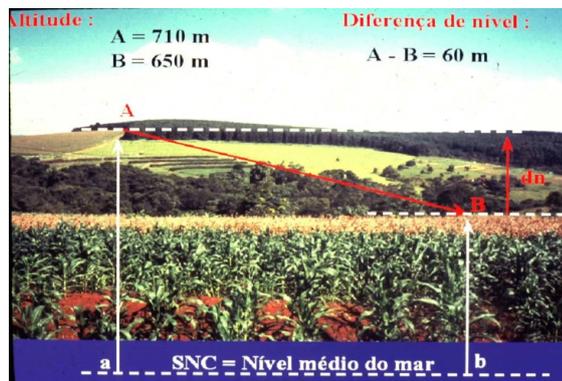
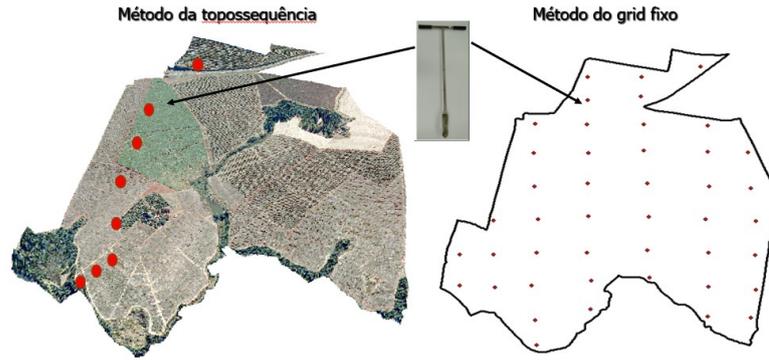


Figura 122a - Métodos de demarcação de pontos para avaliação em campo. Podem ser por tradagens ou perfis.

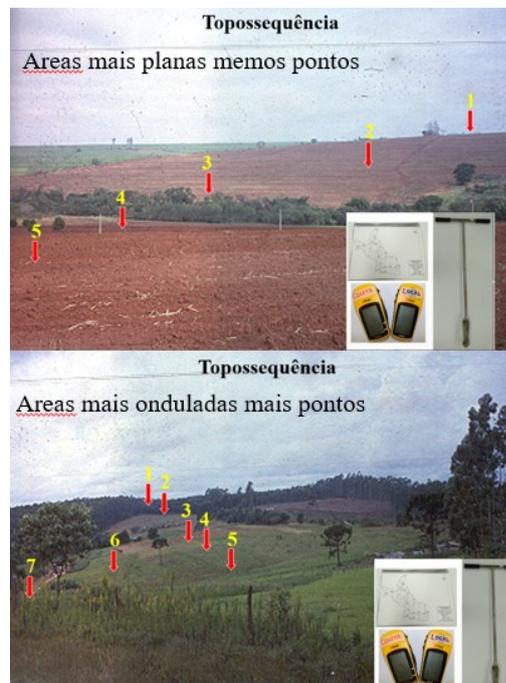


Figura 122b. Ilustração da demarcação de pontos no campo para fins de detecção dos limites de solos.

As observações são feitas por tradagens e perfis. Durante o procedimento das tradagens deve-se atentar para profundidade, presença de cascalho, plintita ou concreções de ferro, laterita, material de origem, textura entre as camadas, atração magnética, cor entre outras (Figura 122 c). Posteriormente, faz-se a análise das trincheiras. É nesta etapa que o intérprete deve se atentar a dois pontos: a) a classificação do solo, morfologia e demais características, b) prestar atenção as características ligadas ao manejo tais como: profundidade, desenvolvimento radicular, presença de compactação, pragas de solo, impedimento físico e químico, sintomas de drenagem, entre outros.

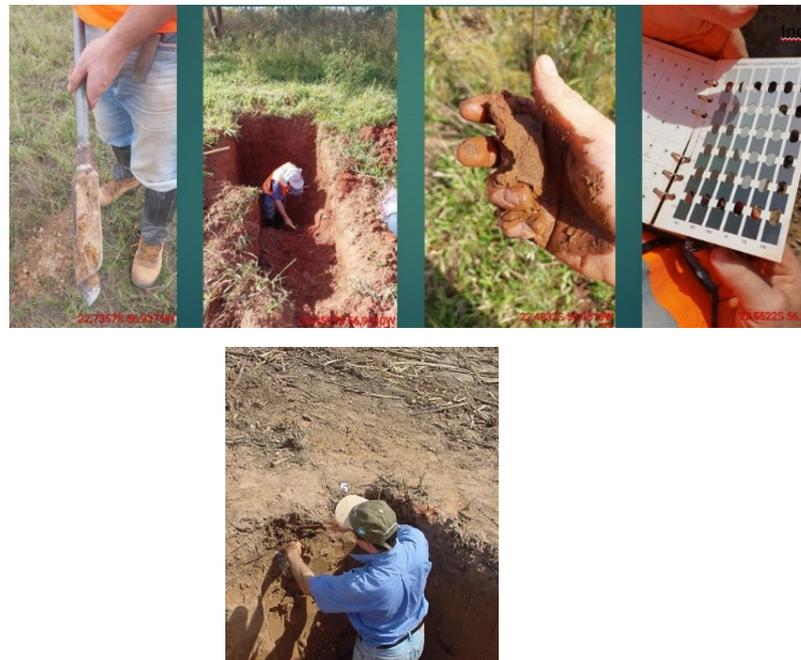
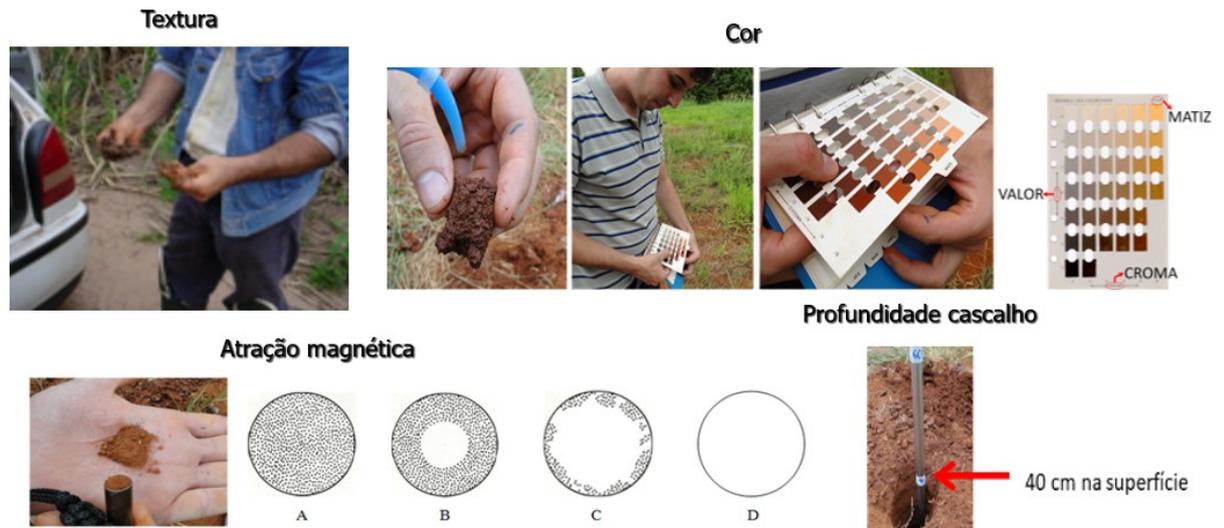


Figura 122c - Avaliação da etapa de tradagens. Atração magnética adaptado de Prado (1995). (Foto com Osmar Bazaglia Filho e José Alexandre Demattê).

Da análise pontual para a espacial, deve-se agora relacionar com covariáveis espaciais onde a principal é o relevo. A figura 122d ilustra a importância do relevo e da rede de drenagem na busca pelos limites dos tipos de terra.

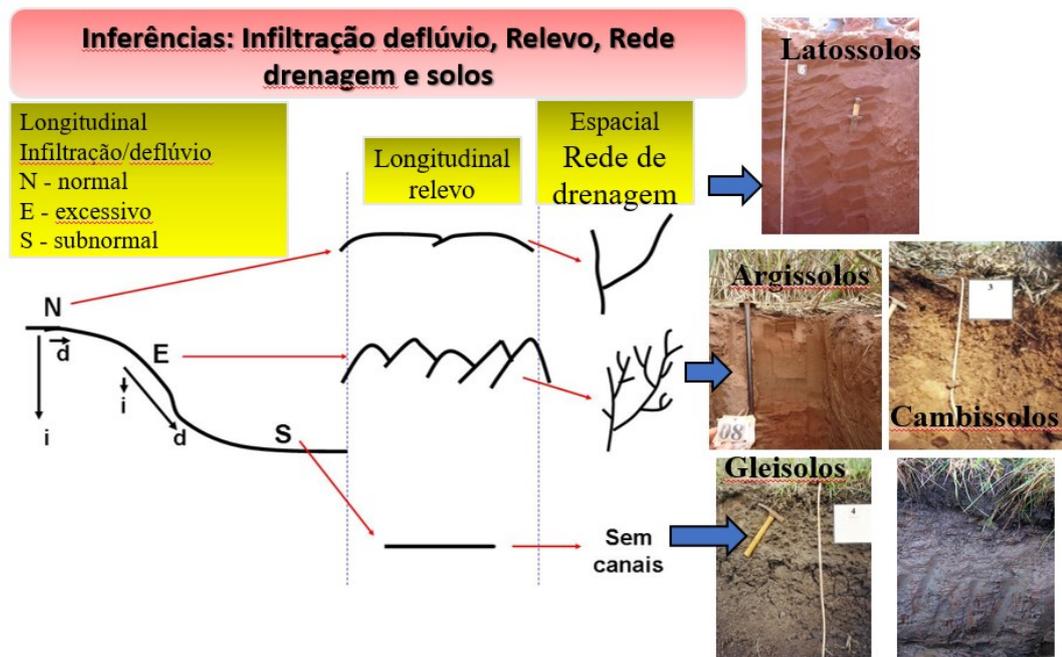


Figura 122d - Ilustração da importância do relevo e rede de drenagem na delimitação de solos.

Os mapas finais podem ter diferentes níveis de detalhamento, orientados por regras determinados por Santos et al. (2019), onde entra a escala e o número de observações entre outros. A figura 122e ilustra os diferentes níveis. Na 122f também é ilustrado um exemplo de como varia, para uma mesma região (No caso Piracicaba e região), mapas em diferentes escalas. Observe que quanto mais detalhado, maior o número de cores (ou de unidades de mapeamento). Isso pois aumenta a escala de trabalho e número de observações de campo.

NÍVEIS DE LEVANTAMENTO

- **Esquemático**
 - **Exploratório**
 - **Reconhecimento**
 - Baixa
 - Média
 - Alta
 - **Semidetalhado**
 - **detalhado**
 - **Ultradetalhado**
- > **Informação**
 > **Nº observações**
 > **Escala**

Figura 122e – Ilustração dos níveis de detalhamento de mapeamento de solos.

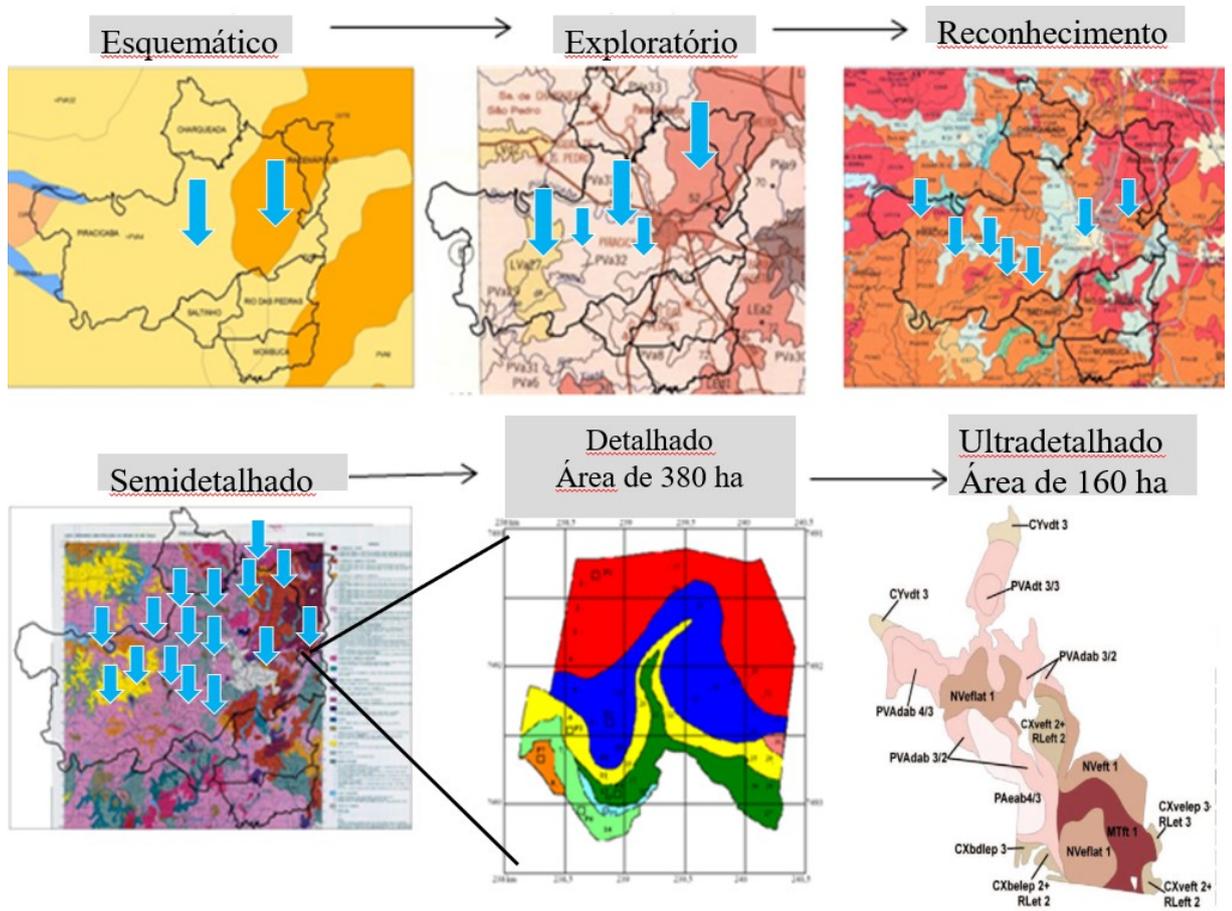


Figura 122f - Ilustração, para uma mesma região (No caso Piracicaba e região), mapas em diferentes escalas. Fonte: Bazaglia Filho et al. (2013).

O produto final terá “manchas” ou “blocos” dentro dos quais virá um nome (a classe de solo), denominada para fins de mapa como ‘unidade de mapeamento’ (Figura

122 g). Logo, o mapeamento tem por objetivo principal agrupar locais com características pedológicas semelhantes, para depois serem manejadas. Por exemplo, o Latossolo Vermelho eutroférico muito argiloso, é um solo profundo, sem gradiente textural, vermelho, com muita hematita, cor avermelhada, mineralogia caolinitica a oxidica, boa drenagem, relevo suave a plano, ótima fertilidade em subsuperfície e muito argiloso. Veja que estas características vão aparecer no mapa e o usuário vai ver onde ele ocorre. Os mapas apresentam diferentes escalas e regras. Para fins de manejo de fazenda, recomenda-se o nível 'detalhado'. Maiores informações de como se faz o mapa pedológico pode-se ver em Santos et al. (2018). Exemplo de um mapa pedológico segue.

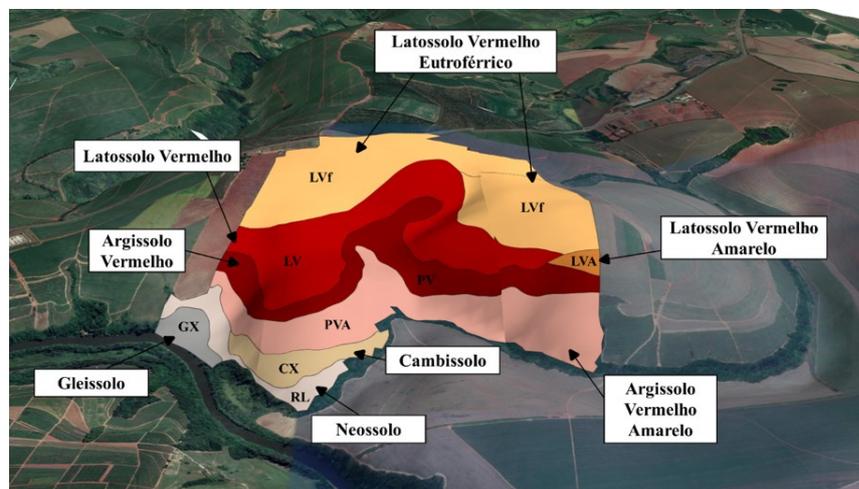


Figura 122g - Exemplo de um mapa pedológico onde aparecem os nomes dos solos e a localização dentro da fazenda (mapa pedológico da região de Limeira, SP).

A Figura 122h indica um exemplo completo do mapeamento.

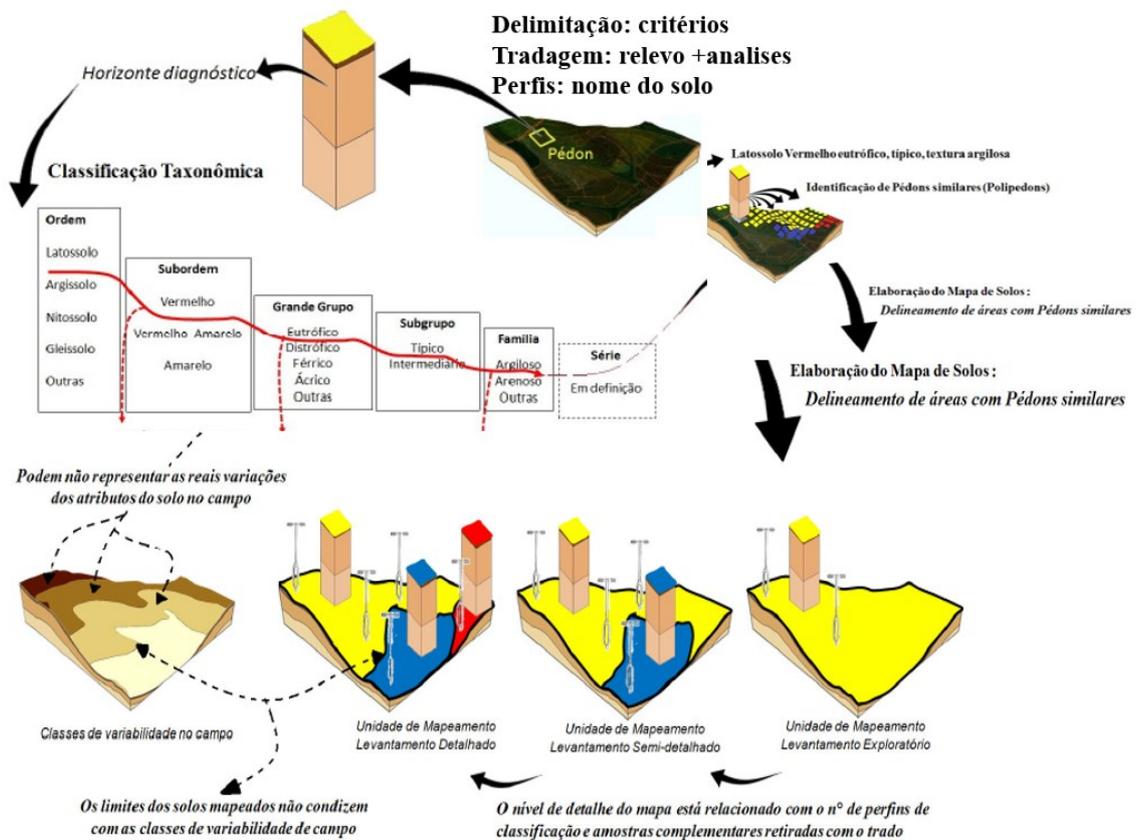
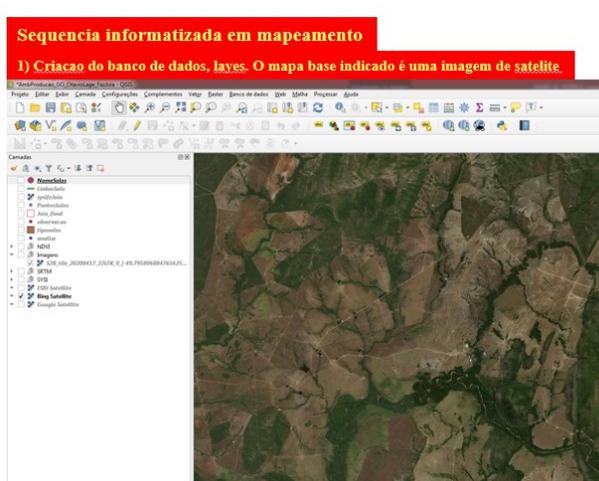


Figura 122 h. Ilustração da sequencia de mapeamento pedológico (Prado, 2005).

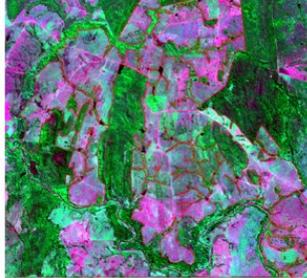
A seguir são ilustradas figuras de uma sequencia de mapeamento pedológico em software sig. As figuras são autoexplicativas e estão indicadas por fase do processo.



2) Insercao do perimetro da fazenda a mapear



Exemplo imagem NDVI



3) Demarcacao dos pontos onde ir tradar (usar imagens normal, composicao 543, 321, e ate NDVI)



Local dos pontos amostrais, Ficha de campo e foto Solo profundo



Local dos pontos amostrais, Ficha de campo e foto Solo alagado

Local dos pontos amostrais, Ficha de campo e foto Solo alagado



4) Coletar amostras em 3 ou mais profundidades e enviar para analise Em laboratorio

5) Ainda no campo, ob servar os dados das tradagens, in-loco, cor, textura, atraçao magnética, gradiente textural, e dar um possivel nome de solo

6) Ir traçando as linhas prévias



Local dos pontos amostrais, Ficha de campo e foto Solo profundo



Local dos pontos amostrais, Ficha de campo e foto Solo alagado



6) Em recebendo os resultados das analises de solos, Realizar a interpretação, olhando, em conjunto o local no mapa. Olhar em simultâneo.



IDENTIFICAÇÃO	Profundidade da amostra	FAZENDA	Granulometria				pH	pH	pH	MO	P	K	Ca
			Lab	Areia	Silte	Arg.	H ₂ O	KCl	CaCl ₂	res.	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
TRADAGEM			m ²	g/kg	g/kg	g/kg	-	-	-	g/dm ³	mg/dm ³		
GBV72	0-20	BOA VISTA 075642019	800,00	25,00	75,00	6,70	5,90	5,90	18,00	4,70	0,20	11,00	
GBV72	40-60	BOA VISTA 075642019	800,00	25,00	75,00	4,80	4,10	3,80	9,00	0,80	0,10	1,00	
GBV72	80-100	BOA VISTA 075642019	888,00	37,00	75,00	4,50	4,10	3,80	7,00	0,50	0,10	1,00	

7) Interpretar e realizar as linhas de solos função: relevo, altitude, resultados das analises de solo, curvas de nível, cores nas imagens de satélite....

8) Indicar locais específicos para ver trincheiras. Geralmente no centro representativo de cada mancha de solos. Fazer descrição as trincheiras, dar o nome, classificação do solo, e observar questões de manejo.

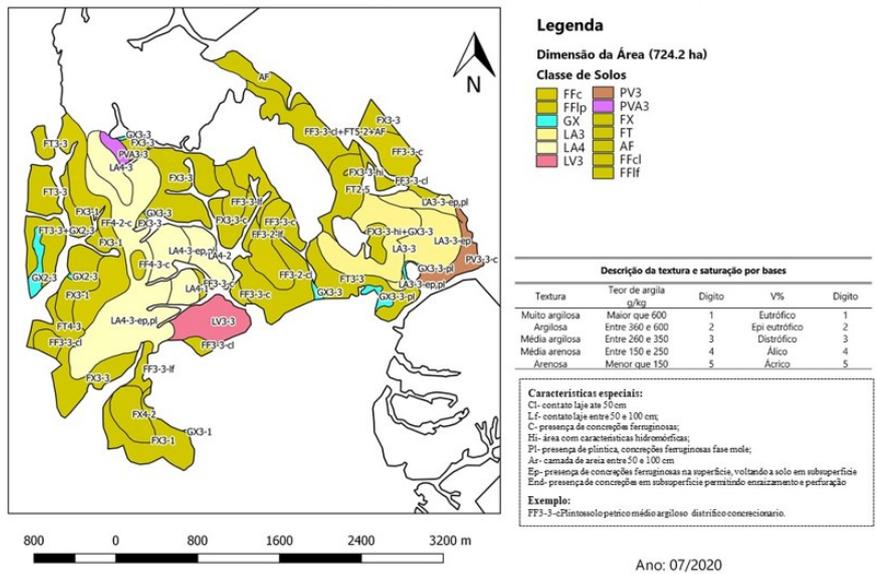
FF3-3-c
GX2-1
FF3-3-c+
DV1-4-nl
LM4-4
PV1-4-pl

9) GERAR O NOME DA UNIDADE DE MAPEAMENTO

10) GERAR O MAPA FINAL E RELATORIO DESCRITIVO

10) Início da inserção das cores das manchas das unidades de mapeamento

11) Cria-se um mapa com layout final. Exemplo.
Mapa Pedológico detalhado da Fazenda



18.3 Relação dos nomes dos solos com características de produção

Neste tópico serão apresentadas figuras autoexplicativas sobre a relação entre o nome de um solo com suas características que impactam na produtividade. Observe que a figura 122 a, apresenta que um solo de mesmo nome no primeiro nível categórico, como um Latossolo, subdivide-se em diferentes classes texturais. Logo, quanto mais argiloso for este latossolo, maior a capacidade de produção. Entretanto, cada classe textural subdivide-se em classes de fertilidade. Logo, um mesmo latossolo argiloso pode ser eutrófico (com maior produção), e outro álico (com menor produção). Assim, a produtividade trata de uma combinação de fatores, sendo os principais textura, fertilidade, retenção de água e profundidade. Em função destas características, o usuário terá condições de escolher a melhor cultura e variedade.

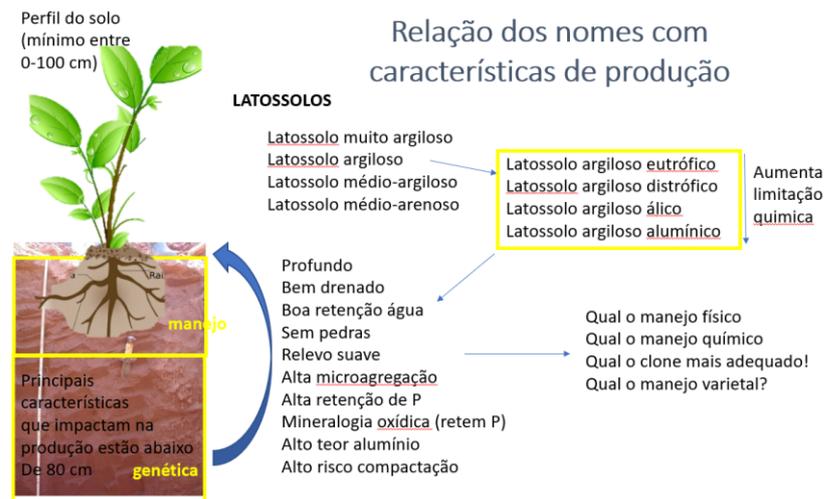
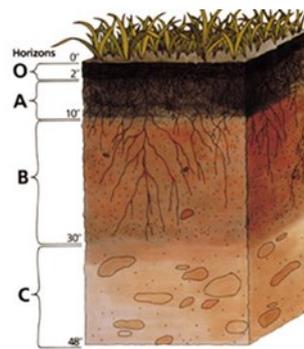


Figura 122a - Ilustração da relação entre o nome de um solo com suas características que impactam na produtividade.

18.4 Classificação de solos - Contextualização

Um manejo de solos só pode ser realizado na sua plenitude se for conhecido o objeto que se está manejando. O solo é constituído por um corpo tridimensional, estabelecido em até 2 ou máximo 3 metros de profundidade. É neste ambiente que ocorrem os processos de dinâmica de solutos relacionado a parte química, física e mineralógica, destacados até aqui. O perfil, portanto, não é apenas a camada arável, ou aquela onde se aplicam os fertilizantes, geralmente até máximo de 40 cm, e sim vai até no mínimo 2 m. Não é possível conhecer o tipo de solo sobre o qual se está trabalhando, tendo apenas o conhecimento da superfície da terra. A disciplina que detecta e mapeia desde a superfície até a subsuperfície é a pedologia (logia, estudo, pedon, solo). A pedologia parte do estudo do perfil como um ponto único, o qual tem características próprias, e nos dá informações em como manejá-lo. Entretanto, o manejo não é pontual, mas ocorre numa área, numa gleba, ou bloco de terra. Logo, é necessário ter em mãos, um mapa que mostre onde estão os diferentes tipos de terra. Neste contexto existe o denominado mapa pedológico.

A primeira etapa é reconhecer o tipo (classe ou nome) do solo. Para tanto, é realizado a denominada classificação de solos. Neste sentido existem regras a serem seguidas de acordo com Santos et al. (2018). Basicamente, o corpo do solo é formado por horizontes que se iniciam na superfície e seguem até em subsuperfície (Figura 122 b).



Horizontes do solo
(Fonte: Embrapa)

Figura 122b - Ilustração de um pedon (perfil de solo) com os respectivos horizontes)

Para atingir o nome (classe) do solo, existem regras, inicialmente definidas pela classificação de solos (Santos et al., 2018), cuja base é função dos horizontes superficial (A) e subsuperficial (B). O segundo é denominado de diagnóstico por ser o definidor do tipo de solo, e por consequência terá um papel fundamental na análise da produção da cultura. A figura 122 (c) ilustra os principais tipos de horizontes. Em relação a hierarquia na nomenclatura, pode-se observar a figura 122 d.

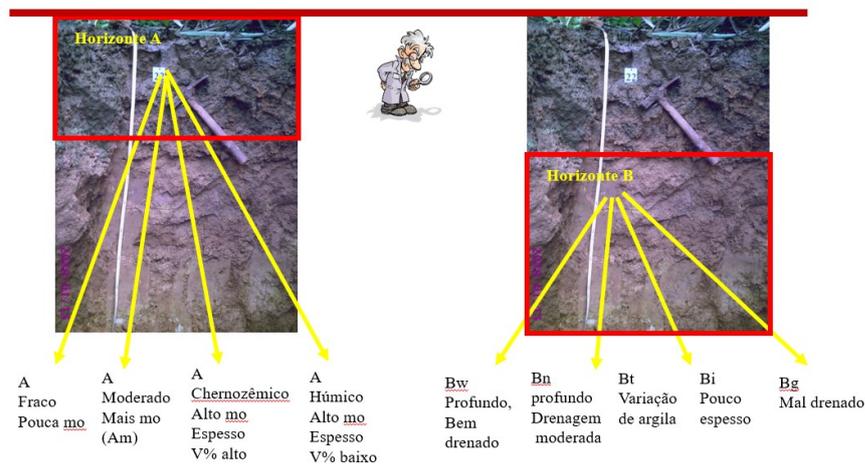
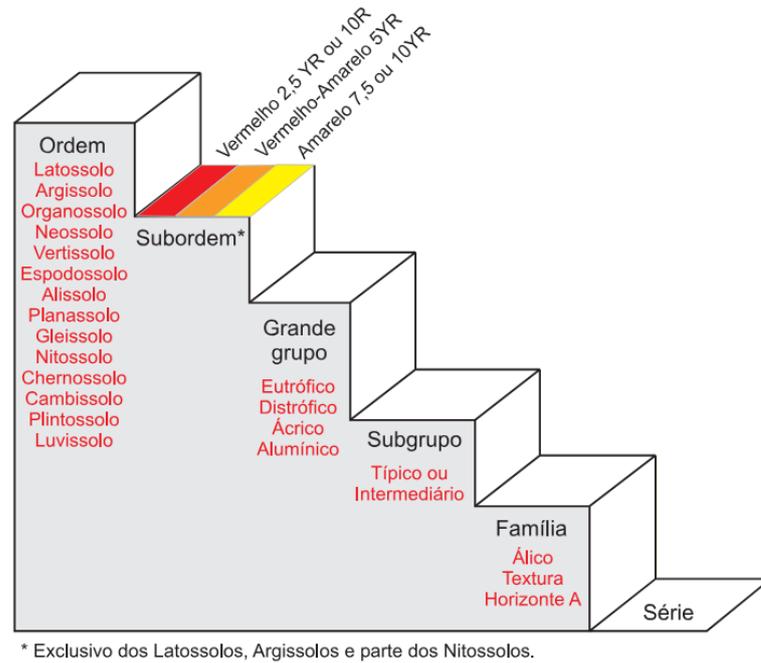


Figura 122c - Principais tipos de horizontes na classificação de solos.

(a)



(b)

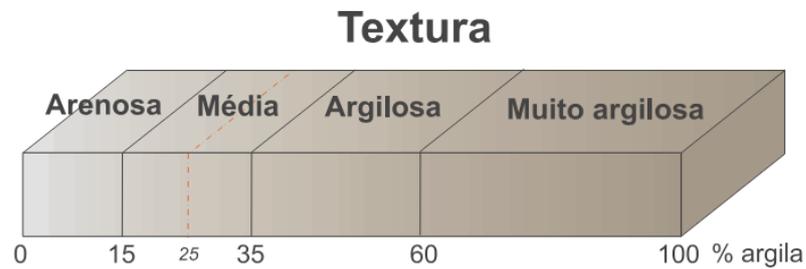


Figura 122d – Hierarquia da classificação de solos; b) Principais classes texturais utilizadas em manejo; **Fonte:** Prado (2005).

18.5 Tipos de solos

Neste tópico são apresentados os principais tipos de solos agrícolas do Brasil. Baseado numa linguagem simples e generalista, Flávio Henrique Mendes apresenta alguns solos e suas características (Mendes, 2024).

São **13 diferentes tipologias**, que dependem das características do sistema de classificação, com destaque para os **latossolos** e os **argissolos**, que cobrem **58% das terras nacionais**. A figura 122e apresenta o mapa esquemático do Brasil.

Latosolos: solos mais frequentes no Brasil, com 39% do território, com estágio avançado de

Argissolos: solos ricos em argila na transição da camada superficial para o horizonte B, sendo o segundo tipo mais comum, cobrindo uma área de 24%;

Neossolos Quartzarênicos: solos jovens, sem horizonte definido arenoso e profundo;

Nitossolos: solos geralmente profundos, bem drenados e ácidos;

Cambissolos: solos pouco desenvolvidos, com pouca diferenciação das camadas;

Neossolos Litólicos: solos jovens, sem horizonte B e rasos (menos que 50 cm)

Chernossolos: solos férteis, com boa agregação de argila na camada A;

Espodossolos: solos pobres e ácidos, composto pela mistura de matéria orgânica humificada e alumínio;

intemperismo, logo, são profundos, bem drenados e têm baixa capacidade de troca de cátions;

Luvisolos: solos argilosos e com alta atividade de argila;

Plintossolos: solos com formação de plintita, em virtude da drenagem ruim;

Organossolos: solos constituídos pelo acúmulo de matéria orgânica e, portanto, apresentam coloração escura;

Planossolos: solos que apresentam aumento gradual de argila nos horizontes, tendo restrição de permeabilidade;

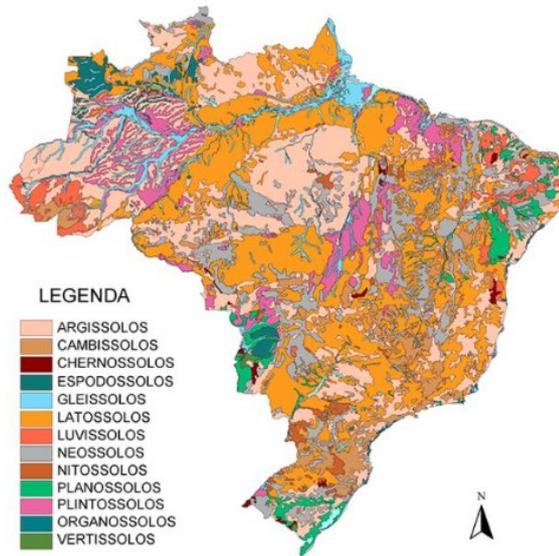
Gleissolos: solos geralmente argilosos, nas proximidades de riachos;

Vertissolos: solos ricos em argila, geralmente férteis, mas com baixa permeabilidade

Como destaque inicial apresentamos os perfis dos Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos (Figura 122 f), os mais ocorrentes no Brasil correspondentes

ao total de 70% do território (EMBRAPA, 2011). Na sequência outras ilustrações de solos (Figura 122 g).

(a)

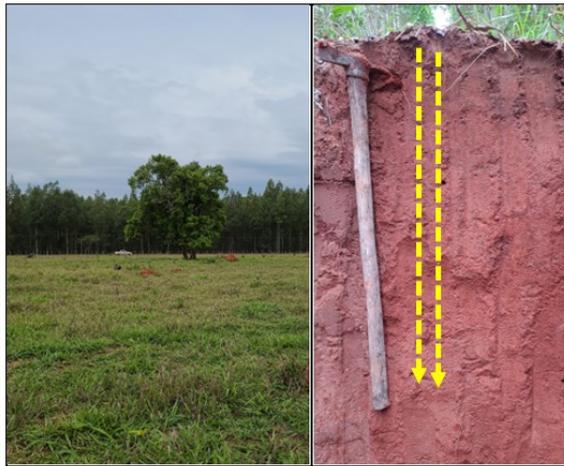


(b)



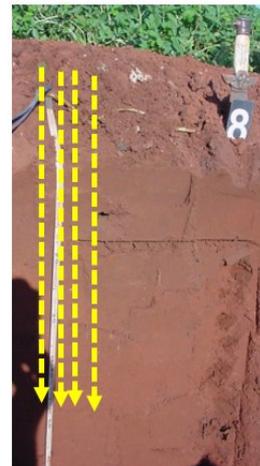
Figura 122e – a) Mapa esquemático de solos do Brasil (**Fonte:** IBGE); b) Mapa esquemático do Brasil o qual pode ser acessado na internet e navegar (**Fonte:** Embrapa).

LATOSSOLOS



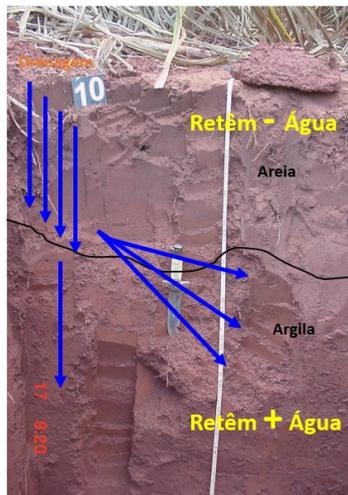
Áreas planas e elevadas na paisagem, favorecem a ocorrência de Latossolos (com excelente drenagem, estrutura, microagregação e profundidade).

NEOSSOLO QUARTZARÊNICO



Áreas planas e elevadas na paisagem, favorecem a ocorrência de RQ, excessivamente drenados e baixa microagregação

ARGISSOLOS em relevo ondulado



ARGISSOLOS em relevo plano



- Menor risco de erosão
- Altos riscos de erosão e perdas do horizonte superficial com consequente assoreamento na área. São solos que requerem cuidado especial quanto à conservação dos solos.
- Apresentam alto risco de erosão



Figura 122f – Três dos principais solos agrícolas do Brasil

Latossolos (LV, LVA, LA), Neossolos Quartzarênicos (RQ), Argissolos (PV, PVA, PA) (RQ) e Argissolos



Vertissolos (VX) e Planossolos (SX)



Figura 122g - Ilustração de perfis de solos.

Plintossolos



Figura 122h - Ilustração de perfis de solos.



Figura 122i - Ilustração de perfis de solos.



Figura 122j - Ilustração de perfis de solos.

18.6 Dinâmica de solos na paisagem

Ao longo das figuras das paisagens podem surgir siglas de solos, desde a nomenclatura antiga até as mais novas. A seguir um quadro resumido como auxílio na interpretação.

Quadro. Resumo de siglas usadas ao longo deste capítulo: (a) correlação nomenclatura antiga e nova. (b) dígito para relacionar com a classe textural de um solo. Exemplo: TR2, Nitossolo Vermelho textura muito argilosa.

(a)

Sistema de classificação		
CAMARGO et al. 1987	Atual (Embrapa 2006)	B Diag.
Latossolo Roxo (LR)	Latossolo Vermelho fêrrico (LVf)	Bw
Latossolo Vermelho escuro (LE)	Latossolo Vermelho (LV)	Bw
Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)	Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)	Bw
Latossolo Amarelo (LA)	Latossolo Amarelo (LA)	Bw
Terra Roxa Estruturada (TR)	Nitossolo Vermelho fêrrico (NVf)	Bn
Areia Quartzosa (AQ)	Neossolo Quartzarênico (RQ)	C
Podzólico Vermelho escuro (PE)	Argissolo Vermelho (PV)	Bt
Podzólico Vermelho-Amarelo (PVA)	Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)	Bt
Podzólico Amarelo (PA)	Argissolo Amarelo (PA)	Bt
Cambissolos (C)	Cambissolo Háptico (CX)	Bi
Solo litólico ou Litossolo (Li)	Neossolo Litólico (RL)	-
Aluvial (Al)	Neossolo Fluvico (RY)	C
Hidromórficos (Hi)	Gleissolos Hápticos (GX)	Bg

(b)

Primeiro dígito: textura

Designação da textura		
Textura	Teor de argila g/kg	Dígito
Muito argilosa	≥ 600	1
Argilosa	350 e 600	2
Média-argilosa	250 e 350	3
Média-arenosa	150 e 250	4
Arenosa	100 e 150	5
Muito arenosa	< 100	6
Siltosa	< 350 argila e < 150 areia	7

Cada tipo de solo ocorre numa posição no relevo (ou na paisagem). A sua formação é função dos processos pedogenéticos e relações infiltração e deflúvio na dinâmica de solutos ao longo de milhares de anos. Logo, o tipo de solo num determinado lugar, é um reflexo de sua formação genética. As características vinculadas a essa genética, terão impacto no desenvolvimento de uma planta e no manejo do solo. Reconhecer onde podem ocorrer os tipos de solo num determinado relevo é portanto, o segundo passo na caracterização física do local. Esse reconhecimento é básico no delineamento das unidades da paisagem (as “manchas” de solos que ocorrem num determinado lugar). Estas ‘manchas’ vão impactar em várias etapas de um planejamento e manejo agrícola. Por fim, a dinâmica da paisagem está relacionada aos seguintes parâmetros: altitude, forma da vertente, comprimento da vertente, posição na vertente,

entre outros. Geralmente os solos são identificados ao longo da visão longitudinal (corte longitudinal da paisagem), denominado como topossequência ou catena. Esses termos tem terminologias específicas as quais não serão abordadas neste documento. O importante é entender que os solos variam ou não, ao longo de uma vertente na medida em que muda a altitude, a declividade e as formas de relevo. O usuário, ao identificar como ocorrem os tipos de solos na sua área, provavelmente a mesma sequência irá se repetir facilitando o entendimento. Por outro lado, a dinâmica da paisagem pode mudar, e o usuário terá que descobrir qual a nova configuração. A seguir são ilustradas várias configurações de topossequências (Figuras 122 k).

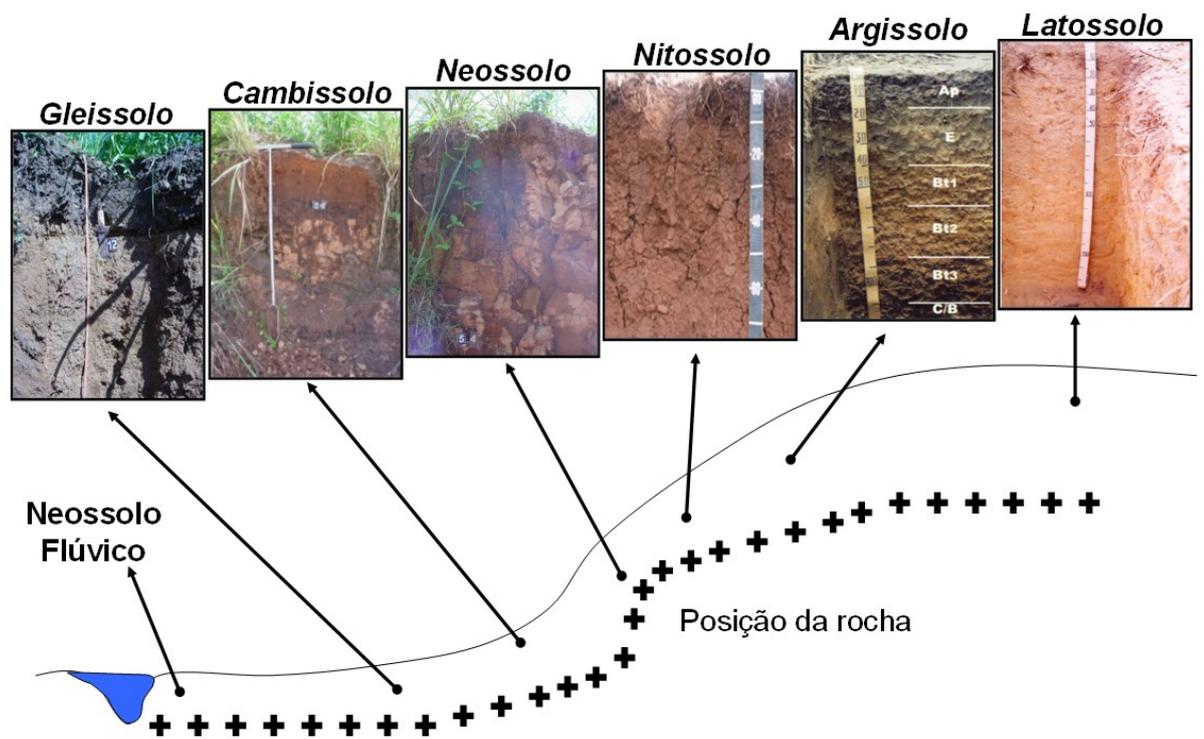


Figura 122k - Ilustração de posição de solos em vertentes.

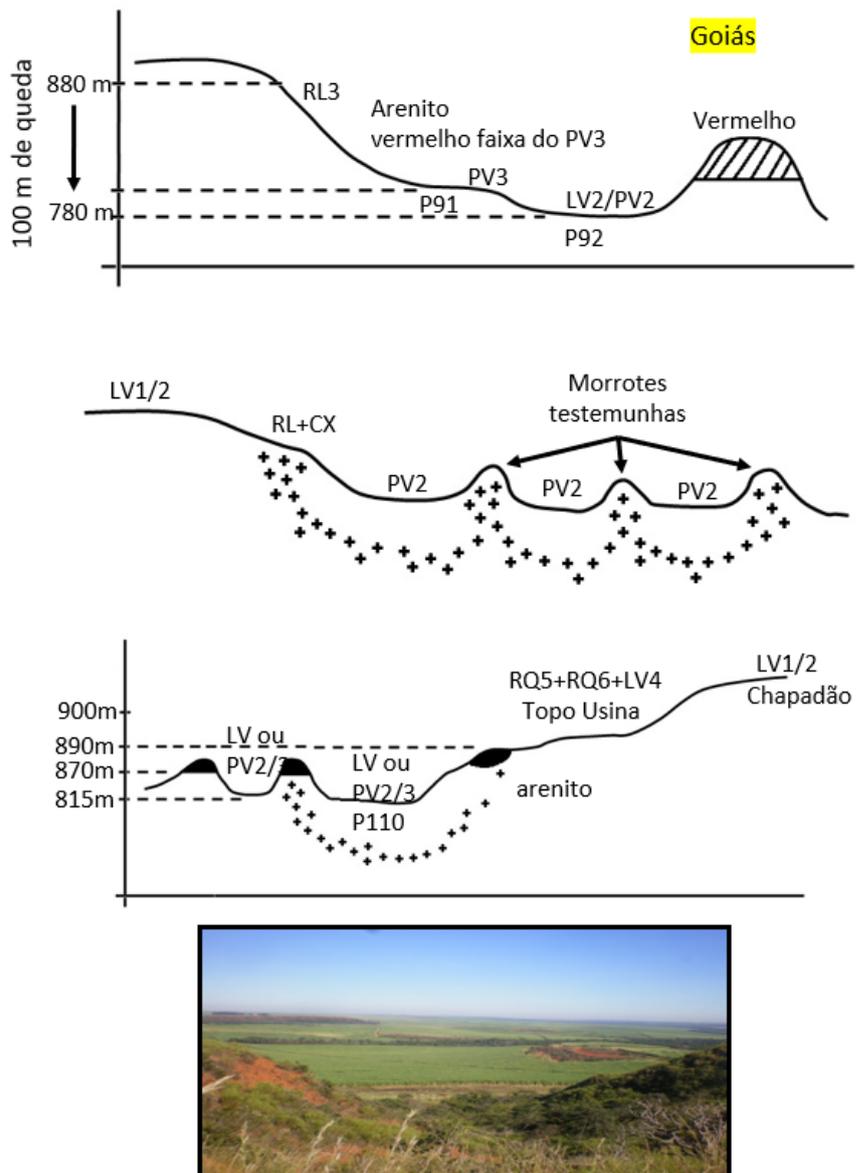


Figura 122k - Ilustração de posição de solos em vertentes.

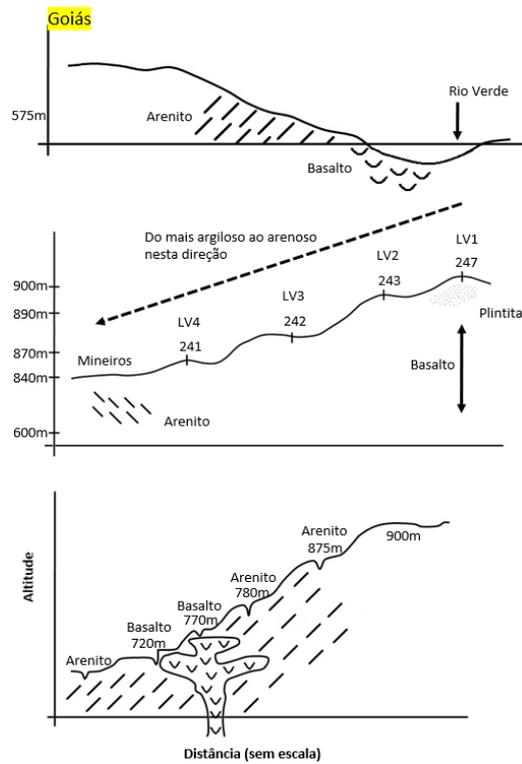


Figura 122k - Ilustração de posição de solos em vertentes.

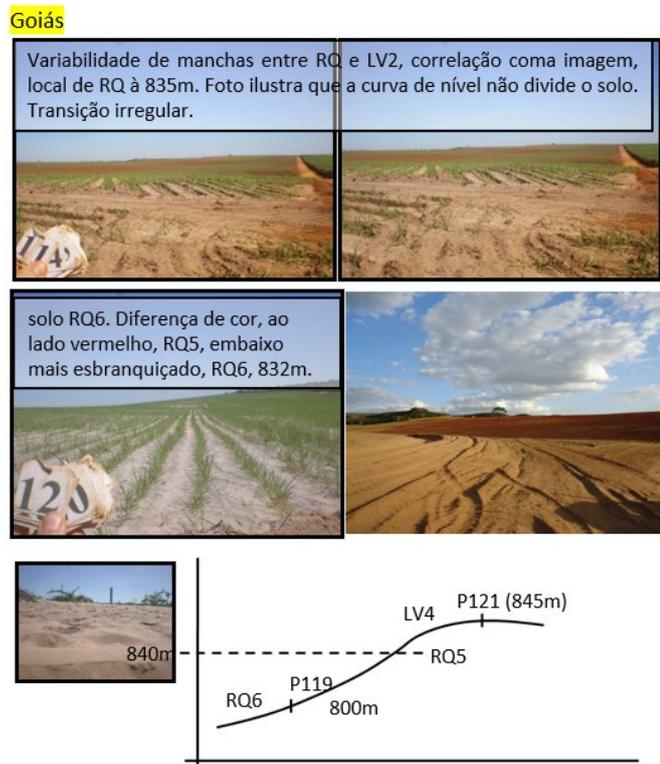


Figura 122k - Ilustração de posição de solos em vertentes.

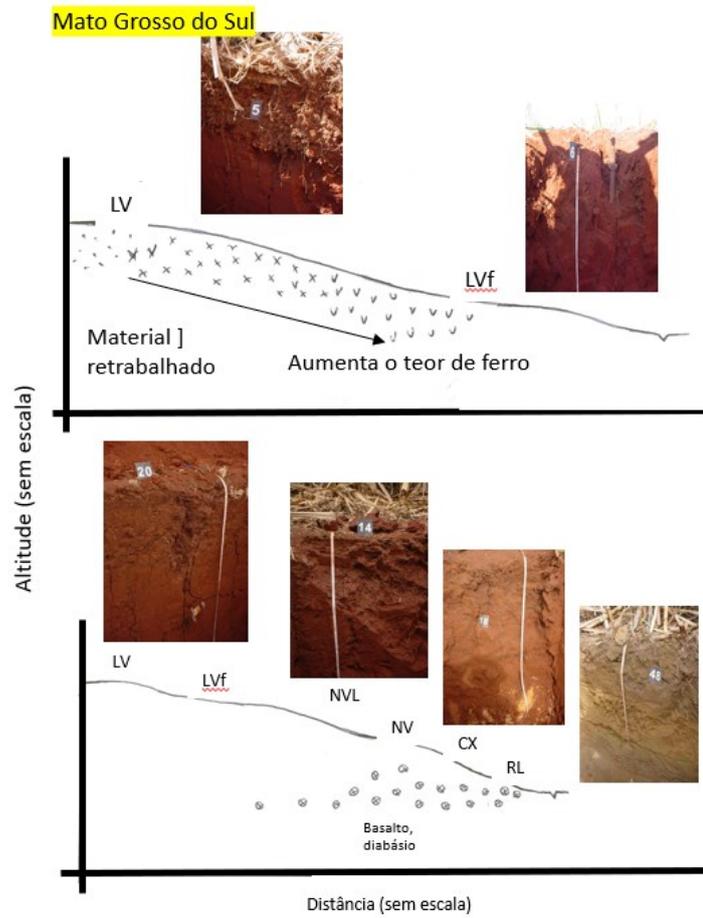


Figura 122k - Ilustração de posição de solos em vertentes.

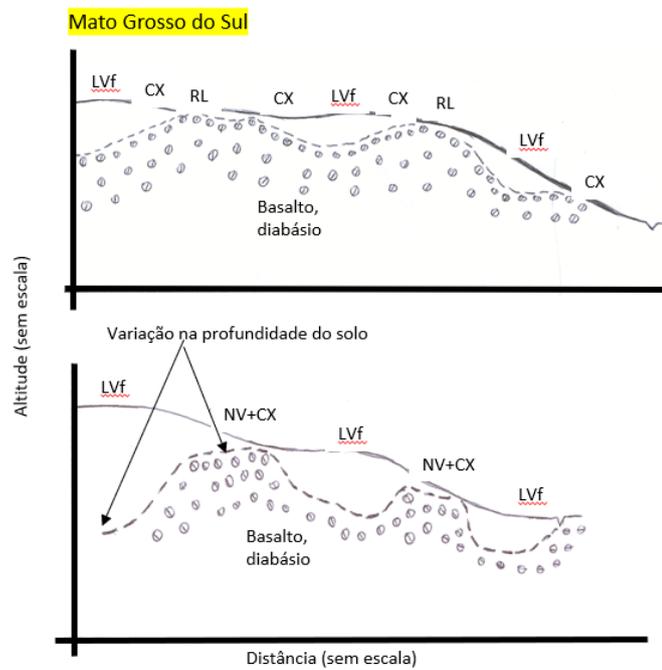


Figura 122k - Ilustração de posição de solos em vertentes.

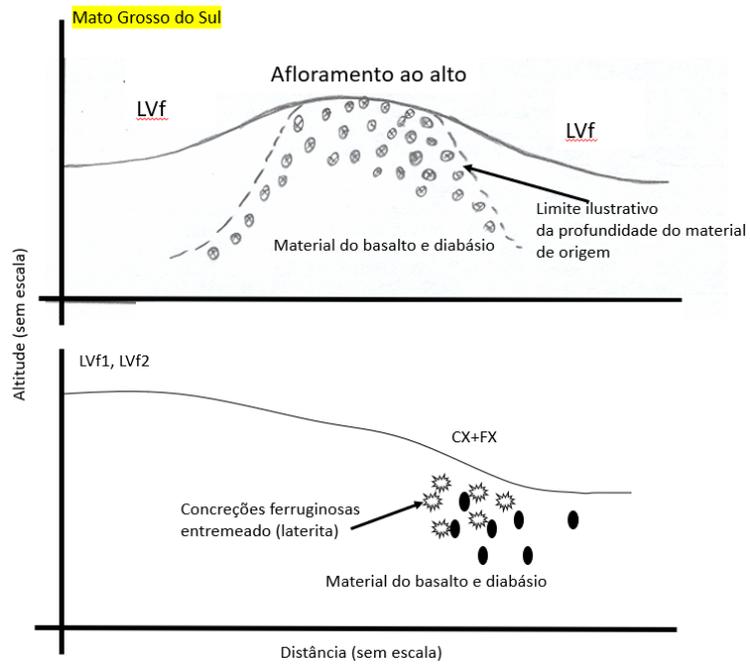


Figura 122k - Ilustração de posição de solos em vertentes.

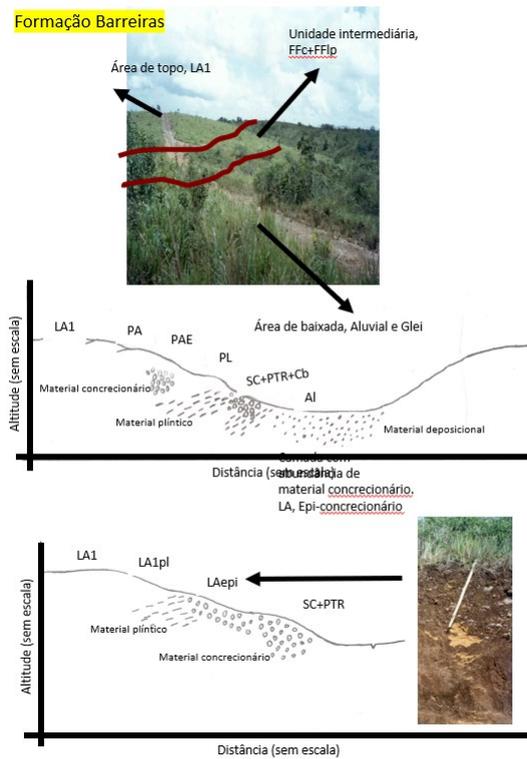


Figura 122k - Ilustração de posição de solos em vertentes.

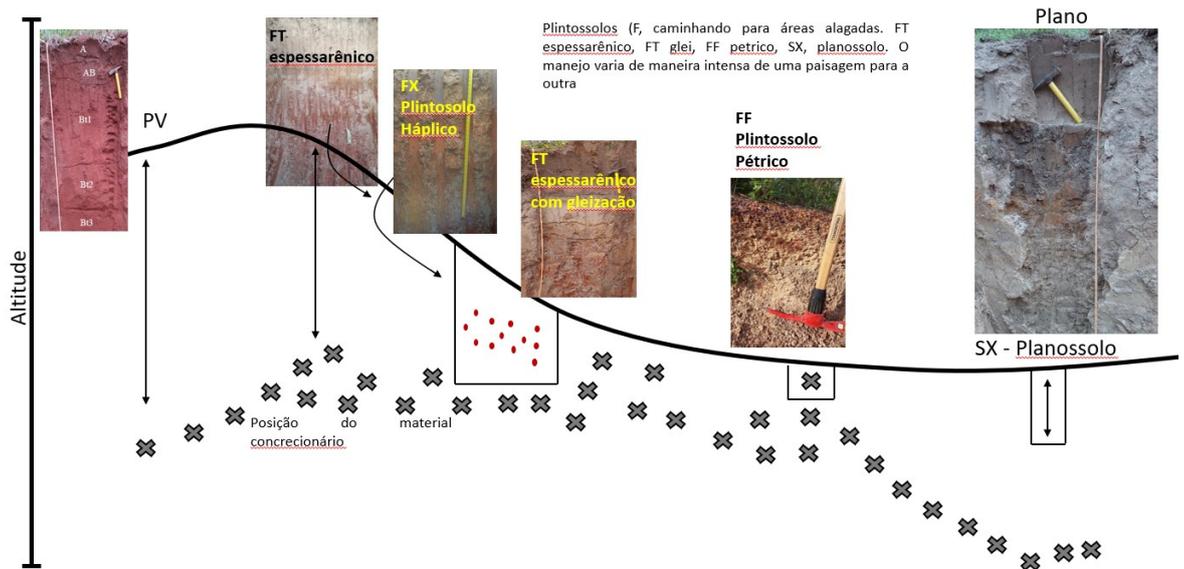


Figura 122k - Ilustração de posição de solos em vertentes.

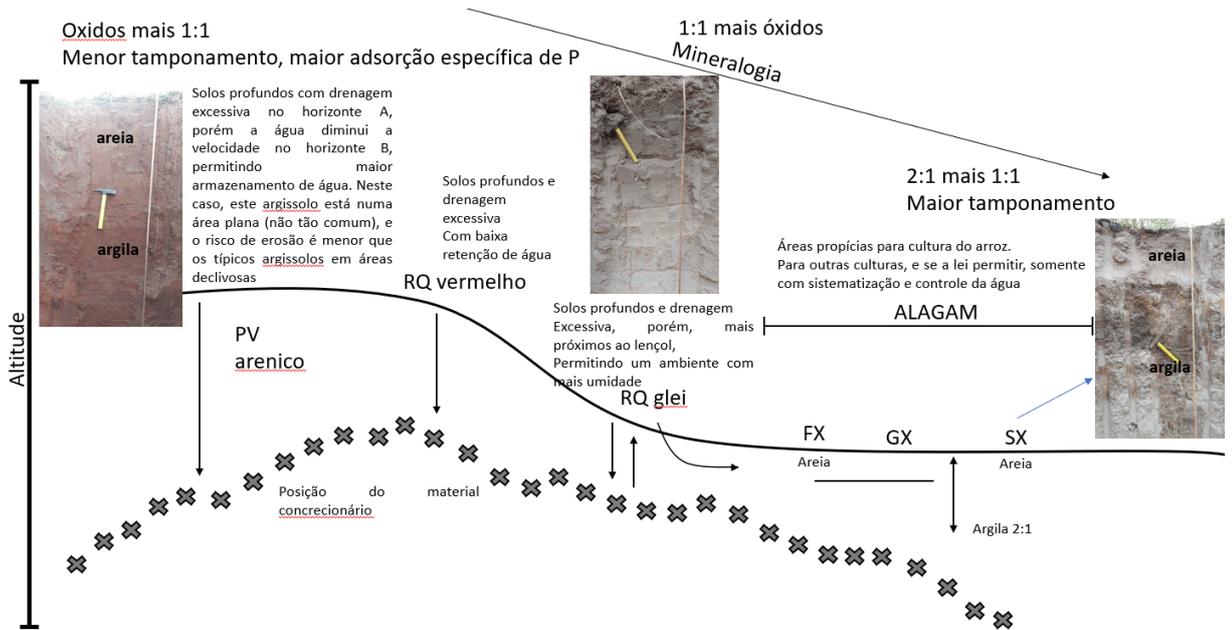


Figura 122k - Ilustração de posição de solos em vertentes.

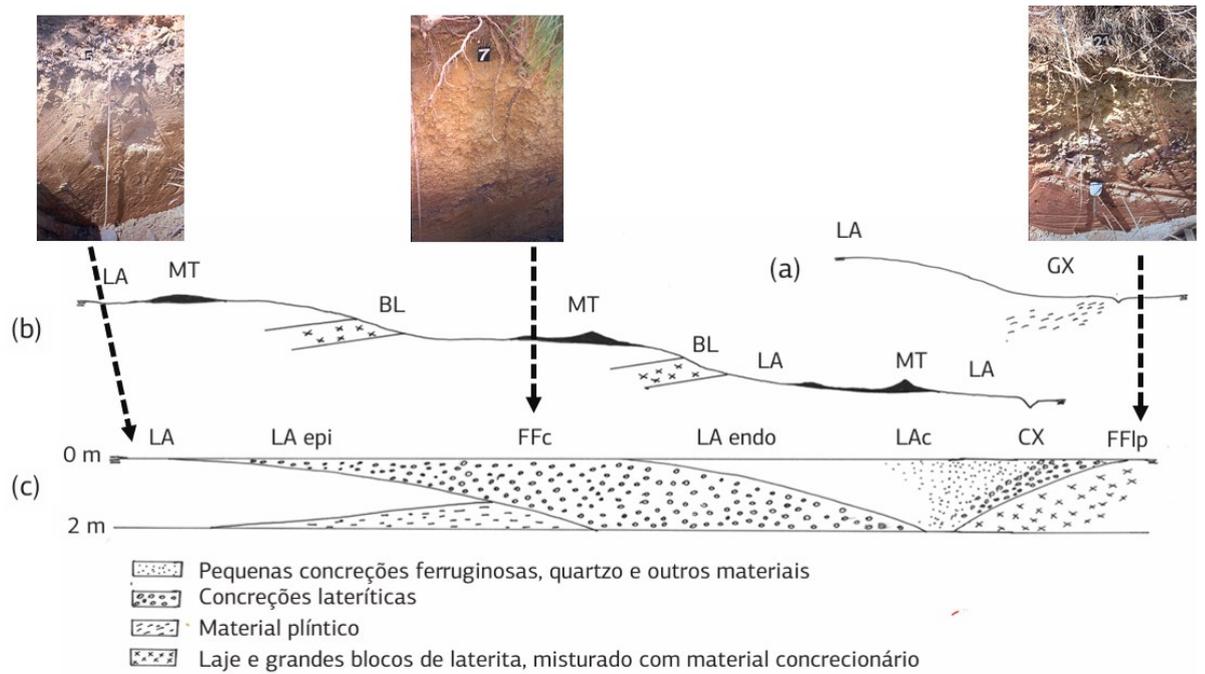


Figura 122k - Esquema ilustrativo da distribuição dos solos e materiais concrecionários na área de estudo, sendo: (a) topossequência mostrando os locais de ocorrência de Latossolo Amarelo (LA) e Gleissolo Háptico (GX); (b) topossequência indicando a ocorrência de morros testemunho (MT) e bancadas lateríticas (BL); e (c) pedolitossequência típica da área de estudo, indicando a ocorrência de LA, LA epiconcrecionário (LAepi), Plintossolo Pétrico concrecionário (FFc), LA endoconcrecionário (LAendo), LA concrecionário (LAc), Cambissolo Háptico (CX) e Plintossolo Pétrico litoplíntico (FFfp), bem como a profundidade aproximada de ocorrência dos materiais concrecionários. (Fonte: Demattê et al., 2012).

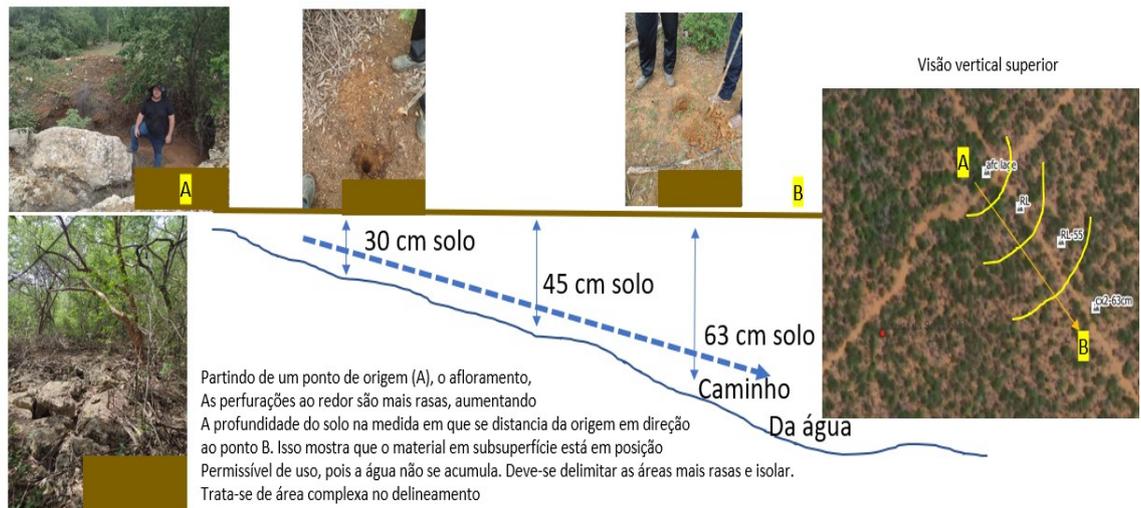


Figura 122k - Ilustração de posição de solos em vertentes. Solos ricos em calcário região da Bahia (na foto: Jorge Tadeu Fim Rosas).

18.7 Aplicações do mapa pedológico

Um mapa pedológico é base para geração de inúmeros outros produtos e serviços entre eles: Planejar as áreas de reforma, de plantio e dar a sequência de safra; Programas de fertilização e correções químicas dos solos; Alocação de variedades; Programas conservacionistas; Transferência de tecnologia; Seleção de áreas para experimentação; Banco de dados; avaliação temporal da fertilidade do solo; ganhos na margem de contribuição devido a alocação adequada de variedades e época de plantio e de colheita; Racionalização de uma série de atividades entre elas: do uso de corretivos e fertilizantes; nas operações de preparo do solo e plantio; planejamento conservacionista, planejamento de irrigação, apoio no traçados de talhões, zonas de manejo, agricultura de precisão, determinação da capacidade de uso das terras, aptidão agrícola, precificação, apoio a crédito bancário, apoio a sistemas de crédito e seguros, entre outros.

Afora as inúmeras vantagens, podemos focar num único. A figura 122i, apresenta um mapa pedológico. Observe que tem várias ilustrações de trados, que são mais utilizados para observações de campo, e com isso determinar os limites entre as unidades de mapeamento. Unidade de mapeamento é uma área, representada por uma classe ou tipo ou nome de solo. Esse nome é determinado na avaliação de uma trincheira ou perfil, a qual é alocada geralmente no centro da mancha. Tendo-se o nome do solo pelo perfil e a linha divisória (linha de solo = f (relevo, análise de solo, observações de campo, outras

técnicas), tem-se o mapa final. A pergunta agora seria, como o agricultor vai tomar decisões do tipo: onde compacta mais ou menos? Onde tem maior risco de ataque de pragas do solo como nematoides? Onde tem maior risco de erosão? Onde tem o maior potencial de retenção de água? Onde o solo deve perder mais nutrientes por lixiviação? Como deve ser feita a fertilização função do tipo de solo? Como está a fertilidade natural em subsuperfície do solo? Por fim, qual o potencial produtivo entre os diferentes tipos de terra da área? Sem estas respostas, o manejo não terá o melhor de seu sucesso.

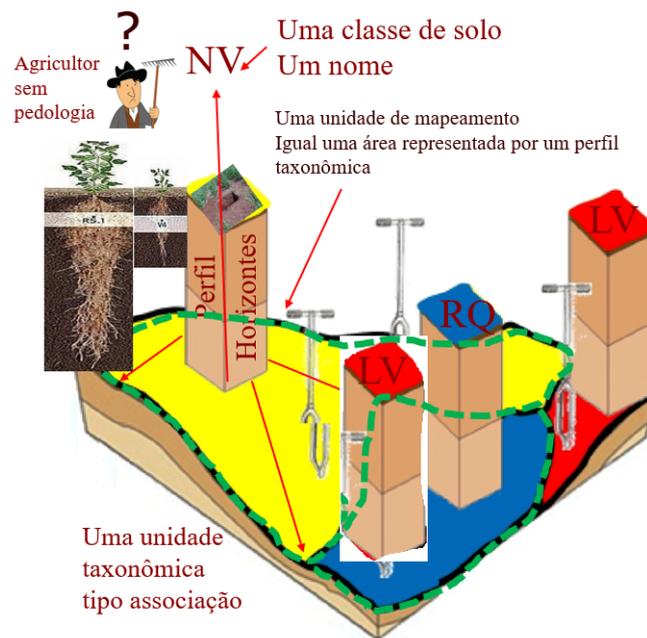


Figura 122i - Ilustração de delineamento e mapa pedológico (adaptada de Prado, 2005)

18.8 Incongruências na comunicação entre profissionais da pedologia e fertilidade – na prática

Tanto no meio acadêmico, mas principalmente em relação a usuários e consultores, há uma confusão em relação a função do mapa pedológico, quase sempre confundido com mapa de fertilidade (Figura 122j). Um solo é constituído de atributos como cálcio, magnésio, potássio, fósforo, teor de argila entre outros. Estes são os constituintes do solo. São elementos únicos. Logo, quando se coleta uma amostra de terra, e pela análise de solo se determina um destes elementos, estamos vendo um único componente do solo. É comum em agricultura de precisão coletar amostras e fazer um mapa de fósforo. Este é, entretanto, um mapa do elemento fósforo e não mapa de solos.

Além disso, os mapas de constituintes são mapas específicos de determinada camada, o que geralmente remete a 0-20 ou 0-25 ou até 40 ou 50 cm. São nestas camadas onde os agricultores estão focados, pois são nelas onde os fertilizantes são aplicados. Os usuários olham para os constituintes, mas não para o solo como um todo. Com isso, há uma perda da percepção do funcionamento do referido solo. O solo em si, só pode ser caracterizado pelos seus vários constituintes e em diferentes camadas de solo (os denominados horizontes), e indo até no mínimo 1 metro de profundidade.



Figura 122j - Exemplo da diferença entre mapas de atributos do solo e mapa pedológico

Ao ter o nome do solo e o mapa onde ele ocorre, o usuário terá uma visualização técnica mais apropriada de sua área. Verá por exemplo, onde o solo drena mais ou menos, onde tem maior ou menor pedregosidade, onde tem variação de argila da camada de superfície par a de subsuperfície, onde tem maior ou menor capacidade de adsorção específica de fósforo, onde terá maior ou menor retenção de água ou riscos de compactação e erosão. Logo, o mapa pedológico traz informações absolutamente imprescindíveis ao planejamento e ao manejo da área. Exemplos de confusão de comunicação podem ser observados quando alguém, mais voltado a fertilidade, diz que seu solo é eutrófico. Nesse caso, a pessoa está se referindo a camada de superfície –

arável. O outro profissional, ligado a pedologia, vai entender que ele se refere a subsuperfície. Ao olharem as análises de solo, na camada de superfície o V% era de 70, sendo eutrófico, mas em subsuperfície era 30% ou seja distrófico. Logo, o solo natural, não é eutrófico. Ambos estão corretos, mas com objetivos diferentes, mas complementares. A figura 122k ilustra a questão.

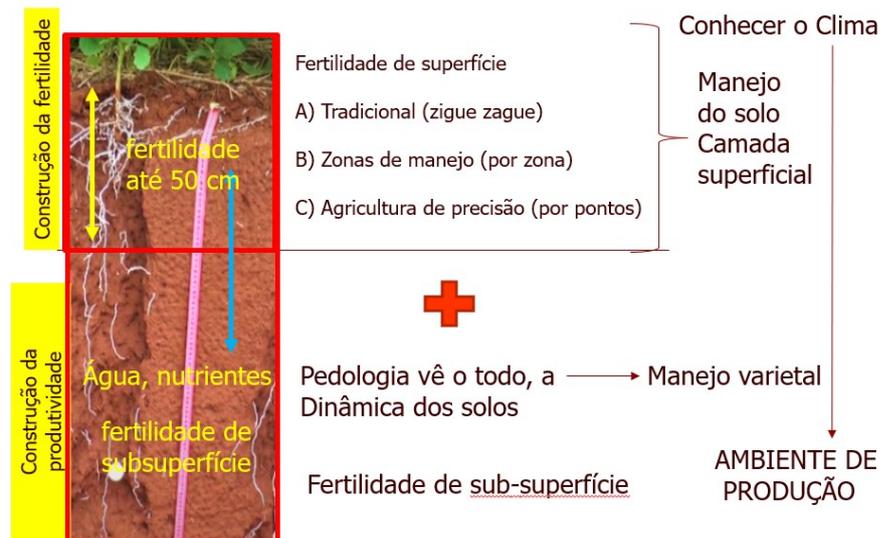


Figura 122k - Exemplo conceitual das diferenças entre a interpretação da fertilidade do solo e pedologia.

18.9 Variabilidade de solos e impacto no planejamento e manejo

Conhecer a variabilidade dos solos que ocorrem na área, vai permitir a tomada de decisões técnicas com embasamento científico. Além disso, estas informações poderão ser agregadas as já existentes em relação a fertilidade e outros temas. Essa variabilidade pode ser maior ou menor, e é dependente da região, do material de origem, do clima, e não há como saber de antemão como será. Geralmente o relevo apresenta o primeiro indício de variação entre tipos de solos numa área. Entretanto, áreas homogêneas podem ter variações químicas. Como exemplo, algumas áreas com solos desenvolvidos de basalto no Mato Grosso do Sul são bastante homogêneas quanto a relevo e cor. Entretanto, as análises indicaram solos desde eutróficas até os ácricos. Ou seja, não se saberia os motivos pelas baixas produtividades nas áreas dos ácricos sem o mapa pedológico. A

seguir um exemplo com altíssima variabilidade e outra com menor. Se o agricultor só trabalhar com os mapas de teores de atributos como fósforo, cálcio ou potássio, como saber o que ocorrerá com estes nutrientes ao ser colocados nestes ambientes? Como saber as causas das baixas produtividades apenas com alguns atributos químicos? Observe a ilustração de duas fazendas em locais distintos, verifique a variabilidade dos tipos de solos. Teriam o mesmo manejo físico ou químico? A dinâmica de solutos dos fertilizantes aplicados, vão reagir igualmente? O potencial produtivo deve ser igual? Pode-se plantar as mesmas cultivares? Estas são perguntas que somente um mapa pedológico permite auxiliar nas respostas. A figura 123 a exemplifica o grau de variabilidade de tipos de solos numa mesma fazenda.

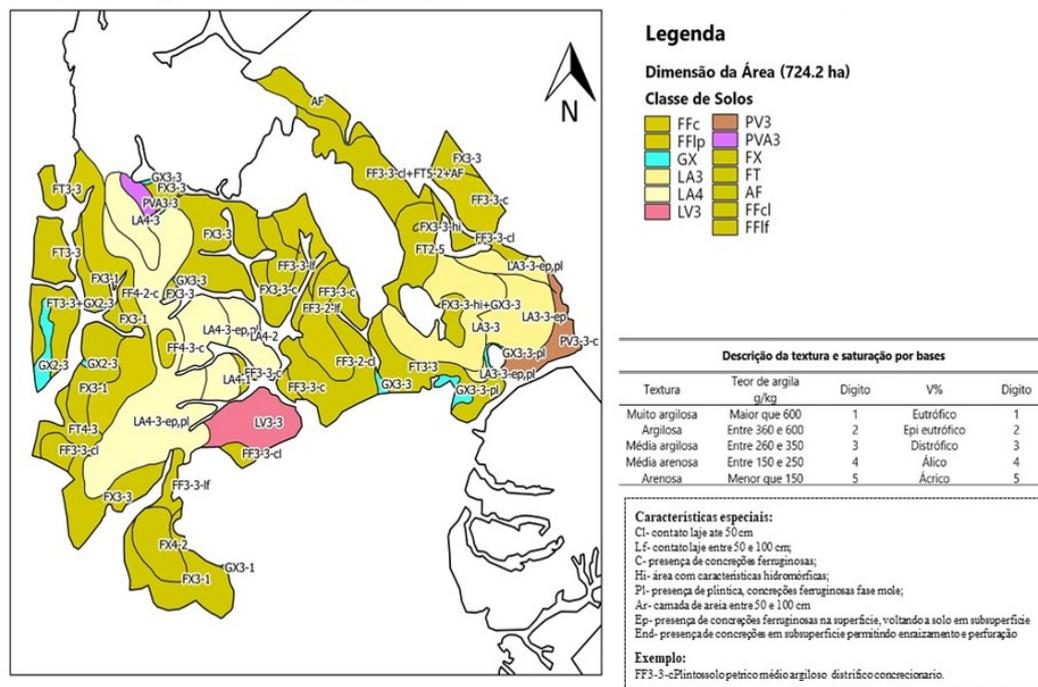


Figura 123 a - Area com alta variabilidade de solos com diferentes profundidades, níveis de cascalho, fertilidade e textura (região de Goiás).

Os conceitos em pedologia permitem ao intérprete realizar outros tipos de produtos que permeiam o manejo de solos. Observe a figura 123 b. Ela determina a profundidade efetiva dos solos da área. Tal informação é crucial na implantação da cultura, pois impacta no desenvolvimento radicular, na homogeneidade ou heterogeneidade de germinação, e nas operações mecânicas. Tal tipo de mapeamento pode ser realizado em simultâneo ao pedológico.

Mapa de Risco de Pedregosidade

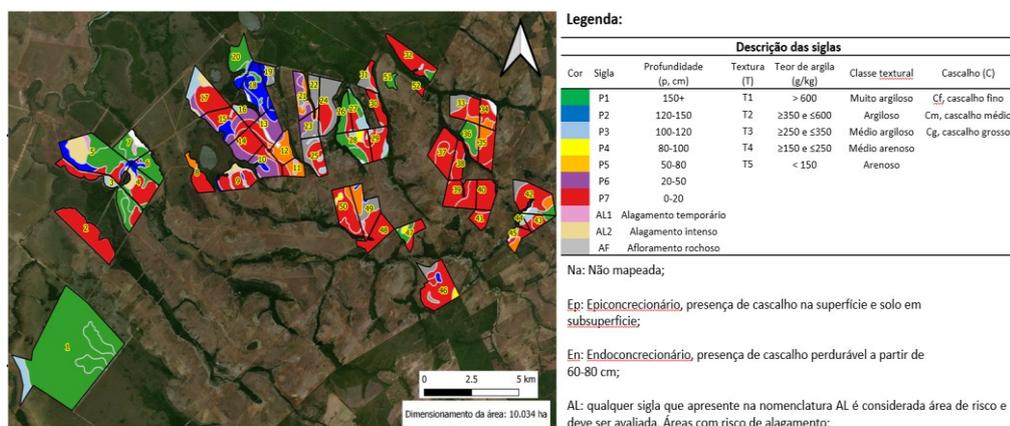


Figura 123 b - Mapa de risco de pedregosidade de uma região do estado do Tocantins.

18.10 Pedometria

Dado o avanço tecnológico, surgiu a denominada Pedometria (pedon, solo, metria, medida), quais seja a medida do solo. Tal técnica ganhou impulso com McBratney et al. (2003, 2018), quando criaram a formulação solo em função (s-solo, c-clima, o-organismos, r-relevo, p-material de origem, a-tempo, n-posição no globo). Tal conceito leva em consideração alguns aspectos não atribuídos por seus percursos Jenny (1941), como as propriedades do solo e a posição no globo. Esses dois últimos fornecem condições no entendimento da paisagem e no mapeamento de solos. A pedometria juntamente com a comparação com a pedologia clássica e o sensoriamento remoto, podem ser resumidos na figuras 123 c,d. A pedometria, portanto, é um conceito que auxilia nos processos de entendimento da pedologia e vice-versa, onde uma se utiliza de mecanismos mais qualitativos e o outro mais quantitativos.

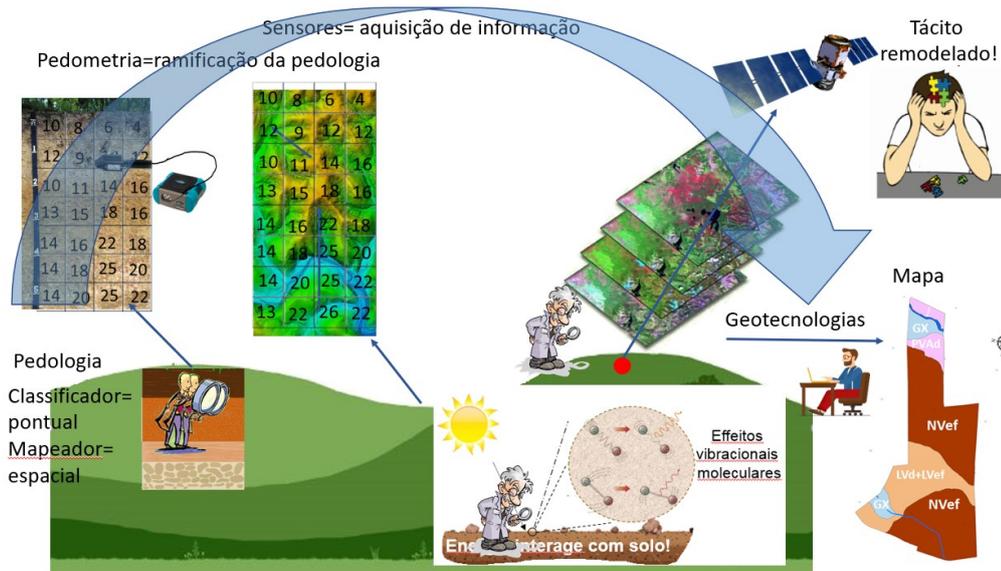


Figura 123 c - Ilustração das relações entre pedologia, pedometria, sensoriamento remoto e geotecnologias.

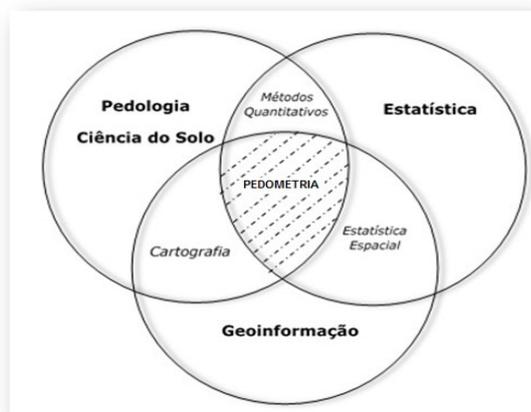


Figura 123 d - Ilustração conceitual da pedometria.

Muito se discutiu nos últimos 25 anos, desde a década de 2000 sobre a viabilidade da pedometria. Entretanto, trata-se de uma discussão inerte. A pedometria não é substitutiva, é uma disciplina que traz em seu escopo a métrica das questões pedológicas visando auxiliar, facilitar e melhorar os métodos já existentes. Nesse sentido, a decisão humana continua de grande valia, e o uso dos dois conceitos, o clássico e o pedométrico são complementares (Figura 123c, d). De fato, a mera transformação de uma informação, como a altitude por exemplo, antes visualizada e interpretada pelo olho humano, para um

sistema métrico, só agrega valor ao intérprete (Figura 123 e, f), entre outras covariáveis (Figura 123 g).

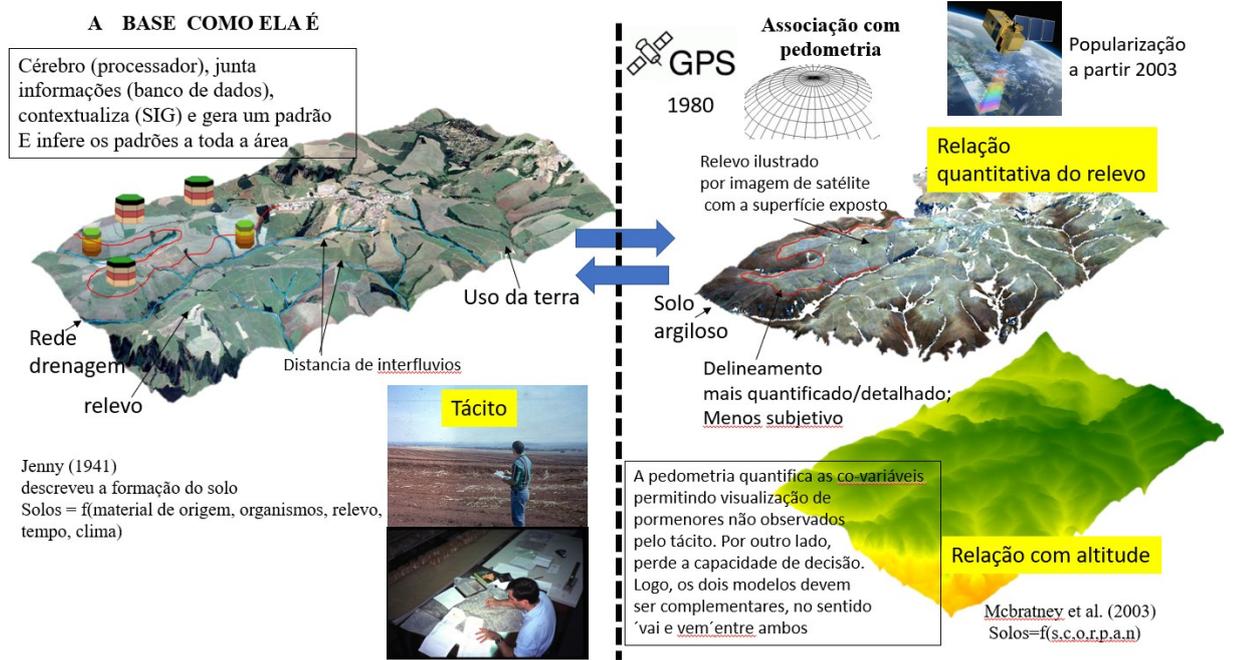
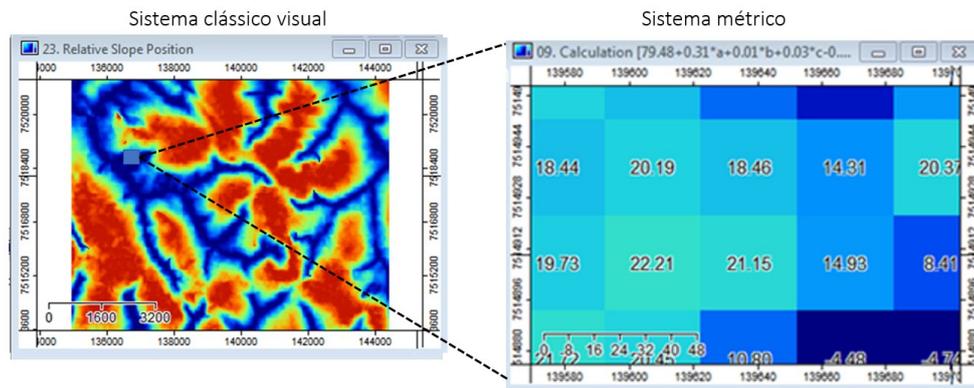


Figura 123e - Ilustração entre os mapas pedológicos clássicos e pedométricos.

(a)

A extração da informação da paisagem de maneira matemática



(b)

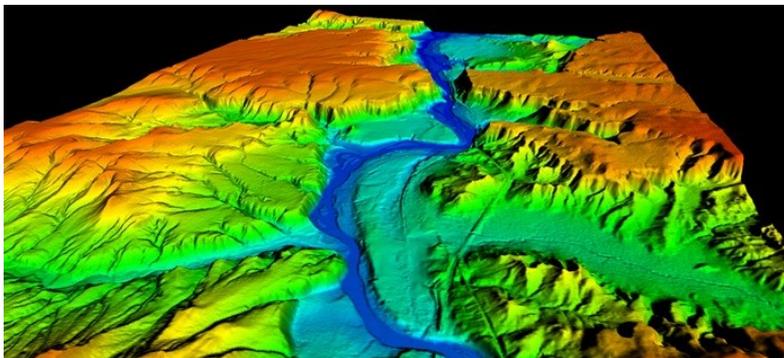


Figura 123 f - a) Ilustração da transformação do sistema visual da altitude para o sistema métrico, b) mapa digital da altitude.

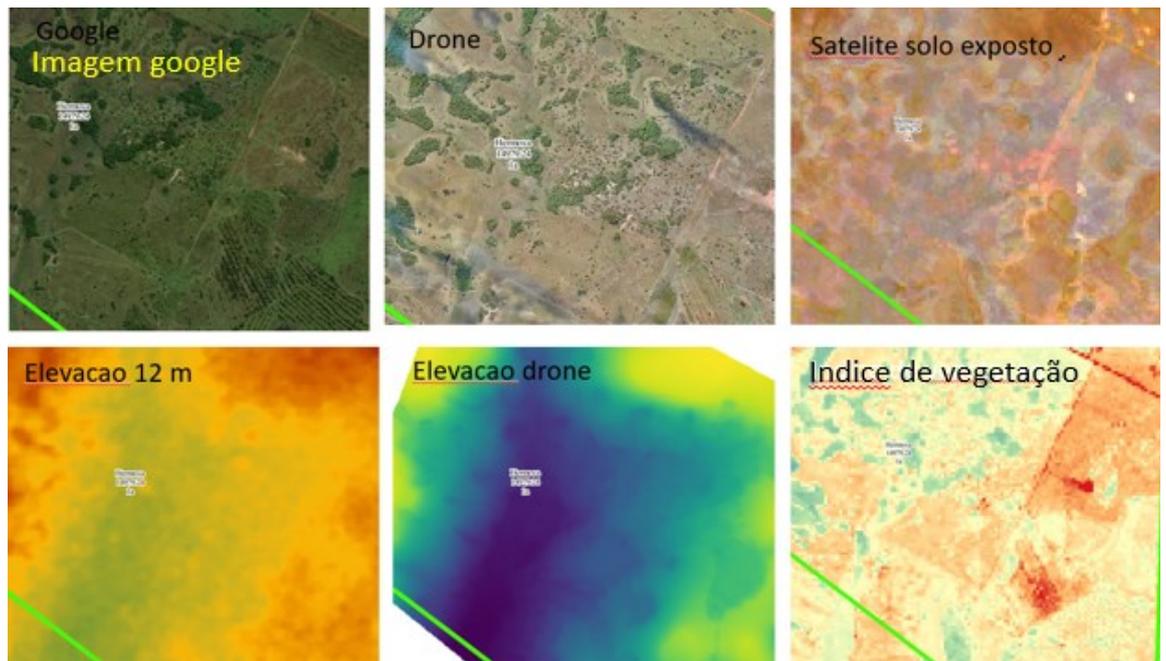


Figura 123 g - Exemplos de covariáveis no apoio ao delineamento de solos.

De fato, e conforme observado por Demattê et al. (2016), um mapa pedológico clássico obteve profunda semelhança com um mapa digital (Figura 123 h). Apesar disso, tem-se observado que os mapas ditos 'digitais' tem suas limitações quais sejam: determinação errática de limites; mapeamento por pixels, o que polui a imagem; sempre ocorrem pixels mapeados erroneamente. Estas limitações não impedem o uso da técnica. A sugestão é usar a técnica em combinação com a tradicional. Qual seja, pode-se realizar o digital como mapa preliminar e/ou complementar após a fase clássica. Pode-se também usar o digital para escolha dos locais mais assertivos de observação no campo. Ou ainda, pode-se usar o resultado dos digitais, para melhorar o clássico. ***De qualquer forma, as técnicas digitais devem ser usadas como um meio e não como um fim***, assim como foram, e ainda são usadas as fotografias aéreas. A estratégia, bem como a definição das manchas definitivas, deve ser realizada pelo profissional.

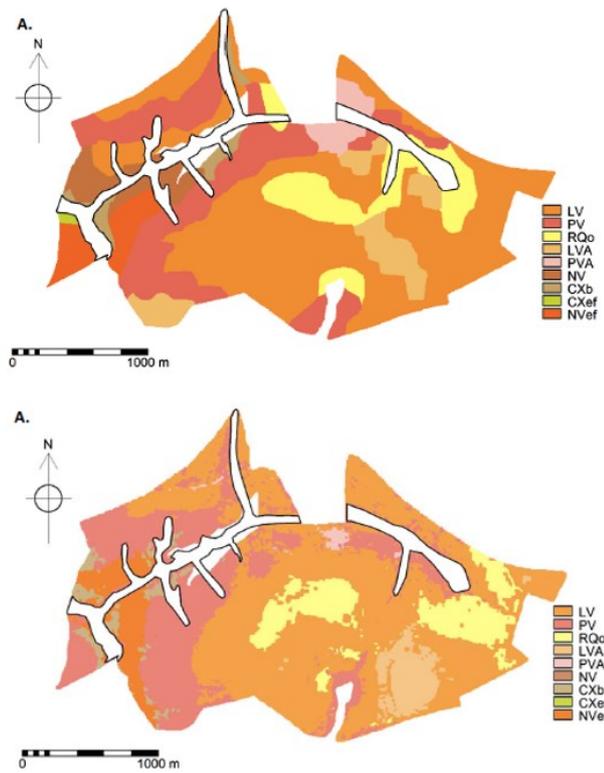


Figura 123 h - Mapa pedológico pelos métodos clássicos e digital respectivamente (Demattê et al., 2016).

19 CAPÍTULO 19. TIPOS DE SOLOS E MANEJO

O objetivo deste capítulo é apresentar os diferentes tipos de solos, seu funcionamento e o impacto no manejo e conservação.

19.1 Solos e processos erosivos

A figura 123i apresenta a dinâmica da água num Argissolo quando ocorre em local ondulado e plano. Os Argissolos em locais planos são menos típicos, mas ocorrem. No primeiro a água infiltra rapidamente no horizonte A e diminui a velocidade no B (devido ao maior teor de argila e ao 'entupimento' dos poros pela translocação de argila da camada superior), causando seu acúmulo. Logo, este solo irá armazenar mais água. Por outro lado, se estiver ocorrendo em local declivoso, aumenta o risco de iniciar um processo erosivo. Outros exemplos podem ser visualizados em Plintossolos, Neossolos Quartzarênicos e Cambissolos siltosos (figura 123 j,k,l).

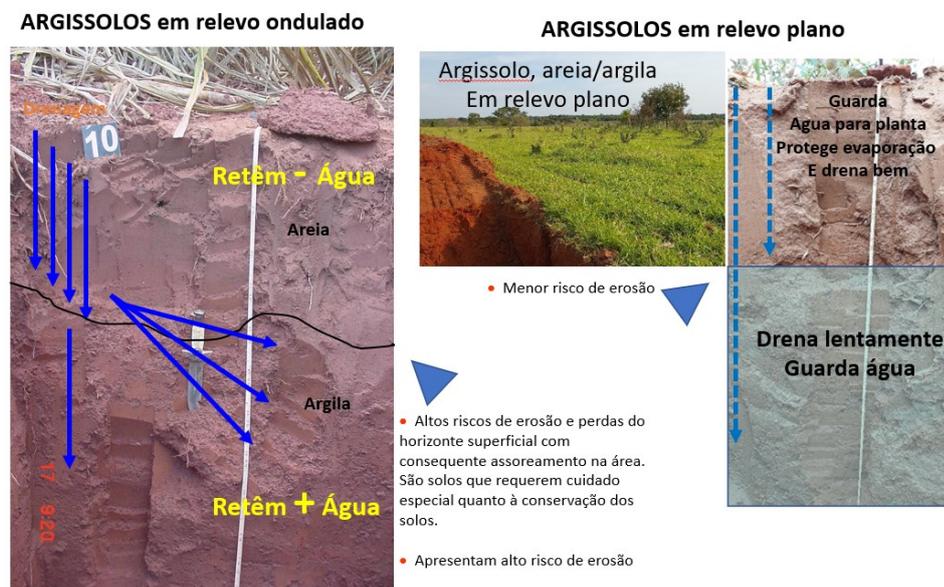


Figura 123 i – Ilustração da dinâmica da água nos Argissolos.



Figura 123 j – Ilustração da dinâmica da água nos Plintossolos.

Sequência para erosão

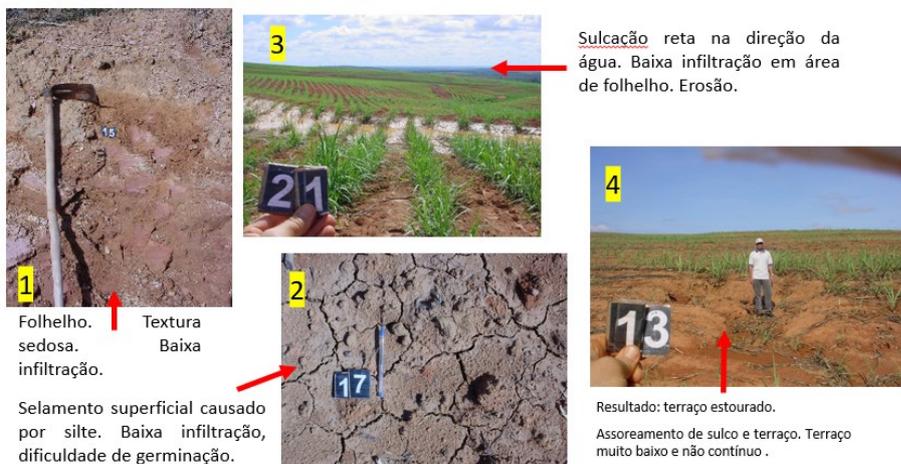


Figura 123 k – Ilustração da dinâmica da água nos Cambissolos siltosos.



Figura 123 I – Ilustração do impacto erosivo em Cambissolos (figura superior) e Neossolos Quartzarênicos (Figura inferior). (Região: interior de São Paulo)

19.2 Solos com má drenagem (ou impedida)

Solos com má drenagem ou impedida ou imperfeita, são aqueles onde em cujo local, a água fica estagnada por um período significativo, que promove efeitos de oxirredução. São reconhecidos por sua coloração acinzentada ou neutra, geralmente podendo ocorrer ao largo de rios, próximos a nascentes ou em locais onde o material impermeável inferior não permite o escoamento da água. O ambiente redutor, diminui a oxigenação local, dificultando o desenvolvimento radicular. São solos que ocorrem em locais mais propícios a cultura do arroz. Porém, desde que adequadamente utilizados, podem ser altamente produtivos. A figura 123 m ilustra um Planossolo e o seu comportamento função na posição na paisagem. Além disso, a mesma figura ilustra o comportamento do Planossolo em cana de açúcar e Eucalipto. Em resumo, ocorrem vários fatores negativos como podridão de raízes, tombamento de plantas, heterogeneidade de crescimento e baixa produtividade. Importante lembrar que estes aspectos estão sendo direcionados para o caso de não realizar a sistematização destas áreas alagadas. A sistematização pode mudar drasticamente o quadro.

Vertissolos (VX) e Gleissolos (GX)

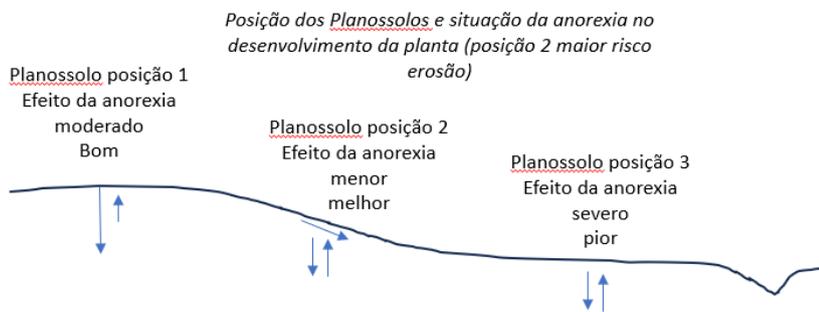


Figura 123 m – Comportamento de Planossolos.

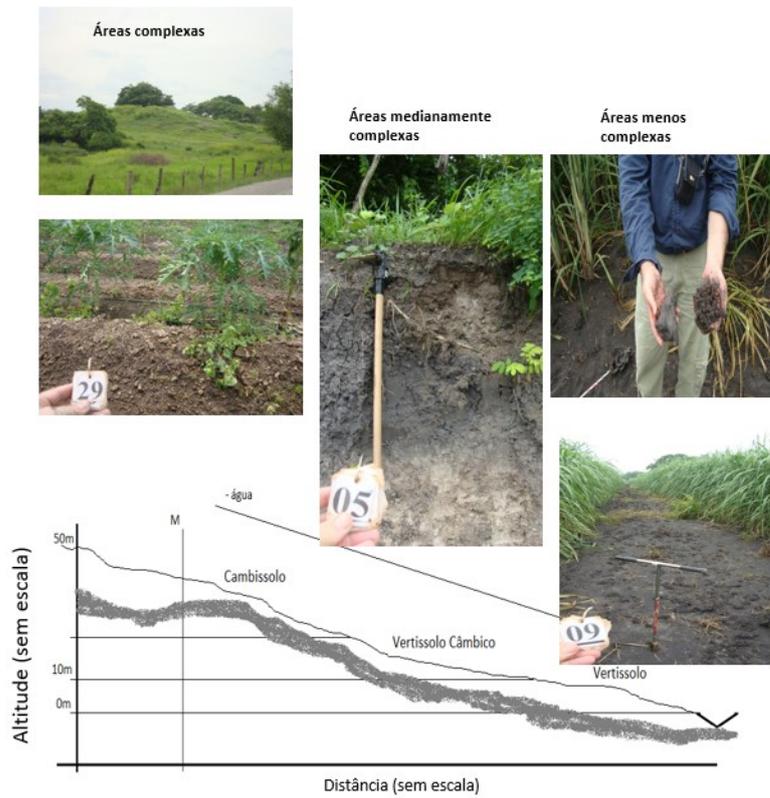


Figura 123 m – Comportamento de Planossolos.



Figura 123 m – Comportamento de Planossolos e impacto na cultura da cana

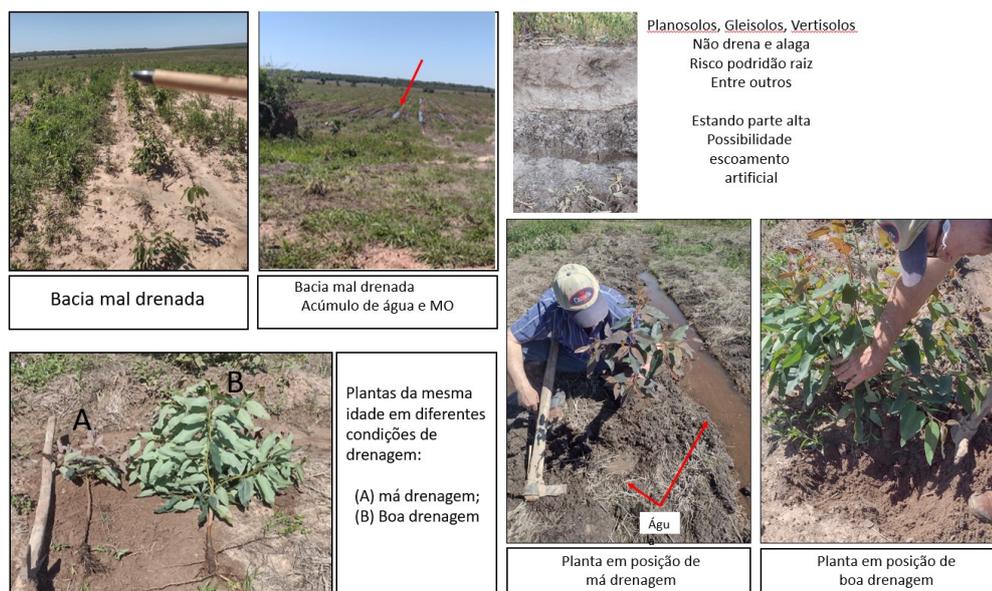


Figura 123 m – Comportamento de Planossolos e impacto no desenvolvimento do eucalipto.

19.3 Solos pedregosos e cascalhentos

Solos pedregosos e cascalhentos são aqueles que apresentam em todo o perfil ou em partes dele, cascalho de diferentes tipos. Podem ser oriundos de concreções ferruginosas ou material de origem. A profundidade é variável. Os inaptos são os Neossolos Litólicos, que são muito rasos. Após eles temos os Cambissolos, que podem ser trabalhados. Entretanto, são largamente associados aos litólicos sendo de difícil delineamento. Agregam a esse plantel os Plintossolos. Em resumo, o problema é que quanto mais cascalho maiores serão os problemas em diferentes frentes tais como: menor absorção de nutrientes, maior perda de água e nutrientes, maior dificuldade de mecanização, maior custo operacional e quebra de implementos, heterogeneidade de germinação, falhamento de germinação, entre outras. A qualidade da operação de adubação e profundidade de plantio ficam comprometidas (Figuras 123 n). A figura 123 o ilustra casos diferenciados na formação Barreiras como os solos epiconcrecionários e endoconcrecionários. As figuras 123 p ilustram casos de erosão e falhamento.

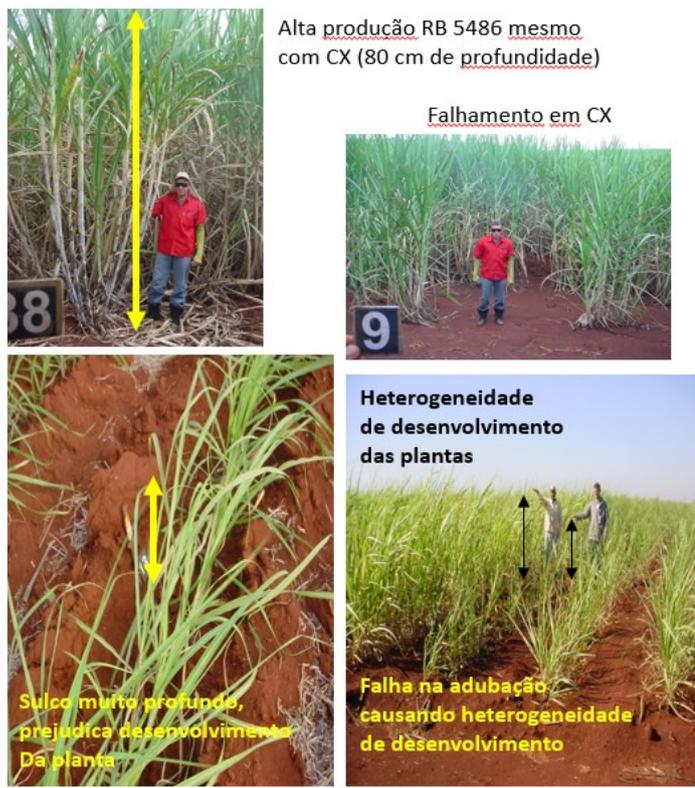


Figura 123 n. Ilustração do impacto em plantio em solos pedregosos (região de Goiás)

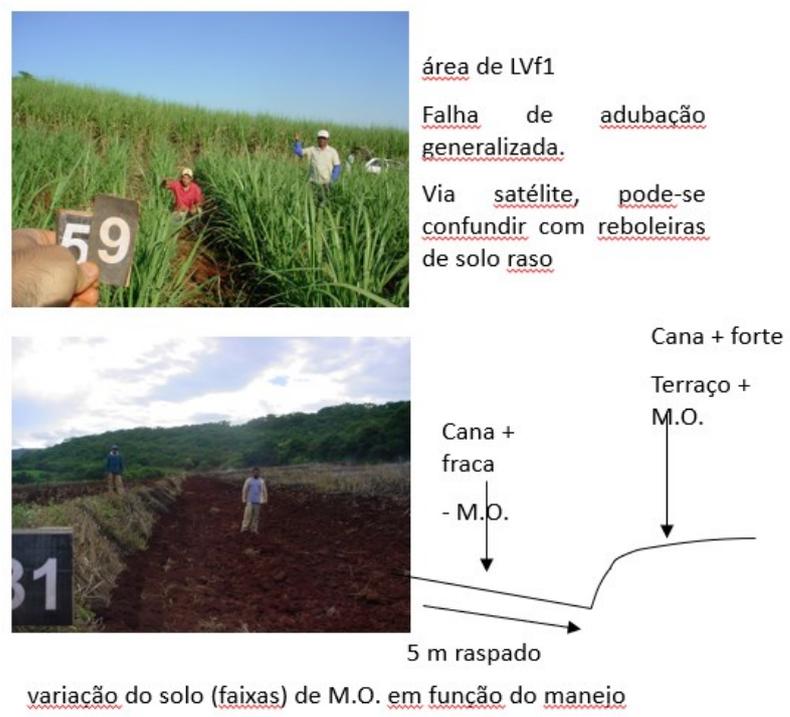


Figura 123 n. Ilustração do impacto em plantio em solos pedregosos.

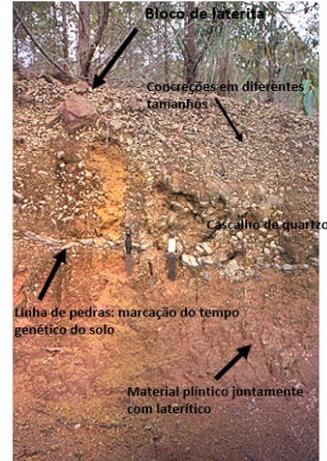
Endoconcrecionário - Geralmente em relevo suave ondulado a ondulado



Epiconcrecionário - Geralmente em relevo suave ondulado a ondulado



FFc e/ou FFip - Geralmente ocorre em relevo ondulado e encostas



Em ambos os casos podem ocorrer os Latossolos, no caso os epi e os endoconcrecionários

Material concrecionário com cascalho de diferentes tamanhos juntamente com material laterítico com grandes blocos, materiais compostos por quartzo e ferruginosos: Manejo Complexo

Figura 123 o – Tipos de solos epi e endoconcrecionários (região do Amapá).



Carreadores de fundo, quando mal conservados, e sem procedimento de controle, ocasionam profundos sulcos erosivos.

Devido à declividade e impedimento de saída da água, esta corre e condiciona erosão



O assoreamento torna-se inevitável. Complica-se ainda mais a situação, quando no final da encosta, também não existe saída para a água entrar na grota, causando alagamentos.



Figura 123 p – Tipos de solos epi e endoconcrecionários.

A sequência do problema dos solos cascalhentos e pedregosos

Fonte inicial: uma cascalheira por perto, indica o risco de ocorrência na área

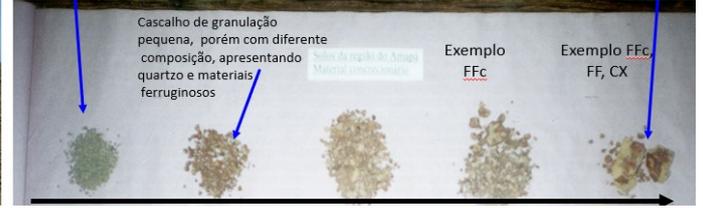


No processo operacional, iniciam o encontro de grandes blocos de material rochoso ou concreções de diferentes tamanhos e tipos



Cascalho fino, composto predominantemente por quartzo. Pode ser encontrado nos Latossolos concrecionários (Lac)

Cascalho com blocos grandes, comuns nos Plintossolos concrecionários e os pétricos.



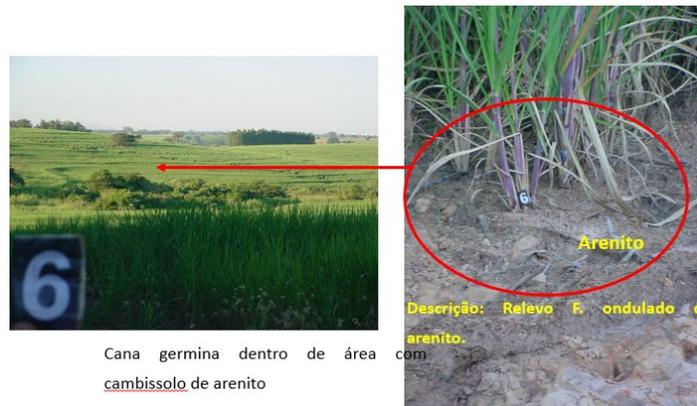
Neste sentido observa-se variação na quantidade, tamanho e composição dos cascalhos, aumentando a dificuldade de manejo e diminuindo o potencial das terras.



O cascalho impede a agregação do solo e permite a lixiviação dos nutrientes aplicados, A percolação rápida da água, e se em relevo ondulado, Início do processo erosivo.

Em suma, a inúmeros impactos contra a produtividade de uma cultura e a favor da perda do valor investido

Figura 123 p – Tipos de solos epi e endoconcrecionários.



Cana germina dentro de área com cambissolo de arenito

Descrição: Relevo ondulado de arenito.

Figura 123 p – Tipos de solos epi e endoconcrecionários.

19.4 Cultivo em área de Plintossolos Pétricos e variações

Nos últimos anos, a expansão agrícola tem adentrado em solos de regiões como no Estado do Tocantins, Goiás e Para, constituídos pelos diferentes tipos de Plintossolos. De fato, está ocorrendo um movimento em plantio sobre solos da formação Barreiras Plintossolos. Baseado no que demonstrado até o momento, os Plintossolos Háplicos e Argilúvicos não tem problemas restritivos. Entretanto, cultivos atuais tem adentrado em áreas de Plintossolos Pétricos dos mais variados. Tal expansão tem sido, na maioria das vezes, de forma errática sem conhecimento prévio destes tipos de solos. Tal procedimento, tem apresentado resultados desde positivos até negativos o que causa dificuldade de entendimento entre os agricultores. Em realidade, existe uma grande variedade de solos Plínticos, desde os mais agricultáveis até os mais complexos podendo até chegar aos inaptos. A figura 123 qq ilustra alguns plintossolos e suas variações.



Figura 123 qq. Variação dos Plintossolos. rias dos Plintossolos pétricos, Plintossolos concrecionários, Argiluvicos e Háplicos

Ou seja, as variações são muito expressivas:

Solos- FF, FT e FX- Estes solos são os mais comuns nesta área. Podem ser divididos em categorias. Os Plintossolos petricos (FF), os Argilúvicos (FT) e os Háplicos (FX). Todos eles apresentam concreções ferruginosas em diferentes tamanhos, concentrações e graus de dureza.

- **FF:** os **Plintossolos pétricos** apresentam uma camada impermeavel de material sólido (como uma laje de rocha), de material denominado como

laterítico (laterita são materiais duros de concreções de ferro), que podem ocorrer a determinada profundidade a partir da superfície. Os solos FF podem ser divididos em três subtipos, o **If**, onde o material rochoso encontra-se até 50 cm de profundidade, o **lc**, onde a rocha está entre 50 cm e 1 m, e o **c**, onde não tem laje mas tem concreções e pedregosidade ao longo de todo o perfil.

- **FFIf (Litoplântico)**. Solos muito rasos com alta dificuldade de mecanização e desenvolvimento radicular. Solos com alto risco de encharcamento e drenagem muito ruim, podendo causar apodrecimento de raízes
- **FFlc (léptico)**. Solos com profundidade moderada, mas ainda possui dificuldade de mecanização devido ao alto risco de quebra de implementos.
- **FFc (concrecionário)**. Estes solos permitem mecanização sofrível, mas o tamanho dos cascalhos permite o preparo do solo. Além disso, existem espaços entre os materiais concrecionários, preenchido com solo, o que permite o desenvolvimento radicular

De maneira geral os mais complexos são os Plintossolos Pétricos, onde justamente tem causado dificuldade de entendimento no setor. É preciso compreender que tais solos variam quanto a inúmeros fatores tais como profundidade, tamanho e tipo de cascalho, granulometria, presença ou não de laje inconsolidada, lajes contínuas ou descontínuas, áreas com e sem alagamento, áreas com maior ou menor drenabilidade, proporção de cascalho, entre inúmeras outras variáveis. Quando vamos avaliar o caráter espacial (num mapa), a questão se torna ainda mais complexa, pois a delimitação de tantas variáveis é extremamente complexa. De qualquer forma, tais solos podem ir do nível inapto ao apto. Dentro dos aptos pode ir de baixíssima a altas produtividades. Logo, para o melhor entendimento e manejo, é preciso conhecer a área e realizar o mapeamento. Somente através da visualização do contexto, será possível tomar decisões mais assertivas quanto ao manejo. Logo, é possível tornar estes solos produtivos, desde que, escolhidas as melhores variantes deste solo, e realizado um manejo de alta tecnologia. Independente disso, algumas questões são inevitáveis tais como: quebra e desgaste de implementos, heterogeneidade de desenvolvimento das plantas, variação da produtividade. Em termos de resultados práticos, tem-se observado rendimentos que vão desde 30 a 80 sc/há de soja em algumas regiões do estado do Tocantins. A seguir ilustrações de áreas plantadas sob plintossolos pétricos, incluindo as práticas mecanizadas (Figura 123 rr).



FATO

O plantio em áreas com Plintossolos pétricos se apresentam com altíssima variabilidade em: quantidade de cascalho, tamanho do cascalho, variação do tamanho das concreções de ferro, presença ou não de camadas inconsolidadas, variabilidade na profundidade do solo

CONSEQUENCIA

Heterogeneidade de desenvolvimento da planta; riscos variáveis na produtividade; Quebra e desgastes de implementos; Perda de nutrientes por lixiviação

DIAGNOSTICO

Sugere-se mapear a área, valiar os riscos antes da tomada de decisões, antes da tomada de decisões

Crédito fotos: Vinícius Queiroz Silveira (Região de Luziânia, Goiás)

Figura 123 rr. Ilustração de áreas com plantio em Plintossolos Pétricos



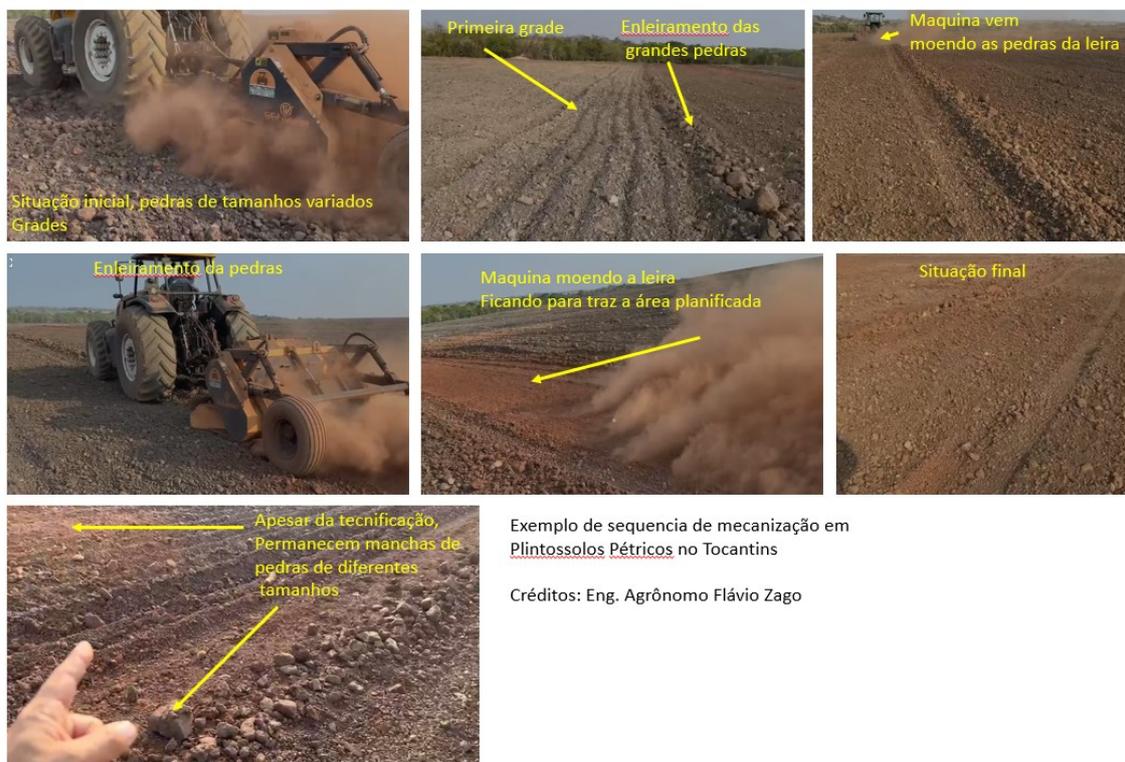
Crédito fotos: Eng. Agrônomo Flavio Zago, região do estado do Tocantins

Figura 123 rr. Ilustração de áreas com plantio em Plintossolos Pétricos

Área de petroplintossolo preparada com grade pesada. Repare nos grandes blocos de material laterítico, que causa menor rendimento de máquinas, consumo excessivo de combustível e manutenção, entre outros problemas



Figura 123 rr. Ilustração de áreas com plantio em Plintossolos Pétricos com eucalipto (região do Amapá em Formação Barreiras)



Exemplo de sequência de mecanização em Plintossolos Pétricos no Tocantins
 Créditos: Eng. Agrônomo Flávio Zago

Figura 123 rr. Ilustração de práticas mecânicas em áreas de Plintossolos pétricos em Tocantins.

Estratégias de manejo

Existem várias sugestões e estratégias para suplantam a questão. Ao final a conclusão para conseguir fazer o manejo recai nos seguintes pontos:

- a) Mapear a área para compreensão das variações dos tipos de Plintossolos, profundidades e grau de cascalho
- b) Decidir onde há maior ou menor risco de sucesso, considerando inaptas as mais arriscadas
- c) Nas áreas escolhidas, realizar operações mecanizadas de preparo. Ao longo das operações, mais áreas poderão ser detectadas e assim mapeadas para tomada de decisão. Fazer um manejo preliminar com material verde para enraizamento e manutenção da palhada na superfície
- d) Realizar o manejo da fertilidade, pensando no enraizamento (uso de gesso)
- e) Escolher cultivares e variedades rústicas (no caso de verificar fertilidade baixa), que se adequem ao local
- f) Continuar num manejo de plantio direto

Estudo de caso

A seguir é ilustrado um exemplo de estratégia de manejo neste tipo de área no Tocantins. Esta estratégia pode variar de caso a caso.

Cenário 01 (Safrá no mesmo ano abertura):

- 1) Abril a Junho ano 1 (ainda ocorre umidade para grandes aradoras penetrarem no solo):
 - * Já com as coletas de solo em mãos e resultados.
 - * Definição das doses de calcário para formação de perfil 0-40 cm
 - * Preparo de solo efetivado com grades aradoras >36" e calcário sempre distribuído antes das gradagem e em duas etapas (melhor distribuição uniformidade do calcário em campo).
 - * aplicar gesso

2) Setembro ano 1:

* Aplicar mileto para formação de palhada (importante esperar um período que realmente se forme uma massa que assegure uma semeadura com segurança).

3) Novembro ano 1 (final mês):

* Início da semeadura (ela só ocorre antes, se pluviometria for suficiente para a formação de massa pelo mileto).

* Ano que chove normal, é possível um resultado satisfatório.

4) Março a abril (ano 2):

* Colheita. Nesse momento é que se define a safrinha de capim: 1ª opção: com distribuição semente a lanço e incorporação por niveladora ou sob semeadura (soja implantada) (podendo ser realizada por avião).

Cenário 02 (Safrá pós manejo com gramínea – 1 ano depois):

1) Outubro em diante ano 2 (depois de chover, facilita penetração das grandes aradoras):

* Já com as coletas de solo em mãos e resultados.

* Definição das doses de calcário para formação de perfil 0-40 cm

* Preparo de solo efetivado com grades aradoras >36" e calcário sempre distribuído antes das gradagem e sempre em duas etapas (melhor distribuição uniformidade do calcário em campo).

2) Dezembro ano 2 para fevereiro ano:

* Distribuição semente de capim (Exemplos: Piatã, Miagui ou Ruzizienses)

3) Abril a Maio ano 2:

* Com capim estabelecido e bem formado (60 a 90 dias) pode-se utilizar para pastagem ou silagem (Panicum – se for o caso, Piatã também é possível).

4) Setembro ano 2:

*Aplicar gesso sobre a gramínea.

5) Outubro a Novembro ano 2:

*Semeadura da soja com palhada bem estabelecida (Chuva estabelecida, ocorre início da semeadura).

6) Fevereiro 2026:

*Colheita e plantio de safrinha (milho grão com capim) ou formação de capim novamente para safrinha de gado com lotações maiores ou parte para silagem de capim.

*A modalidade de sob semeadura da gramínea também ocorre nesse necessário. Depende da estratégia a ser tomada de cada fazenda em termo de ciclo de cultivares e áreas que serão para gado ou pousio.

20 CAPÍTULO 20. SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE TERRA COM VISTAS A PRODUTIVIDADE: AMBIENTES DE PRODUÇÃO E MANEJO

Este tópico foi retirado, em parte, da referência Demattê & Demattê (2009).

20.1 Introdução

Entenda-se por Ambiente de Produção (AP) como um sistema de classificação de terras com vistas ao aumento da produtividade. Trata-se de uma junção de uma ou mais unidades de mapeamento de solo com capacidades de produção semelhantes, associadas às características climáticas e de manejo varietal de uma determinada região. Portanto, no julgamento do ambiente de produção deve-se levar em consideração a interação solo-clima-planta e especificidade do local.

Há décadas, o governo americano desenvolveu um sistema de classificação de terras designado de Classe de Capacidade de Uso, tendo como base fundamental as subclasses e as unidades de manejo. Nas subclasses estão envolvidas as características de solo, de clima, o nível de erosão e o nível de excesso de água. Na unidade de manejo estão relacionadas as características da planta e o seu manejo. O sistema de capacidade de uso (Lepsch et al., 1991) ou o de Aptidão Agrícola (Ramalho Filho et al., 1978), estão relacionados a conservação do solo e a aptidão da terra, enquanto a AP está diretamente ligada a produção. O AP, relaciona os princípios fundamentais da interação solo-clima-planta, apresenta-se como uma adaptação brasileira do sistema americano de classificação de solos, porém levando em consideração a produtividade e não a conservação. É importante, portanto, o uso integrado do sistema de capacidade de uso (para conservação) com o AP (para produção) visando a preservação do solo.

Em São Paulo, na década de 90, a Copersucar definiu o termo AP e lançou as bases para seu entendimento. Para isso, fundamentou-se em resultados fornecidos por várias usinas relacionando produtividade agrícola às características dos solos. Posteriormente o Instituto Agrônomo de Campinas também adotou um sistema semelhante, mas inserindo o clima, inicialmente via a evapotranspiração média anual e posteriormente o déficit hídrico.

Neste tópico, o objetivo é apresentar um sistema como exemplo, pois os conceitos entre as referências são os mesmos.

20.2 As bases do sistema: solo, clima, planta

Para determinar o real potencial de uma região para a produção de cana-de-açúcar é necessário considerar, além da classificação do solo, outras condições, como dinâmica da água, suscetibilidade à erosão, profundidade radicular, drenagem do solo, profundidade e disposição do material rochoso.

De forma resumida, os principais grupos de manejo de solos cultivados com cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil estão inseridos nas seguintes categorias:

(a) Solos profundos, sem variação textural, de textura média- arenosa a muito argilosa. Nesta categoria estão incluídos os Latossolos de maneira geral e os Nitossolos, caracterizados por serem bem drenados, localizados em relevo plano a suave ondulado, de mineralogia caulínica e oxidica, ácricos ou não, e de fertilidade e textura variável. São destaques os solos: Latossolo Vermelho férrico (teor de ferro igual ou maior que 18%, antigo Latossolo Roxo), Latossolo Vermelho Escuro (teor de ferro menor que 18%); Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo e Nitossolo Vermelho férrico (antiga Terra Roxa Estruturada).

(b) Solos arenosos profundos, sem variação textural. Nesta categoria estão incluídos os Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas), sendo solos de textura arenosa a muito arenosa até 2,0 m de profundidade, de ocorrência em relevo plano, bem drenado e de baixa fertilidade.

(c) Solos argilosos, sem variação textural, de drenagem lenta. São representados pelos Vertissolos, solos de mineralogia 2:1, com argila de alta atividade e de boa fertilidade, porém, de drenagem lenta.

(d) Solos com gradiente textural. Nesta categoria estão incluídos os solos que apresentam textura contrastante entre a camada superficial (mais arenosa) e a de subsuperfície (mais argilosa); de drenagem moderada a lenta; de ocorrência em relevo suave-ondulado a ondulado; de fertilidade variável; com mineralogia caulinítica de baixa atividade (Tb) ou mineralogia 2:1, de alta atividade (Ta). São representados pelos solos: Argissolo Vermelho-Amarelo (Podzólico Vermelho-Amarelo Tb ou Ta), Luvissoilo crômico (Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico Ta), Alissolo crômico (Podzólico Vermelho-Amarelo Ta, álico) e Planossolos, que diferem dos solos podzolizados Ta por apresentarem horizonte B plânico, mais coeso do que o horizonte B textural dos argissolos e, por isso, apresentam maior dificuldade no manejo.

(e) Solos rasos: Representados pelos Cambissolos e Neossolos Litólicos.

(f) Solos da região nordestina: Na região nordestina e nos tabuleiros há predominância dos Latossolos Vermelho-Amarelo e Amarelo e dos Argissolos, de textura argilosa a média-arenosa, desenvolvidos da Formação Barreiras, apresentando a mesma mineralogia da fração argila dos solos do Centro-Sul e também a mesma variação na fertilidade e na textura. São, em geral, distróficos ou álicos, com sérias deficiências em micronutrientes. Apresentam, entretanto, algumas particularidades, a saber: são coesos (muito duros quando seco), o que tende a dificultar o manejo no período de pouca umidade; mostram bloqueamento de poros abaixo da camada de 30-40 cm, o que pode ocasionar encharcamento temporário e pouco enraizamento; e podem ocorrer formações especiais como fragipã e duripã (camadas endurecidas de elevada densidade), o que altera todo o regime hídrico do solo e impede o desenvolvimento radicular. Nas depressões, há formação dos Podzóis Hidromórficos, solos extremamente arenosos. A associação entre bloqueamento dos poros e ocorrência de camadas impeditivas ao desenvolvimento radicular, combinados com baixa fertilidade em profundidade, faz com que a cultura explore somente a camada superficial dos solos. No período de setembro a fevereiro o déficit hídrico é acentuado, na faixa de 5 a 7 mm dia⁻¹ que, em conjunto com as limitações do solo, contribui para as baixas produtividades da região.

20.3 Histórico dos ambientes de produção

A Coopersucar, com um grande banco de dados do estado de São Paulo, entre mapas pedológicos e produtividades, começou a relacionar. Numa primeira abordagem, avaliaram as relações entre fertilidade (baseada em pedologia) e classes texturais. A figura 123s mostra diferenças. As conclusões foram: mas a combinação entre eles também. Logo, ficou evidente dois pilares dos ambientes. Em paralelo, a textura tem relação com retenção de água gerando o terceiro pilar.

Verificaram que existia uma relação entre tipos de solo e produtividade. Também verificaram que certas variedades se adaptavam melhor a solos específicos. Com isso criaram a primeira versão de uma tabela de ambientes conforme segue. Na época não se relacionou as questões climáticas. Os valores de TCH, tonelada de cana por há, são a média de 4 cortes. Trata-se de um valor de potencial, ou seja, o quanto aquele solo, mediante manejo e variedade adequadas, pode atingir. Não se trata de estimativa de produtividade. Logo, o usuário, sabendo o seu solo, pode saber de antemão, o potencial de produtividade de sua terra. Tal fato abriu um leque de opções para o sistema agrícola da cana de açúcar.

Produtividade média de 4 cortes em função da textura e fertilidade 13 usinas cooperadas - Copersucar (1997)					
Argila %	V%	TCH	Argila %	V%	TCH
maior 35%	eutrofico	97	25 a 35%	eutrofico	90
	distrofico	90		distrofico	87
	alico	87		alico	83
	acrico	83			
15 a 25%	eutrofico	87	menor 15%	eutrofico	75
	distrofico	85		distrofico	73
	alico	83		alico	71

Observações: exame em 13 usinas; 6 safras; 17 variedades;
47 tipos de solos

j.l.i.demattê

Figura 123 s - Ilustração das variações da produtividade de cana (Tonelada por há, TCH), função da fertilidade e classes texturais, baseadas em pedologia.

Posteriormente, cruzaram o mapa pedológico pré-existente com as variedades e produtividades. A Figura 123t demonstrou que os tipos de solos influenciam a produtividade. Isso tem fundamentação teórica, haja visto que os solos (da superfície até a subsuperfície), tem uma dinâmica de solutos que permite maior ou menor absorção de nutrientes. Entretanto, se o usuário, tem apenas o mapa de um atributo do solo (como por

exemplo a textura, ou do teor de P), ele nunca saberá como ocorre essa dinâmica e ficará tentando resolver o aumento de produtividade com informações incompletas. Baseado nesta informação, verificou-se onde havia as maiores produtividade de um mesmo solo, e para qual variedade. Com isso, foi estabelecido, uma relação entre o tipo de solo, e o potencial máximo de sua produtividade.

Produtividade média e respectivas variações por solo			
Média de 4 cortes. (Fonte Copersucar, 1997)			
Solo	TCH máximo	TCH médio	TCH mínimo
TE eutrof.	110	102	91
LR eutrof.	112	94	82
PVA aren/media, eut.	100	94	85
LR distrof.	108	90	74
LVA text.media, dist.	102	89	76
LE, text.arg. Epi eutr.	102	88	83
LR alico	100	87	65
LE, text.media, epi eutr	94	88	80
LE text. media, alico	86	84	80
LVA text.media, alico	84	84	73
AQ	72	68	64

j.l.i.dematte

Figura 123 t - Dados de produtividade tonelada de cana por ha (TCH).

Finalmente, e para facilitar a parte operacional e comunicação entre usuários, foi criada a primeira tabela de ambientes que ia de A até E relacionando a produtividade média de 4 cortes com os respectivos tipos de solos (Figura 123 u).

Tabela 1 - Ambientes de produção para cana-de-açúcar dos solos da Usina Da Pedra.

Ambiente	Produtividade	Solos
A	TCH \geq 95	TRE-4, LR-4, TRE-1, LR-1, LVE-1
B	90 \leq TCH<95	TRE-7, LR-2, LR-3, LVE-2
C	85 \leq TCH<90	LR-2a, LVA-2, LVE-8, TRE-8, LVE-5
D	80 \leq TCH<85	LVE-6, LVA-9, LVA-8
E	TCH<80	LVE-9, LVA-11, AQ-1, LVA-5, LVA-6, LVA-12, AQ-3, AQ-2, AQ-6

Figura 123 u - Primeira figura dos ambientes de produção (Coopersucar, 1992).

Posteriormente, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) inseriu a parte climática, inicialmente com o critério da evapotranspiração e posteriormente com o déficit hídrico (Figura 123 v).

AMBIENTES DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL			
2ª Aproximação			
Ambientes	Produtividades TCH _s	Atributos dos solos	Símbolos dos solos EMBRAPA (1999), PRADO (2004)
A1	> 100	{ ADA, e, ef, m, CTC média/alta	PVAe ²⁰ , PVe ²⁰ , LVe ²⁰ , LVAe, CXe, NVef, Nve, MT*, MX*, GMe, GXe, GMm, GXm
A2	96 - 100	{ ADM, e, ef, CTC média/alta	PVAe ²⁰ , PVe ²⁰ , PAe ²⁰ , LVe ²⁰ , LVAe, CXe, NVef, Nve
B1	92 - 96	{ ADA, m, mf, CTC média/alta ADM, mf, m, ma, CTC média/alta ADB, ef, e, CTC média/alta	PVAm ²⁰ , PVm ²⁰ , PAm ²⁰ , LVmf, LVm, LVAm, LA ²⁰ , CXm, NVmf, NVm, PVAm ^{a*} , LVe ²⁰ , LVAe, LAe, NVef, Nve, PVAe ²⁰ , PVe ²⁰ , PAe ²⁰ , CXe
B2	88 - 92	{ ADM, m, mf, CTC média/baixa ADA, ma, CTC média/alta	PVAm ²⁰ , PVm ²⁰ , PAm ²⁰ , LVmf, LVm, LVAm, LA ²⁰ , CXm, GMma, GXma
C1	84 - 88	{ ADM, d, CTC média/alta ADM, ma, CTC média/alta ADB, d, df, CTC média/alta	PVAd ²⁰ , PVd ²⁰ , PAD ²⁰ , LVAm ^{a*} , LAma ^{a*} , LVd, LVdf, LVAd, LAd
C2	80 - 84	{ ADB, e, CTC média/baixa ADMB, ef, CTC média/alta	LVe, LVAe, LAe, LVe ^f
D1	76 - 80	{ ADB, w, wf, CTC média/alta ADM, a, CTC média/alta	LVwf, LVw, LVAw, LAw, PVAa ^{20*} , PVA ^{20*} , PAa ^{20*}
D2	72 - 76	{ ADB, ma, CTC média/alta ADB, e, CTC alta, A chernozêmico	LVma, LVAm ^a , LAma, RLe
E1	68 - 72	{ ADB, a, CTC média/baixa ADMB, ma, CTC média/baixa	PVAa ²⁰ , PVA ²⁰ , PAa ²⁰ , PVAm ²⁰ , PVma ²⁰ , PAm ²⁰
E2	< 68	{ ADMB, wf, w, a, CTC média/alta ADMB, a, d, CTC média/baixa ADMB, e, m, d, ma, a	LVwf, LVw, LVAw, LAw, LVa, LVAa, LAa, PVAa ²⁰ , PVA ²⁰ , PVAa ²⁰ , PAa ²⁰ , RQa, RQd, RLe, RLm, RLd, RLma, RLa, PVAe ²⁰

ADA: água disponível alta, ADM: água disponível média, ADB: água disponível baixa, ADMB: água disponível muito baixa.
 LV: Latossolo Vermelho, LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo, LA: Latossolo Amarelo, PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo, PV: Argissolo Vermelho, PA: Argissolo Amarelo, NV: Nitossolo Vermelho, MT: Chernossolo Argilúvico, MX: Chernossolo Háptico, CX: Cambissolo Háptico, RQ: Neossolo Quartzarênico, RL: Neossolo Litólico, GX: Gleissolo Háptico, GM: Gleissolo Melânico.
 ef: eutroférrico, e:eutroférrico, mf: mesotroférrico, m: mesotroférrico, df: distroférrico, d: distroférrico, wf: acriférrico, w: ácrico, ma: mesoálico, a: álico.
²⁰ horizonte B ocorrendo na profundidade de até 20 cm iniciais desde a superfície; ²¹ horizonte B ocorrendo na profundidade de 20 a 60 cm desde a superfície; ²² horizonte B ocorrendo na profundidade de 60-100 cm desde a superfície; ²³ horizonte B ocorrendo na profundidade maior que 100 cm desde a superfície; ²⁴ mosqueamento ou variegado no horizonte B.

Figura 123 v - Ilustração dos Ambientes de IAC (Prado, 2005)

Concordando com dados da Coopersucar, Landell (2003) verificou a importância da classificação da fertilidade pedológica em subsuperfície. A figura 123x ilustra que quanto mais fértil em subsuperfície, maior a produtividade e longevidade do canavial.

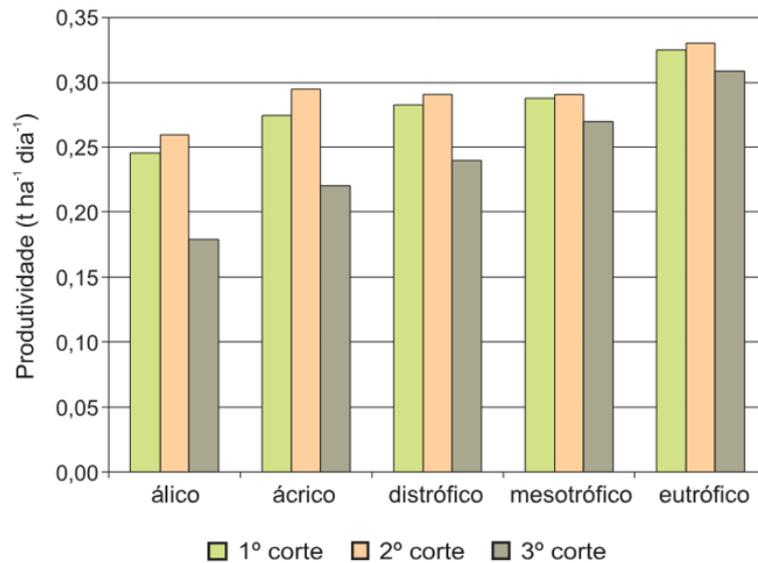


Figura 123 x - Produtividade da cana-de-açúcar ao longo dos cortes (Landell et al., 2003)

Demattê & Demattê (2009) também estabeleceram um sistema com mesmo fundamento (solo versus clima), porém indo de A1 a G, e posteriormente detalhado. Segue a tabela deste sistema (Figura 123 y).

Produtividade Potencial	Ambiente1	Cana TCH, ton/cana/há	Característica do solo-sentido	Exemplos de solos
	Designação	(média 5 cortes)		
Extremamente alta	A1	<100	FAVORÁVEIS ↑ texturas mais férteis ↓ menos férteis ↓ aumenta problemas drenagem ↓ texturas mais arenosas ↓ DIFÍCIL ↓ texturas mais argilosas	PV, PVA, PA, LV, LVA, LA argilosos a muito argilosos eutróficos
Muito alta	A	95-100		PV, PVA, PA, LV, LVA, LA argilosos a muito argilosos química variável
Alta	B	90-95		PV, PVA, PA, LV, LVA, LA textura e química variável para positivo
Média-Alta	C	85-90		PV, PVA, PA, LV, LVA, LA textura e química variável para negativo
Média	D	80-85		FT, FX, PBAC
Baixa	E	75-80		Solos textura médio arenosos e pobres em geral
Muito baixa	F	70-75		RQ, RQP, CXL, FFC
Extremamente baixa	G	<70	SX, GX, FFl, FFlp, SN, RL, RQ, pobres	

1: os ambientes são dinâmicos e podem mudar; considera-se os ambientes em sequeiro, considerando ainda manejo e alocação varietal adequados, e semi irrigação de salvamento. A inserção de tecnologia avançada e irrigação muda os padrões aqui estabelecidos. Valores indicados para média de 5 cortes

Figura 123 y - Ilustração do modelo de ambientes de produção estabelecido por Demattê & Demattê (2009) considerando solo e clima.

20.4 De onde vem o sucesso dos ambientes de produção? A importância da camada de subsuperfície

Landell do IAC (2003) já indicou que a classificação dos AP, são principalmente nas camadas mais profundas ou do horizonte B diagnóstico dos solos. Quem determina e avalia o horizonte B (geralmente até um metro ou mais) é o mapa pedológico. Novamente, mapas de textura da camada superficial ou de nutrientes, não tem relação com a longevidade da produtividade.

Prado apresenta a variação do enraizamento em diferentes solos, mostrando a importância da pedologia na produtividade (Figura 123 z).

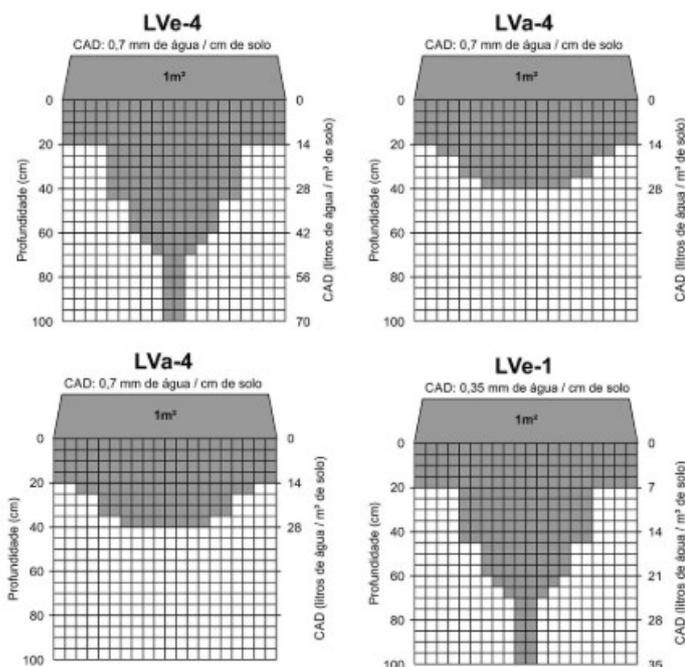


Figura 123 z - Capacidade de água disponível e crescimento do sistema radicular da cana em Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Vermelho Amarelo álico (**Fonte:** Prado, 2013).

Saindo da esfera da cana de açúcar, pergunta-se sobre a importância do mapeamento pedológico em culturas como grãos por exemplo, pois argumenta-se que não tem crescimento aprofundado das raízes. Esse conhecimento foi descrito em Raij (2011). O autor mostra por inúmeros dados de literatura sobre a importância das raízes em camadas mais profundas. Neste caso, o mais interessante, é que sai da alçada da cana de açúcar e adentra em outras culturas, desmistificando a ideia de que os grãos só têm raízes importantes na superfície. A figura 123aa, ilustra o impacto de enraizamento em várias culturas.

Wild (1988) indicou que em ano seco, solo argiloso sob plantio direto, armazenou 10% a mais de água do que o plantio convencional, em especial abaixo dos 50 cm, permitindo ao trigo obter 22 mm de água a mais do solo sob plantio direto. Rosolem (2005) indicou grande exigência de água em soja. Indicou que a produtividade máxima só é obtida se o sistema radicular atingir até 1 m. Se as raízes atingirem apenas 60 cm, a

produção será 70% da máxima. Luchiari Junir et al. (1986) observaram no cerrado, raízes de milho e feijão deveriam atingir até 1,5 m como base para altas produtividades. A água é o veículo de transferência de elementos químicos, nutrientes e outros do solo para as raízes. E não se trata de água pura, mas de solução. A água ao percolar pelo perfil leva nutrientes que serão absorvidos até onde tiver raízes, ou se perderão. Wild (1988), mostrou que em trigo de inverno, período seco, raízes a mais de um metro de profundidade, representam apenas 3% do peso total delas, mas foram responsáveis pelo suprimento de 20% da água usada pela cultura. Rosseto et al. (2013) também faz várias referências a importância dos aspectos de subsuperfície no desenvolvimento da planta. A Figura 123x ilustram tanto as restrições radiculares devido a impedimento químico em subsuperfície, como algodão, eucalipto e cana de açúcar (a, b, c), quanto a profundidade de enraizamento em várias culturas como pastagem, café e soja.

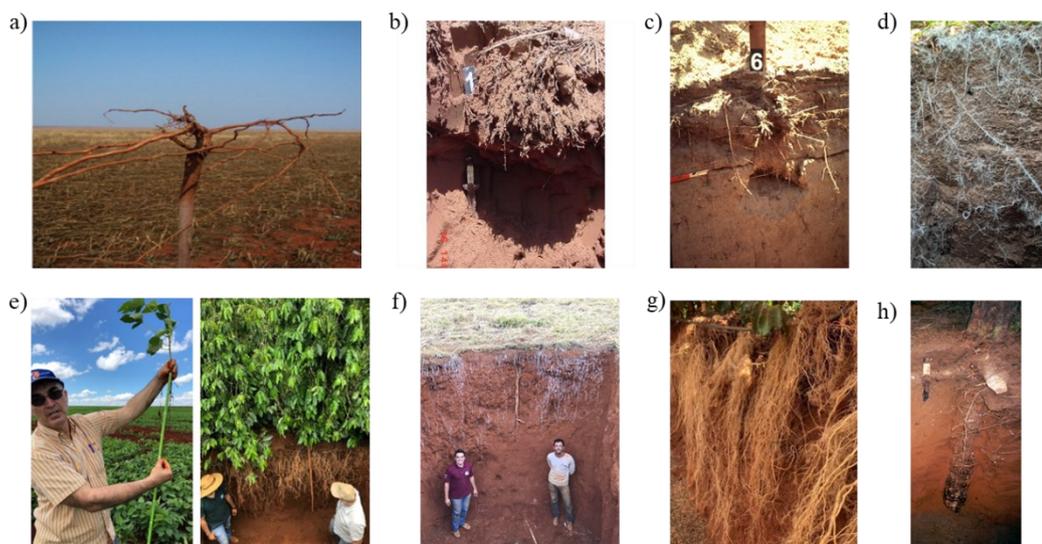


Figura 123 aa - (a) Raízes do algodoeiro possivelmente afetadas pela acidez do subsolo (Fundação Mato Grosso), (b) Impedimento químico do enraizamento da cultura da cana de açúcar-Paraguaçu Paulista; (c) idem para a cultura do Eucalyptus-Paraná, (d) Raízes em Cambissolo com cultura de aveia atingindo 2 m (Paulo Ivanir Gubiane), (e) raiz de soja atingindo 1,2 m em Goiás em Latossolo Vermelho argiloso, (f) enraizamento do café, atingindo 1,8 m, região de São Paulo, (g) raízes em pastagem com mais de 2 m (Fábio Ferreira e Matheus Marque), (h) Cultura do café com 2 m (Victor Monseff de Almeida Campos 3r Ribersolo Laboratório de Análises Agropecuárias Foto na fazenda BellaTerra em São Sebastião do Paraíso, MG). (i) enraizamento de eucaliptos em Latossolos do Paraná.

Tais fatos vão de encontro a literatura, o enraizamento, tanto das culturas perenes, semiperenes e anuais, atingem profundidade acima de 1 m, desde que bem manejadas. Quanto maior o enraizamento, maior será o aproveitamento da água que traz junto os nutrientes aplicados como fertilizantes. Logo, a camada de subsuperfície se mostra como a chave inovadora para alavancar a produtividade ora atingida. Quais seja, dizer que obteve alta produtividade, portanto, pode deixar o agricultor numa 'zona de conforto', mas não significa que atingiu seu máximo e tampouco que aproveitou todo o fertilizante aplicado. É preciso saber qual a meta a ser atingida para maior otimização dos insumos. A figura 123 b ilustra outras questões em profundidade do solo.



Fotografia 4. Aspectos de experimento de calagem em cultura de sorgo durante um veranico: **A.** tratamento sem calcário; **B.** tratamento com dose intermediária de calcário; **C.** tratamento com dose máxima de calcário, de 9 t ha⁻¹.
Crédito: Furlani, Quaggio e Gallo (1991).



Fotografia 5. Aumento do sistema radicular do milho em função da maior absorção de nitrogênio promovida pela calagem. A faca indica a profundidade do sistema radicular.
Crédito: Quaggio e outros (1991).

Figura 123 b - Extraído de Rajj (2011)

Raij (2011) verificou que, o importante, do ponto de vista prático, é que resultados de diversos experimentos que comparam doses de calcário e de gesso, as produções máximas não podem ser obtidas com estes insumos usados isoladamente, mas sim com a combinações deles.

A área que, em princípio, tem os solos que mais provavelmente respondem à gessagem é a chamada região do Cerrado. Embora com mais de 200 milhões de hectares, a aplicação do gesso fica limitada à distância econômica de transporte do insumo. Os livros de Sousa e Lobato (2002) e de Raij (2008) descrevem, com base em experiência no próprio local, a correção do solo e a adubação na região do Cerrado. Segundo os autores, ao se tratar de melhoria do subsolo, diversos fatores devem ser considerados e, ao que tudo indica, as atuais recomendações de aplicação de gesso são, no mínimo, incompletas, ao não considerar a profundidade de atuação e a natureza da fração argila.

Raij (2011) conclui que, há amplas evidências de que calcário e gesso podem melhorar o ambiente radicular do solo em subsuperfície. Resultados experimentais mostram que, para atingir produtividades máximas, as doses de calcário e de gesso deveriam ser duas vezes maiores do que as recomendadas. Contudo, faltam informações que permitam quantificar as doses de cada um dos corretivos visando alta produtividade em diferentes condições de solos.

20.5 Exemplo de uma legenda pedológica para fins de manejo e ambientes

A seguir é exemplificado o sistema de Demattê & Demattê (2009). Primeiramente são apresentadas as normativas de classificação pedológica, alteradas de Santos et al. (2018) para fins de manejo, mas mantendo-se os conceitos.

Definição e identificação das classes de textura e de fertilidade dos solos

A divisão das classes de textura (cada classificador pode ter sua classificação) se baseia na escala de teor de argila e é numerada de 1 a 7, a saber:

1. Textura muito argilosa: teor de argila maior que 60%;
2. Textura argilosa: teor de argila de 35 a 60%;
3. Textura média-argilosa: teor de argila de 25 a 35%;

4. Textura média-arenosa: teor de argila de 15 a 25%;
5. Textura arenosa: teor de argila de 10 a 15%;
6. Textura muito arenosa: teor de argila menor que 10%;
7. Textura siltosa: teor de argila menor que 35% e de areia menor que 15%.

Para os solos com gradiente textural pode-se utilizar textura binária, ou seja, horizonte A/horizonte B. Entretanto, para facilitar a interpretação, a textura, neste caso, será relacionada ao horizonte B. Para os demais solos, a textura a considerar corresponde àquela da camada próxima a 100 cm de profundidade, exceto para os solos rasos, nos quais deve ser considerada a camada superficial.

A definição das classes de fertilidade (cada classificador pode ter sua classificação) tem como base os atributos de saturação por bases, saturação por alumínio e pH em CaCl_2 e em KCl e são identificadas por algarismos de 1 a 7, a saber:

1. Eutrófico: saturação por bases superior a 50% em todo o perfil;
2. Epieutrófico: saturação por bases superior a 50% na camada superficial e baixa nas demais, porém não álico;
3. Distrófico: saturação de bases inferior a 50% em todo o perfil, porém não álico;
4. Álico: saturação por Al (m%) superior a 50% em todo o perfil ou nas camadas inferiores;
5. Ácrico: solos contendo quantidades iguais ou menores que $1,5 \text{ cmol kg}^{-1}$ de argila de bases trocáveis mais Al extraível por KCl 1N e que preencham pelo menos uma das seguintes condições: a) pH KCl igual ou superior a 5,0; b) Delta pH positivo ou nulo (Delta pH = pH KCl – pH H_2O).
6. Alumínico: m% maior que 50 e Al maior que 40 mmol kg^{-1} ;
7. Alítico: m% maior que 50, Al maior que 40 mmol kg^{-1} e atividade de argila maior que 200 mmol kg^{-1} .

Outros atributos de identificação (maiores detalhes em Santos et al. (2018).

Outras características diferenciadoras dos solos são:

* Atividade da argila

Tal critério refere-se à capacidade de troca de cátions do horizonte B, ou do C, quando não existe B. Atividade alta (Ta) designa valor igual ou superior a 27 cmol kg⁻¹ de argila, e atividade baixa (Tb) valor inferior a 27 cmol kg⁻¹ de argila.

* Caráter abrupto (designação ab)

Mudança textural abrupta consiste em um considerável aumento no teor de argila dentro de pequena distância na zona de transição entre o horizonte A e o subjacente B.

* Espessura do horizonte A

Arênico (ar): solos com textura arenosa desde a superfície do solo até o início do horizonte B textural, que ocorre entre 50 e 100 cm de profundidade.

Espessarênico (es): solos com textura arenosa desde a superfície do solo até o início do horizonte B textural, que ocorre a mais de 100 cm de profundidade.

* Características específicas

- Léptico (lp): solos com contato lítico (solo-rocha) entre 50 e 100 cm de profundidade.

- Saprolítico (sa): solos que apresentam horizonte C dentro de 100 cm da superfície.

- Cascalhamento (c): nível de cascalhamento quando o solo apresenta quantidade razoável de cascalho.

- Plintita (pl): presença de plintita e, portanto, representa local com problemas de encharcamento.

- Hidromórfico (hi): refere-se a classes de solo que possam apresentar características hidromórficas, mas não suficientes para serem enquadradas nos Gleissolos.

- Caráter psamítico (ps): solos com textura arenosa nas camadas superficiais, porém média-arenosa nas demais sem gradiente textural.

- Férrico (f): refere-se aos solos com teor de Fe₂O₃ entre 18 e 36%.

* Nível de CTC: A CTC pode influir na produtividade, sendo assim diferenciada: cb, nível baixo, inferior a $80 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; cm, nível médio, entre 80 e $100 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$; e ca, nível alto, maior que $100 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Uso da legenda para identificação dos solos

A legenda utilizada para identificação dos solos para a cana-de-açúcar foi adaptada da legenda sugerida pela Embrapa (Santos et al., 2018). Ela consta do nome do solo acompanhado de dois dígitos, sendo que o primeiro se refere à textura e o segundo à fertilidade. Exemplos: LV3-3 Latossolo Vermelho, textura média-argilosa, distrófico; PVA 2-3, Argissolo Vermelho-Amarelo textura argilosa, distrófico. Após este conjunto, podem vir designações que diferenciam a classe, como a seguir: PV 2-3-ab, es, Ta – trata-se de um Argissolo Vermelho, textura argilosa, distrófico, abrúptico, espessarênico e com argila de alta atividade.

20.6 Solos e produtividade da cultura da cana de açúcar

A relação existente entre textura do solo e características químicas relacionadas à produtividade agrícola, como a saturação por bases, foi analisada pela Copersucar (1997) em 13 usinas, durante seis safras, em 17 variedades e 47 tipos de solos (Tabela 142). Observou-se que, entre os solos argilosos, por exemplo, há um decréscimo da produtividade em função da diferença de saturação por bases do solo, ou seja, 97 t ha^{-1} , média de quatro cortes, para os solos eutróficos, de elevada saturação por bases; 90 t ha^{-1} para os solos distróficos; 87 t ha^{-1} para os solos álicos e 83 t ha^{-1} para os solos ácidos. A menor produtividade observada nos solos ácidos se deve ao fato de que, além da baixa fertilidade, a mineralogia destes solos é predominantemente oxidica e, com isso, a quantidade de água retida é menor.

Tabela 142 - Produtividade da cana-de-açúcar (média de quatro cortes) em função da textura do solo e do nível de saturação por bases¹.

Teor de argila (%)	V%	Produtividade (tha ¹)
>35%	Eutrófico	97
	Distrófico	90
	Álico	87
	Ácrico	83
25 a 35%	Eutrófico	90
	Distrófico	87
	Álico	83
	Eutrófico	87
15 a 25%	Distrófico	85
	Álico	83
	Eutrófico	75
	Distrófico	73
<15%	Álico	71

¹ Observação: estudo em 13 usinas, 6 safras, com 17 variedades e 47 tipos de solos.

Fonte: COPERSUCAR (1997).

A relação entre produtividade agrícola e nível de fertilidade do solo pode ser observada na Tabela 143. Nota-se que, considerando-se somente o Latossolo Vermelho férrico (LVf) e a textura argilosa, a produtividade decresce do solo eutrófico (LVf 2-1) para o ácrico (LVf 2-5), passando pelo epieutrófico (LVf 2-2), distrófico (LVf 2-3) e álico (LVf 2-4).

Tabela 143 - Produtividade agrícola em função do tipo de solo e da característica de fertilidade.

Solo ¹	TCH ²		
	Máxima	Média	Mínima
NV 2-1	110	102	91
LVf 2-1	112	94	82
LVf 2-2	110	92	88
LVf 2-3	108	90	74
LVf 2-4	100	87	65
LVf 2-5	89	85	65
PV 4/3 -1	112	96	85
PV 5/3 -1	100	94	85
PV 5/3 -3	87	84	79
LV 2-2	102	88	83
LV 3-1	102	89	76
LV 4-2	94	88	80
LV 4-4	86	84	80
RQ	72	68	64

¹ NV = Nitossolo, LVf = Latossolo Vermelho-férrico, PV = Argissolo, RQ = Neossolo Quartzarênico.

² TCH = tonelada de cana por hectare.

Fonte: Dados modificados de COPERSUCAR (1997).

Porém, na avaliação da produtividade da cultura, há necessidade do conhecimento adequado do tipo de solo, e não somente da textura, caso contrário corre-se o risco de se cometer falhas por ocasião da definição do ambiente de produção. Observa-se que o PV 5/3-3, de textura arenosa na superfície e média-argilosa na sub- superfície, produz tanto quanto o solo argiloso sem variação textural em profundidade (LVf 2-5). A explicação para o fato é que solos com gradiente textural tendem a reter umidade por mais tempo do que solos sem gradiente.

20.6.1 Clima

Com base nas informações anteriores, o Instituto Agronômico de Campinas adicionou outros parâmetros para auxiliar na quantificação dos ambientes de produção.

Entre tais parâmetros destacam-se as classes de água disponível (AD) a 100 cm de profundidade do solo; a evapotranspiração (ETP) em três regiões distintas, com 3, 5 e 7 mm dia⁻¹ (Tabela 144); as faixas de CTC e a adição do caráter meso para os solos eutróficos e álicos, criando o Sistema Ambicana para diagnóstico dos ambientes de produção. Com a divisão do caráter eutrófico e álico em mesoeutrófico e mesoálico pode haver dificuldades na separação das unidades de mapeamento.

Tabela 144 - Classes de disponibilidade de água e volume de água disponível (litros m⁻³) para três níveis de evapotranspiração potencial.

AD dias/mês	Classe ¹	Evapotranspiração potencial		
		3	5	7
		mm/dia	mm/dia	mm/dia
		(L m ⁻³)		
> 25	ADA	> 75	> 125	> 175
20 a 25	ADA/ADM	60 a	100 a	140 a
		75	125	175
15 a 20	ADM	45 a	75 a	105 a
		60	100	140
10 a 15	ADB	30 a	50 a	70 a
		45	75	105
5 a 10	ADMB	15 a	25 a	35 a
		30	50	70
< 5	ADEXB	< 15	< 25	< 35

¹ AD = água disponível, ADA = água disponível alta; ADM = água disponível média; ADB = água disponível baixa; ADMB = água disponível muito baixa; ADEXB = água disponível extremamente baixa.

Fonte: PRADO et al. (2003).

Observa-se na Tabela 144 que o número de dias, por mês, com AD no solo varia de acordo com a ETP. Assim, um Latossolo férrico com 75 L m⁻³ de água disponível em região que apresenta 3 mm dia⁻¹ de ETP, como em Piracicaba, SP, terá 25 dias com AD, enquanto o mesmo solo, em região com 7 mm dia⁻¹, como no Brasil Central, terá de 10 a 15 dias com AD. Portanto, este solo terá AP diferenciado nas duas regiões. Hoje, o sistema também leva em consideração o déficit hídrico.

20.7 Classificação dos ambientes

Com base nas informações sobre produtividade de cana e níveis de fertilidade do solo, a Copersucar lançou, por volta de 1997, a classificação dos ambientes, designando-os por letras de A a D, com média de quatro cortes. Posteriormente, baseando-se nas informações das usinas e das diferentes regiões canavieiras, outras instituições refizeram e ampliaram a relação de ambientes, designando-os de A a G Demattê & Demattê (2009), com média de cinco cortes (Tabela 145). Isso foi realizado para resolver as baixas produtividades das regiões oeste de São Paulo.

A relação entre os ambientes e a produtividade média por corte, bem como a média de cinco cortes, está indicada na Tabela 146.

Tabela 145 - Classificação dos ambientes de produção de acordo com a produtividade e potencial de produtividade da cana (média de cinco cortes).

Ambiente	TCH ¹	Potencial de produtividade
A1	> 100	Extremamente alto
A	95–100	Muito alto
B	90–95	Alto
C	85–90	Médio/alto
D	80–85	Médio
E	75–80	Baixo
F	70–75	Muito baixo
G	< 70	Extremamente baixo

¹ TCH = tonelada de cana por hectare.

Fonte: modificada de COPERSUCAR.

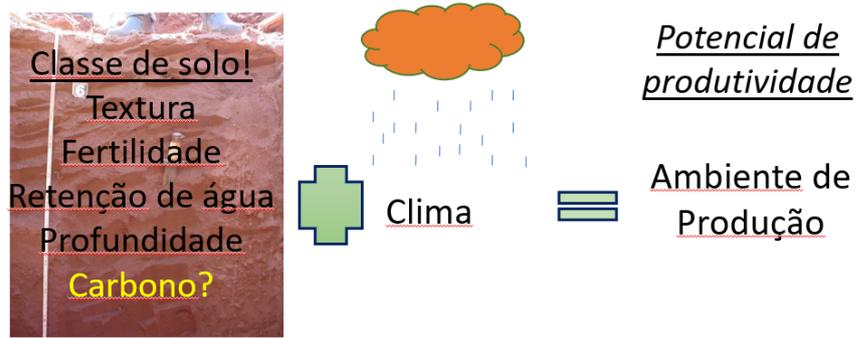
Tabela 146 - Relação entre ambientes e produtividade média por corte.

Cortes	Ambiente de produção							
	A1	A	B	C	D	E	F	G
	TCH ¹							
1	135	135	125	115	105	102	95	85
2	110	108	100	90	88	85	82	76
3	98	92	88	82	78	76	73	70
4	87	81	80	75	72	68	66	62
5	80	75	72	68	65	52	50	48
Média	102	98,2	93	86	82	76	73,2	68

¹TCH = tonelada de cana por hectare.

Os ambientes de produção podem ser representados por uma equação indicada na Figura 124 a. O elemento carbono ainda está em análise pela comunidade. Portanto, de um mapa pedológico associado ao clima, transforma-se em um mapa de ambientes de produção (Figura 124 b). Tal mapa facilita a interpretação pelo usuário que passa a relacionar com o que há de mais importante em sua visão, a produtividade. Repare na figura 124 a, como a variabilidade de solos num pedológico afeta o potencial de produção e, portanto, a alocação varietal. É possível fazer um planejamento deste tipo sem este produto? Logicamente o mapa pedológico que fica por traz, tem inúmeras outras funções no manejo (Figura 124 b). A figura 124 c ilustra uma fazenda desde o mapa pedológico até os ambientes. Toda essa variabilidade, tem que ser manejada seguindo os princípios explícitos nos tópicos anteriores, mas só é possível ver a variação, pelo mapa.

Ambiente de produção pode ser equacionado da seguinte forma

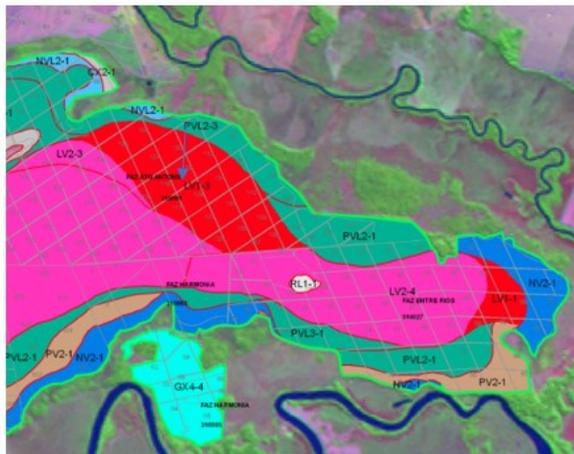


INFLUÊNCIA DO SOLO NO AMBIENTE DE PRODUÇÃO



Figura 124 a - Ilustração da equação dos ambientes de produção. O elemento carbono ainda está em análise pela comunidade.

Mapa de Solos de uma área



Mapa de Ambientes de Produção

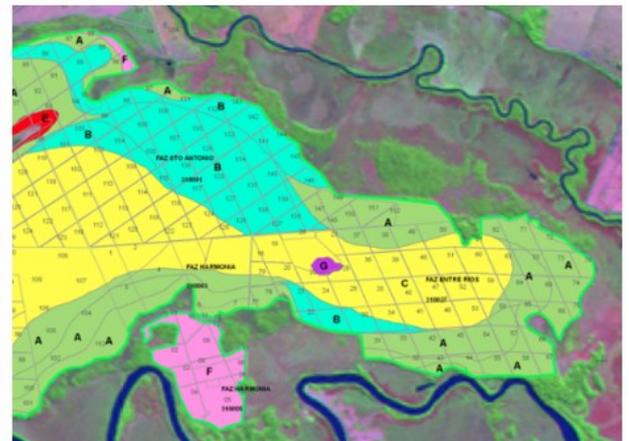


Figura 124 b - De um mapa pedológico para um de ambientes; Região do Mato Grosso do Sul.

20.8 Manejo do solo e dos ambientes de produção

É preciso entender que existem diferenças entre manejo do solo e manejo do ambiente, mas que ambos se completam. Manejo do solo relaciona-se às atividades a serem realizadas visando melhorar as condições do solo para receber a cultura e estão relacionadas às suas características. Nesta etapa são utilizadas as informações geradas pelos grupos de manejo advindos do mapa de solos. À medida que os solos são recuperados a produtividade da cultura aumenta.

Manejo do AP trata da adequação da cultura em função do solo, da planta (variedades) e das condições climáticas. Assim, dependendo do AP classificado, as variedades serão manejadas nos locais adequados e serão verificadas as épocas de plantio e de colheita. Ocorre, então, um ciclo dinâmico, cujo objetivo é o de aumentar e homogeneizar a produtividade de toda a área. Logo, temos o denominado “manejo varietal”.

20.9 Pontos estratégicos no manejo dos ambientes de produção

Uma vez obtido o mapa de solos com as informações climáticas disponíveis, é hora de classificar os ambientes. Tendo como base o mapa de ambientes, faz-se o planejamento geral da unidade levando-se em consideração, entre outras, as características dos ambientes e das variedades, os blocos de colheita, a distância média das frentes de corte e a quantidade de cana a ser cortada por dia.

Para que se obtenha o máximo de retorno em produtividade e longevidade do canavial há necessidade de se conhecer as relações existentes entre época de plantio, evapotranspiração (ET) e ambientes de produção. A Tabela 147 resume a produtividade da cana de ano e meio obtida em diversas regiões do Estado de São Paulo, com ETs distintas. O plantio foi iniciado em dezembro de 2001 e seguiu até abril de 2002, porém, com corte sempre em junho de 2003. Nota-se que as canas plantadas em dezembro e janeiro tiveram maior tempo de crescimento, no caso 16 e 17 meses, do que as canas plantadas em março e abril, ou seja, 14 e 15 meses. Apesar deste fato, nota-se que à medida que aumenta a ET, no caso da Região Oeste 1, com 5 a 7 mm dia⁻¹, a produtividade da cana tende a aumentar em função da época de plantio, de dezembro a abril. Além disso, quando se compara uma mesma ET, no caso da região Oeste de São Paulo, nota-se que

os Argissolos produzem mais cana do que os Latossolos de textura média, pois aqueles retêm água disponível por mais tempo.

Tabela 147 - Produtividade de cana de ano e meio em função da evapotranspiração em regiões¹ distintas de São Paulo. Plantio de dezembro de 2001 a abril de 2002 e corte em junho de 2003.

Período de plantio	Região Central	Região Oeste 1	Região Oeste 2
	ET ² = 3 a 5 mm dia ⁻¹	5 a 7 mm dia ⁻¹	5 a 7 mm dia ⁻¹
TCH ³			
Dezembro	98	89	nd ⁴
Janeiro	107	94	85
Fevereiro	116	98	90
Março	125	115	102
Abril	117	121	112

¹ Região Oeste 1: Argissolos, região Oeste 2: Latossolo Vermelho-Amarelo textura média-arenosa.

² ET = Evapotranspiração real.

³ TCH = tonelada de cana por hectare.

⁴ nd = não determinado.

As variações na produtividade, menores no período de janeiro-fevereiro para as regiões de elevada ET, se devem à influência das condições climáticas na taxa de crescimento da cultura. Observa-se na Tabela 148 que a cultura plantada em janeiro apresenta maior número de perfilhos por metro até o mês de maio, quando comparada àquela plantada em março. A partir deste período o plantio tardio tende a apresentar maior número de perfilhos e maior produção de massa verde por hectare.

Tabela 148 - Época de plantio como alternativa para atenuar o déficit hídrico. Número de perfilhos por metro e produção de massa verde por hectare.

Plantio	Jan	Mar	Mai	Jul	Set	Nov	Jan
Perfilhos m⁻¹							
Janeiro	4,2	7,8	15	13	12	9	8
Março	0	2,9	12	21	24	18	13
MV (t ha⁻¹)							
Janeiro	0,9	3,2	4,3	6,1	11,5	45,4	67
Março	0	2,1	5,2	12,3	28,1	76	105

¹ MV = massa verde.

Fonte: MAIA e BAUCLAIR (1984).

Tal fato vem indicar qual a melhor alternativa para o manejo do ambiente de produção em relação à época de plantio (Tabela 149). Observa-se que os melhores ambientes, no caso A e B, permitem o plantio de dezembro a abril, enquanto os ambientes mais desfavoráveis permitem somente o plantio no final do ciclo, em março e abril. A explicação está na maior quantidade de água disponível e na melhor fertilidade dos solos dos ambientes A e B. Decorre daí, portanto, uma máxima em relação ao planejamento de plantio de cana de ano e meio em função dos ambientes de produção e das características climáticas, a saber: ambientes desfavoráveis devem ser plantados no final do ciclo, em março e abril, enquanto ambientes favoráveis podem ser plantados em todo o ciclo, de janeiro a abril.

Tabela 149 - Produtividade de cana em função dos ambientes de produção, da variedade e da época de plantio. Corte em junho de 2005. Usina Santa Cruz, SP.

Ambiente	Variedade	Época de plantio		
		Dez/03	4-Jan	4-Mar
TCH¹				
A	SP 91 1049	146	141	134
B	SP 91 1049	106	103	121
E	RB 86 7515	98	101	115

¹ TCH = tonelada de cana por hectare.

Por outro lado, a época de corte também influencia a produtividade nas canas plantadas de ano e meio, dependendo da ET. A Tabela 150, obtida de resultados de plantio

de cana de ano e meio em 2004, cortada em diversos períodos em 2005, em área da Usina Quatá, SP, nos solos PV4-3 (ambiente C) e Neossolo Quartzarênico (ambiente F) ilustra este fato. Observa-se nos Argissolos que, à medida que aumenta a ET, de maio a outubro, há redução da produtividade quando se corta a cana nos meses maio, agosto e outubro. Neste caso, a queda foi de 20 t ha⁻¹. No caso dos Neossolos, a queda é ainda maior. As alternativas para atenuar a queda da produtividade nos meses de setembro a novembro seriam a irrigação semiplena em cana adulta, como indicado, ou o manejo da cana em solo com melhor reserva de água. A Figura 124d ilustra quando um mesmo solo, porém localizado em regiões distintas e com características climáticas diferentes, ocorre a penalização do ambiente.

Tabela 150 - Produtividade da cana de ano e meio em relação a solo, variedade e época de corte nos meses de maio, agosto e outubro. Safra 2005, Usina Quatá, SP.

Solo ¹	Variedade	Mês de corte	TCH ²	Irrigação
PV4-3	RB 72 454	Maio	98	Não
PV4-3	RB 72 454	Agosto	92	Não
PV4-3	RB 72 454	Outubro	78	Não
RQ	RB 72 454	Agosto	76	Não
RQ	RB 86 7515	Agosto	112	Sim

¹ PV = Argissolo Vermelho, RQ = Neossolo Quartzarênico.

² TCH = tonelada de cana por hectare.

Clima ambiente e pedologia



Figura 124d - Ilustração do impacto do clima nos ambientes de produção de solos iguais

20.10 Produtividade de cana de ano em função dos ambientes de produção e da evapotranspiração

A Tabela 151 resume resultados de produtividade de 8 usinas localizadas no Estado de São Paulo que fizeram plantio de cana de ano, de outubro a dezembro de 2007, com colheita em 2008. Nota-se que, independentemente do déficit hídrico, a maior produtividade sempre está nas áreas de ambientes favoráveis. À medida que a ET aumenta, ou seja, aumenta o déficit hídrico, há redução da produtividade, inclusive nos ambientes favoráveis. Sendo assim, é questionável o plantio de cana de ano em regiões de elevado déficit hídrico, a não ser que haja necessidade de multiplicação de novas variedades ou plantio de meiose.

Tabela 151 - Produtividade agrícola de cana de ano em função dos ambientes de produção e da evapotranspiração. Média de 8 usinas do Estado de São Paulo. Safra 2008.

ET	Ambiente A, B	Ambiente D, E
	TCH ¹	
3 mm	130	85
3 mm	97	87
3 mm	102	82
5 mm	102	74
5 mm	93	81
5 mm	87	78
7 mm	89	82
7 mm	83	75

¹ TCH = tonelada de cana por hectare.

20.11 Produtividade de cana plantada no período maio a novembro com corte em 12 meses

A Tabela 152 apresenta a produtividade da cana plantada no período de maio a novembro e cortada com 12 meses, em diversas regiões do Estado de São Paulo, com variações no déficit hídrico, na safra 2002/2003. Nota-se que, independentemente da região, a média de produtividade tende a cair no final do ciclo, que corresponde ao período de setembro a dezembro. A média de produtividade de maio a agosto foi de 107 a 104 t ha⁻¹, enquanto a média de setembro a dezembro esteve na faixa de 82 a 63 t ha⁻¹. De qualquer forma, a região Oeste 1, com predominância de Argissolos, tende a apresentar maior produção de cana do que os solos sem gradiente textural, como os da região Oeste 2, no caso, Latossolos de textura média-arenosa.

Tabela 152 - Produtividade agrícola de cana plantada de maio a novembro em diversas regiões do Estado de São Paulo. Plantio em 2002 e corte com 12 meses, em 2003.

Região ¹	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
	TCH ²						
Piracicaba	98	102	96	97	90	73	65
Ourinhos	110	112	115	100	70	60	58
Araraquara	nd ³	nd	90	95	93	91	75
Araraquara	118	102	100	95	90	75	60
Oeste 1	116	115	104	89	81	68	56
Oeste 2	94	90	92	86	75	62	60
Jaú	110	104	106	84	75	69	70
Média	107	104	100	104	82	71	63

¹ Região Oeste 1, solos Argissolos; Região Oeste 2, solos Latossolos.

² TCH = tonelada de cana por hectare.

³ nd = não determinado.

Em relação às opções de manejo de plantio no período maio a novembro, deve-se analisar, primeiro, os ambientes de produção. A Tabela 153 resume a produtividade da cana em área comercial da Usina da Barra em função da época de corte e da categoria de corte, em quatro ambientes de produção.

Tabela 153 - Produtividade da cana por ambiente, por corte e por época de corte. Área de fornecedores da Usina da Barra. Safra 2007-2008.

Ambiente de produção	Safra								
	Maio a junho			Julho a agosto			Setembro a novembro		
	2º corte	3º corte	4º corte	2º corte	3º corte	4º corte	2º corte	3º corte	4º corte
TCH ¹									
A	98	86	86	105	95	84	98	90	92
B	96	83	84	96	96	80	93	73	82
D	89	86	77	92	96	73	81	80	70
E	92	74	72	90	72	70	80	69	63

¹ TCH = tonelada de cana por hectare.

Nota-se que, independentemente do AP e da categoria de corte, a queda de produtividade ocorre de maio a novembro. Por outro lado, é necessário enfatizar que os melhores ambientes apresentam queda menos acentuada na produtividade do que os ambientes menos favorecidos. Assim, um segundo corte em ambiente A ou B apresenta

produções praticamente semelhantes quando realizados em junho e setembro enquanto no ambiente E a queda é acentuada, ou seja, foi de 92 t ha⁻¹ em maio para 80 t ha⁻¹ em setembro. Em razão destes resultados, a melhor alternativa de manejo dos ambientes de produção em relação ao plantio de maio a novembro, para corte em 12 meses, seria iniciar o plantio em ambientes desfavoráveis, como E e D, e terminar o plantio em ambientes favoráveis, como A e B, uma vez que no período de maio a agosto há menor evapotranspiração.

20.12 Manejo das soqueiras em função dos ambientes de produção e da época de colheita

De maneira geral, a produtividade das soqueiras tende a decrescer de maio a novembro, independentemente da categoria de corte, como mostram os resultados da Tabela 154, obtidos na safra 2006/07. Foram analisadas 134 usinas na região Centro-Sul, 82 em São Paulo, 7 na região de Jaú e 1 na Usina da Barra. Nota-se que em maio, na região Centro-Sul, a média de produtividade era de 91 t ha⁻¹, caindo para 76 t ha⁻¹ em novembro; em São Paulo era de 95 t ha⁻¹ e caiu para 78 t ha⁻¹, enquanto na Usina da Barra era de 89 t ha⁻¹ e caiu para 71 t ha⁻¹.

Tabela 154 - Produtividade agrícola de cana-soca em função da época de corte. Safra 2006/2007.

Região ¹	Usinas	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
		TCH ¹							
Centro-Sul	134	91	88	85	81	79	77	76	75
São Paulo	82	95	92	90	85	82	80	78	75
Jaú	7	94	88	87	84	80	77	73	70
Barra	1	89	85	82	81	78	76	71	66

¹ TCH = tonelada de cana por hectare.

Na região nordestina, as produtividades por corte são baixas (Tabela 155), porém, a queda de produção das soqueiras ocorre de setembro (início da safra) a fevereiro-março (final de safra) (Tabela 156), de maneira semelhante à queda que ocorre em São Paulo.

Estas quedas se devem à maior demanda de água para produzir a mesma quantidade de cana no período de maio a outubro (Tabela 157). Observa-se que em maio a produtividade agrícola foi de 101 t ha-1 no Latossolo Vermelho férrico (LVf), demandando 14,2 mm t-1 de água, enquanto em outubro a produtividade foi de 82 t ha-1, demandando 17,4 mm. O mesmo ocorre para os demais solos, porém, à medida que a textura dos solos se torna mais arenosa, a produtividade diminui e a quantidade de água aumenta. No caso do Neossolo Quartzarênico (RQ), nota-se que em maio a produtividade foi de 87 t ha-1, com 15,9 mm t-1 de água, e em outubro decresceu para 72 t ha-1, com 18,7 mm t-1.

Tabela 155 - Produtividade agrícola por estágio, até 31 de março. Usinas de Alagoas.

Usina	1º corte - inverno	1º corte - verão	2º corte	3º corte	4º corte	5º corte	Média
	TCH ¹						
Capricho	80		64	59	54	44	65
Paisa	84	89	65	50	43	35	60
Porto Rico	85	103	76	70	69	63	71
Santa Clotilde	68	88	69	71	67	52	69
Seresta	83	92	76	69	67	64	69
Sinimbu	78	88	80	73	72	62	74
Sumauma		94	80	84	70	70	78
Triunfo	81	92	79	68	73	61	73
Média	84	90	75	68	64	59	70

¹ TCH = tonelada de cana por hectare.

Tabela 156 - Produtividade de cana por mês, safra 2004/2005, da Usina Triunfo.

Corte	Produtividade						
	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Geral
	TCH ¹						
1°	96	82	79	90	87	78	85
2°	65	69	59	52	46	41	55
3°	55	56	54	49	49	49	51
4°	66	56	49	51	45	35	48
5°	64	51	55	46	38	37	47
6°	68	70	53	54	53	44	53
Geral	68	60	58	58	53	41	55

¹ TCH = tonelada de cana por hectare.

Tabela 157 - Quantidade de água necessária para a produção de 1,0 t de colmo em cana de segundo corte, na variedade SP 81-3250, safra 2002, Usina da Barra.

Solo ¹	Maio (PC 12,8) ²		Agosto (PC 14,8)		Outubro (PC 15,6)	
	TCH ²	mm t ⁻¹	TCH	mm t ⁻¹	TCH	mm t ⁻¹
LVf	101	14,2	92	15,6	82	17,4
LVm	90	15,4	86	16,3	78	18,0
RQ	87	15,9	82	17,0	72	18,7

¹ LVf = Latossolo Vermelho fértil, LVm = Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média; RQ = Neossolo Quartzarênico.

² PC = pol da cana (%).

³ TCH = tonelada de cana por hectare.

Trabalhos realizados por Landell e Vasconcelos (2004) na região de Orlândia, com ET na faixa de 5 mm dia⁻¹, indicaram queda na produtividade da cana no período de maio a outubro, independentemente da safra e do número de cortes (Tabela 158). Neste trabalho, a queda de produtividade de maio a outubro, no ano agrícola 1999/00, foi cerca de 20% ao mês, queda esta que, dependendo do ano agrícola, pode chegar a até 47%, como ocorreu no ano agrícola seguinte.

Tabela 158 - Produtividade agrícola em função dos cortes de cana em três safras seguidas, 1999 a 2001, na região de Orlandia, SP.

Época de corte	Número de cortes		
	Primeiro	Segundo	Terceiro
	Safras		
	1999/00	2000/01	2001/02
TCHM ¹			
Maio	8,7	8,3	8,5
Agosto	7,3	8,1	6,9
Outubro	6,9	6,6	4,5

¹ TCHM = tonelada de cana por hectare por mês.

Fonte: LANDELL e VASCONCELOS (2004).

Esta queda também está relacionada aos ambientes de produção, como indicado na Tabela 159. Observa-se que a produtividade das canas-socas de outono, inverno e primavera decresce dos melhores solos para os de menor fertilidade, no caso os de caráter álico e ácrico, em um mesmo período.

Tabela 159 - Produtividade em soqueira de terceiro corte de acordo com a época de corte em análise de 66.661 parcelas.

Fertilidade	Ambiente	Outono	Inverno	Primavera
		TCH ¹		
Eutrófico	A	85	84	78
Mesotrófico	B	86	84	72
Distrófico	C	82	80	69
Álico	D	78	77	66
Ácrico	E	75	63	55
Média		81,5	77,8	68,3

¹ TCH = tonelada de cana por hectare.

Fonte: modificada de PRADO (2008).

Por outro lado, também há redução da produtividade para todos os solos no sentido do outono para primavera. Nota-se, assim, que a queda da produtividade do solo ácrico no sentido outono-primavera é de 26%, enquanto nos solos do ambiente A a queda é bem menor, de 8%.

Neste caso, há necessidade de atenuar a queda de produtividade no período final de safra, porém sem irrigação. Para tanto, é preciso verificar a relação ambiente-produtividade em função da época de corte. Para isso, os dados da Tabela 160 (LANDELL e VASCONCELOS, 2004) resumem os caminhos a serem seguidos. Nesta tabela, o solo LV ácrico corresponde ao ambiente D, enquanto o LV eutrófico ao ambiente A. Levando-se em consideração a tonelagem de açúcar total recuperável (ATR) por hectare para o período de maio, agosto e outubro, o solo do ambiente A produz sempre mais, o que é esperado. Entretanto, a questão que fica pendente é: – O que deve ser feito para reduzir a queda de produtividade no período final da safra? Neste caso, e ao se fazer a simulação, trocando-se a posição dos solos, com o solo eutrófico terminando a safra em relação ao ácrico iniciando a safra, há um ganho de 43% na produtividade no período de outubro com esta simples troca. Este resultado sugere que o início da safra deve ser em solos de ambientes desfavoráveis. Em relação aos solos de ambientes favoráveis, eles podem ser manejados para colheita em todo o período de safra, porém, há obrigatoriedade de se terminar a safra com eles.

Tabela 160 - Época de corte em função da fertilidade do solo.

Época de corte	Solo		Ganho (%)
	LV ácrico	LV eutrófico	Eutrófico/ácrico
	ATR1 (t ha-1)		
Maio	12	16	33
Agosto	14	18	26
Outubro	12	18	43

¹ ATR = açúcar total recuperável.

Fonte: LANDELL e VASCONCELOS (2004).

Estudos de simulação de safra com base na premissa anteriormente listada foram feitos na usina São João, na safra 2004/2005 (Tabela 161). Neste caso, a produtividade das áreas comerciais, no período de maio a novembro, em 6.554 hectares, no ambiente D, foi de 88,5 t ha⁻¹, enquanto a produtividade neste mesmo ambiente, de setembro a novembro, em área de 2.543 ha, foi de 76,6 t ha⁻¹, redução esta esperada. Por outro lado, foi feita uma simulação de tal maneira que toda a área destes ambientes fosse cortada de

maio a agosto. Assim, a produtividade passaria a 95,8 t ha⁻¹, ou seja, um ganho de 25% a mais sem gasto adicional de fertilizante e herbicida.

Tabela 161 - Simulação de safra feita na Usina São João, safra 2004/2005, onde os solos de ambientes D tiveram a safra no período de maio a novembro reduzida para maio a agosto.

Período de corte	Área	TCH ¹	Produção
	(ha)		(t)
Maio a novembro	6.554	88,5	580.116
Setembro a novembro	2.543	76,6	194.817
Maio a agosto	3.993	95,8	382.378
Simulação de corte até agosto			243.619

¹ TCH = tonelada de cana por hectare.

Esta mesma simulação foi feita no Setor C da Usina Triunfo, em Alagoas, na safra 2004/05 (Tabela 162). A região C desta Usina é considerada como a mais seca e sem possibilidade de irrigação de salvação ou irrigação semiplena em relação às outras. Portanto, a queda da produtividade durante a safra é acentuada de setembro a fevereiro, mas principalmente nos meses finais de safra. Sendo assim, a simulação indicou que, ao invés de estender a safra até fevereiro, o melhor seria que esta terminasse em dezembro. Com isso, houve um aumento de 9,0 t ha⁻¹ na produtividade.

Tabela 162 - Produtividade agrícola da cana na safra 2004/05. Usina Triunfo, Alagoas.

Setor	Período de safra						Média
	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	
TCH¹							
A	57	68	60	58	67	43	60
B	75	72	63	70	62	47	62
C	73	60	61	47	41	35	48
Setor C - Simulação de antecipação de corte							
Mês	TCH	Área (ha)	Produção (t x 103)	TCH	Área (ha)	Produção (t x 103)	
Set	73	2	146	73	3.5	255	
Out	60	2	120	60	3.2	192	
Nov	61	2	122	61	3	183	
Dez	47	2	94	47	2.3	108	
Jan	41	2	82				
Fev	35	2	70				
		12	634		12	738	
Média			52			61	

¹ TCH = tonelada de cana por hectare.

Outra opção de manejo, visando atenuar a queda de produtividade no período de setembro a novembro, é a irrigação semiplena. Os resultados da Tabela 163, obtidos na Usina Quatá, SP, resumem este manejo. Observa-se que, neste caso, com uma mesma variedade, a SP 81 3250, em terceiro corte, em dois tipos de solo, Argissolo Vermelho (PV) e Neossolo Quartzarênico (RQ), a queda de produtividade ocorre na direção de junho a novembro e é sempre maior no solo de ambiente mais desfavorável. Por outro lado, a cana irrigada e cortada no mês de outubro, no solo RQ, produziu tanto quanto aquela cortada em junho.

Tabela 163 - Produtividade agrícola em função do solo, da variedade, do mês de corte e da presença ou não de irrigação semi-plena. Usina Quatá, SP, safra 2004.

Solo ¹	Estágio	Variedade	Mês corte	TCH ²	Irrigação
PV 4- 2	Soca 3	SP 81 3250	Junho	78	Não
RQ 1- 2	Soca 3	SP 81 3250	Junho	70	Não
PV 4- 2	Soca 3	SP 81 3250	Agosto	65	Não
RQ 1- 2	Soca 3	SP 81 3250	Agosto	61	Não
RQ 1- 2	Soca 3	SP 81 3250	Outubro	57	Não
RQ 1- 2	Soca 3	SP 81 3250	Outubro	72	Sim
PV 4- 2	Soca 3	SP 81 3250	Novembro	76	Não
PV 4- 2	Soca 3	RB 72 454	Novembro	72	Não
PV 4- 2	Soca 3	RB 72 454	Novembro	79	Não

¹ PV = Argissolo Vermelho, RQ = Neossolo Quartzarênico.

² TCH = tonelada de cana por hectare.

20.13 Solos e produtividade

A figura 124e ilustra as diferenças em produtividade entre Nitossolos e Latossolos. A 124 f ilustra a produtividade da cana em áreas com e sem irrigação.

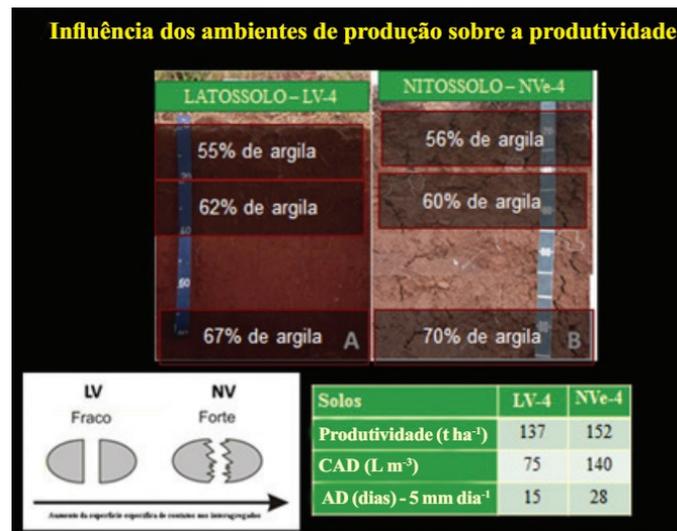
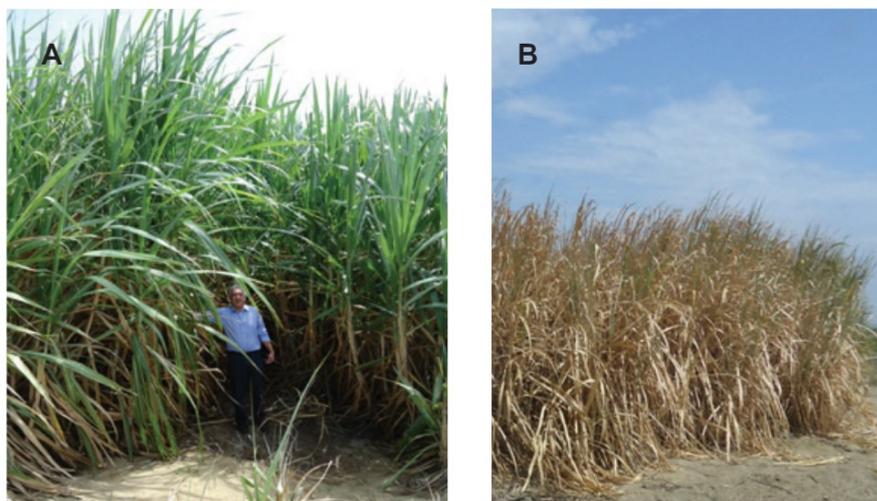


Figura 124 e. Produtividade da cana-de-açúcar em função de dois ambientes de produção: Latossolo Vermelho distrófico, textura muito argilosa (LVd-4) e Nitossolo Vermelho eutrófico, textura muito argilosa (NVe-4), em Piracicaba, SP. CAD = capacidade de água disponível; AD = número de dias com água disponível, considerando evapotranspiração média de 5 mm/dia. **Foto:** Modificada de Prado et al. (2011).



(A) Canavial fertirrigado por gotejamento superficial com aplicação de 180, 50 e 100 kg ha⁻¹ de NPK, produtividade média da cana-planta de 230 Mg ha⁻¹, (B) canavial sem sistema de irrigação, produtividade estimada 50 Mg ha⁻¹ de colmos. Região de Trujillo, Peru (latitude: 8° 06' S, longitude: 78°57' O, elevação: 84 m), em solo Neossolo Quartzarênico. **Fonte:** Gava et al. (2012).

Figura 124 f. Variação de produtividade em diferentes solos

20.14 Ambientes de produção e planejamento agrícola

Uma vez conhecida a maneira como os ambientes de produção se alteram em relação aos déficits hídricos para as diversas regiões do Centro-Sul, há necessidade da elaboração de um adequado planejamento das áreas, levando-se em consideração tais fatores. O planejamento se inicia com uma planilha constando os tipos de ambiente, a área correspondente e a alocação das variedades (precoce, médias e tardias). No planejamento feito na Usina Bonfim, SP, em 2004 (Tabela 164), observa-se que grande parte da área plantada com as variedades precoce e média estão concentradas nos ambientes desfavoráveis, havendo pouca área alocada com variedades tardias.

Tabela 164 - Planejamento agrícola considerando a alocação de variedades em função dos ambientes de produção.

Ambiente	Área de manejo			Total	%
	Variedade				
	Precoce	Média	Tardia		
	(ha)				
A	1.583	1.682	523	3.789	11,0
B	3.971	3.034	4.42	11.425	33,3
C	4.131	2.905	2.238	9.274	27,1
D	3.303	2.343	95	5.742	16,8
E	2.229	1.465	60	3.754	11,0
F	251	28	0	279	0,8
Total	15.468	11.455	7.336	34.263	100

Posteriormente, através deste planejamento, é possível elaborar um mapa de alocação dos blocos de colheita levando-se em consideração os princípios aqui desenvolvidos. Um fato que deve ser considerado é o que se refere às variedades pouco exigentes em fertilidade, como a SP 83 2847 e a RB 85 7515. Em um planejamento como o aqui preconizado, tais variedades não se ajustam para o término de safra nos ambientes desfavoráveis. Assim, elas podem ser manejadas como variedades médias, como a RB 86 7515, ou até como precoces.

Um dos questionamentos mais frequentes em relação a este sistema se refere à necessidade do uso de variedades precoces em solos de baixa fertilidade. Tal fato constitui uma dificuldade a ser vencida, a despeito dos esforços dos órgãos de pesquisa na busca

por variedades precoces para tais ambientes, principalmente nos tempos atuais, quando a maioria das usinas tende a iniciar a safra nos primeiros 10 dias de abril. Por outro lado, esta situação tende a se agravar ainda mais à medida que as condições climáticas ficam mais limitantes. Em situação como esta, nem a RB 85 5156, tida como pouco exigente, consegue sobreviver.

Porém, há alternativas para atenuar tal inconveniente, entre elas o uso de cana bisada (que fica no campo de uma safra para a outra) de categoria média, como RB 86 7515, SP 81 3250 e RB 84 5210, com maturadores. A Tabela 165, com resultados da safra 2008 da Usina Central Moreno, em SP, mostra como o uso de variedades médias, porém com maturadores, tem permitido o início de safra no período de abril e maio em Latossolo de textura média-arenosa e Areia Quartzosa. Em relação à RB 85 5156, ela tem sido plantada nestes tipos de ambientes em regiões de menor déficit hídrico, porém, também em solos rasos e argissolos, de baixa fertilidade e erodidos.

Tabela 165 - Características de produção das variedades utilizadas para o início de safra na Usina Central Moreno, em SP. Safra 2008.

Variedade	Abril			Maio		
	t ha ⁻¹	PCC	TPH	t ha ⁻¹	PCC	TPH
RB 85 5156	83	11,21	9,35	98	11,7	11,4
RB 86 7515	91	11,07	10,07	98	12,1	11,7
SP 81 3250	89	10,61	9,5	87	11,8	10,3

¹ PCC = percentagem de pol no caldo da cana, TPH = tonelada de pol por hectare.

Observa-se que as duas variedades médias, RB 86 7515 e SP 81 3250, apresentam PCC semelhante à da RB 85 5156 para o início de safra. Nesta usina, a SP 81 3250 perfaz 33% das canas cortadas em abril e maio nos solos arenosos. As figuras 124g,h apresenta uma sugestão de planejamento para variedades e épocas de plantio e os resultados observados.

ÉPOCA DE PLANTIO

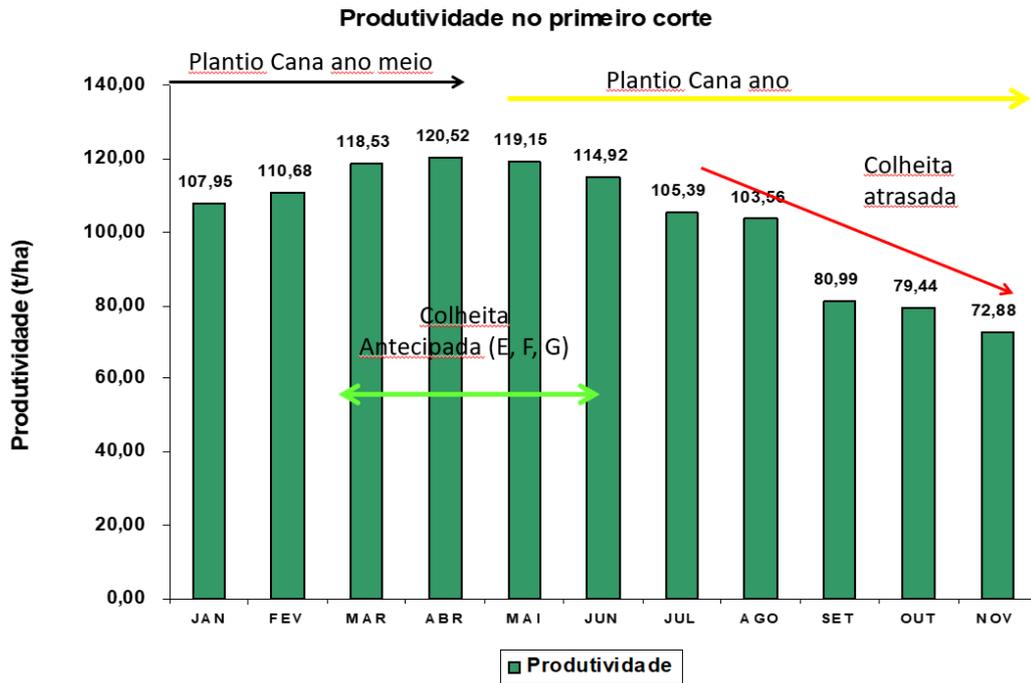


Figura 124 g - Sugestão de planejamento para variedades e épocas de plantio e os resultados observados (produtividade em ton/ha).

Menor variação da produtividade por serem ambientes mais fortes

Idade	Maio a Junho			Julho a Agosto			Setembro a Novembro			
	Amb. Produção	2 Corte	3 Corte	4 Corte	2 Corte	3 Corte	4 Corte	2 Corte	3 Corte	4 Corte
A		98,24	86,17	86,81	105,38	95,25	84,68	98,16	92,85	92,85
B		96,74	83,01	84,06	96,36	96,36	80,11	93,69	73,12	82,25
D		89,96	86,78	77,62	92,96	96,49	73,89	81,93	80,78	70,23
E		92,11	78,64	72,65	90,14	72,31	70,75	80,16	69,96	63,43

Queda produtividade devido época de colheita
Ambientes fracos

Figura 124 h - Resultados em ton/há em cana de açúcar função das épocas plantio e colheita e os diferentes cortes.

20.15 Uso dos ambientes de produção no diagnóstico de produtividade

Uma das vantagens do uso do AP para obter aumento de produtividade se refere à possibilidade de se fazer o diagnóstico da produtividade em cada situação. Muitas vezes, áreas mapeadas como ambiente favorável, como o ambiente B, por exemplo, com potencial de produtividade na faixa de 90 a 95 t ha⁻¹, estão produzindo abaixo deste parâmetro. Neste caso, cabe à área técnica proceder o diagnóstico dos fatores que estão agindo em tais áreas. Uma vez diagnosticados e corrigidos tais fatores através de práticas agrônômicas, estas áreas passam a produzir dentro da faixa indicada. Por outro lado, há necessidade também de desenvolver tecnologia para que as áreas que apresentam baixas produtividades em ambientes desfavoráveis, como, por exemplo, no ambiente D, passem a produzir semelhantemente às áreas com ambientes do tipo C.

A Tabela 166 resume resultados de soqueira de cana na safra 2007/2008 da Usina Santa Cruz, em SP, a qual utiliza o AP como ferramenta para aumentar a produtividade da cultura. Nesta tabela, a faixa “Normal” indica o percentual de área que apresenta produtividade dentro dos limites dos ambientes, enquanto a faixa “Abaixo” indica o percentual de área com produtividade aquém do esperado para aquele ambiente. Observa-se que há dois ambientes com problemas de produtividade, o B, com 43% abaixo da produtividade esperada, e o D, com 37%. Surpreende, neste caso, os 43% de áreas mapeadas como B e que estão com produtividade abaixo da faixa determinada para o ambiente. Feito o diagnóstico para este caso, descobriu-se que o fator de maior peso para esta queda de produtividade foi o corte mecanizado da RB 86 7515 em solo argiloso.

Tabela 166 - Percentagem de áreas com produtividade normal e com produtividade abaixo do normal de acordo com os ambientes de produção. Usina Santa Cruz, SP, safra 2007/2008.

Faixa	Ambientes de produção						
	A	B	C	D	E	F	G
Normal	78	57	82	63	84	76	89
Abaixo	22	43	18	37	16	24	11

20.16 EXCEÇÕES AO USO DOS PARÂMETROS NO MANEJO DOS AMBIENTES

De maneira geral, os parâmetros aqui discutidos se aplicam adequadamente à região Centro-Sul. Entretanto, há determinadas situações nas quais o manejo do AP deve ser um pouco alterado.

No caso de regiões onde a frequência de geadas é grande, como no Noroeste do Paraná e no Sul de Mato Grosso, o planejamento tende a priorizar o local de maior frequência das geadas, independentemente do tipo de ambiente encontrado. Se as encostas e vales de rios são as áreas mais afetadas pela geada, variedades precoces devem ser alocadas para estes locais, mesmo que o mapa de ambiente indique o uso de variedades tardias.

No caso de regiões onde o déficit hídrico é muito acentuado e não há auxílio de irrigação suplementar, como na região Nordeste ou mesmo no Brasil Central, a área deve ser cortada no início ou no meio da safra, independentemente do tipo de solo, mas não deve ser utilizada variedade tardia.

20.17 Uso dos ambientes em outras culturas

A proposta dos AP, iniciada com a cultura da cana-de-açúcar, foi largamente difundido em todo o país. O diferencial do que foi realizado pela antiga Coopersucar, é que relacionaram os ambientes, designados por letras, com tipos de solos e faixas de produtividade potencial. Diferentes abordagens foram criadas conforme indicados neste tópico. Muito se pergunta se esse sistema funciona para outras culturas, pois, até o momento, não há para outras culturas. De fato, não há uma tabela que relacione ambientes com produtividade de grãos por exemplo. Entretanto, é possível usar os ambientes para outros fins que não seja o estritamente relativo à produtividade quantificada. Por exemplo, se numa área de soja fizer o mapa pedológico e por consequência transformar em letras (Ambientes), o usuário terá uma visão de onde produza mais e onde produz menos. Além disso, pelas letras, saberá onde devem ir as cultivares exigentes e rústicas. A questão da produtividade, o próprio usuário pode ir comparando ano a ano, ou com as vizinhanças, ou até se integrar com cooperativas para se chegar a valores próximos. De qualquer maneira, os ambientes podem ser utilizados para várias culturas, desde que, os pilares

sejam semelhantes, como é o caso para cana, soja, milho, café, citrus, eucaliptos, algodão entre outras. Como exemplo contrário, algumas frutíferas gostam mais de solos arenosos, o que iria contra os pilares aqui indicados. Logo, para estas demais, é preciso entender a planta para criar novos parâmetros.

20.18 Casos na prática de interpretações errôneas

O que é o solo? Para muitos um mapa de teor de P é o solo. Para outros o teor de argila é o solo. A definição de solo é a camada intemperizada superior...essa camada pode ter diferentes profundidades, mas foi estabelecido que um “buraco” até 2 m caracteriza o denominado corpo do solo. Esse corpo é constituído de partes como a física (areia, silte, argila), ou a química (como Ca, Mg, K). Além disso esse “buraco” agora denominado de corpo do solo (ou perfil do solo como vem sendo chamado) tem um funcionamento, como um corpo humano. Apesar da definição deste corpo ir até dois metros, no geral, podemos considerar o corpo como no mínimo até um metro. Assim, esse corpo tem certa constituição e como tal terá um funcionamento próprio. Todo o funcionamento está relacionado aos seus componentes (químico, físico e mineralógico). Entretanto, outro importante fator entra nessa dinâmica. Ao longo deste perfil até um metro, existem os horizontes do perfil, cada qual também com suas características. Pois bem, se cada horizonte tem características próprias, qual será o comportamento da água que cai dentro neste “corpo?”. A água junto com os nutrientes minuciosamente calculados pelas análises de solo vai para onde? Vão direto para a planta? Vão lixiviar? Evaporar? Ser adsorvidos? Como saber como e o aproveitamento dos produtos aplicados se não soubermos como eles vão se movimentar no perfil para ser ou não aproveitados pelas plantas?

A dinâmica de solutos só pode ser entendida conhecendo todo o perfil do solo (mínimo até um metro). Mais, e quem é esse perfil do solo? Aí entra a área da pedologia, que baseado nas características do perfil dá um nome a esse indivíduo. O nome remete exatamente a como será o comportamento dos nutrientes aplicados e a relação com a planta. De fato, autores alertavam sobre a importância do conhecimento do solo em subsuperfície. Em contrapartida o setor agrícola insiste em tentar entender as variações da produtividade focado em dois temas: clima e fertilidade. E no quesito fertilidade foca até no máximo 40-50 cm. Esta faixa é a que chamamos faixa de manejo superficial, mas

sem conhecer até um metro (ou a metragem pedológica), muitos dos resultados indicados pela planta, não podem ser respondidos.

Logo, o conhecimento pedológico vai no cerne da camada de subsuperfície que impacta, conforme já indicado, na produção das plantas. A AP, as zonas de manejo e outras práticas estão corretas, mas focam na superfície. Novamente, como saber que o desenvolvimento da planta foi devido ao manejo de superfície ou tem relação com a subsuperfície? Levando para questões práticas. Um agricultor informa que tem uma área de grãos com textura 'arenosa' muito produtiva o que não é comum. Indo na área, e abrindo o perfil, observou-se que havia uma camada de areia até 50 cm (14% argila), mas em seguida uma de 45% de argila. Como no geral as coletas para fertilidade são até 40 cm, para o agricultor era um solo arenoso, quando na realidade é classificado como argiloso. A produtividade era alta por conta da água que acumula na parte argilosa e a planta se desenvolve. Noutro exemplo, o agricultor reclama que tem um solo com 70% de argila, mas seca rapidamente (dois dias pós chuva) prejudicando o seu desenvolvimento. O solo tem um v% de 70. Entretanto, numa análise pedológica, observa-se que em subsuperfície o solo é quimicamente ácido, ou seja, não retém água devido a sua mineralogia. Por mais adubo que se aplique, não haveria desenvolvimento da planta. Vejamos outro exemplo. Um produtor vai plantar onde ainda tem mata nativa. Ele escolhe as áreas para reserva legal e desmata o restante. Ao começar o manejo físico, percebe que tem várias áreas com excesso de pedregosidade. Ora, se o mapa pedológico tivesse sido feito antes, isso poderia ter sido evitado. Perdeu a área útil. Outra situação real. Um grupo preparou com seu corpo técnico um projeto de irrigação em uma grande área (mais que 30.000 ha). Todos os pivôs já estavam alocados. O responsável da área agrônoma, ao rodar o campo, e sabendo das técnicas pedológicas desconfiou de algo errado, alguns matacões surgiam em locais esporádicos. Tendo feito o pedológico, foram detectadas inúmeras situações em que deveriam ser reserva legal. Todo o trabalho de alocação dos pivôs foi refeito para sucesso do empreendimento. Exemplos como esse são inúmeros Brasil afora, onde grandes empreendimentos se valem de aspectos que não os pedológicos na escolha das terras.

Na época entre 2004 e 2008 com boom da cultura da cana houve uma corrida para construção de novas usinas. O principal critério para escolha da área, em sua maioria, era o local, água, clima, e quase nenhuma, incluiu o item tipos de terra. O resultado foi que

várias usinas ou quebraram ou tiveram que partir para troca de terras. Falta de planejamento técnico.

Das informações pedológicas está provado que se pode criar os denominados ambientes de produção. Trata-se de um sistema de classificação de terras voltado para produtividade. A premissa é de que o nome do solo mais fertilidade, textura, retenção de água e profundidade sejam os pilares da produção. Detalhe, características determinadas em subsuperfície. Pois bem. O agricultor vê que sua área tem v% de 60 e é argiloso (45%). Além disso, prevê fazer um ótimo programa de fertilização. Baseado nisso, decide colocar uma cultivar de soja do tipo exigente. Ele plantou e obteve boa produção. Entretanto, o v% observado foi da camada de superfície. O mesmo não sabia que a um metro o m% era de 70% e portanto, pedologicamente álico. Nessa condição, esse solo não permite um desenvolvimento radicular profundo devido a barreira química. Logo, esse solo não era para receber uma variedade exigente. Portanto, apesar da boa produção, ele não atingiu a máxima, informação da qual não tinha. Num exemplo mais crítico, o agricultor sabia que o solo era arenoso. Porém, ao considerar que iria adubar, poderia colocar uma cultivar exigente. Tal decisão está errada, pois o manejo químico de superfície não permite essa conclusão. Só o fato do solo ser arenoso, ele já é para receber variedade rústica, independente da adubação. Em conclusão, há no mercado uma confusão na interpretação dos dados do solo e a escolha da cultivar. A solução é o mapa pedológico mais o de ambientes de produção conversarem com os de fertilidade e o próprio manejo.

Na região de Araçatuba, foi detectado que um solo arenoso era álico, portanto, pobre e, portanto, deveria colocar uma variedade rústica. Entretanto, o mapeamento pedológico viu que era um solo arenoso, porém, fértil permitindo então uma de menor rusticidade. O erro de interpretação inicial, foi entender que o solo era álico tendo observado a camada superficial. Trata-se de um álico baseado na coleta de solos para fins de fertilidade. Entretanto, pedologicamente era um solo eutrófico em subsuperfície, e, portanto, poderia ter colocado uma variedade um pouco mais exigente. Novamente a camada chave que comanda a produção é a de subsuperfície, pois ela é que diz até onde está indo o sistema radicular e portanto, o aproveitamento de água e nutrientes.

20.19 Solos, drenagem e Ambientes

A seguir são apresentados alguns tipos de solos e prováveis ambientes. Associe-se a isso as questões de drenagem dos solos. A drenagem está intimamente ligada a vários

fatores entre eles: (a) porosidade do solo, (b) posição na paisagem, (c) textura do solo, (d) mineralogia, (e) variação dos atributos do solo ao longo do perfil, (f) formato do relevo local, (g) posição e grau de consolidação do material cascalhento se houver, entre outros. Como se vê, a drenagem é um elemento complexo e nem sempre levado em consideração na agricultura. Por vezes é avaliada como pontual e empiricamente, mas é pela pedologia que ela melhor se expressa.

Na figura 124 i observa-se as variações de ambientes função dos tipos de solo. Na figura 124 j, observe a comparação entre os diferentes tipos de Argissolos. Na medida em que o horizontes A, arenoso, fica mais espesso, o ambiente fica mais fraco, pois a raiz tem que se aprofundar mais para buscar água. Por outro lado, se um solo desse perde a camada A a produtividade se inverte e pode passar de um B para um E por exemplo. Tais exemplos apontam para a importância da drenagem do solo, que vai impactar na retenção de água e nutrientes. Logo, os excessivamente drenados como as RQ ou os com drenagem impedida, apesar de totalmente diferentes, terão ambientes desfavoráveis. É aí que entra o manejo específico após entender a dinâmica de cada solo. A figura 124 j mostra que não basta saber que o solo é um Argissolo, pois existem vários subtipos dele e cada qual terá uma dinâmica diferente e vai impactar na produtividade. Os Cambissolos são um dos mais complexos para chegar a um ambiente. Os ambientes nestes solos, podem variar dos B até os G. Isso vai depender do material de origem, do grau do grau de evolução e espessura do horizonte Bi, do grau de variação do cascalho em subsuperfície, da quantidade de manchas de afloramento que pode ocorrer nesta área, e até do grau de complexidade de sua associação com solos mais rasos como os Neosolos Litólicos. Logo, a sua classificação permeia alta experiência do profissional, análise de histórico e área, e mapeamento adequado. A mesma complexidade ocorre com os solos com má drenagem ou drenagem impedida, como os Gleissolos, Planossolos entre outros. Aliás, antes de qualquer coisa, é necessário verificar se as leis regionais do local permitem o cultivo nestes solos. Em positivo, parte-se para o mapeamento. Determinado que trata-se destes solos, vários fatores interferem na produtividade como: grau de frequência de inundação, profundidade do lençol freático, grau de redução ocorrente no solo. Somente através da observação será possível tomar uma decisão, podendo chegar a conclusão da necessidade de sistematização do local, caso a lei o permita.

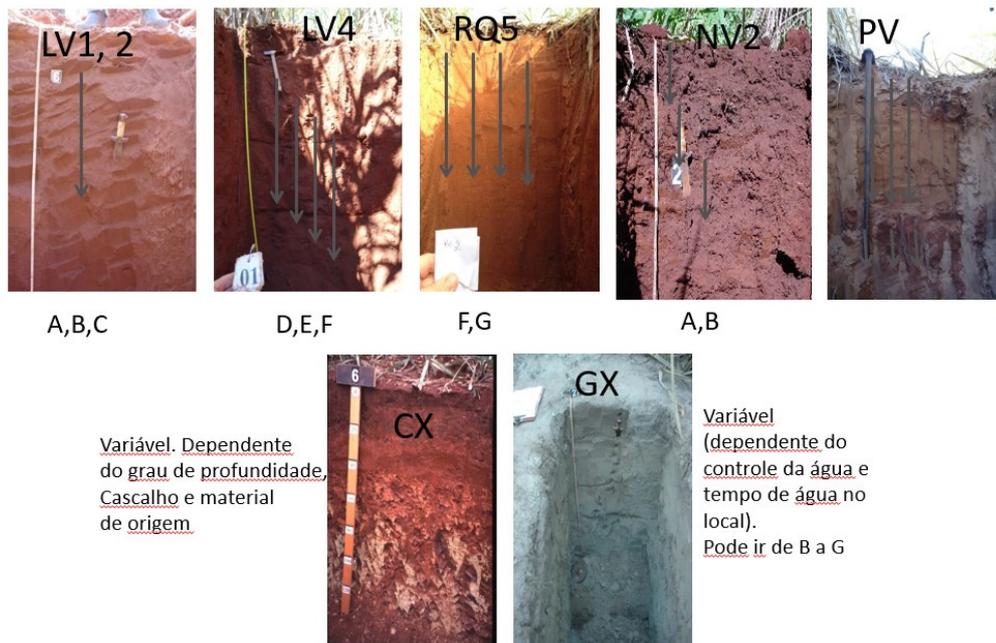


Figura 124 i. Esquema ilustrativo dos diferentes tipos de solos e possíveis ambientes. Estes ambientes são exemplos e podem alterar função da textura, fertilidade e outros constituintes.

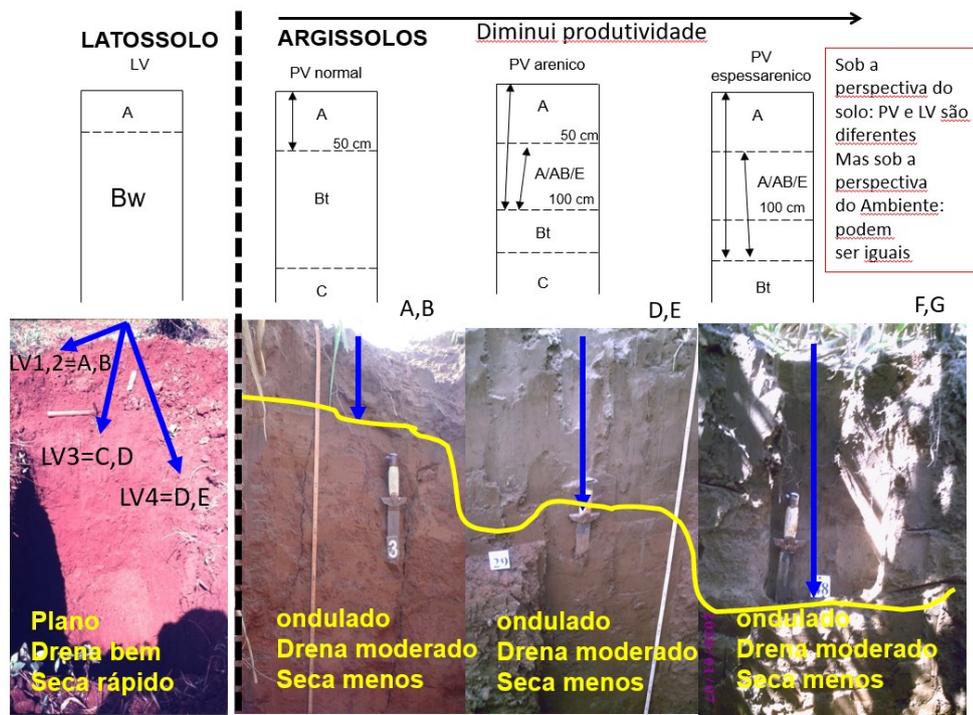


Figura 124 j - Esquema ilustrativo dos diferentes tipos de Argissolos e relação com a planta e armazenamento de água

20.20 A dinâmica dos solos ao longo do tempo

Os Argissolos têm uma dinâmica de solutos importante, pois são um dos solos mais ocorrentes no Brasil. Essa dinâmica impacta diretamente na produtividade do solo. Por meio do sensoriamento remoto e índice de área foliar, Amorim et al. (2022) observaram que os solos argilosos e eutróficos apresentaram maior IAF em épocas semelhantes. Observe que na curva marrom (Figura 124 k), entre janeiro e junho, o IAF foi maior nestes solos em cana de açúcar. Isso pois são solos que conseguem passar pela fase de stress hídrico por terem características importantes. Logo, podem ser plantados em dezembro, ao contrário dos arenosos. Outro ponto importante é a dinâmica da água. Na figura 124l, tem-se um esquema ilustrativo entre três solos Nitosolo (Nitosol), Argissolo (Lixisol) e Cambissolo (Cambisol). Observar que o comportamento da água é diferente quando secos ou úmidos. A drenagem, o armazenamento de água e a evaporação, quais sejam, os fluxos de solutos, são diferentes. Um Cambissolo, fica bem úmido na época chuvosa e as plantas podem não expressar nenhum problema. Na época seca ao contrário, secam rapidamente formando reboleiras. Os Nitossolos são os mais estáveis, mas com altos riscos de compactação. Os Argissolos têm uma camada mais arenosa na superfície que funciona como uma proteção para a água que percola. A água tem dificuldade de se perder por evaporação e fica estagnada no horizonte B, sem microagregação e com poros entupidos devido a translocação de argila. Logo, um Argissolo e um latossolo argiloso, apesar de mesma classe textural, terão drenagem diferente, impactando na planta de alguma maneira. É por isso que a perda do horizonte A de um Argissolo impacta de maneira significativa em sua produtividade, pois a água não percola (pois não tem microagregação) e se perde por escoamento.

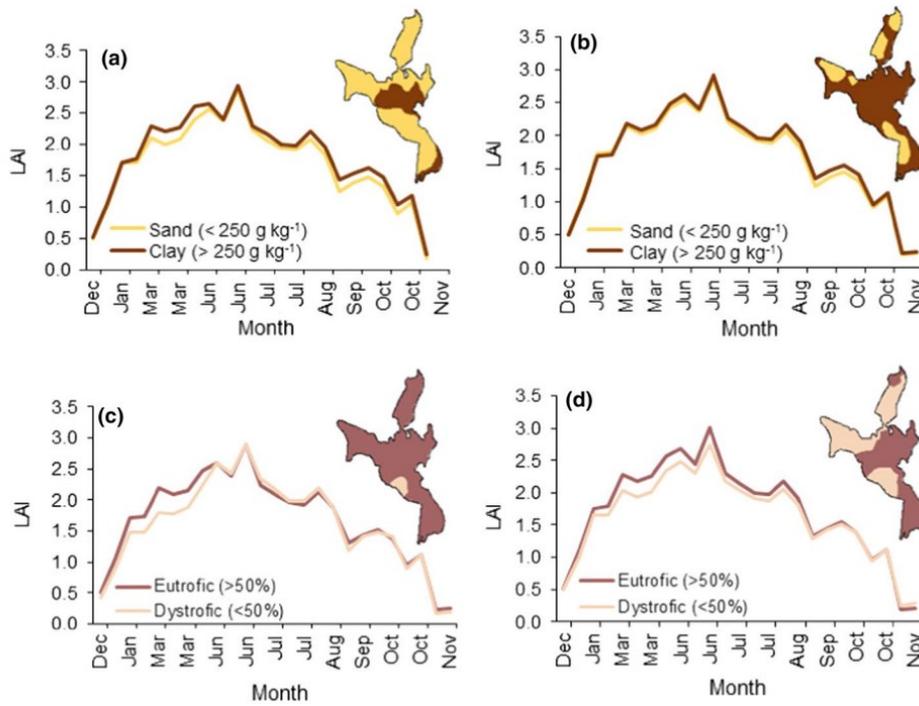


Figura 124 k -IAF temporal em função de solos com duas classes texturais e fertilidade, a,c (0–0.20 m), ea b, d (0.80–1.00 m). **Fonte:** Amorin et al. (2022).

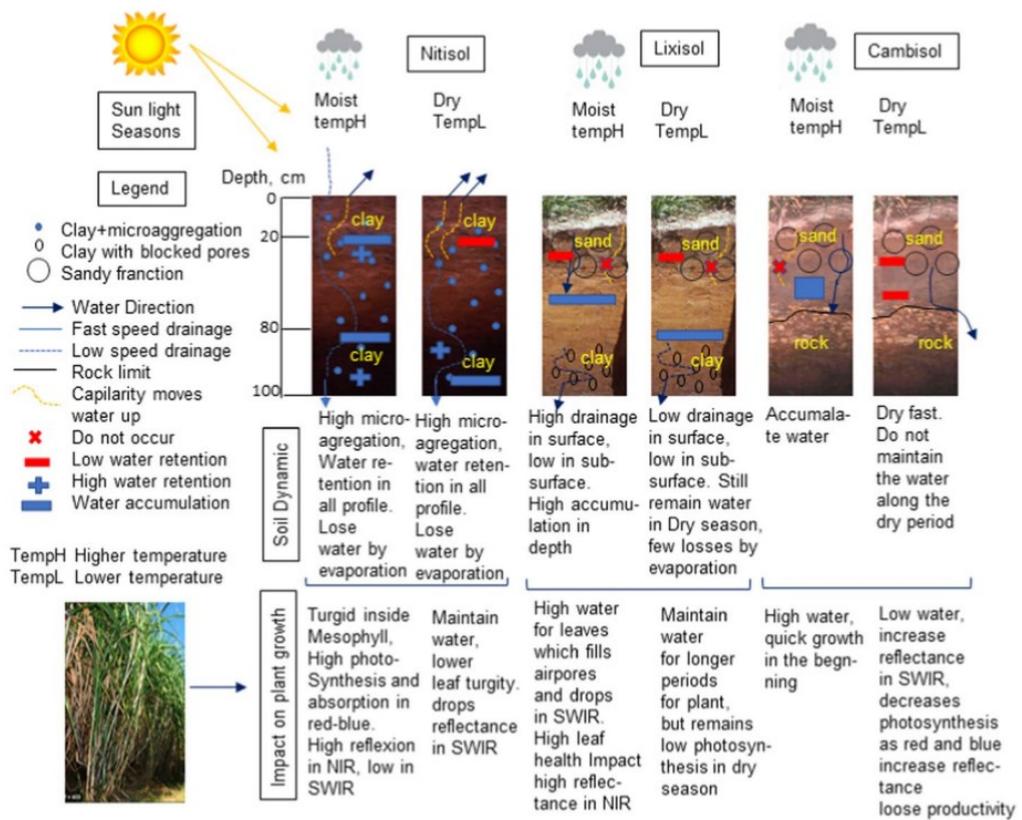
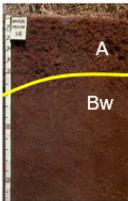


Figura 124 l - Dinâmica da água em Argissolos (**Fonte:** Amorim et al., 2022).

20.21 Solos características, manejo e Ambientes

Neste tópico foi elaborada uma figura 124 m que ilustra, de maneira geral, a relação entre tipos de solos, suas características, manejo e possíveis ambientes.

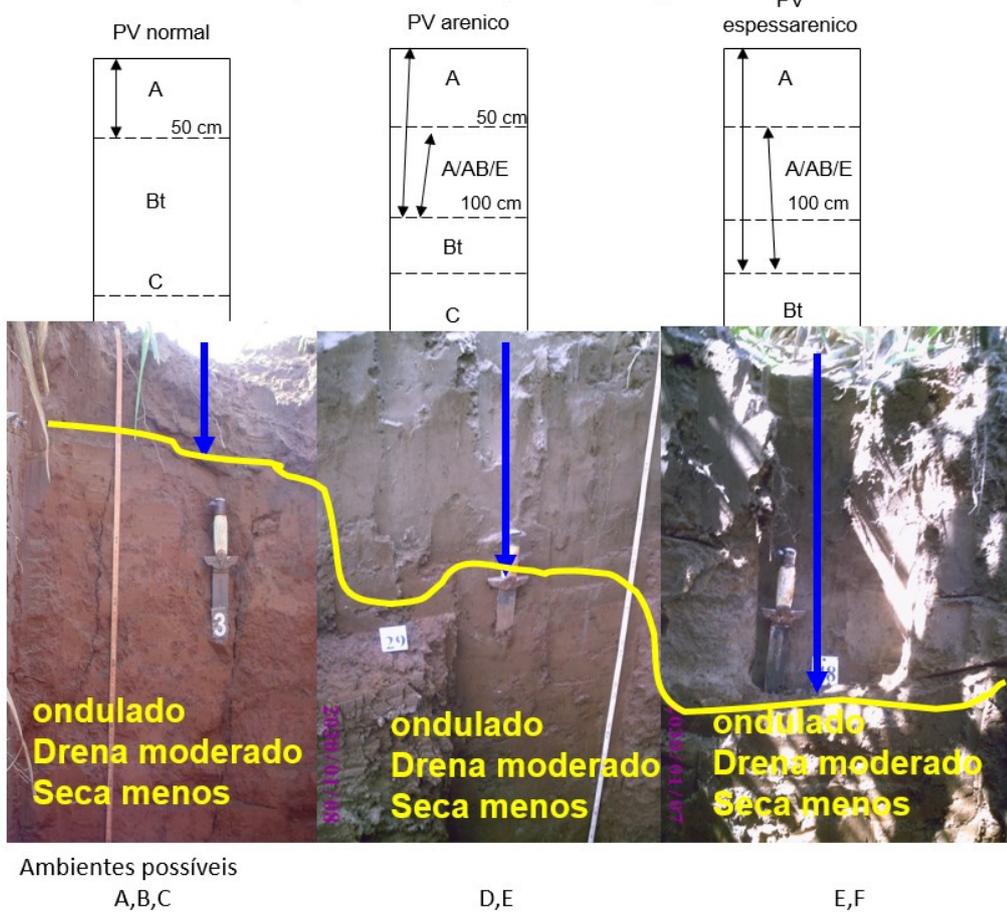
Latossolos (LV, LVA, LA). Ao aparecer a letra minúscula f, indica o caráter férrico. Todos podem variar quanto a textura e fertilidade

Tipos	Características	Manejo	Principais Ambientes
LVf e LV 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Relevo plano a suave;</u> • Pouca diferença entre horizontes (camadas); • <u>Sem diferença textural em profundidade;</u> • <u>Profundo (espessura > 1m);</u> • <u>Bem drenado;</u> • Geralmente são solos ácidos e pobres em nutrientes; • <u>Poroso.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • <u> muito argilosos a argilosos</u> • Elevado risco de ocorrer compactação; • Elevado potencial de adsorção específica de fósforo, deve ser aplicado localizado no sulco; • Solos ácidos, exigem correção em profundidade com calcário e/ou gesso; • Dificuldade de ser preparado quando seco pela dureza; • Dificuldade de ser preparado quando muito úmido, pela pegajosidade. 	A a C
LVA 		<ul style="list-style-type: none"> • <u>Médio-argilosos e médio -arenosos</u> • Baixo risco de ocorrer compactação; • Menor potencial de fixação de fósforo; • Solos ácidos, exigem correção em profundidade com calcário e/ou gesso (menores doses de corretivo); • Possibilidade de ser preparado quando seco pela menor dureza; • Possibilidade de ser preparado quando mais úmido pela menor plasticidade. 	D a E
LA 			

Argissolos (PV, PVA, PA, PBAC). Ao aparecer a letra minúscula f, indica o caráter férrico. Todos podem variar quanto a textura e fertilidade

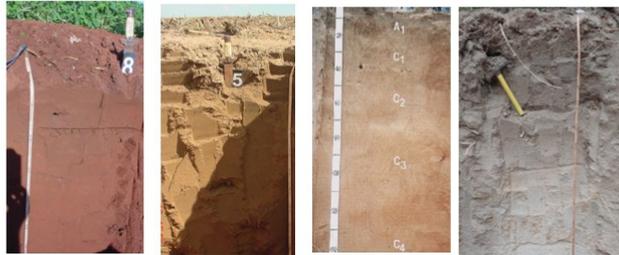
Características Gerais	Tipos	Características Individuais	Manejo:
<ul style="list-style-type: none"> •Relevo suave ondulado a forte ondulado; •Diferença evidente entre horizontes (camadas); •Com diferença textural em profundidade; •Profundidade variável •Bem a imperfeitamente drenado; •Pode apresentar cerosidade (aspecto lustroso nas superfícies dos agregados) no horizonte B. 	PV, PVA e PA 	<ul style="list-style-type: none"> •Incremento evidente de argila do horizonte A ou E para o horizonte B. 	<ul style="list-style-type: none"> •Drenagem restrita, seca vagarosamente, tendo boa capacidade de armazenar água em período de seca; •Risco de perda de horizontes superficiais mais arenosos por erosão; •Exige a construção de terraços em desnível para o controle da erosão, pela restrição de drenagem.
	Abrúptico 	<ul style="list-style-type: none"> •Teor de argila deve dobrar do horizonte A ou E para o B quando tiverem menos de 20% de argila ou aumentar em 20% quando tiverem mais de 20% de argila. 	<ul style="list-style-type: none"> •Drenagem restrita, seca vagarosamente, tendo boa capacidade de armazenar água em período de seca; •Alto risco de perda de horizontes superficiais mais arenosos por erosão. •o risco de perda de horizontes superficiais mais arenosos por erosão devido a grande diferença de infiltração da água nos horizontes superficiais e inferiores, gerando um fluxo lateral dentro do perfil do solo; •Exige construção de terraços em desnível para controle de erosão devido a drenagem restrita.
	Arênico 	<ul style="list-style-type: none"> •Teor de argila da superfície do solo até no mínimo 50cm, podendo ocorrer até 100cm, inferior a 15%, com horizonte B dentro de 200cm de profundidade. 	<ul style="list-style-type: none"> •Drenagem restrita, seca vagarosamente, tendo boa capacidade de armazenar água em período de seca; •Alto risco de perda de horizontes superficiais mais arenosos por erosão. •o risco de perda de horizontes superficiais mais arenosos por erosão devido a grande diferença de infiltração da água nos horizontes superficiais e inferiores, gerando um fluxo lateral dentro do perfil do solo; •Exige construção de terraços em desnível para controle de erosão devido a drenagem restrita.
	Espessarênico 	<ul style="list-style-type: none"> •Teor de argila da superfície do solo até no mínimo 100cm, inferior a 15%, com horizonte B dentro de 200cm de profundidade. 	<ul style="list-style-type: none"> •Drenagem restrita, seca vagarosamente, tendo boa capacidade de armazenar água em período de seca; •Alto risco de perda de horizontes superficiais mais arenosos por erosão. •o risco de perda de horizontes superficiais mais arenosos por erosão devido a grande diferença de infiltração da água nos horizontes superficiais e inferiores, gerando um fluxo lateral dentro do perfil do solo; •Exige construção de terraços em desnível para controle de erosão devido a drenagem restrita.

ARGISSOLOS podem variar quanto a espessura do horizonte A



Neossolo Quartzarênico (RQ) – esses solos podem apresentar diversas cores (amarelos, palha, acinzentados, vermelhos, vermelho amarelos, esbranquiçados)

Foto	Características	Manejo:	Principais Ambientes
RQ	<ul style="list-style-type: none"> •Relevo plano a suave; •Pouca diferença entre horizontes (camadas); •<u>Teor de argila inferior a 15% em todo o perfil;</u> •Sem diferença textural em profundidade; •Bem profundo (espessura > 1m); •<u>Bem a excessivamente drenado;</u> •<u>Geralmente são solos ácidos e pobres em nutrientes;</u> •<u>Poroso.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> •Possibilidade de ser preparado quando seco por ser macio quando nessa situação; •Possibilidade de ser preparado quando mais úmido por não ser pegajoso; •Por ser excessivamente drenado, tem baixa capacidade de armazenamento de água; •Baixo risco de ocorrer compactação; •Baixo potencial de fixação de fósforo; •Exige correção e adubação por ser pobre em nutrientes.; •Alto risco de ocorrência de perda de solo por erosão, exigindo medidas de controle desta; •Possibilidade de construção de terraços em nível devido a boa drenagem. 	F,G



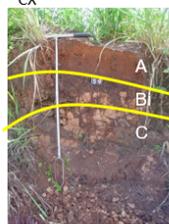
Nitossolo (NV, NX)

Foto	Características	Manejo	Principais Ambientes
NV	<ul style="list-style-type: none"> •<u>Relevo suave ondulado a forte ondulado;</u> •<u>Teor de argila superior a 35%;</u> •Pouca diferença textural em profundidade; •Bem drenado; •<u>Geralmente são solos ricos em nutrientes;</u> •Solos bem estruturados. 	<ul style="list-style-type: none"> •Impossibilidade de ser preparado quando seco devido a dureza; •Impossibilidade de ser preparado quando mais úmido por ser pegajoso; •Geralmente possui boas quantidades de nutrientes, dispensando correção; •Alto risco de ocorrer compactação; •Alto potencial de fixação de fósforo; •Baixo risco de ocorrência de perda de solo por erosão; •Possibilidade de construção de terraços em nível (de infiltração) devido a boa drenagem. 	A,B



Cambissolo (CX)

Foto	Características	Manejo:	Principais Ambientes
CX	<ul style="list-style-type: none"> •<u>Relevo predomina ondulado a forte ondulado;</u> •Evidente diferença entre horizontes (camadas); •Teor de argila uniforme em todo o perfil; •Sem diferença textural em profundidade; •<u>Profundidade maior que 10cm;</u> •Forte a imperfeitamente drenado; •<u>Pode ocorrer presença de cascalheira.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> •Alto risco de ocorrência de perda de solo por erosão, exigindo medidas de controle desta; •Exige a construção de terraços em desnível devido a restrição de drenagem. 	E,F Podem atingir melhores ambientes função do material de origem e quantidade de cascalho



Neossolo Litólico (RL)

Foto	Características	Manejo:	Principais Ambientes
<p>RL</p> 	<ul style="list-style-type: none"> •<u>Relevo predomina ondulado a forte ondulado;</u> •Teor de argila uniforme em todo o perfil; •Sem diferença textural em profundidade; •<u>Profundidade pequena;</u> •<u>Imperfeitamente a mal drenado;</u> •<u>Pode ocorrer presença de cascalheira.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> •Alto risco de ocorrência de perda de solo por erosão, exigindo medidas de controle desta; •Exige a construção de terraços em desnível devido a restrição de drenagem. •Baixa capacidade de armazenar água no período seco pelo pequeno volume de solo. 	<p>G</p> <p>São inaptos ao cultivo</p>

Gleissolo (GX)

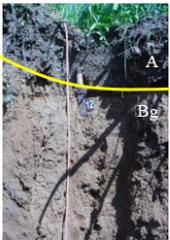
Foto	Características	Manejo:	Principais Ambientes
<p>GX</p> 	<ul style="list-style-type: none"> •<u>Relevo plano fluvial, abaciado e depressões;</u> •Teor de argila pode variar no perfil; •<u>Imperfeitamente a mal drenado;</u> •<u>Predominância de cores acinzentadas.</u> •<u>Evidências de ocorrência de alagamentos durante o ano.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> •Baixo risco de ocorrência de perda de solo por erosão; •Não exige a construção de terraços devido ao relevo plano. •Boa capacidade de armazenar água no período seco; •Altamente susceptível a ocorrência de alagamentos, prejudicando o desenvolvimento das plantas. 	<p>F,G</p> <p>São aptos para cultura do arroz. A produção específica em cana, ou outras culturas, vai depender da sistematização da área e controle da água, desde que permissivo pela legislação local. Nesse caso, podem atingir produtividades nível A,B</p>

Figura 124 m – Exemplos simplificados e gerais de solos, características e ambientes.

20.22 Considerações gerais

Lembrar que os ambientes de produção são dinâmicos e podem mudar ao longo do tempo. Essa mudança pode ocorrer função por exemplo da fertilização. Tanto pode ir para um ambiente melhor (subir) ou pior (descer). Por outro lado, alguns solos não têm como mudar o ambiente pois têm algum problema impeditivo. Como exemplo seriam os Neossolos Litólicos.

Na lavoura canavieira, como nas demais, o macroplanejamento estratégico é uma das melhores opções para o aumento da produtividade, na busca de uma melhor relação custo/benefício para a cultura. Como tem sido feito nas usinas mais antigas e na instalação dos novos projetos canavieiros, nas mais diversas regiões do Brasil, a observação da relação solo-clima é de fundamental importância no êxito do empreendimento. Caso contrário, entra-se em uma aventura, como ocorrido em diversos projetos de instalação de usinas e destilarias no início do ProÁlcool, na década de 80.

Existe uma relação de grande importância das camadas de subsuperfície na produtividade agrícolas e sua relação com pedologia e ambientes de produção. Os

ambientes de produção, tem fundamentos que permitem sua utilização para outras grandes culturas entre elas, citrus, café, algodão, soja e milho.

21 CAPÍTULO 21. A IMPORTÂNCIA DAS GEOTECNOLOGIAS NA CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO COM VISTAS AO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE

Este capítulo foi extraído, com modificações, da referência Demattê et al. (2020).

21.1 Introdução

O manejo correto do solo depende de sua adequada caracterização. Entenda-se por caracterização o conhecimento de suas propriedades químicas, físicas, mineralógicas e biológicas. Porém, há muitos anos, a caracterização do solo tem se fundamentado principalmente na análise química para fins de fertilidade. Tal fato é histórico em todo o mundo.

No Brasil, nas décadas de 1980 e 1990, por exemplo, poucas vezes os produtores realizavam análises de solo para avaliar a fertilidade de maneira rotineira. Em relação à composição textural do solo, quase nenhuma análise era realizada. Além disso, o foco era unicamente a camada superficial (0-20 cm), desconsiderando a subsuperfície. Tanto a variação vertical e horizontal do solo, inferidas via mapas pedológicos, quanto a sua mineralogia, que tem íntima relação com o manejo da fertilidade, raramente eram avaliadas.

Com o tempo, rompeu-se essa tendência e a análise da fertilidade passou a ser rotineira, o que representou um enorme avanço! Assim, durante décadas, a análise química do solo foi estudada e aplicada com grande relevância, em detrimento das análises físicas e mineralógicas.

Nesse contexto, surgem os questionamentos: Como fazer um bom manejo físico do solo sem conhecer a textura? Como entender a dinâmica da água sem conhecer o solo em subsuperfície? Como manejar o solo sem conhecer sua variação ao longo da paisagem? Dispor destas informações de maneira completa e com localização geoespacial passa a ser crucial para o planejamento criterioso de pequenas e grandes extensões. Os questionamentos sobre os motivos para as variações na produtividade ficaram tanto tempo focados na fertilidade que muito se debate sobre o porquê, em inúmeras situações, somente adubar não resolve. O foco deveria estar na caracterização da base (solo) como

um corpo que tem uma dinâmica, regida por toda a sua composição. Neste aspecto, as geotecnologias estão bastante avançadas e podem dar sua contribuição no diagnóstico dos problemas.

A partir de 2005, alguns estudos começaram a relacionar a textura da superfície do solo com a produtividade das culturas e ela passou, posteriormente, a ser incluída como parâmetro no zoneamento agrícola, disponibilizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Porém, essa abordagem é insuficiente para demonstrar o real impacto da dinâmica da água do solo na planta. A interação solo-planta só pode ser entendida mediante o conhecimento da textura e da estrutura do solo até em subsuperfície (no mínimo, um metro de profundidade).

Considerando que a conversão das áreas naturais do bioma Cerrado em campos agrícolas teve início aproximado na década de 1980, hoje, 40 anos depois, as análises de solo realizadas nessa região, e no restante do Brasil, são predominantemente químicas. Esse histórico foca exclusivamente na adubação. Há 40 anos observam-se debates relacionados à fertilidade, como, por exemplo, se a adubação fosfatada deve ser aplicada em linha ou em área total. Será que a resposta a tal questionamento não está relacionada a outros fatores do solo ainda não avaliados? Se a maioria dos pesquisadores concorda que a mineralogia tem uma dinâmica importante nas reações químicas do solo – como, por exemplo, a adsorção específica de P – por que não é avaliada para o manejo específico? Por tradição ou custo, o fato é o mesmo: a mineralogia e a textura do solo estão intimamente ligadas à dinâmica dos solutos e merecem a mesma atenção.

É interessante observar que a maior parte dos debates questiona as características da planta (variedade, fisiologia) e da química dos solos (saturação por bases, por alumínio, teor de fósforo) com grande desenvoltura, mas nada se discute sobre a mineralogia deles. O nome do solo, advindo da Pedologia, que traz a informação sobre toda essa dinâmica, poucos colocam em contexto. É como se a comunidade estivesse em uma zona de conforto, onde se debate sobre aquilo que se entende, apesar de saber que a mineralogia e a classificação dos solos são as bases para auxiliar no entendimento das questões que influenciam na produção da planta.

O foco excessivo na fertilidade do solo impactou na geração de técnicos e consultores, que permanecem utilizando práticas semelhantes às utilizadas no passado. É evidente o descompasso entre a comunidade científica, vendedores, consultores e

produtores, gerando dificuldade de comunicação. Portanto, é preciso investir em novas abordagens, permitindo uma visão holística do solo. É aqui que a chamada agricultura inteligente ou agricultura digital entra em ação – as geotecnologias – um dos avanços mais proeminentes dos últimos anos.

A utilização de diversos tipos de sensores, tanto em campo quanto em laboratório, e de imagens de sensoriamento remoto tem permitido fazer uma avaliação mais completa do solo. Nesse contexto, o sensoriamento remoto tem, como maior poder, a capacidade de caracterizar o ambiente físico, solo ou planta, como subsídio para a tomada de decisões. Em uma analogia simplista, é como se o sensoriamento remoto ‘fosse uma análise complementar do solo e da planta’. Sem análises, não se consegue um bom diagnóstico. Essa é a conclusão: todo problema está em não caracterizar a base onde se coloca a planta. É preciso avançar nestas questões e aplicar as geotecnologias no setor produtivo, onde particularmente o sensoriamento remoto poderá contribuir em grande medida para o planejamento criterioso de pequenas e grandes propriedades.

21.2 Contextualização das geotecnologias

O termo geotecnologia refere-se ao “estudo (logia) das técnicas (tecno) aplicadas na terra (geo)”. Trata-se de um termo amplo, que agrega as inúmeras terminologias que apareceram nos últimos 20 anos (GPS, sensores, satélites, drones, softwares, data mining, entre outros). Os sistemas de posicionamento global (GPS) revolucionaram a agricultura por meio da identificação da localização, em tempo real, de objetos e localidades. Aliado a isso, surgiram os Sistemas de Informação Geográficos (SIG), amparados por poderosos softwares, que conseguem analisar uma grande quantidade de dados (até os denominados Big Data), facilitando a vida dos gestores. Dentro dessa definição, também está o sensoriamento remoto, que inicialmente se referia somente a dados obtidos por sensores distantes do alvo, tendo posteriormente surgido o termo sensoriamento próximo, relativo a sensores utilizados em laboratórios e em campo que adquirem dados a curtas distâncias. Neste quesito, o sensoriamento tem mostrado um alto poder de apoio na área agrícola.

Os sensores são coletores de informação que municiam um software, o qual, por meio de algoritmos matemáticos, sempre amparados por padrões previamente definidos em campo, procuram o diagnóstico da situação de uma área. A essa etapa se denomina “processamento de dados com posição geográfica” ou “geoprocessamento”, realizada

pela denominada “mineração de dados”, a qual procura os padrões ou inconsistências que ocorrem na área de produção.

Todas essas tecnologias tiveram, em algum momento da sua história, enorme dificuldade de aceitação pelos usuários. Isso ocorreu por vários motivos, dos quais os principais são: a tradição, a dificuldade de implementação devido à falta de poder computacional, a falta de percepção histórica dos acontecimentos, os custos dos aparelhos e a falta de pessoas capacitadas. Hoje, essa distância diminuiu. Um exemplo clássico é a utilização dos índices de vegetação, que foram descobertos em 1970, popularizados na comunidade científica no final da década de 1980, e vêm alcançando o mercado com enorme sucesso nos últimos 15 anos. Foram necessários 40 anos desde o seu desenvolvimento até a sua utilização pelo setor produtivo.

Face aos enormes avanços tecnológicos no pós-2000, ficou evidente o poder dessas técnicas em todas as áreas do conhecimento, e em especial na agricultura. Os equipamentos para mensurar a condutividade elétrica do solo são outro exemplo de tecnologias que foram aceitas no mercado. Como estas, existem inúmeras outras que podem contribuir para otimizar todo o processo produtivo. Assim, a mudança da mentalidade para uma visão mais digital pode ser observada pelo recente aumento no número de startups na área de tecnologia na agricultura, assim como o investimento que grandes empresas do setor têm realizado nessa área.

21.3 Sequência de trabalho para utilização das geotecnologias

Como iniciar um trabalho utilizando as geotecnologias? Sugerimos um passo a passo como apoio na implementação de um sistema de gestão para manejo de solos:

- a) Realizar cursos de entendimento dos fundamentos do sensoriamento remoto e do geoprocessamento;
- b) Escolher um software (SIG) para gerenciamento;
- c) Iniciar o trabalho municiando o sistema por meio da criação de um banco de dados (limites da fazenda, estradas, talhões, número dos talhões, cultura a instalar, localização de plantas daninhas, doenças, pragas etc.);

d) Caracterizar bem o meio físico com informações básicas da área (mapas pedológicos, geológico, geomorfológico etc.), sistema de conservação, entre outros;

e) Identificar locais para análise química de solo, seja via metodologia tradicional, seja agricultura de precisão;

f) Realizar análises específicas de mineralogia, via sensores;

g) Gerar mapas temáticos da distribuição espacial dos elementos (cálcio, magnésio, potássio, fósforo, entre outros);

h) Gerar dados dos atributos físicos do solo, como textura, da superfície e da subsuperfície;

i) Realizar o plantio;

j) Realizar o monitoramento da área com drone ou satélite amparado por coletas de informações de campo, abastecendo um banco de dados, até obter o mapa de produtividade. O monitoramento da cultura passa a ser também via satélite e drone, a partir do estudo do comportamento espectral da planta, bem como dos índices de vegetação e do cálculo de biomassa. Com essas informações, tem-se as bases para iniciar os trabalhos de avaliação e diagnóstico. É nesse momento que, ao cruzar os dados de solos, fertilidade, produtividade e os obtidos via drone ou satélite, o usuário se depara com inúmeras situações, procurando respostas pelas alterações positivas ou negativas na produção local. Inicia-se uma nova estratégia, como a definição das zonas de manejo e melhoria do banco de dados histórico, por meio dos quais as geotecnologias propiciam apoio na tomada de decisões para a próxima safra.

21.4 Os fundamentos

A base do sensoriamento, tanto próximo (terrestre) quanto remoto (drones, aeronaves e satélites), de alvos terrestres, do solo ou da planta, está na interação simultânea da radiação eletromagnética incidente (do sol ou de uma fonte artificial) com os constituintes da matéria. A partir dessa interação energia-matéria, a radiação pode ser absorvida, emitida, transmitida e/ou refletida. Esta energia refletida é a mais comumente utilizada hoje, e é aquela capturada pelo sensor, carregando consigo informações que podem ser analisadas e interpretadas para inferir sobre a composição desse alvo (Figura

132). A radiação do sol, por exemplo, viaja à velocidade da luz (carregando fótons de energia) em comprimentos de onda específicos. Cada um deles terá uma interação com algum componente do solo ou da planta, dos quais já se tem exaustivos registros na literatura (STENBERG et al., 2010). Logo, são identificados vários atributos do solo ou da planta via sensores.

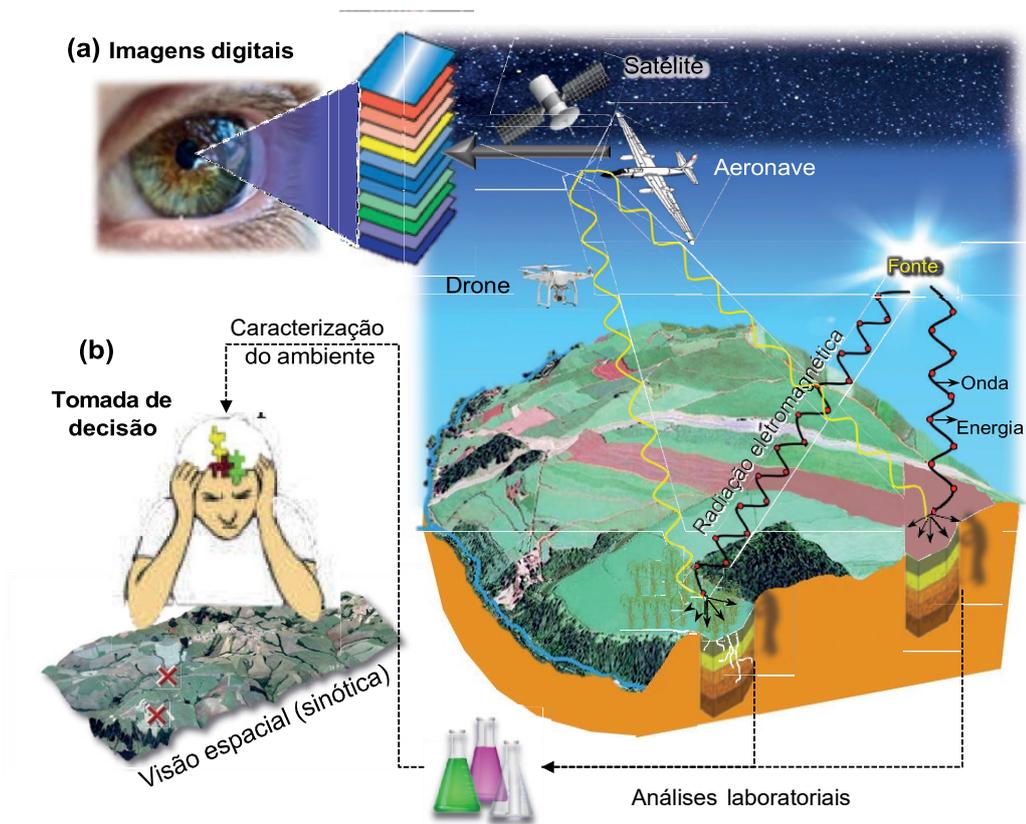
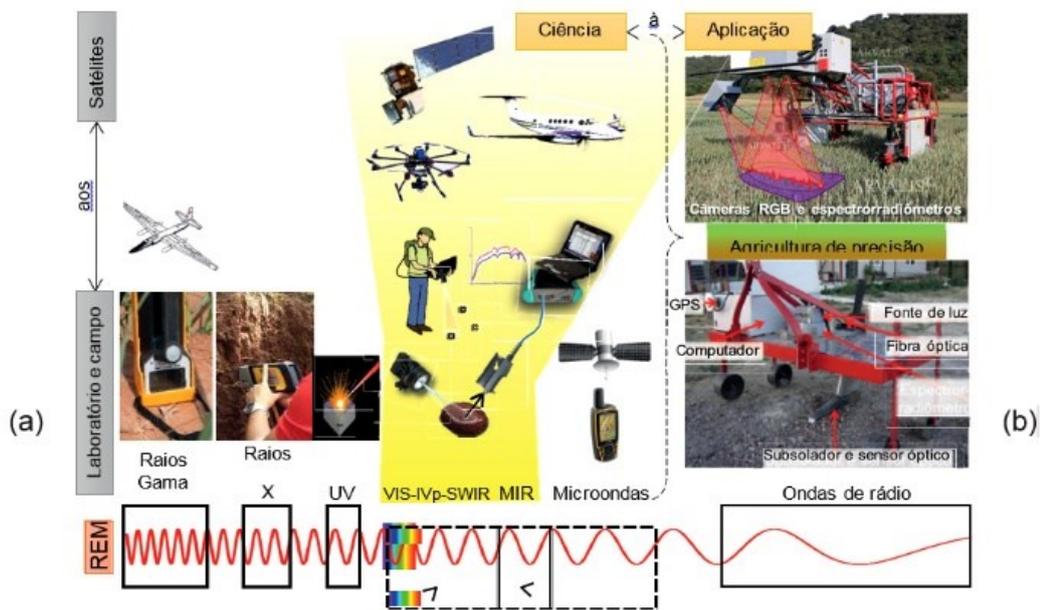


Figura 132 - Representação gráfica dos (a) fundamentos do sensoriamento remoto e das (b) formas de interpretação de imagens digitais obtidas por sensores remotos em diferentes plataformas (drone, aeronave e satélite). Arte da Figura 1a: José Lucas Safanelli.

A forma de adquirir, visualizar e interpretar os dados captados via sensores ainda gera confusão na comunidade. Existem duas formas de aquisição de dados via sensores, a pontual e a espacial (Figura 132b). A pontual é aquela na qual o sensor faz a leitura de um único ponto, que pode ser solo ou planta (nesse caso, analisa-se a curva espectral

padrão do objeto). A outra é a visão espacial ou sinótica, a interpretação de uma imagem de satélite ou drone, por exemplo. Neste caso, tem-se a visualização do contexto. Ambas auxiliam na análise e diagnóstico do ambiente.

Os sensores são versáteis e podem ser utilizados em vários níveis de aquisição de informação, tanto dentro de um laboratório de análise de solo quanto no campo, montado em plataformas sobre tratores, drones ou até em satélites (Figura 133). O foco de todas as tecnologias avançadas segue firme em direção à análise do ambiente em tempo real. Da ciência à aplicação prática e comercial, o avanço ocorre rapidamente. Ainda, os sistemas sensores podem adquirir informação do alvo com diferentes graus de detalhamento (tamanho da área de leitura, chamada resolução espacial) ou número de informações do espectro analisado (resolução espectral). Logo, a escolha do sensor e do nível de aquisição será em função dos objetivos e das condições do usuário – cada sensor terá vantagens e limitações. Entretanto, o fundamento sempre será o mesmo! Cada alvo terá, então, um padrão que pode ser representado por meio de uma curva ou assinatura espectral. Daí o nome da técnica ‘espectroscopia’.



Radiação refletida proveniente do sol VIS: 380-780 nm, NIR: 780-1.100-3.000 nm

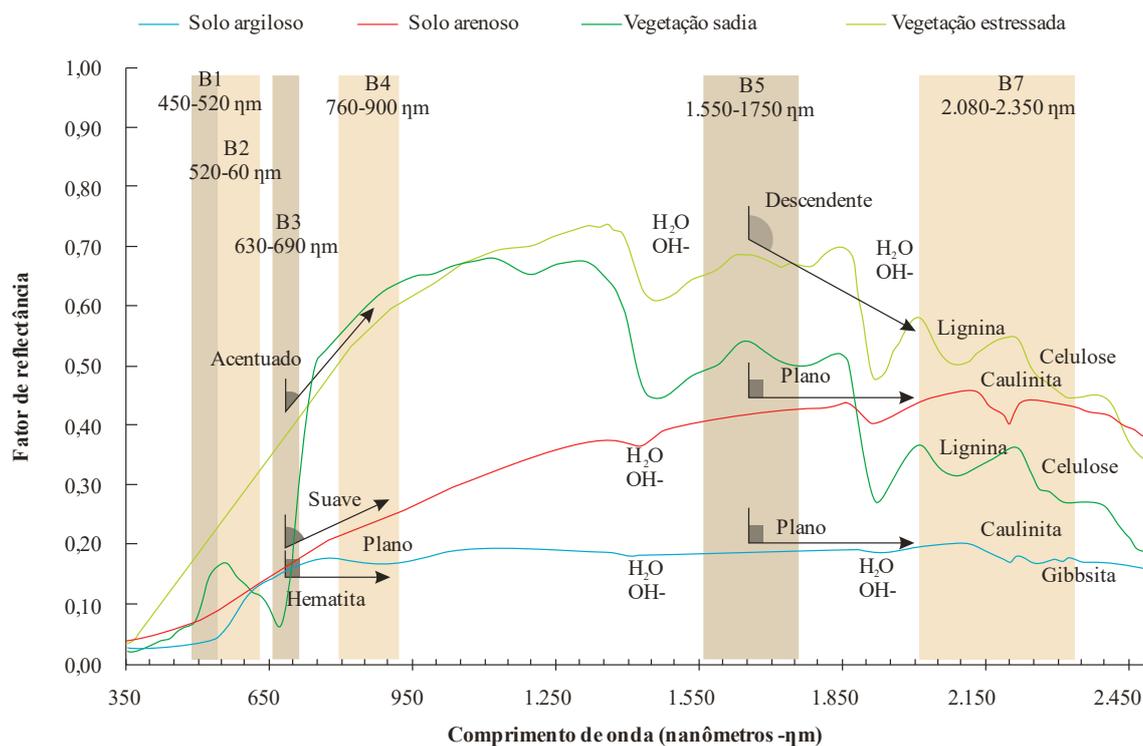
Radiação emitida pela TerraMIR: 3.000-14.000 nm (termal: 8.000-14.000 nm)

Figura 133 - (a) Radiações eletromagnéticas com as suas regiões espectrais e sensores próximos e remotos para aquisição de dados e suas aplicações. Inclui fotos do sistema PhénoMobile® – robô autônomo que mede o estado das plantas utilizando diferentes sensores (**Fonte:** <https://www.english.arvalisinstitutduvegetal.fr/>); (b) Painel de um espectrorradiômetro montado em um subsolador, que penetra até 40 cm de profundidade com uma luz que mede a reflectância do solo. **Fonte:** Adaptada de Tekin et al. (2014).

As faixas de radiação eletromagnética em que o espectro se manifesta são inúmeras (Figura 133), sendo a mais conhecida a região do visível (VIS, visão humana), seguida do infravermelho (IV). Porém, muita dúvida existiu acerca deste ponto. A região do infravermelho pode ser dividida em várias faixas menores, desde o próximo (IV_p, ou no inglês NIR), passando pelas ondas curtas (Shortwave InfraRed, SWIR) até o médio (Middle InfraRed, Mid-IR). Dentre eles, destaca-se o NIR, já que vários índices de vegetação podem ser calculados a partir dessa faixa. Mas não por isso é o mais importante do espectro eletromagnético. Mais tarde, percebeu-se que com as bandas da região SWIR é possível avaliar os padrões da água no solo e na planta, além de refletir a composição mineralógica. A região do Mid-IR, ainda pouco estudada, tem grande potencial para medir compostos orgânicos e quartzo. Dessa forma, a espectroscopia oferece um leque de ferramentas ambientalmente limpas, onde cada usuário deverá avaliar qual será a melhor combinação que se ajuste aos seus objetivos.

Cada alvo (solo ou planta) terá um padrão de assinatura, que pode ser avaliada a partir da sua curva espectral (Figura 134). Quando a planta está sadia, ocorre forte absorção na região do vermelho (dentro da faixa VIS) devido à atividade fotossintética, e alta intensidade de reflectância (albedo) no NIR, causada pela estrutura foliar. Logo, quando a planta fica estressada por motivos hídricos, nutricionais ou até por senescência, a intensidade no NIR diminui, enquanto aumenta no vermelho, tornando menor o valor do índice de vegetação mais conhecido, o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Esta é a forma correta de analisar a vegetação via sensores. Utilizando os mesmos princípios, vários sensores já foram implementados na prática e estão disponíveis no setor comercial como ferramenta para aplicação de nitrogênio (sensor montado sobre trator) e herbicida em taxa variável (sensor montado sobre trator ou drone).

Já no solo, as formas e intensidades da curva espectral revelam feições relacionadas à sua textura, teor de matéria orgânica e mineralogia (Figura 134). De maneira geral, os solos mais arenosos apresentam elevado albedo na região SWIR, devido à maior intensidade de reflectância do quartzo, ao contrário dos argilosos, que apresentam menor albedo devido a certos minerais presentes no solo que absorvem a radiação com maior intensidade. Assim, tanto a planta quanto o solo podem ser “vistos” (daí a denominada ‘visão artificial) ou analisados por sensores localizados em laboratórios, campo, drones ou satélites. Os dados também podem ser advindos dos denominados sensores hiperespectrais (muitas bandas) ou multiespectrais (poucas bandas). A Figura 135 ilustra um caso de visão de solos proveniente de um sensor hiperespectral acoplado em avião e via satélite. É possível observar como o grau de detalhamento (feições e sinuosidades) das curvas é maior no sensor hiperespectral. Tais diferenças observadas pelo sensor são indicativos das produtividades da área em destaque, localizada no município de Piracicaba, SP.



$$\text{Normalized Deviation Vegetation Index (NDVI)} = \frac{B4(\text{NIR}) - B3(\text{vermelho})}{B4(\text{NIR}) + B3(\text{vermelho})}$$

Figura 134 - Curvas espectrais de solo e vegetação adquiridas em laboratório, com alta resolução espectral, mostrando a localização das bandas espectrais (B) do sensor Thematic Mapper a bordo do satélite Landsat 5. NIR = Infravermelho próximo. A partir das bandas 3 (B3) e 4 (B4) pode ser calculado o índice de vegetação NDVI. **Fonte:** Adaptada de Demattê et al. (2018).

Além das regiões mencionadas anteriormente, vem crescendo os estudos utilizando a faixa espectral do termal via drones para avaliação de solo e planta. Por exemplo, Bellvert et al. (2014) determinaram o estresse hídrico em videiras. Foi possível observar que nas áreas onde as plantas estavam sob estresse hídrico a temperatura do dossel era maior que a temperatura média do ar, enquanto nas áreas sem estresse hídrico a temperatura era menor devido ao efeito de resfriamento promovido pela transpiração.

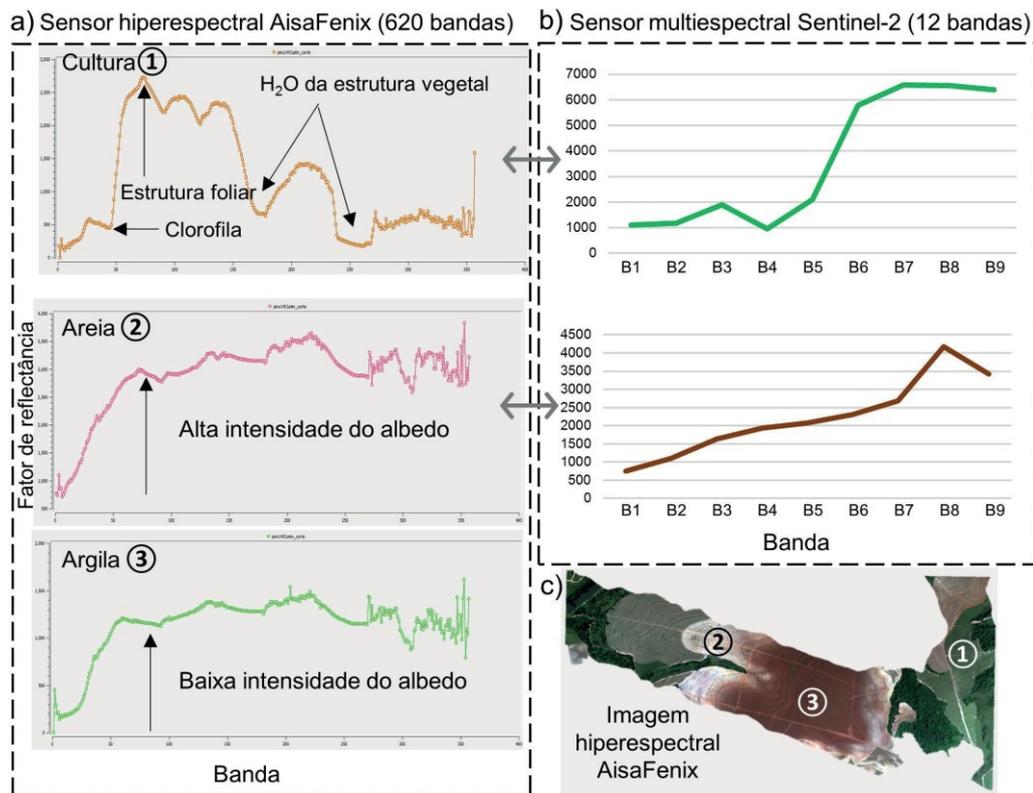


Figura 135 - Assinatura espectral de solo e vegetação obtidas pela (a) câmera hiperespectral Aisa Fenix (aeronave) e pelo (b) sensor multiespectral do satélite Sentinel-2; (c) Imagem da câmera Aisa Fenix em composição RGB cor verdadeira. Crédito da figura: Prof. Marcos Rafael Nanni, Universidade Estadual de Maringá (UEM).

21.5 Análise de solos: do laboratório aos satélites

O sensoriamento próximo teve seu início na Ciência do Solo a partir da década de 1960, com tentativas para quantificar seus atributos. A partir de 2015, começou a ser conhecido comercialmente através do desenvolvimento de equipamentos aplicados na agricultura. Essa tecnologia funciona a partir de um banco de dados de amostras de terra, previamente caracterizadas de forma tradicional em laboratório, para determinação de, por exemplo, teores de argila, matéria orgânica, pH e saturação por bases; essas mesmas amostras têm sua caracterização espectral feita por um sensor em laboratório, operando, por exemplo, na faixa do VIS, NIR e SWIR. A partir desse banco de dados (biblioteca espectral) pode-se, por meio de técnicas quimiométricas (matemáticas e estatísticas), determinar os teores de atributos do solo de amostras, realizando a quantificação unicamente a partir do seu espectro. De fato, alguns atributos do solo estão consolidados

na literatura e podem ser determinados com alta precisão, como o teor de argila e de areia, a CTC (capacidade de troca de cátions) e a matéria orgânica. A mineralogia também pode ser detectada. Porém, elementos químicos disponíveis para a nutrição das plantas, como cálcio, magnésio, potássio e fósforo, ainda são estimados com menor precisão que os atributos anteriores. São constantes os esforços para melhorar o desempenho na predição desses nutrientes. Apesar disso, a maioria dos equipamentos e técnicas disponíveis apenas conseguem detectar elementos totais, como o de fósforo, e não o disponível para as plantas.

Em breve, os sensores farão parte dos laboratórios de análises de solos, que passarão a ser denominados de ‘laboratórios híbridos’ (DEMATTÊ et al., 2016), com grande versatilidade para determinar desde a qualidade do solo até a sua mineralogia, com otimização dos processos. Portanto, o raciocínio parte da premissa de que se o fundamento é igual em todos os casos, um dado atributo do solo (teor de argila, por exemplo) pode ser quantificado tanto dentro de um laboratório (com o sensor a centímetros da amostra) quanto de um satélite (com o sensor a 800 km de distância do alvo).

21.6 Visão do solo via satélite

Atualmente, já é possível observar a superfície do solo exposto via satélite por meio de uma tecnologia denominada Solo Exposto Via Satélite (SEVIS), advindo dos fundamentos idealizados em recente publicação (DEMATTÊ et al., 2018). Tal técnica permite expor o solo subjacente mesmo que hoje ele esteja coberto com vegetação ou palhada, desde que o mesmo tenha sido preparado, ou seja, o solo tenha sido exposto em alguma época nos últimos 35 anos. A Figura 136a ilustra uma área com vista aérea normal – tons de verde da cultura – e após a aplicação da técnica de exposição do solo – cores de solo. Como a visão da imagem é via satélite, consegue-se uma resolução espacial compatível com o sensor utilizado (Landsat: 30 m; Sentinel: 20 m). A visão sinótica do contexto de uma área também permite uma análise muito mais ampla do que as análises pontuais (Figura 136b).

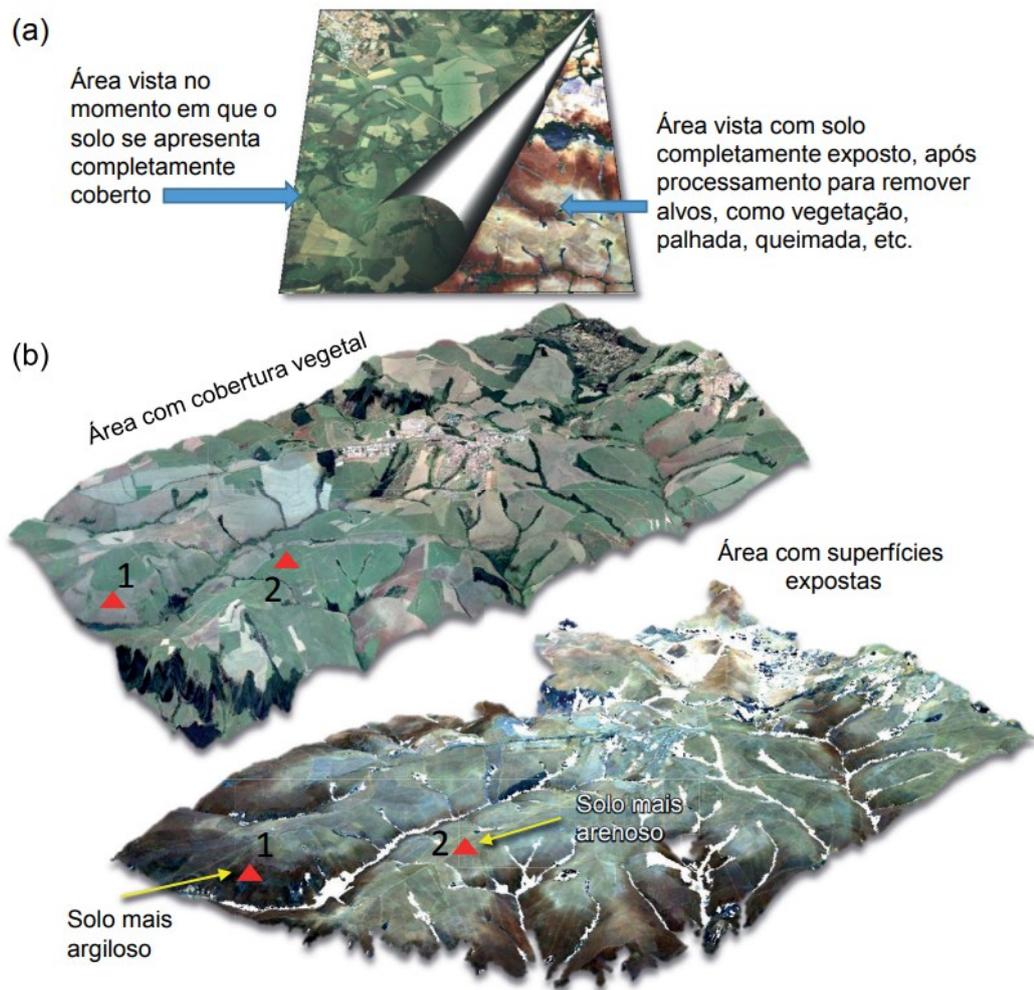


Figura 136 - Visão do solo exposto via satélite. **Fonte:** Demattê et al. (2018).

21.7 Mapa Textural via Satélite

As análises dos teores de areia e argila obtidas por meio de sensores de laboratório, campo ou satélite são as informações científicas mais sólidas até o momento. Essas informações, mesmo que somente da superfície, são de grande valia na tomada de decisão em várias frentes. A Figura 137 ilustra uma área avaliada pela SEVIS. Mesmo recoberta por palhada no momento da avaliação, a imagem obtida já indicava, no mesmo talhão, dois locais com texturas diferentes. Uma vez em campo, foi confirmada a existência de duas texturas, arenosa e argilosa, separadas a uma distância de 200 metros e na mesma altitude. A textura tem grande impacto na produtividade, por isso, é um fator importante nos ambientes de produção. Caso seja observada a sua variabilidade, mesmo que

superficial, é claro indicativo de solos diferentes, podendo, em outro momento, ser averiguado no campo, com maior assertividade do local.

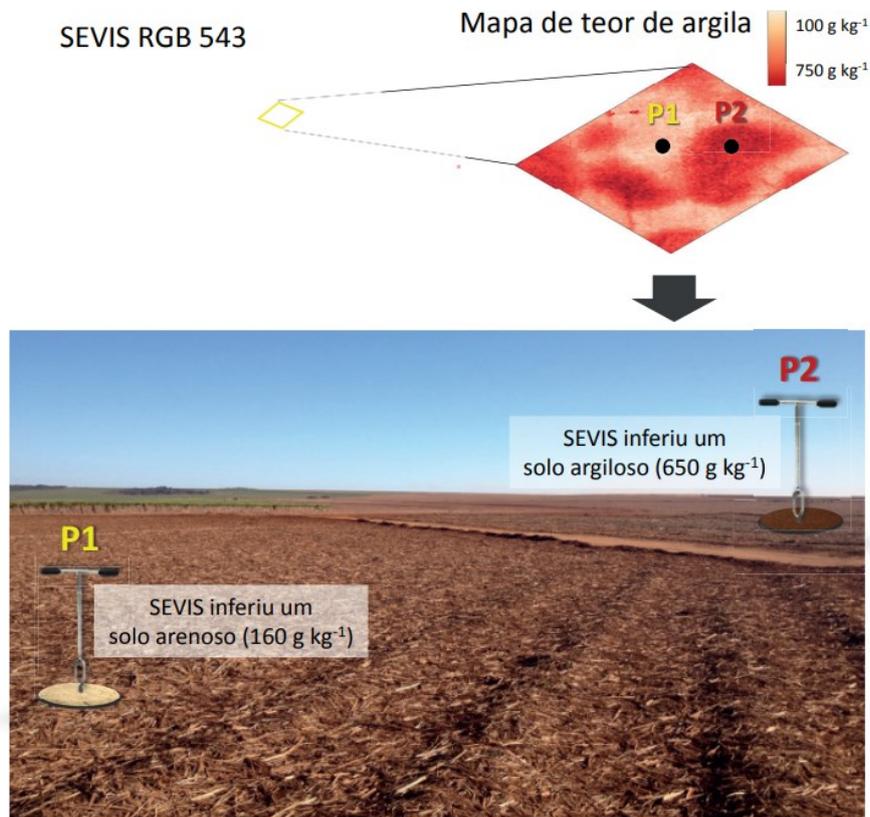


Figura 137 - Solos da região de Jataí, GO. Variação textural detectada via satélite, onde P1 é um solo arenoso e P2 é um solo argiloso, impactando no manejo físico, químico e do ambiente de produção, em curta distância. **Fonte:** Fongaro et al. (2018).

21.8 Mapeamento Pedológico

Os mapas pedológicos representam a espacialidade dos tipos de solo. Não se trata somente das condições de fertilidade do solo, mas do tipo, relativo ao seu nome e classificação, que tem relação intrínseca com a dinâmica da água e dos solutos. O mapa de solos pode ser obtido por meio dos métodos tradicionais (prospecções em campo, coleta e delineamento manual pelo intérprete). Com a SEVIS, consegue-se visualizar as variações horizontais dos solos para depois ratificar no campo a variação em profundidade ou variação vertical. Vale lembrar que o mapeamento pedológico é a base para a obtenção dos ambientes de produção ou potencial de produção de uma cultura – abordagem consolidada na cana-de-açúcar e que começa a ser utilizada em outras

culturas. Para tanto, leva-se em consideração a variação do solo em profundidade (0-100 ou 0-125 cm, no mínimo).

Conforme observado por Landell (2003), a cana-de-açúcar tem seu potencial de produção embasado no horizonte diagnóstico de subsuperfície ou, como comumente conhecido, horizonte B. De fato, isso já havia sido observado em trabalhos com grãos (LUCHIARI JÚNIOR et al., 1986; ROSOLEM, 2005), nos quais o ápice de produtividade só era atingido quando a maior parte do sistema radicular estivesse a, pelo menos, um metro de profundidade. No entanto, mesmo com as comprovações científicas, por que existe a resistência na realização de mapas pedológicos, permanecendo a insistência nas análises de superfície (somente até 40 cm)? Como responder às dúvidas referentes à relação solo/produção somente com base nas análises de fertilidade superficiais? Nessa faixa de profundidade, até 40 cm, só se consegue discutir fertilidade para o manejo pontual, tendo efeito sub otimizado na produtividade e no potencial produtivo dos solos ao longo do tempo. É neste ponto que as geotecnologias, como a SEVIS, podem auxiliar. A Figura 138 ilustra um mapa pedológico antes e depois da aplicação da técnica SEVIS. Na Figura 138a observa-se as linhas que dividem os tipos de solos delineadas antes dessa nova tecnologia. A Figura 138b mostra o solo exposto em toda a área. Manchas de reflectância diferenciadas pelos solos são detectáveis pela técnica. Com base nessa informação, foi possível calcular a textura superficial dos solos (Figura 138c). Finalmente, o mapa pedológico mudou significativamente após a aplicação da técnica SEVIS (comparar as linhas das Figuras 138a e 138d). A figura 138dd mostra como as imagens podem detectar a intensas variações de solos, que impactam em uma série de atividades ao longo do manejo, se não forem identificadas.

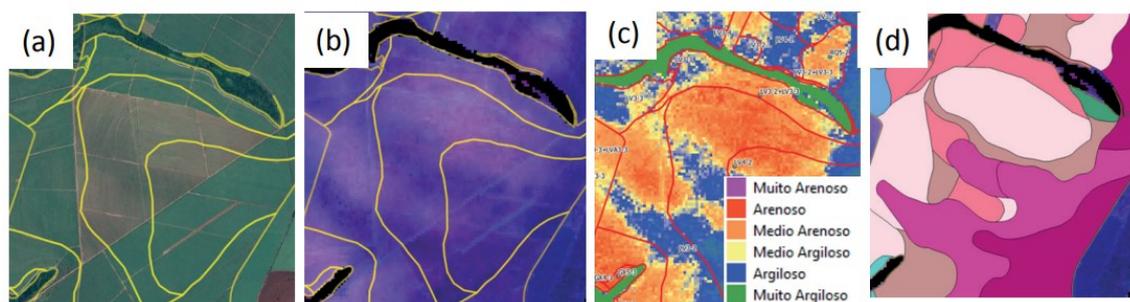


Figura 138 - Solos da região nordeste de São Paulo e sua variação antes e depois da utilização da tecnologia SEVIS. As linhas amarelas são os limites dos diferentes tipos de solos via pedologia tradicional. (a) Imagem da área obtida pelo Google Earth; (b) O mesmo local com imagem composição 543RGB infravermelha, com solo descoberto, via

SEVIS; (c) Transformação da imagem da área em mapa de solos com diferentes teores de argila; d) Novo mapa pedológico, tendo como apoio a imagem do solo exposto.

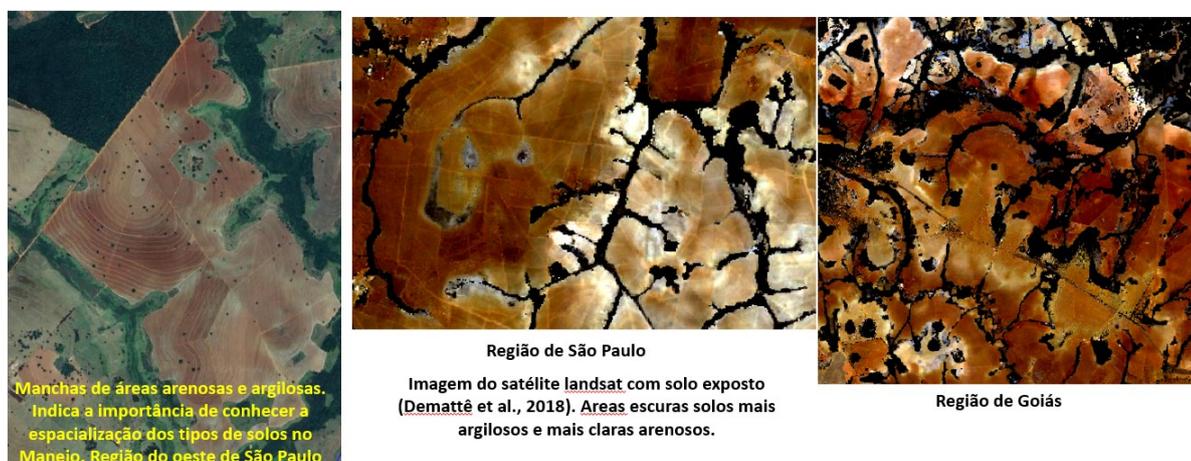


Figura 138dd. Imagens de satélite ilustrando a variabilidade de solos que vão impactar no processo de manejo e produtividade, se não adequadamente delineadas.

21.9 Ambientes de Produção

Os primeiros estudos dos denominados Ambientes de Produção datam da década de 1990 e se popularizaram na cultura da cana-de-açúcar. Porém, os fundamentos servem para todas as grandes culturas. A base do sistema é um mapa pedológico que indica o potencial de produção da cultura e, por consequência, outras aplicações, como a alocação varietal. Se o mapa pedológico apresentar alterações no seu delineamento, todo o sistema será comprometido. A Figura 139 ilustra a questão. Trata-se da comparação de um mapa pedológico antes e depois da utilização da tecnologia. Houve alterações nos tipos de solo e no delineamento, impactando na área ponderada de ocorrência de cada um, gerando variações nos ambientes e nas metas de produção. Ao final, a área 1 estava sendo subestimada em até 6% de produtividade (nesse caso).

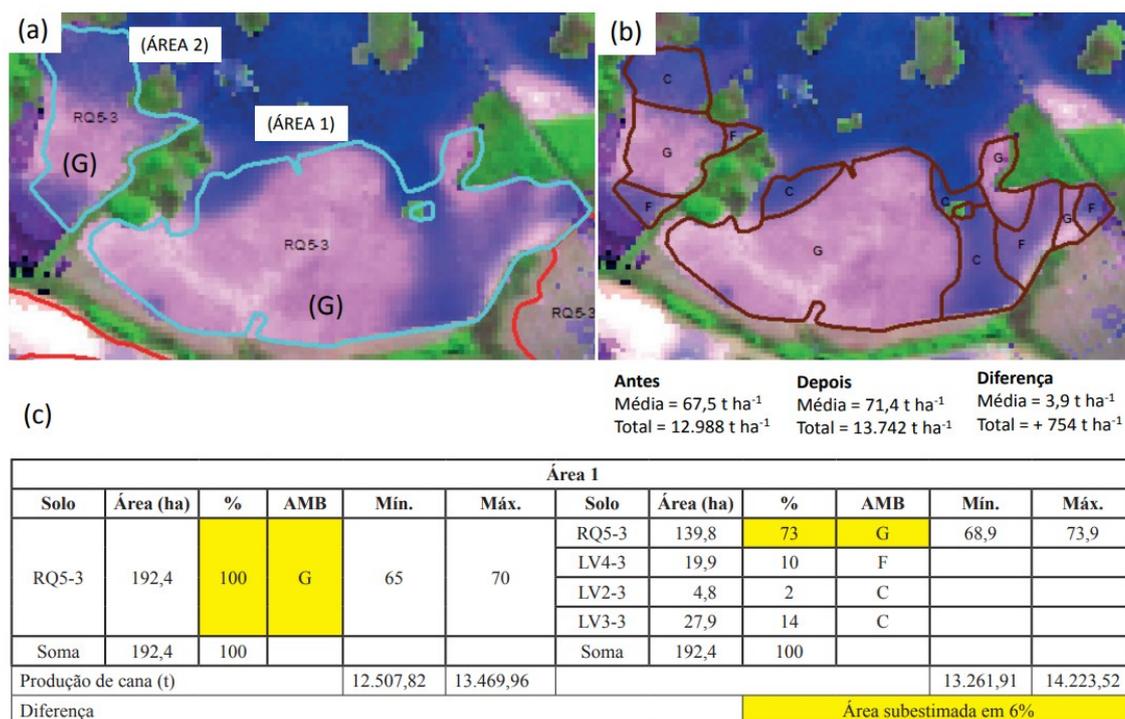


Figura 139 - Solos da região sudeste de Goiás. Variação dos solos, delineamento e impacto da utilização da tecnologia SEVIS nos ambientes de produção (AMB): (a) Área mapeada antes da utilização da tecnologia SEVIS; (b) Área mapeada após a utilização da tecnologia SEVIS e (c) Quadro comparativo do impacto nos ambientes de produção. **Fonte:** (dados não publicados).

Tal resultado mostra que os atuais mapas de ambientes precisam ser atualizados, pois podem estar gerando dificuldades na interpretação dos resultados e nas metas. Não se trata de erro, mas de atualização, devido à chegada das novas tecnologias.

21.10 Agricultura de Precisão e Zonas de Manejo

O sistema mais tradicional de coleta de amostras de solo para fertilidade é o zigue-zague, no qual são coletadas 15 amostras simples (subamostras) a cada 15 hectares, em média, para compor uma amostra composta. Com o advento das tecnologias, surgiu a Agricultura de Precisão (AP). A AP surgiu na década de 1990 como um método de coleta de amostras de solo em locais pontuais e georreferenciados, em detrimento da coleta de amostras compostas. A AP tenta explicar a variabilidade do solo para realizar a aplicação direcionada de adubos e corretivos. A Figura 140a mostra uma área cultivada com cana-

de-açúcar, onde não se consegue visualizar nenhuma diferença, nem na planta nem no solo. Geralmente, utiliza-se em AP o sistema de grade fixa (Figura 140b). Entretanto, este já está em desuso há mais de 15 anos. De qualquer forma, como o grid amostral mostrou-se muito caro, iniciou-se o sistema de zonas de manejo, em substituição ao grid fixo.

As zonas de manejo se referem ao zoneamento de áreas onde se pressupõe que as características dos solos sejam semelhantes, o que impacta na produção da planta. Logo, a coleta é realizada em cada zona e dela gera-se uma análise de solo, que servirá de orientação para a adubação. Todo o problema recai, mais uma vez, no baixíssimo investimento da caracterização do solo onde a planta é instalada. A Figura 140c mostra a área totalmente desnuda, onde manchas de solos muito arenosos (cores brancas), róseos (textura média arenosa) e arroxeados (argilosos) podem ser observadas. Assim, considerando somente a produtividade da planta, não se tem a total expressão da variação do solo. As zonas de manejo devem ser produto da análise conjunta da variação do solo e da planta (produtividade obtida), conforme indicado na Figura 140d. Assim, após obter os dados fornecidos pelos sensores (drones ou satélites), estes podem ser geoprocessados, gerando automaticamente os clusters (ou grupos, polígonos, áreas), onde serão coletadas novas amostras para análise de solo (Figura 140e). Tal tecnologia proporciona ganho em tempo e custo (Figura 140f). Um exemplo prático e automatizado dessa técnica como apoio em zonas de manejo é apresentada na figura 141.

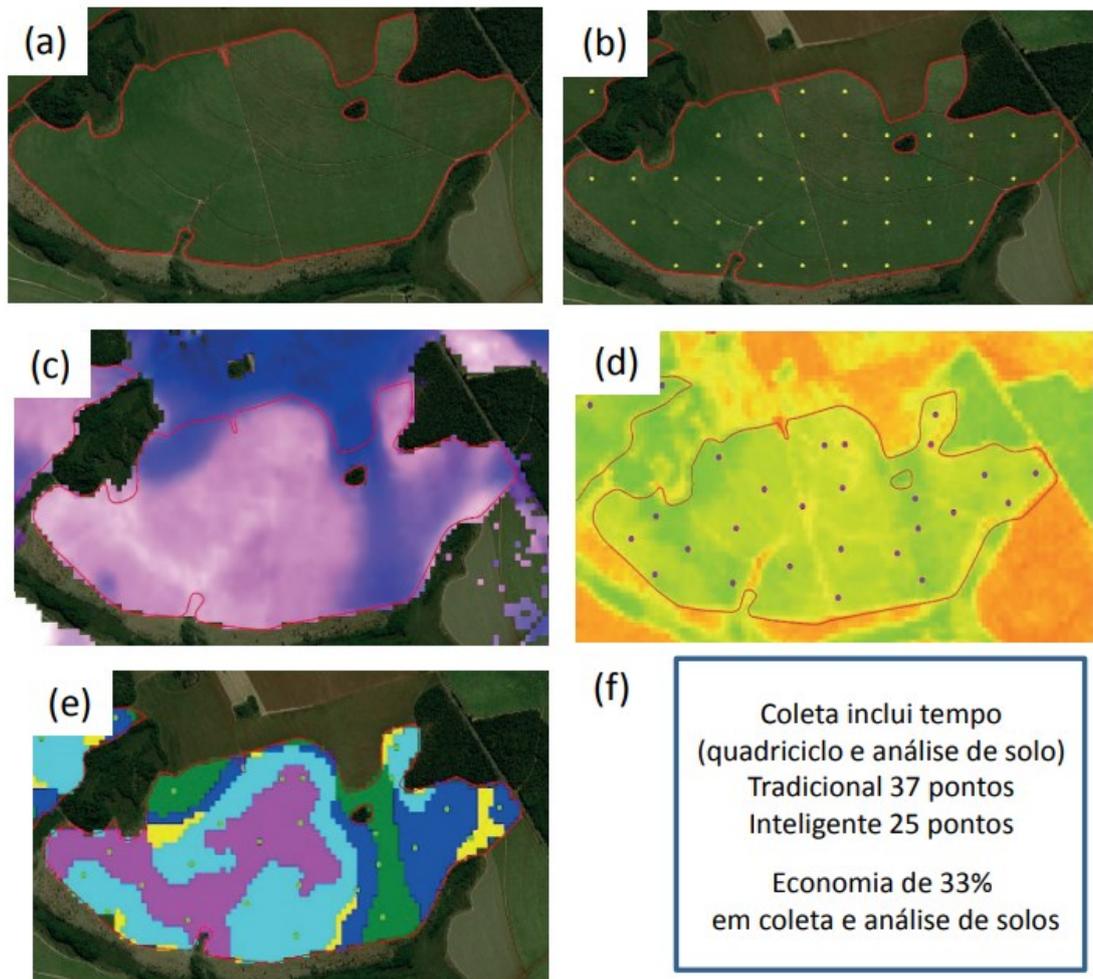


Figura 140 - Exemplo do impacto da geotecnologia na agricultura de precisão: (a) Imagem da área obtida pelo Google Earth; (b) Demarcação do solo com grid fixo; (c) Vista da área com solo exposto via SEVIS; (d) Vista da área via índice de vegetação; (e) Automatização para grupamentos de áreas semelhantes e indicação de pontos de amostragem para solos; (f) Impacto no custo.

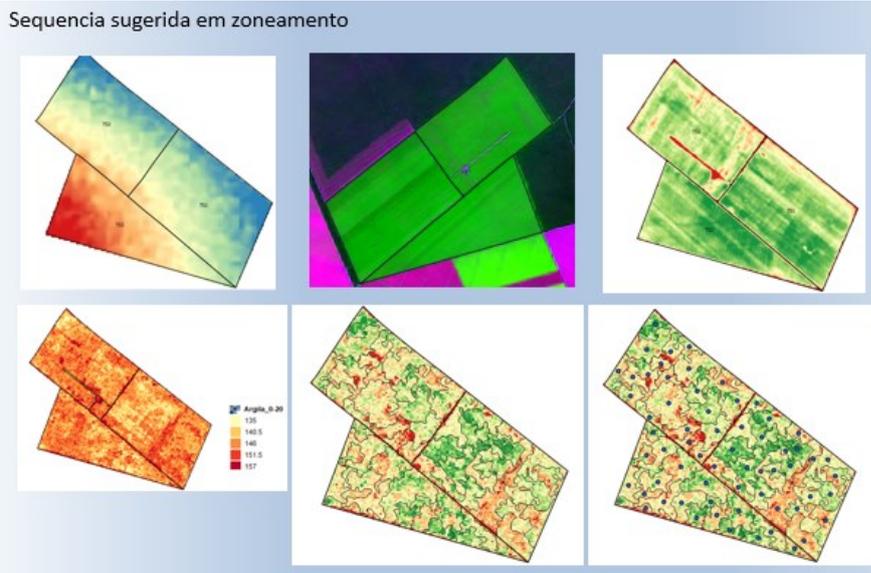


Figura 141 – Ilustração na determinação das Zonas de manejo. Sequencia: mapa de elevação – mapa índice de vegetação temporal – mapa de teor de argila e CTC via satélite – mapa de zoneamento pela junção das co-variáveis – mapa final com os locais de amostragem. (Créditos: Fazenda Sabiá. Grupo JMA - PiauÍ. Consultor Jonas Canesin Gomes APagri)

21.11 Manejo físico

A SEVIS indica a variabilidade textural da superfície do solo, a qual está intrinsecamente relacionada ao potencial de erosão e compactação, por exemplo. Essas informações podem auxiliar no planejamento e no manejo do solo. As imagens de satélite podem também dar suporte na identificação de áreas com presença de cascalho ou solos pouco profundos, bem como locais com drenagem deficiente.

A Figura 142a mostra a variação textural via satélite em extensas áreas da região de Piracicaba, SP. Observe as cores dos solos: quanto mais marrons, mais argilosos; quanto mais esbranquiçados, mais arenosos. A Figura 142b ilustra uma situação mais detalhada, indicando, inclusive, os locais de má drenagem. Observe os solos mais arenosos ao longo de toda a área dos canais de drenagem. Nota-se que a determinação desse tipo de situação é complexa, necessitando ver o padrão em imagem de solo exposto (padrão de cor característico), da forma, e via índice de vegetação da cultura. A conjunção de todos esses fatores e de algumas avaliações de campo permite mapear a área pelos padrões espectrais e obter uma visão mais clara das variações.

Considerando que as imagens conseguem determinar a textura da superfície do solo, locais que indiquem alta variação textural, podem ser indicativas de processos erosivos. A Figura 142c apresenta uma área erodida (ponto 1). Na imagem SEVIS, a área como um todo era arenosa (ponto 2, cor branca), porém, no local onde houve erosão a imagem apresenta uma coloração mais escura (ponto 1). Trata-se do horizonte B, mais argiloso. Da mesma forma, onde existem Argissolos mais arenosos as plantas apresentaram-se menos desenvolvidas do que nos solos de textura mais fina (áreas não erodidas). Observar o ponto 2 e o ponto 3, comparativamente.

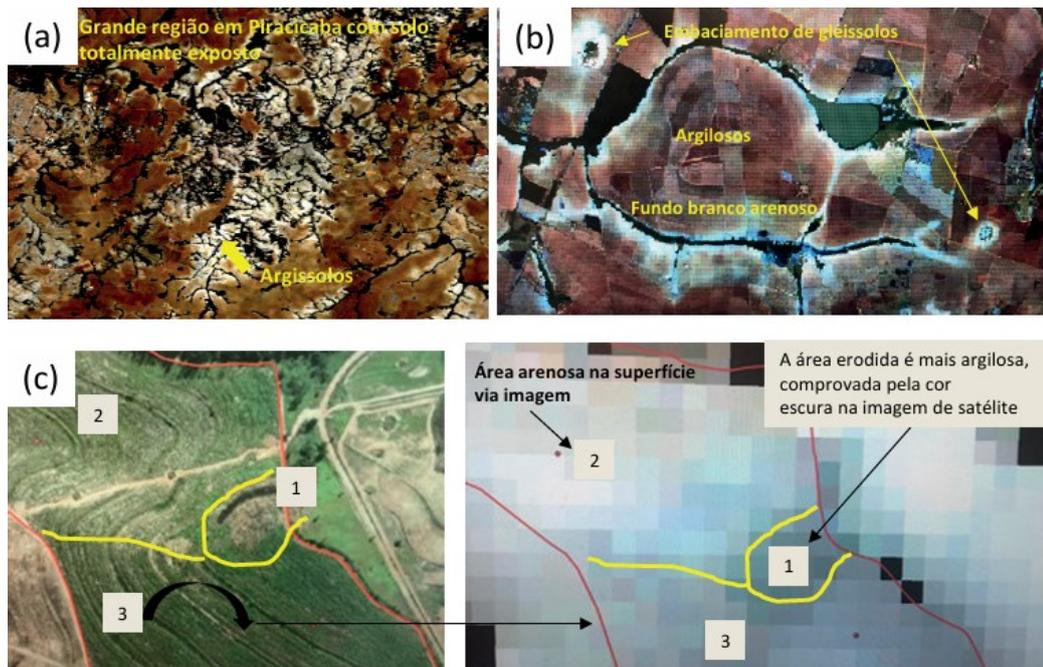


Figura 142 – Importância da visão sinótica no manejo físico do solo: (a) Transição abrupta de textura de solo impactando no manejo (Região de Piracicaba, SP), composição SEVIS 321 Landsat; (b) Identificação de áreas com problemas de drenagem (região de Santa Bárbara D'Oeste, SP), composição SEVIS 543 Landsat; (c) Identificação de áreas erodidas via satélite e desenvolvimento da planta com textura do solo, composição SEVIS 321 Landsat.

Atualmente, a detecção da textura superficial via satélite tem-se mostrado como a aplicação mais promissora da SEVIS. A Figura 143a apresenta uma área com cultura de café, identificada como arenosa. Esta, verificada a campo, apresentou um perfil de solo homogêneo de Neossolo Quartzarênico. No presente caso, como o relevo era ondulado, poderia se tratar de um Argissolo, sendo este caso uma limitação da diferenciação via satélite. Para isso, existe a ratificação em campo. A vantagem do emprego dessa ferramenta é a possibilidade de ir diretamente no centro da mancha. Nesse caso, a lavoura de café apresentou baixo desenvolvimento radicular e aéreo, justamente devido a essa característica, necessitando de manejo diferenciado, com manutenção da umidade do solo e aumento do teor de matéria orgânica.

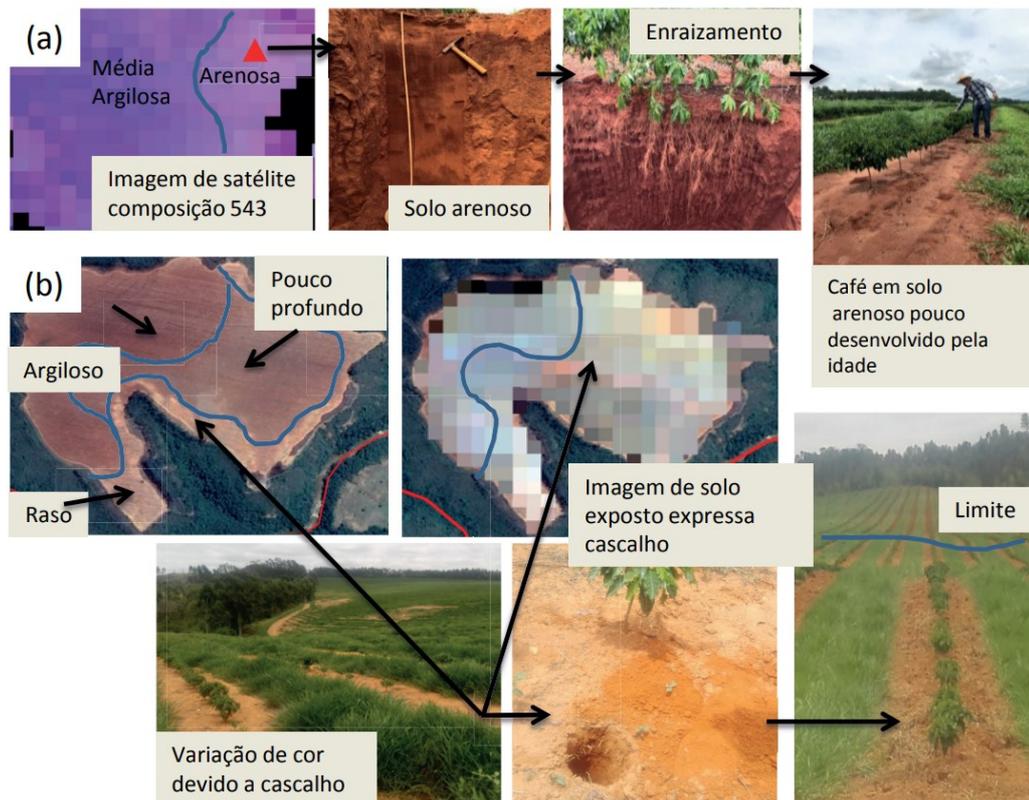


Figura 143 - Imagens do solo e do desenvolvimento das plantas de café: (a) Fazenda de Luisa Helena Borges, no estado de São Paulo (Crédito da foto: Gabriel Pimenta Barbosa de Sousa); (b) Fazenda de José Carlos Bacili, no estado de Minas Gerais. Crédito: Elaborada por Andrés Mauricio Rico Gómez. Na foto Eng. Agrônomo Gabriel Pimenta.

A detecção da profundidade do solo é uma limitação de quase todas as tecnologias. Por outro lado, existem situações passíveis de serem inferidas ou detectadas, por exemplo, a presença de cascalho, via diferentes níveis (satélite ou drones). Tais exemplos práticos são inúmeros em regiões como nos estados de Tocantins, Goiás, Minas Gerais e outros. Na Figura 143b, de uma fazenda cafeeira em Minas Gerais, a imagem de satélite com solo exposto apresenta cor avermelhada (ratificada como argilosa no campo), mas também manchas de cores diferenciadas. As manchas, verificadas no campo, eram de cascalho em diferentes níveis de severidade, e foram detectadas via satélite. Tal informação é crucial na delimitação adequada dos solos, para todo o processo de planejamento.

Problemas de drenagem do solo também afetam significativamente a maioria das culturas. Tal característica só é detectável via pedologia. Neste caso, o sensoriamento remoto apresenta uma capacidade fantástica, por meio das denominadas composições coloridas de bandas. As diferentes composições permitem expressar de maneira mais nítida alguma informação desejável, como, por exemplo, água. Observe a Figura 144a, região com cultura da cana-de-açúcar, onde estão numerados vários locais. Nos locais identificados como 0, o usuário facilmente identifica áreas de má drenagem, contudo, dentro das áreas de cana isso não é visível. Na Figura 144b, com a composição no infravermelho, com o solo totalmente exposto via tecnologia SEVIS, é possível detectar os sinais diferenciados. Nos pontos 1 e 2, o padrão começa a ser parecido com o ponto 0, ou seja, há sinal de má drenagem. Porém, na Figura 144c, além do ponto 1 e 2, o ponto 5 também apresenta sinal de encharcamento. Além disso, a ‘cor’ determina o grau de restrição da drenagem, da mais severa (pontos 0), as moderadas (pontos 1, 2, 5), até os locais com boa drenagem (3, 4). O ponto 3 indica uma área com boa drenagem, porém, com textura média, ao contrário do ponto 4, mais argiloso.

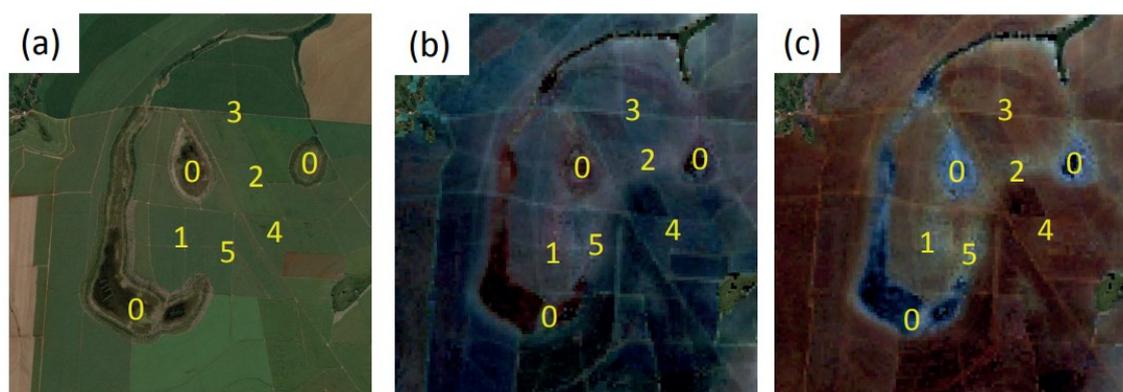


Figura 144 - Detecção de locais com problemas de drenagem em uma lavoura de cana-de-açúcar em Iracemápolis, SP, usando diferentes combinações ou composições de bandas de imagens de satélite: (a) imagem obtida do Google Earth, na composição de bandas que representa a cor verdadeira dos objetos. Imagens SEVIS mostrando o solo exposto nas composições (b) 543 e (c) 321. Observa-se que os padrões espaciais do solo (mudanças de tonalidade nas imagens) são mais perceptíveis nas imagens SEVIS porque não apresentam cobertura sobreposta, e cuja composição 543 representa com maior detalhe as partes úmidas dentro da lavoura do que a 321, devido à maior sensibilidade dessa região espectral à água no solo. **Fonte:** (Adaptada de Mello et al., 2022).

21.12 Análise Mineralógica

Existe uma alta correlação entre a composição mineralógica dos solos e a dinâmica da água e de solutos nos mesmos, ou seja, dependendo da mineralogia do solo, a necessidade de corretivos e de fertilizantes será alterada. Assim, a informação mineralógica é muito importante para o manejo da fertilidade – a textura do solo, os teores de matéria orgânica, a mineralogia e a superfície específica dos minerais influenciam, por exemplo, a capacidade do solo em adsorver o fósforo (P) (SANCHEZ, 2019). O processo de adsorção de P por minerais pode acontecer preferencialmente na seguinte ordem: argilas 2:1 < argilas 1:1 (como a caulinita) < óxidos cristalinos de Fe e Al < óxidos amorfos de Fe e Al (HAVLIN et al., 2005; WEIL; BRADY, 2016). Em relação aos óxidos de ferro, a goethita apresenta maior poder de adsorção que a hematita (RESENDE et al., 2019). Curi et al. (1988) demonstraram alta variação de retenção de P em Latossolos (0,495 a 3,400 g de P por kg de solo) e alta relação entre quantidade de Fe₂O₃ (obtido pelo ataque sulfúrico) e retenção de P no solo.

Outra relação ocorre entre mineralogia e capacidade de retenção de água pelo solo, devido à estrutura dos minerais, mas principalmente devido à sua relação com a estrutura do solo. Por exemplo, Latossolos ricos em gibbsita são mais permeáveis, enquanto Latossolos do Planalto Meridional, ricos em vermiculita (mineral 2:1), apresentam permeabilidade mais baixa (RESENDE et al., 2019).

Técnicas como a susceptibilidade magnética, medida por sensores, podem auxiliar na caracterização mineralógica dos solos e, conseqüentemente, na sua relação com o fósforo adsorvido (P_{ads}) (CAMARGO et al., 2016). Ratifica-se o potencial de sensores na caracterização do meio, auxiliando na definição do manejo. Por que, então, não se realizam análises mineralógicas de solos para fins de manejo? Tal informação, obtida pela maneira tradicional, resulta de processo extremamente dificultoso em laboratório, que demanda reativos caros e perigosos, o que torna a espacialização da mineralogia dispendiosa. Por causa dessas dificuldades, foi deixada de lado pelo setor produtivo, mas para pesquisadores é reconhecidamente importante. Isso também teve impacto na atividade dos consultores agrícolas, que pouco se envolveram na utilização prática da mineralogia do solo. Com o advento dos sensores, existe a tendência desse quadro mudar.

As técnicas de sensoriamento remoto, ou sensoriamento próximo, de maior potencial de aplicação em solos são as estimativas da textura, da matéria orgânica e da

mineralogia. Elementos como caulinita, montmorilonita, ilita, gibbsita, hematita, goethita, quartzo, alguns magnetizáveis, entre outros minerais, podem facilmente ser quantificados/identificados via sensores. Silva et al. (2019) atingiram coeficiente de determinação (R^2) de 0,91 na quantificação do teor de Fe_2O_3 via raios X de fluorescência (pXRF) em laboratório. Demattê et al. (2009) chegaram a R^2 de 0,82 em laboratório (Vis-NIR) e 0,7 via satélite, a 800 km do alvo. Esses dados mostram que é possível obter essas informações de maneira rápida, não destrutiva e sem produtos. Ressalta-se que, diferentemente do que acontece em um laboratório tradicional, onde existem diferentes metodologias e procedimentos para obtenção de dados de textura, matéria orgânica e teores de Fe_2O_3 , por exemplo, a estimativa via sensores parte de uma única coleta de dado do sensor (espectro) para estimar esses atributos, variando apenas os processamentos e os modelos de estimativa.

Um exemplo prático da importância da mineralogia no manejo da fertilidade pode ser observado em uma fazenda localizada no estado de Goiás, que cultiva soja (Figura 145). Após a obtenção do mapa pedológico, observou-se que duas áreas mostraram a mesma classe de solo – Latossolo Vermelho distroférrico muito argiloso – em relevo plano. Ambas as áreas apresentam a mesma altitude e clima [Figura 145a, perfil 1 (P1) e Figura 145b, perfil 2 (P2)]. Porém, a cultura da soja cultivada era profundamente afetada na área do P2, onde a água drenava rapidamente através do solo, ao contrário da área do P1. Analisadas as trincheiras, não se observou nenhuma diferença, nem impedimentos (compactação, por exemplo). As análises de fertilidade do solo tradicionais eram extremamente semelhantes. Como elas medem o pH em solução de $CaCl_2$, não era possível saber se o solo era ou não ácido. Realizadas as análises pedológicas (pH em água e KCl, permitindo o cálculo para verificação de caráter ácido), nenhum dos solos estudados se enquadrava como ácido. Porém, após a solubilização das amostras de solo com ácido sulfúrico, observou-se que P1 e P2 apresentaram relação molecular SiO_2/Al_2O_3 (K_i) de 1,5 e 0,6, respectivamente. Sabe-se que quanto menor o K_i mais intemperizado é o solo, maior a quantidade de gibbsita, com alto ponto de carga zero, gerando mais cargas positivas e alto desenvolvimento de microagregados, resultando em alta permeabilidade. Logo, o solo da área P2 não retinha água nem nutrientes, explicando a variação na produtividade.



Figura 145 - Perfis de solo da região do sul de Goiás: (a) Latossolo Vermelho distroférico argiloso com relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (k_i)= 0,6; (b) Latossolo Vermelho distroférico com $k_i = 1,7$. Ambos localizados em relevo plano, na mesma altitude, a 400 m de distância entre si; c) Exemplo da qualidade da amostragem. Imagem Landsat via SEVIS. **Fonte:** Apagri Consultoria Agronômica.

21.13 Qualidade da Amostragem de Solo

A qualidade da amostragem de solo é uma preocupação recorrente. Todos os fundamentos das decisões têm como base os resultados da análise de solo provenientes de uma amostragem. Erros de coleta, localização, identificação e contaminação são parte do processo e, por isso, há uma preocupação constante no aperfeiçoamento. Neste quesito, o sensoriamento remoto pode dar sua contribuição. Por exemplo, a análise da imagem de satélite pode mostrar uma coisa e o resultado da análise de solo outra. Se não houvesse a imagem, o resultado seria utilizado, logo, ela passa a ser um aliado na análise da qualidade ou detecção de inconsistências. Num caso ocorrido na região de Piracicaba, São Paulo, observou-se, via imagem SEVIS, que os solos da área eram arenosos. Entretanto, as análises de solo do referido local indicavam ser muito argilosos. A análise via assinatura espectral dificilmente erra, pois tem um fundamento físico. Solicitada nova amostragem, concluiu-se que o local era realmente de solo arenoso. A Figura 145c, mostra a cor esbranquiçada na tela (imagem indicando solo arenoso), e a amostra de terra “tida como do local da amostragem” que era argilosa e coincidia com a análise de solo. Neste caso, houve erro no local de coleta. Este é um exemplo de triagem e análise de consistência.

21.14 Índices de vegetação: o que são e como interpretá-los

Além da visão do solo, o sensoriamento remoto permite analisar a planta. Os índices espectrais servem para analisar a condição da vegetação natural ou agrícola nas imagens geradas por sensores remotos ou não. Um índice é determinado por meio de cálculos matemáticos de dados advindos de bandas espectrais frequentemente provenientes de satélites ou drones. Cada banda possui valores arranjados numa matriz (imagem) provenientes da energia solar que foi refletida pelo alvo dentro de faixas específicas do espectro eletromagnético. Observa-se na Figura 134 que para o cálculo do índice NDVI são necessárias apenas duas faixas, ou bandas – vermelho e NIR. A relação entre elas indica a condição da planta no momento da medição (ou passagem do satélite, por exemplo), resultando em valores finais que variam entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior é o ‘vigor’ da planta e a sua cobertura. Valores negativos ou próximos de 0 indicam áreas de água ou solo exposto.

Inúmeros índices foram criados desde o surgimento do sensoriamento remoto, os quais foram implementados com sucesso para a detecção e avaliação da condição da vegetação. Entretanto, o NDVI ganhou destaque pela sua simplicidade de cálculo e interpretação, assim como pela sua compatibilidade com uma extensa gama de sensores. Na literatura existem inúmeros trabalhos relacionando os índices de vegetação com diversos assuntos. No setor comercial, o NDVI foi amplamente, e muitas vezes, erroneamente utilizado na determinação da produtividade, na detecção de pragas e doenças, do estresse hídrico, do padrão das plantas, entre outros. Tal fato gerou questionamentos e até descrédito pelo mercado sobre o emprego desse índice. Entretanto, esses índices de vegetação auxiliam consistentemente no diagnóstico da condição de um objeto. Contudo, não podem ser utilizados isoladamente. Sempre devem ser acompanhados de outras informações, como a curva espectral (completa), que permite uma interpretação mais íntegra, porém, exige maiores conhecimentos técnicos, como, por exemplo, dados climáticos. Hoje, sabe-se que as informações do SWIR têm grande importância para estudos de plantas. Sabe-se também que o emprego isolado de um índice de vegetação dificilmente conseguirá determinar exatamente o tipo de praga ou de doença que afeta uma cultura. Ele pode indicar onde há problemas, alterações ou condições diferentes das normais, mas não tem como identificar a sua causa. Logo, podem orientar o local onde se dirigir no campo e, assim, avaliar qual é o problema in situ.

O NDVI pode não ter a capacidade de representar as condições da vegetação e tende a se uniformizar (saturar) devido a vários fatores inerentes à cultura e à umidade. No caso específico da soja, por exemplo, ocorre uma saturação do NIR, dificultando a sua relação direta com a produção, ao contrário do milho. Na cana-de-açúcar isso é extremamente variável em função da variedade utilizada. Porém, nada disso deprecia a técnica, apenas indica o cuidado que se deve ter na análise da informação. Concluindo, os índices de vegetação são importantes como qualquer outra ferramenta de análise, mas devem ser utilizados com critério e cautela.

A Figura 146 é um exemplo do emprego do índice de vegetação para avaliar a cobertura vegetal de uma área cultivada com cana-de-açúcar na região do Mato Grosso. A Figura 146a representa a imagem da região fornecida pelo Google Earth, mostrando a cultura. A Figura 146b mostra a imagem de satélite da área, com a aplicação da tecnologia SEVIS, deixando todo o solo descoberto. Observar a intensa variabilidade de manchas claras (solos mais arenosos) e mais escuras (solos mais argilosos). A Figura 146c apresenta a imagem de valores de índice de vegetação NDVI, na qual as cores esverdeadas mais escuras representam as plantas mais vigorosas. As variações de cores também são influenciadas por idade, umidade, época de plantio e variedade. Entretanto, algumas conclusões podem ser tomadas. Observe que as áreas identificadas como 1, 3, 4, 5, 6, 8 e 9 na Figura 146a mostram manchas coincidentes com as detectadas na Figura 146b, com solo exposto. Porém, os pontos 2, 7, 10, 12, 13 e 14 não aparecem na imagem da Figura 146a. Neste caso, a imagem normal retratada pelo Google, correspondente à da cultura, por algum motivo não expressou a característica de solo mais arenoso detectada. Mas a mancha arenosa existe, pois foram feitas as apurações no campo. Por outro lado, a Figura 146c apresenta o NDVI. O índice mostrou alguma alteração, como plantas menos vigorosas nos pontos 1, 7, 3, 4 e 11. Nos demais pontos não se visualiza nenhuma alteração, mesmo correspondendo a manchas de solo arenoso, ou seja, tanto a imagem real quanto a imagem com índice de vegetação não apresentam total concordância com a variabilidade detectada no solo. Logo, a imagem do solo exposto passa a ser a única informação plena, pois não varia, o que também foi observado por Wolanin et al. (2019). Daí o cuidado que deve ser tomado na interpretação dos índices de vegetação.

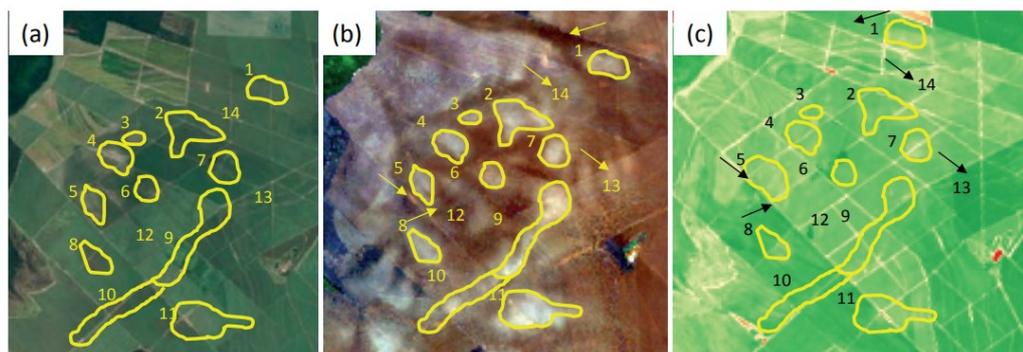


Figura 146 - Áreas de solo demarcadas para efeito comparativo na região do Mato Grosso: (a) Imagem do Google; (b) Imagem de satélite, Sistema SEVIS, composição 321RGB Landsat 5; (c) Imagem com índice de vegetação NDVI.

21.15 O poder da informação geoespacial: visão sinótica

Algumas décadas atrás, a interpretação das condições do solo era realizada a partir da observação visual de valores de seus atributos, em um simples caderno e em um mapa de classes de solo, os quais tinham que ser relacionados (mentalmente) para se chegar a um diagnóstico e recomendação. Esse mecanismo depende muito do conhecimento (tácito) e da experiência, que variam entre profissionais. Tempos mais tarde, com a chegada do geoprocessamento, e mediante programas de computador que utilizam geoestatística para espacializar as informações, facilitou-se a elaboração de mapas temáticos do solo – mapa de cálcio, magnésio, potássio, entre outros –, que auxiliam na gestão e na tomada de decisão. Além disso, o lançamento do Google Earth, em 2005, permitiu aos usuários observar grandes variações espaço-temporais das paisagens, disseminando a visão sinótica do mundo em toda a sociedade e no setor produtivo.

A ligação entre valores pontuais de atributos do solo, obtidos de análises tradicionais, e imagens da superfície terrestre, vistas desde o espaço aéreo – seja por drone, seja por satélite – permitiu uma melhor percepção do meio. Essa visão sinótica proporcionou ao usuário importante capacidade de análise e interpretação, assim como diagnósticos mais precisos. Esse contexto sinótico também foi acompanhado da disponibilização de grandes volumes de dados de sensoriamento remoto (por exemplo, imagens de satélite e modelos de elevação), da evolução do poder dos computadores, da formalização de modelos usados em mapeamento digital de solo (por exemplo, scorpan), da aparição de novas técnicas para modelagem, como machine learning, que conseguem

lidar com o elevado número de informações providas pelo aumento da disponibilização de dados de sensoriamento remoto. São vários os fatores que contribuíram para o grande número de mapeamentos temáticos do solo, assim como mapeamentos (quantitativos) dos seus atributos. Antigamente, os mapas eram mais qualitativos (categóricos), agora são mais quantitativos (pedométricos). Todos esses avanços estão permitindo que os sistemas de monitoramento por satélite e as inúmeras informações obtidas por espectroscopia sejam passíveis de integrar tantas aplicações quanto a imaginação permitir.

21.16 Limitações

As limitações no emprego da tecnologia SEVIS variam em função do nível de aquisição de dados. Logo, tudo depende do objetivo do usuário e das condições de sua região (clima, solo), do poder aquisitivo, dos equipamentos e dos recursos humanos disponíveis. Deve-se analisar caso a caso. Também deve-se atentar para a limitação que cada faixa do espectro apresenta quanto à finalidade de sua aplicação, pois cada uma apresenta vantagens e limitações e são mais ou menos aplicáveis, dependendo do objetivo, por isso a necessidade da fundamentação básica-teórica. Nesse contexto, o ponto que merece observação é referente aos recursos humanos capacitados para a utilização dessas informações e equipamentos. Todas as tecnologias apresentadas são de ponta, pouco ensinadas na academia, seja no nível técnico, seja na graduação. Logo, e por ora, só existem especialistas de nível superior, geralmente pós-graduados. Considerando que o sistema caminha a passos largos, em breve faltará profissional especializado nessas áreas de atuação. Assim, deve-se investir na modernização dos cursos de graduação e pós-graduação, bem como nos cursos técnicos.

Além da limitação de recursos humanos, uma importante limitação observada na tecnologia SEVIS é que a mesma detecta somente a camada superficial do solo, cujos dados representam as propriedades da camada de 0-20 cm de profundidade, no caso de áreas agrícolas que recebem preparo do solo. Uma área de textura arenosa em superfície, por exemplo, pode apresentar uma camada de argila em subsuperfície, como ocorre em alguns Argissolos. Isso é fato. Por outro lado, conhecendo-se os fundamentos do solo, pode-se delinear respostas preliminares para depois comprovar, com as observações a campo, as propriedades em subsuperfície. Por exemplo, se a área analisada é arenosa na superfície, pode caracterizar um Neossolo Quartzarênico ou Argissolo. Porém, se o relevo

for ondulado, há maior probabilidade de ser um Argissolo. Logo, percebe-se que o importante é conhecer as ferramentas que se tem disponíveis e utilizá-las com cuidado e bom-senso na predição espacial dos solos e de seus atributos.

21.17 Iniciativas atuais e futuras

O sensoriamento remoto foi apresentado pela Food and Agriculture Organization (FAO) em um evento na Itália, em 2013 (OMUTO et al., 2013), como uma potente ferramenta para análise e mapeamento de solos. Em 2018, também foi reconhecido pela Agência Espacial Europeia (ALBU- QUERQUE, 2019). Recentemente, a Sociedade Americana de Ciência do Solo reconheceu a determinação de teores de argila, matéria orgânica e pH via VIS-NIR-SWIR como uma nova metodologia consolidada (GE et al., 2019). Assim, a utilização de espectros de refletância para analisar o solo tem ganhado destaque com a criação de Bibliotecas Espectrais de Solos em nível global (VISCARRA ROSSEL et al., 2016) e nacional (DEMATTÊ et al., 2019), que já contam com mapas interativos. Com a disponibilização desta plataforma, os usuários poderão utilizá-las para analisar as suas amostras de solo via internet.

Atualmente, existem algumas iniciativas relacionadas a esse assunto. Em termos de difusão dos fundamentos, também há o ProBASE – Programa Brasileiro de Análise de Solo via Espectroscopia – que tem por objetivo capacitar tanto os laboratórios tradicionais de análise de solo quanto os professores, pesquisadores e consultores sobre os tópicos que contemplam desde os fundamentos dos sensores próximos e remotos até as suas aplicações na agricultura, seja dentro de um laboratório, seja na interpretação de imagens adquiridas por drones, aeronaves e satélites. Desde 2017, a Rede Global de Laboratórios de Solos – GLOSOLAN, em inglês – reuniu mais de 200 laboratórios de análise de solo de todo o mundo, realizando, em 2019, o primeiro encontro internacional sobre espectroscopia de solo. Ben-Dor et al. (2015) e Romero et al. (2018) protocolaram diretrizes para a obtenção de dados espectrais de solo em sensores de laboratório e o seu uso para elaboração de bibliotecas espectrais. No setor comercial, existem algumas iniciativas, como o SoilCares (AGROMISA, 2017).

Na área da pesquisa, a inteligência artificial encontra-se em plena evolução, desde 1932, com um simples sensor a campo (Figura 147a), até as mais modernas tecnologias, como o sistema LIBS, do inglês Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (COSTA et al.,

2019). No sistema LIBS, um pequeno robô emite um feixe de laser na amostra de solo, o qual induz a geração de um plasma que é captado pelo sensor, permitindo, assim, determinar os teores totais de vários elementos presentes no solo (Figura 147b). Trata-se de uma tecnologia espacial (Figura 147c). Além disso, o sensoriamento já vem trazendo junto as avaliações de solos em tempo real via Bluetooth, como o soil care (Figura 147d). Estas, porém, ainda estão em fase de testes.

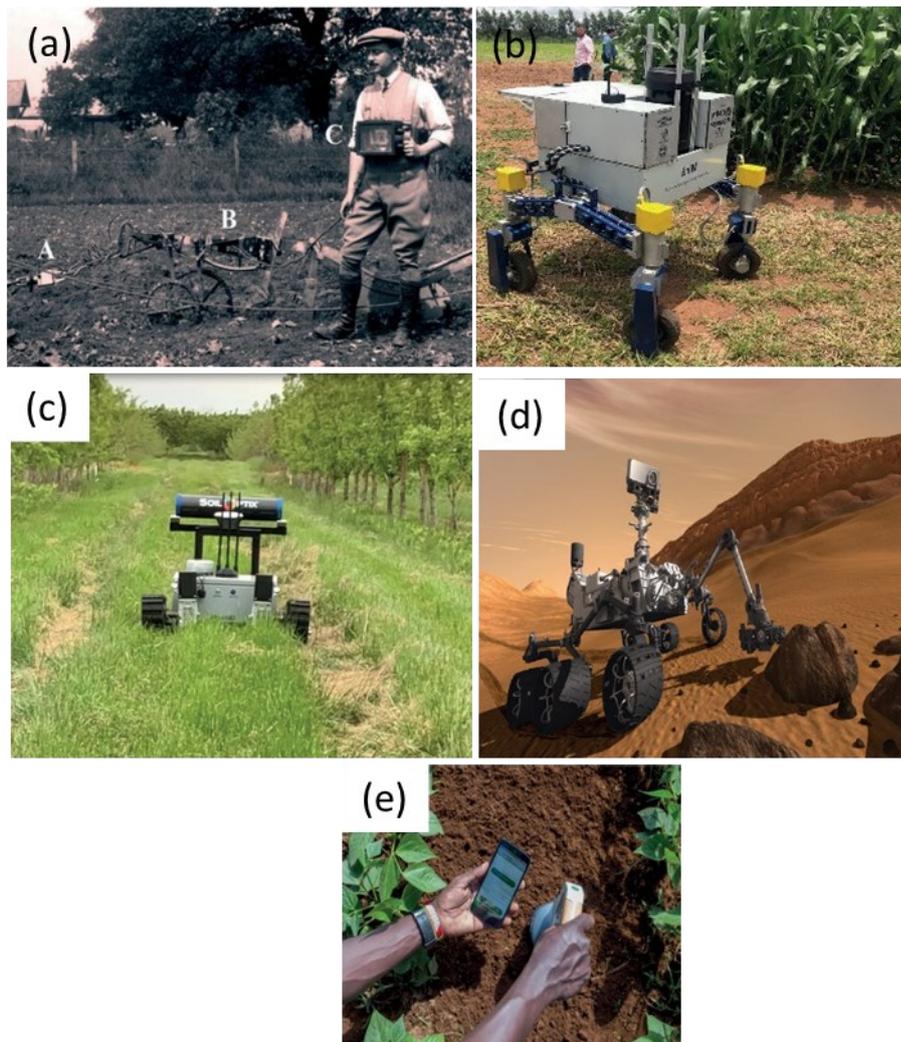


Figura 147 - Evolução da inteligência artificial: (a) Um dos primeiros sensores in situ; (b) Robô Mirã, que realiza análise de solo (teor total) com Sistema LIBS; (c) Robô comercial da SoilPix para medição de raios gama e zonas de manejo; (d) Robô em Marte; (e) Serviço comercial da Soil Care on-line. **Fontes:** a) Keen e Haines (1925); b) EMBRAPA (2015); c) SoilOptix (2020); d) NASA (2020); e) AGROMISA (2017).

21.18 Considerações finais

Grande parte dos agricultores tem uma visão limitada a respeito da importância da caracterização do solo, pois entendem que ela está relacionada principalmente à análise da fertilidade. Sabe-se que a análise química tem enorme importância no manejo da fertilidade, porém, ela está longe de caracterizar adequadamente o solo. Logo, o processo diagnóstico é falho, por ser incompleto. Um exemplo prático é observar um agricultor que, ao caminhar no campo, comenta que a área de sua propriedade é arenosa, porém produtiva (mas só tem análise textural até 40 cm). O produtor assume que a área é altamente produtiva, já que nela foi aplicado fertilizante. Porém, muitas vezes, ele reclama que não há uma total concordância entre a aplicação do adubo e a melhoria da produtividade da cultura. Em uma análise mais acurada, foi observado que os locais ditos arenosos apresentavam uma camada de argila a 45 cm de profundidade. Isso caracteriza um Argissolo, que retém mais água, ou seja, o fertilizante fez seu papel, mas foi mascarado pelo efeito da água para a planta. Em outro exemplo, o agricultor diz que sua área tem alto potencial produtivo de soja, e que o teor de argila é de 70%. Porém, em muitos locais surgem reboleiras, onde as plantas não se desenvolvem adequadamente, mesmo com adubação. Em uma análise mais profunda, observa-se, pelas análises químicas para pedologia, que o pH em água e o pH em KCl indicam ser um solo com caráter ácido, ou seja, são solos muito intemperizados e com baixíssima retenção de água e nutrientes. Isso jamais teria sido detectado pela análise de fertilidade tradicional, pois a mesma só avalia pH em CaCl_2 . Em ambos os casos, somente análises pedológicas poderiam ter detectado o problema.

Geralmente, quando uma tecnologia chega ao mercado e não apresenta resultados, gera frustração nos usuários. Todas as tecnologias têm vantagens e limitações. O problema, geralmente, não está na tecnologia em si, mas na forma como ela é introduzida no mercado. Isso está diretamente relacionado ao grau de informação entre todas as partes, da comunidade acadêmica, dos vendedores, dos extensionistas, dos compradores e dos consultores. Isso só pode ser resolvido por meio da informação, facilitando a comunicação entre todos.

As tecnologias via sensores remotos ou próximos tem alto valor agregado, o que, ainda hoje, muitos usuários não percebem. Atualmente, a humanidade está no centro da maior revolução tecnológica da agricultura, graças a potentes computadores, softwares, satélites e muita informação gratuita na internet. Os métodos computacionais avançam de

maneira exponencial, chegando à inteligência artificial e à nanotecnologia, o que, muitas vezes, dificulta o acompanhamento pelos usuários. É notável a quantidade e a qualidade de dados que estão sendo gerados. Tais fatos indicam uma revolução silenciosa que já toma conta de todos os setores da economia. Na agricultura não poderia ser diferente.

22 CAPÍTULO 22. AGRICULTURA DE PRECISÃO E O MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO

O desenvolvimento deste tópico teve o apoio do Prof. Tiago Tavares.

22.1 Contextualização

Atrelada aos avanços tecnológicos das últimas décadas e considerada por alguns autores uma entre as dez principais revoluções ocorridas na agricultura nos últimos 50 anos (Crookston, 2006), a Agricultura de Precisão (AP) preconiza considerar e tratar de forma adequada a variabilidade espacial e temporal das lavouras (Molin et al., 2015). A filosofia da AP de promover uma gestão espacialmente otimizada dos insumos agrícolas, permite incrementos de produtividade e um uso racional dos recursos de produção. Estas características da AP, fazem-a uma das ferramentas promissoras para atender os desafios globais da agricultura do século XXI (Gebbers e Adamchuk, 2010), i.e., alcançar segurança alimentar e energética para mais de 9 bilhões de habitantes nas próximas décadas (Godfray et al., 2010), alinhando, ao mesmo tempo, produção agrícola e práticas de conservação ambiental (Foley et al., 2011).

Desde sua concepção, em meados da década de 1980, a AP esteve estreitamente relacionada à gestão da variabilidade espacial da fertilidade do solo (Molin e Tavares, 2019). O gerenciamento localizado da fertilidade do solo faz parte dos procedimentos de boas práticas de gerenciamento de nutrientes (i.e., manejo de nutrientes 4C) (Fixen, 2020), permitindo a aplicação de fertilizantes na taxa certa e no lugar adequado. Isso evita excesso ou déficit em áreas específicas, levando a ganhos agronômicos, econômicos e ambientais (Nawar et al., 2017). Além disso, os mapas de atributos do solo são camadas essenciais de informações em bancos de dados e experimentação direto na fazenda (Lacoste et al., 2022), permitindo o desenvolvimento de sistemas de tomada de decisões multicausais. A Figura 148 ilustra os processos para monitoramento de variáveis agrícolas para orientar a tomada de decisão e gerenciamento de intervenções localizadas em talhões agrícolas.

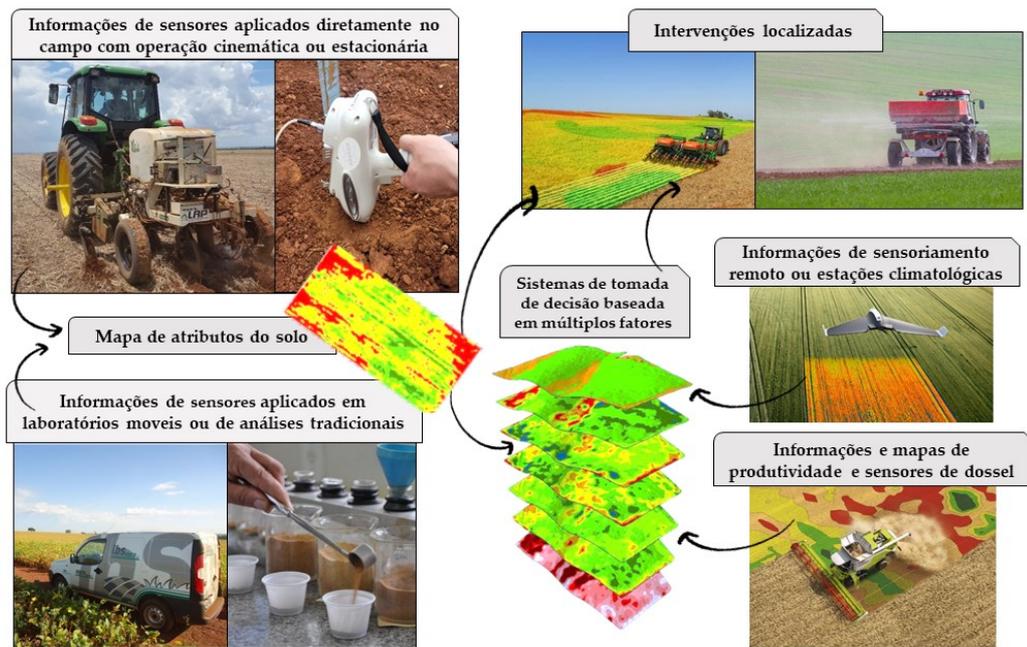


Figura 148 - Ilustração das possibilidades de monitoramento de variáveis agrícolas na Agricultura de Precisão. Sensores sendo usados diretamente no campo e em bancada usando laboratórios móveis para criar mapas de atributos do solo, planta e colheita para fornecer informações para sistemas de tomada de decisão baseada em múltiplos critérios que norteiem aplicações de insumos em taxas variáveis.

O manejo tradicional de insumos, sem considerar a variabilidade espacial, implica em uma aplicação ineficiente destes insumos, com excesso ou falta em locais específicos. Por exemplo, em aplicações excessivas de fertilizantes, os nutrientes não utilizados pelas plantas e não retidos pelo solo são perdidos para o meio ambiente por meio de lixiviação, escoamento superficial e emissões de gases. Além disso, este excesso, aumenta os níveis de contaminação no solo e águas, representando um custo oculto para a sociedade (Hyttiäinen et al., 2011). Em relação a falta do insumo, tem-se influências negativas no desenvolvimento das culturas e, conseqüentemente, em sua produção. Aplicações de nutrientes ajustadas e espacialmente precisas podem reduzir essas perdas agrônômicas, econômicas e ambientais (Nawar et al., 2017).

O Brasil é um dos maiores consumidores de fertilizantes do mundo, sendo o maior importador mundial dessa commodity no início da década de 2020. Isso se dá, devido ao predomínio de solos tropicais ácidos e de baixa fertilidade e, não por acaso, a principal prática da AP no país é a gestão da adubação e da correção de acidez de solos agrícolas,

com base no mapeamento de seus atributos em nível de talhão. Cerca de 15,3% dos produtores brasileiros de grãos utilizam esta abordagem, somando um montante estimado de 9 milhões de hectares de solos mapeados (Molin, 2017); abordagem que também vem associada a um expressivo mercado de prestação de serviço no país.

Para a implementação bem-sucedida do manejo localizado do solo, procedimentos e tecnologias confiáveis são necessárias para o diagnóstico da variabilidade espacial (latitude, longitude e profundidade) e temporal de seus diferentes atributos de interesse agrônômico e ambiental. O procedimento metodológico predominantemente utilizado hoje no Brasil envolve a coleta de amostras em grade ou outros arranjos, como pontos amostrais georreferenciados. Essas amostras são enviadas para análises em laboratórios de fertilidade e, posteriormente, há a criação dos mapas, utilizando métodos de interpolação.

No entanto, a densidade de amostragens é limitada pelos custos das análises laboratoriais e pela dificuldade operacional da logística de amostragem (Mc Bratney et al. 2003, Demattê et al. 2015). Trabalhos científicos em solos brasileiros, demonstram que a densidade tradicionalmente empregada hoje ($< 0,5$ amostras ha⁻¹), não é suficiente para a caracterização fidedigna da distribuição espacial da maioria dos atributos de fertilidade (Nanni et al. 2011, Cherubin et al. 2015). Isto corrobora com a visão de diferentes pesquisas internacionais realizadas nas últimas décadas (Webster & McBratney, 1987; McBratney & Pringle, 1999; Viscarra Rossel et al., 2011).

O sensoriamento do solo é visto como uma solução promissora para incrementar a densidade de dados sobre os atributos de fertilidade do solo sem enviar ainda mais amostras para análises de laboratório. Nos últimos anos, a aplicação de diferentes técnicas de sensoriamento, para aquisição de dados digitais relacionais à atributos do solo, tem recebido a atenção de cientistas da comunidade de AP (Adamchuk et al., 2004) e Ciência do Solo (Brevik et al., 2016). O conceito de Sensoriamento Proximal do Solo (PSS) foi recentemente estabelecido pela publicação de Viscarra Rossel et al. (2011), para se referir ao uso de sensores com o princípio de funcionamento compatível com operações diretamente no campo, atuando em contato direto ou próximos (até 2 m) ao solo.

Um dos principais desafios é minimizar a perda de qualidade dos dados ao utilizar as diferentes técnicas em amostras em condições de campo (e.g., com diferentes umidades, granulometria etc.) (Galuszka et al., 2015). Por outro lado, também é consenso

que a perda de acurácia analítica seria, de certa forma, compensada pelo incremento massivo da densidade espacial das informações (Molin et al., 2015), bem como pela utilização de métodos de filtragem espacial e estatística, já estabelecidos para outras abordagens de AP (Menegatti & Molin, 2004), os quais permitem a remoção de erros grosseiros.

Nos últimos anos, a adoção de novas tecnologias de sensoriamento para caracterizar a variabilidade espacial do solo, e.g., espectroscopia de raios gama (Kassim et al., 2021), espectroscopias de refletância difusa (Demattê et al., 2019), e espectroscopia de fluorescência de raios X (Tavares et al., 2020, 2023), têm ganhado atenção de cientistas. Estas novas tecnologias e o desenvolvimento de técnicas estatísticas, geoestatísticas, inteligência artificial e bibliotecas espectrais aumentou muito a capacidade de coletar, analisar e prever informações espaciais relacionadas aos solos brasileiros (Brevik et al., 2016). Ao mesmo tempo, ligar todas essas novas informações à tomada de decisões para a gestão localizada ainda têm seu desafio e a solução certamente passa pela condução de experimentação de precisão em campo (experimentação on-farm), como discutido por Lacoste et al. (2022). Além disso, o entendimento do potencial e limitação de cada tecnologia, bem como manter o foco no objetivo central de desenvolver sistemas de produção agrícolas mais eficientes, devem ser as diretrizes centrais para o desenvolvimento de abordagens práticas utilizando o sensoriamento do solo.

Em relação a área ambiental pode-se definir duas correntes relacionadas ao modo de desenvolvimento da agricultura. A primeira é defendida por ambientalistas e partidários de um sistema de agricultura natural e a segunda defendida pelos partidários de um sistema mais tecnificado.

O primeiro grupo argumenta que o sistema de agricultura com elevado nível tecnológico é poluente e degrada o ambiente. Por sua vez o outro grupo apresenta os seguintes argumentos em defesa do sistema com elevado nível tecnológico:

a. O sistema com baixo nível de manejo apresenta baixa produtividade, normalmente 3 a 4 vezes menor do que o outro. Em consequência haver necessidade de 3 a 4 vezes mais áreas para o cultivo, degradando ainda mais o ambiente, faltando espaço para lazer, recreações etc.

b. Por outro lado, o sistema com elevado nível tecnológico tende a aumentar ainda mais a produtividade e com isso haverá menor necessidade de expansão de área para agricultura agredindo assim menos o ambiente, e sobrando mais espaço para lazer etc.

Em defesa deste grupo vem agora a Agricultura de Precisão com o seguinte argumento: considerando que num sistema de elevada tecnologia o uso de adubos, corretivos, inseticidas, herbicidas etc., tem sido feito em larga escala e muitas vezes de maneira pouco tecnificada. Com o auxílio de equipamentos que permitem a aplicação localizada da real necessidade de fertilizantes, herbicidas etc., o sistema toma-se menos poluente.

Independentemente destes argumentos e das diferentes opiniões relacionadas aos níveis tecnológicos empregados na agricultura a questão que pode ser levantada é a seguinte: a Agricultura de Precisão (AP) pode auxiliar no aumento da produtividade agrícola?

Vejamos rapidamente os principais passos necessários para fazer com que o sistema da AP possa ser colocado em prática.

a. Obtenção de amostras de solos georreferenciadas (uso de GPS) em diferentes módulos de áreas dependente da variabilidade dos solos e do nível económico da cultura.

b. Obtenção dos resultados analíticos dos níveis da fertilidade das áreas amostradas, elaboração de programas específicos para obtenção dos mapas de calagem, gessagem, P e K.

c. Aplicação dos insumos de maneira pontual (localizada).

d. Na colheita haverá necessidade da obtenção do mapa de produtividade. Em nossa opinião este é um ponto básico para que o uso da AP tenha efeito prático. Infelizmente para algumas culturas a obtenção deste mapa de produtividade tem sido motivo para a estagnação do sistema.

e. Exame do mapa de produtividade. Munido deste mapa é necessário que se proceda o diagnóstico das áreas onde se esperava maior produtividade. Feito o diagnóstico é necessário proceder a correção ou atenuação do fator ou fatores limitantes.

Reside neste ponto a possibilidade do êxito ou fracasso do sistema de AP. Havendo como se constatar e corrigir os fatores limitantes das áreas específicas a produtividade pode aumentar e podemos afirmar que neste caso o sistema AP pode ser usado como opção de manejo.

Atualmente o sistema está mais difundido em culturas anuais onde se tem conseguido a geração de mapas de produtividade. O que não tem ocorrido com culturas semi perenes, como cana-de-açúcar.

Em relação a esta cultura há muitas dificuldades de natureza operacional. Imagine que o mapa de produtividade constatou compactação em determinada área de segundo corte. O que pode ser feito para reduzir o nível de compactação em tempo hábil? Em nossa opinião pouco pode ser feito. O exemplo aqui dado se referiu ao uso de insumos e fertilizantes, porém o sistema AP é mais amplo e pode ser direcionado também a área de herbicidas, inseticidas etc.

Abaixo, exemplos de mapas pontuais de diversos insumos assim como mapas de produtividade em cana-de-açúcar.

Tabela 167 - Nitrogen transformations after incubation of burnt and unburnt soils (Incubated at 25°C for 3 weeks. Mean of 5 samples).

Time since fire (months)	Depth (cm)						*D*
	Burnt			Unburnt			
	0-2	4-Feb	6-Apr	0-2	4-Feb	6-Apr	
(a) Mineralization of native soil organic nitrogen (ppm mineral nitrogen)							
1	28,6	13,4	7,2	8,9	13,4	9,9	8,9
2	16,4	6,2	7,2	8,6	5,0	3,2	6,8
4	14,6	5,4	7,5	17,4	14,4	9,2	NS
12	16,0	6,5	1,8	6,2	6,0	4,9	9,2
(b) Nitrification of added ammonium sulfate (ppm)^A							
1	3,6 (6)	2,4 (4)	4,0 (7)	7,5 (12)	10,2 (17)	5,7 (11)	NS
2	5,3 (9)	0,9 (2)	0,3 (1)	1,7 (3)	1,8 (3)	1,3 (2)	NS
4	25,0 (42)	14,3 (24)	17,7 (30)	53,4 (89)	33,6 (56)	30,3 (51)	23,8
12	0,5 (1)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	NS

^A Values represent the amount of nitrate obtained from the 60 ppm ammonium nitrogen added to the soil. Values in parentheses are percentage nitrification. NS, not significant.

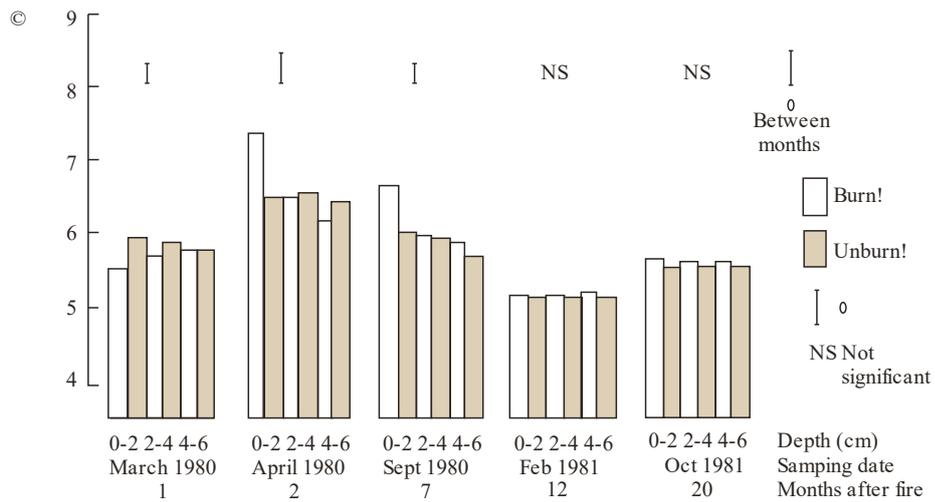
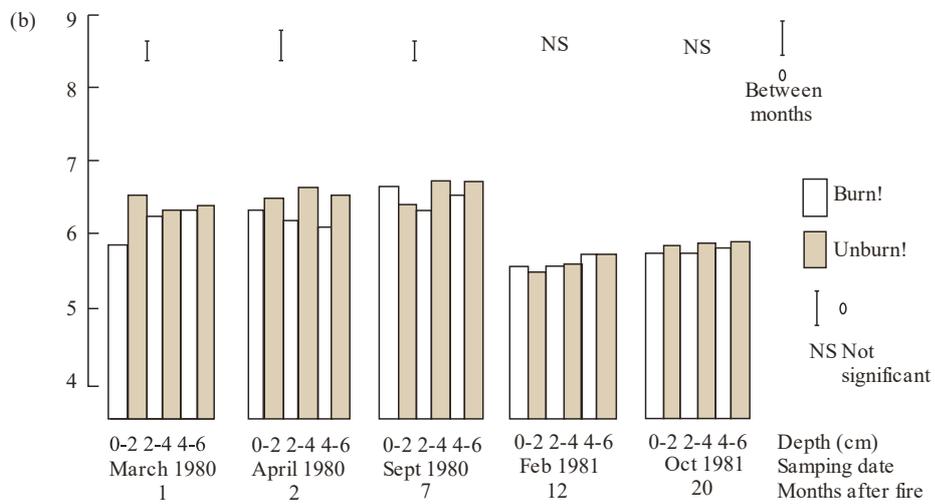
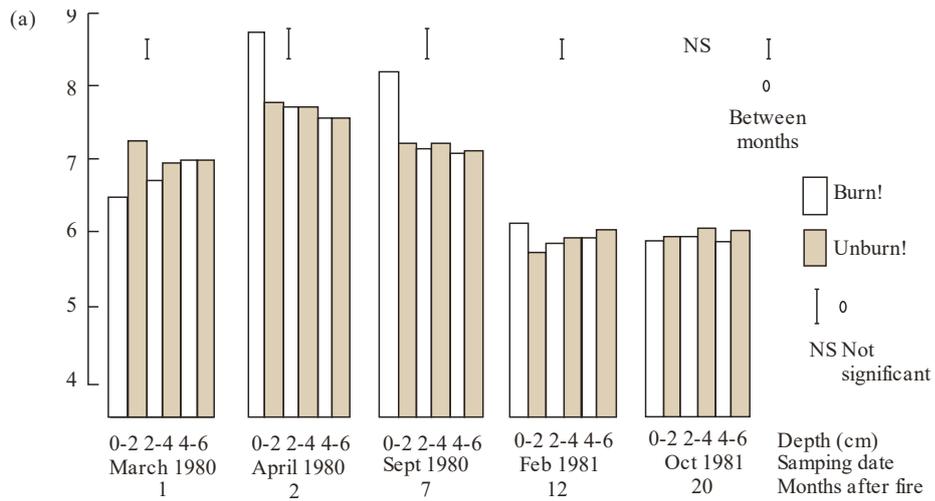


Figura 149 - Microbial counts in burnt and unburnt soils at different times after the fire: (a), Total bacteria; (b), Gram-negative bacteria; (c), Bacillus; (d) Fluorescent pseudomonads; (e), Actinomycetes; (f), Fungi.

22.2 Produção de alimentos e consumo de fertilizantes

Neste contexto, é interessante observar as informações de Borland & Dowswell (1993) sobre a produção de alimentos e consumo de fertilizantes em diversas regiões do mundo (Tabela 168). Tal produção, per capita, cresceu mais nas regiões do leste e do Sul da Ásia. Não é mera coincidência que o consumo de fertilizantes nessas regiões tenha aumentado perto de cinco vezes nos últimos 20 anos. Em contraste, a parte da África do Sub-Saara apresentou a menor taxa de consumo de fertilizantes tendo também registrado o pior desempenho na produção de alimentos. A América Latina em termos de consumo de fertilizantes ocupa ainda o penúltimo lugar com quase 4 vezes menos fertilizantes por ha do que a China, que até recentemente era a campeã no uso de adubo orgânico.

Quanto ao desenvolvimento de produtividade nos países mais populosos do mundo, China, Índia, EUA e ex-União Soviética (Tabela 169) nota-se que o desnível de produtividade entre a China e EUA se tem reduzido substancialmente a partir de 1991. Um dos fatores impulsores para o progresso da China no aumento de produção e de produtividade, deve-se especialmente as doze grandes e modernas unidades de 1000 t por dia de amônia, (além da produção de fosfatados), que entraram em funcionamento no final da década de 70.

Tabela 168 - Produção de alimento e consumo de fertilizante.

Região	Índice da produção de alimento per capita ⁽¹⁾	Consumo de fertilizante kg/ha de nutrientes em geral ⁽²⁾	
		1970/71	1989/90
Renda baixa a média	115	26	83
África do SubSaara	94	3	9
Ásia Oriental e Pacífico	127	36	190
Ásia meridional	116	14	69
Europa	102	88	142
África do Norte e Meio Leste	101	14	65
América Latina e Caribe	106	20	47
Outras economias (3)	113	46	110
Economias de alta renda	100	102	122
MUNDO	112	49	97

⁽¹⁾ Índice médio de produção de alimento (1978-8 1=100). ⁽²⁾ kg de nutrientes por ha de terra arável. ⁽³⁾ Esta classificação inclui a antiga União Soviética, Cuba e a República Democrática Popular da Coreia, onde os valores disponíveis são inadequados ou pouco confiáveis. Fonte: Relatório do Desenvolvimento Mundial, em Borlang & Dowswell (1993).

Tabela 169 - Produção (milhões t) e produtividade (t/ha) do conjunto de cereais.

Ano	China		Índia		EUA		URSS	
	Produção	Produtividade	Produção	Produtividade	Produção	Produtividade	Produção	Produtividade
1961	147,2	1,4	87,4	0,95	163,7	2,5	126,8	1,1
1965	181,0	1,6	79,7	0,87	183,7	3,0	114,6	0,95
1970	208,8	1,8	113,9	1,1	186,6	3,2	179,2	1,6
1975	238,6	1,9	123,6	1,2	248,1	3,4	134,6	1,1
1980	285,3	2,8	144,9	1,4	270,0	3,8	182,8	1,5
1985	339,5	3,8	164,6	1,6	346,9	4,8	180,6	1,6
1990	388,8	4,2	197,1	1,9	312,7	4,8	228,9	2,2

Fonte: Relatório do Desenvolvimento Mundial, em Borlang & Dowswell (1993).

23 CAPÍTULO 23. A interdisciplinaridade do manejo com a ciência do solo: opiniões

O objetivo deste tópico foi o de colocar em evidência profissionais do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ entre outros colegas, contribuindo com ideias de suas respectivas áreas de atuação. Logo, os próximos textos foram adaptados seguindo os propósitos dos colegas.

23.1 A importância da gênese no entendimento do funcionamento do solo

Este texto foi desenvolvido pelo prof. Pablo Vidal Torrado da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

O reconhecimento e interpretação de evidências de processos de formação do solo (processos pedogenéticos), permite compreender o funcionamento do solo como um todo, desde a sua formação até como os fluxos de água e de matéria se dão atualmente no perfil do solo. Por sua vez, esses processos são controlados pelos fatores de formação (material de origem, clima, relevo, vegetação e o tempo) e a interpretação de como se dá a interação entre eles nos ajuda a compreender como os solos se distribuem na paisagem, conhecimento básico para seu mapeamento e para a tomada de decisões de uso e conservação dos solos de uma propriedade. Esse conjunto de conceitos e teorias é objeto da Pedologia, que envolve os estudos de Gênese, Morfologia e Classificação de Solos. Logo, conhecer os solos em maior detalhe permite prever e compreender aspectos práticos para seu manejo de como as capacidades de infiltração e de retenção de água podem se dar em determinados tipos de solos, o que é determinante para a escolha de práticas de controle de erosão e para compreender as relações solo-planta. Por outro lado, o manejo químico dos solos (correções mormente) depende de conhecer a mineralogia das argilas, que por sua vez são formadas ou herdadas a depender da gênese desses solos.

23.2 O relevo como fator de formação, evolução e comportamento do solo

Este tópico foi desenvolvido pela Profa. Selma Simões de Castro, Instituto de Geociências, IGE/UNICAMP.

O relevo é consagrado como um dos fatores de formação, evolução e comportamento/funcionamento dos solos na superfície terrestre, sobretudo porque controla a direção e tipo de fluxos de energia e matéria, sobretudo, hídricos, externos e/ou internos dos solos, que condicionam os processos de alteração e pedogênese, bem como funcionais, com base em seus atributos. Estes são, principalmente forma, declive, comprimento de rampa, desnível do topo à base, distância do nível freático, que compõem padrões fisionômicos geomórficos próprios. Os solos integram as paisagens onde nas suas unidades elementares mostram evidências de correlação genético-evolutiva e funcional (CASTRO, 2021; CASTRO, ALVES e OLIVEIRA, 2023). O relevo é produto de diferentes processos exógenos, como a denudação associada às condições climáticas reinantes, e endógenos, como tectônicos, entre outros. A relação entre solos e relevo se caracteriza como de co-evolução (CASTRO, 2021; CASTRO, ALVES e OLIVEIRA, 2022). O relevo é considerado como importante descritor para mapeamento dos solos, além de que seus atributos são indicadores físico-hídricos pedogênese e comportamento/funcionamento. Diferentes ramos da Pedologia e ciências afins tratam do estudo e modelagem desses indicadores, com o fim de interpretar as relações entre solo e paisagem e diversas escalas, com base em diversas concepções e terminologias (CASTRO, 2021; MACHADO, CASTRO, LADEIRA, 2022; CASTRO, ALVES, OLIVEIRA, 2024). Pode-se agrupá-las em duas categorias: (1) cartográficas: Geopedologia (contração de Geomorfopedologia) e Morfopedologia; (2) de transectos topopedológicos - Geomorfologia do Solo, Solo e Relevo, Pedogeomorfologia. As cartográficas se aplicam a áreas maiores, cujo produto é o mapa contendo polígonos que indicam os padrões de geoforma e solos associados, recentemente conhecidos como geomorfons e pedoformas (JASIEWICZ, STEPINSKI, 2013) expressos na legenda e detalhadamente no memorial descritivo. As de transectos representam a sucessão lateral de solos ao longo da topografia, subdividida em dois tipos: (a) transectos perpendiculares de compartimentos geomorfológicos escalonados descendentes nas paisagens, cada segmento sendo um corte longitudinal de um compartimento associado a uma classe de solo (Geomorfologia do Solo, Solo e Relevo) (CONACHER, DALRYMPLE, 1977;

DALRYMPLE; BLONG.; CONACHER, 1968); (b) transectos de solos ao longo das vertentes representativas de um compartimento ou de uma forma elementar de relevo representativa de um dado compartimento, em que se destacam as cronossequências e as topossequências quanto ao número de publicações. Segundo Jenny (1946), há vários tipos de sucessões laterais de solos de acordo com o fator predominante, sendo que as topossequências mostram filiações genéticas entre os solos. Quanto aos tipos de sistemas pedológicos presentes nas sucessões laterais ao longo das vertentes se caracterizam como sistemas de transformação pedológica (RUELLAN, 2005) subdivididos em sistemas de transformação vertical e lateral, considerados em equilíbrio e desequilíbrio morfopedológico, respectivamente (BOULET et al, 1990). Os fluxos hídricos podem ser superficiais e subsuperficiais suspensos que podem levar à destruição de horizontes de montante e formação de outros horizontes rumo jusante, sem que mude o material de origem (CASTRO, 2021; CASTRO, ALVES, OLIVEIRA, 2023). Assim, no topo domina a infiltração (I) sobre o escoamento (E) da água precipitada ($I > E$), seguindo rotas verticais, e na vertente domina o escoamento sobre a infiltração, em rotas lateralizadas ($E > I$), que pode favorecer ou não a erosão e induzir a variabilidade nos atributos do solo, as variações no nível do lençol freático e a intensidade dos processos de erosão e sedimentação, em que o declive que potencializa o deslocamento de nutrientes e partículas de solo devido o deflúvio encosta abaixo, promovendo maior estratificação da fertilidade. Tais dinâmicas, associadas aos constituintes dos solos de cada segmento e indicadores topográficos (MINELLA, MEURTEN, 2012), condicionam as características químicas e físicas dos solos, promovendo diferenças na respectiva aptidão agrícola ou capacidade de uso. Até pequenas mudanças de declive podem afetar os processos pedogenéticos, o transporte de águas e partículas em suspensão além de íons em solução, e o armazenamento de água no perfil do solo, e assim interferir na produtividade das culturas (SPAROVEK e SCHUNG, 2001), além de indicar mudanças de classes de solos

Nas regiões tropicais as relações entre solo e relevo são fortemente afetadas pelas elevadas temperaturas e umidades resultando em elevada dissecação do relevo e alteração intempérica acentuada nos relevos altos e aplainados, mas diferem nos demais (BOULET et al, 1993; VIDAL-TORRADO.; LEPSCH; CASTRO, 2005; ESPINDOLA, 2016). Os sistemas pedológicos de transformação vertical (BOULET et al, 1993; ESPINDOLA, 2016) predominam nos relevos planos a suavemente ondulados, onde domina um tipo de solo, em geral Latossolo, enquanto os de transformação pedológica lateral predominam

em relevos de declives moderados, onde o solo do topo, geralmente Latossolo, cobertura inicial, se transforma lateralmente em outro, em geral Argissolo a meia encosta, associado a fluxos hídricos internos lateralizados. A avaliação micromorfológica (CASTRO; COOPER, 2019) dos primeiros mostra microestruturas em geral granulares pequenas a muito pequenas e estáveis, ditas enáulicas, com porosidade intergranular fortemente comunicante, resultantes de fenômenos de microagregação e drenagem vertical dominante compondo horizonte Bw. Nos segundos esse mesmo tipo de microestrutura (Bw) se restringe ao topo e a partir das rupturas de declive de topo se desequilibra liberando argila e ferro que migram lateralmente associada a fluxos hídricos suspensos, dando origem a novos horizontes com microestruturas poliédricas com grãos cimentados por finos, ditas porfíricas, e feições de acumulação iluvial nos macroporos, em geral no terço médio das encostas (Bt) posicionadas abaixo de horizontes arenosos lavados e lixiviados (E) (CASTRO, 1999; CASTRO, 2021; CASTRO, ALVES, OLIVERIA, 2023). É importante considerar a presença desses sistemas em desequilíbrio para não o intensificar e induzir a erosão hídrica linear tipo voçoroca associada a *piping* no contato E/Bt. Em síntese, áreas com topografia plana ou muito suave, como os planaltos, patamares, colinas suaves convexizadas e planícies, ditas colunas amplas ou longas, de baixos declives, facilitam a infiltração de água, logo não favorecem a erosão e promovem o desenvolvimento de solo espesso e distante do freático, como os sistemas pedológicos em equilíbrio, em que os topos planos são de recarga dos freáticos. Áreas com topografia de declives moderados e mais curtas que as anteriores, ditas colinas médias, geralmente convexas nos topo, concavizadas na vertentes e plana no fundo de vale podem desenvolver diferenciação lateral de solos, com sistemas pedológicos em desequilíbrio atual, como os constituídos por Latossolos no topo, Argissolos nas vertentes e Gleissolos no fundo de vale, quando convertidos em culturas ou pastagens mal manejadas podem desenvolver ravinas e voçorocas a partir de rotas preferenciais de fluxos, como trilheiros de gado, cercas de divisa, caminhos e outros. No caso dos relevos com fortes declives, como os forte ondulados e os montanhosos, não ocorre o pleno desenvolvimento do solo devido a constante remoção erosiva do material decomposto, seja pela ação da gravidade ou pelo escoamento superficial, este contendo constituintes sólidos e dissolvidos, e não recarregam os níveis freáticos. Os solos, quando ocorrem, são pouco ou desenvolvidos como os Cambissolos e os Neossolos Litólicos, respectivamente.

O volume de material erodido depende da energia dos fluxos, traduzido como potencial erosivo dependente da forma, da declividade, do desnível altimétrico do topo à base das encostas e de seu comprimento, além dos usos e práticas de manejo, se conservacionistas ou não, considerando o histórico. As perdas em solução predominam onde o intemperismo produz regolito ou solo mais rápido do que sua remoção pela erosão e a lavagem superficial prevalece onde a água carrega o solo tão rápido que o solo ou regolito não se acumulam para produzir espessuras tão profundas (ALEXANDER 1995). A variabilidade espacial da fertilidade e textura dos solos é condicionada pelo relevo, através dos processos de remoção e adição de partículas e nutrientes. Assim, os topos e terços superiores convexos são de dispersão de fluxos e exportação de constituintes, enquanto as vertentes são de transporte e os fundos de vale de sedimentação. Portanto, o tipo de geoforma afeta a circulação de água e sedimentos, além da textura e fertilidade dos solos na paisagem, o que condiciona seu uso e manejo (SANTOS, SALCEDO E GALVÃO, 2008). Portanto, o relevo utilizado para suporte e também recurso das atividades humanas associadas, entre outras, à agricultura e pecuária.

23.3 Mineralogia do solo e agricultura

Este tópico foi desenvolvido pelo Prof. Antonio Carlos Azevedo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

A mineralogia do solo é a base para o manejo do solo. Embora os coloides orgânicos apresentem maior atividade coloidal, e são fundamentais para manutenção e melhoria dos solos tropicais, incluindo a formação de complexos orgânico-minerais, fundamentais para estabilização do carbono no solo (Barré et al., 2014; Lavallee et al. 2020) No entanto a quase totalidade das áreas agrícolas situa-se sobre solos minerais. Portanto, são os coloides minerais que dominam as respostas do solo às práticas de manejo. Desde antes da invenção da agricultura, as plantas terrestres sustentam-se dos nutrientes providos pelo intemperismo dos minerais litogênicos das frações areia e silte, tendo os minerais pedogênicos da fração argila como o centro da atividade adsorptiva do solo, através dos seus grupos funcionais de superfície que tamponam tanto os nutrientes quanto a acidez do sistema. Com o advento da agricultura, o conhecimento da mineralogia do solo tornou-se essencial na diferenciação entre solos com Capacidade de Troca de

Cátions (CTC) dependente daqueles com CTC independente do pH, do reconhecimento de minerais fixadores de potássio e de fósforo, e no enfrentamento da acidez do solo em seus vários compartimentos (ativa, trocável, potencial). A enorme área superficial específica (ASE) dos coloides da fração argila dos solos determina sua consistência, isto é, sua resposta à aplicação das forças físicas durante o preparo do solo. Devido aos diferentes estados de consistência do solo, uma mesma operação mecânica pode afetar positiva ou negativamente o ambiente de crescimento das raízes simplesmente em função do teor de umidade do solo. Operações realizadas quando o solo está com sua consistência friável são ideais, enquanto aquelas realizadas com o solo plástico resultam em compactação. Como as forças de adesão e coesão envolvidas são forças de superfície, o tipo de mineral na fração argila e sua respectiva ASE são determinantes do resultado. Sendo o principal fator na atividade química e física do solo, é inevitável que os minerais do solo tenham também estreita relação com o microbioma do solo (Uroz et al., 2022). A simples presença de minerais litogênicos é suficiente para modificar as comunidades microbianas do solo (Finley et al., 2021; Reis et al., 2024). Assim, o conhecimento detalhado da mineralogia do solo e de seu controle sobre as propriedades do solo é o pilar central sobre o qual se assenta o estabelecimento de técnicas de manejo inteligentes para enfrentamento dos desafios globais atuais.

23.4 Geoquímica do solo e agricultura

Este tópico foi desenvolvido pelo Prof. Tiago Osório, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

O solo se destaca como um dos sistemas mais complexos do mundo natural. Fruto das infinitas combinações entre os fatores de formação, cada solo se encontra em sua jornada evolutiva sendo afetado e afetando tudo aquilo que o circunda, compõe ou habita. Local de encontro e interrelações das diferentes esferas geoquímicas (litosfera, atmosfera, biosfera e hidrosfera) o solo abriga, media, participa e controla os mais importantes processos que respondem pela existência e manutenção de virtualmente toda a vida existente nos ecossistemas terrestres. Esses processos podem ser percebidos, medidos e aferidos nas mais diferentes escalas de observação; da nano a mega escala.

A geoquímica do solo trata da distribuição dos elementos químicos na pedosfera e inclui o estudo de processos que regem sua dinâmica e fluxo entre a pedosfera e as demais esferas geoquímicas do planeta (litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera). Assim, a pedogênese cria horizontes que atuam como interfaces reativas e porosas, facilitando a troca de matéria e energia entre as esferas geoquímicas. Essa interface dinâmica no tempo e no espaço impacta uma miríade de processos biogeoquímicos que afeta minerais, compostos orgânicos, nutrientes e poluentes e, conseqüentemente, o funcionamento dos diferentes solos na pedosfera.

Em última análise os processos geoquímicos de ocorrência natural em solos governam seu funcionamento e garantem o seu papel como o alicerce de todos os ecossistemas terrestres. Assim, a compreensão desses processos geoquímicos se destaca como a chave para o entendimento de seu funcionamento e, conseqüentemente, para a escolha das estratégias de manejo mais assertivas. Muitos desafios globais enfrentados na atualidade —como o aquecimento global, a degradação de solos, a perda de qualidade da água, a perda de biodiversidade e a insegurança alimentar — estão diretamente ligados ao funcionamento geoquímico adequado de solos, e suas soluções exigem intervenções humanas que se baseiem em uma profunda compreensão desse complexo sistema natural que são os solos.

23.5 Importância da física do solo e seu impacto na agricultura e produtividade

Este tópico foi desenvolvido pelo Prof. Moacir Tuzzin de Moraes, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

As principais limitações físicas dos solos para o crescimento radicular de culturas são definidas em termos de estresse mecânico, hídrico, gasoso e térmico (Moraes; Gusmão, 2021). O sistema plantio direto tem sido avaliado por longo tempo como sendo o principal aliado para preservar e melhorar a qualidade física do solo (Moraes et al., 2016). A qualidade física do solo em sistemas conservacionistas tem sido aperfeiçoada ao longo do tempo, devido a presença de bioporos no perfil solo, os quais mitigam os

efeitos adversos da compactação do solo (Bertollo et al., 2021), favorecendo redução dos estresses mecânicos e hídricos para o crescimento radicular (Moraes et al., 2018).

O incremento de diversidade de cultivos promove melhorias na qualidade física do solo, com redução da resistência da estrutura do solo para a penetração de raízes no interior de agregados do solo (Moraes et al., 2024). Os limites de atributos físicos do solo, tais como a textura, estrutura, densidade do solo, resistência do solo à penetração, macroporosidade, microporosidade, porosidade total tem sido amplamente discutida na literatura (Moraes et al., 2014). Entretanto, apenas relações e correções fracas com a produtividade de grãos tem sido relatada na literatura (Moraes et al., 2020). Isso decorre que a produtividade de grãos das culturas é influenciada diretamente por quatro fatores, que são a água (estresse hídrico), aeração (estresse gasoso), temperatura (estresse térmico) e impedimento mecânico (estresse mecânico) (Letey, 1985). Portanto, na física do solo o entendimento dos processos biofísicos solo-raízes deve ser priorizado ao invés de medições pontuais de atributos físicos (Moraes et al., 2020).

A água desempenha importante função no solo, pois é este elemento que favorece o transporte e a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas (Debiasi et al., 2022). O consumo de água pelas culturas depende do estágio fenológico (Bengough, 2012), mas a lâmina de água disponível para as plantas absorverem depende diretamente da qualidade física do solo (Moraes et al., 2016) e da profundidade radicular (Faé et al., 2020). A contribuição de um sistema radicular mais profundo para a redução das perdas de produtividade tem sido investigada, e apresenta papel chave na tolerância de culturas ao déficit hídrico (Debiasi et al., 2022). Neste sentido, a qualidade física do solo dos fatores dinâmicos (água, aeração, temperatura e impedimento mecânico) estão relacionadas diretamente com o desenvolvimento de plantas e com a produtividade de grãos.

23.6 Acúmulo de fósforo no solo em áreas agrícolas no Brasil: diagnóstico atual e potencialidades futuras

Este tópico foi publicado em Pavinato et al. (2021).

A expansão e intensificação da agricultura brasileira, e o conseqüente aumento na demanda de fertilizantes tem promovido aumentos expressivos de produção e produtividade nas últimas décadas. O Brasil tornou-se um exemplo de nação emergente

cuja agricultura expandiu rapidamente nas últimas décadas, notadamente na região do Cerrado (área total de mais de 204 milhões de hectares), cujo relevo e solos profundos proporcionam oportunidade para conversão de pastagens extensivas em áreas para produção de grãos/bioenergia (Strassburg et al., 2014), principalmente com a expansão das culturas da soja, milho e cana-de-açúcar, manejadas com alto nível de intensificação e tecnologia. Todavia, o uso sucessivo e excessivo de fertilizantes reduz a eficiência de aproveitamento dos nutrientes pelas culturas, causando acúmulo no solo e/ou sendo transferido para corpos hídricos, e então tornando-se um problema ambiental. Dentre os nutrientes com maior potencial de acumular no solo, destaca-se o fósforo (P). Como bem sabemos, o P é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, sendo um dos nutrientes chave para a expansão agrícola no Brasil, em função de que a maioria dos nossos solos apresenta baixa disponibilidade às plantas. Atualmente, praticamente 60% do fertilizante fosfatado utilizado na agricultura brasileira é importado (ANDA, 2017) e as reservas internas de rocha fosfática, além de serem de baixa qualidade e com capacidade para suprir menos da metade da demanda, estima-se que serão esgotadas em cerca de 50 anos (USGS, 2016). Portanto, buscar maior eficiência de uso do P aplicado via fertilizante é fundamental para a sustentabilidade da agricultura brasileira.

Explorar o P nativo do solo ou o residual de fertilizantes acumulado nos últimos 50 anos, também chamado de “legacy P”, poderia promover o uso mais eficiente deste nutriente em solos brasileiros. Experimentos de campo de longo prazo mostram que uma grande proporção (>70%) do excedente de P adicionado aos solos via fertilizantes e não removido pelas colheitas permanece no solo, principalmente em formas não prontamente disponíveis para as culturas (Rodrigues et al., 2016, Roy et al., 2017). Parte deste P residual tem potencial de ser recuperado economicamente pelas culturas (Sattari et al., 2012; Rowe et al., 2016; Rodrigues et al., 2021). No entanto, conhecer o quanto deste P residual está em formas lábeis (disponível) para satisfazer a demanda das culturas, e por quanto tempo esse estoque de P pode ser efetivamente "explorado" ainda é um desafio da pesquisa.

Nossa hipótese é que o P residual no solo, aplicado via fertilizantes minerais/orgânicos, pode ser, pelo menos parcialmente, utilizado pelas culturas através do manejo adequado do solo/planta/fertilizante, gerando economia no processo produtivo. Dessa forma, saber em que regiões agroclimáticas e tipos de solo este P residual está acumulado é essencial para otimizar/direcionar estratégias na melhoria da

utilização deste recurso. Neste sentido, o objetivo deste texto é apresentar um diagnóstico espacializado (mapa) do acúmulo de fósforo no solo nas últimas cinco décadas nas áreas agrícolas no Brasil em função do uso de fertilizantes fosfatados. Além disso, discutir algumas estratégias de manejo que poderiam favorecer a exploração mais eficiente deste P residual pelas culturas agrícolas.

23.6.1 A dependência por fertilizantes fosfatados e eficiência de uso (PUE)

Os solos brasileiros são em sua maioria altamente intemperizado, portanto, naturalmente ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes. Neste contexto, a baixa disponibilidade natural de P é uma questão importante nos solos brasileiros, com isso, a disponibilidade e o uso de fertilizantes fosfatados facilitaram a incorporação de vastas áreas de terras no processo produtivo atual, principalmente no Cerrado. O aumento no uso de fertilizantes nas últimas cinco décadas tem sido expressivo, de quase zero em 1960 para 2,2 milhões de toneladas de P por ano em 2016 (ANDA, 2017). Ainda, estima-se que ocorrerá um aumento no consumo de fertilizantes de 3 a 5% ao ano na próxima década (FAO, 2015). Apesar disso, a eficiência do uso de P (PUE) continua sendo baixa, principalmente devido à alta capacidade de solos brasileiros para adsorver P em sesquióxidos de Fe/Al (Rodrigues et al., 2016). Isso fica claro quando consideramos a capacidade de adsorção de P de solos cultivados por longo tempo, típicos de diferentes regiões agrícolas brasileira (Figura 1). Neste conjunto de solos avaliados, a capacidade máxima adsorção de P (CMAP) foi observada nos solos de Dois Vizinhos-PR, Lages-SC e Rio Verde-GO, com valores em torno de 1700 mg kg⁻¹, sendo solos bastante argilosos. Já solos mais arenosos, como de Correntina-BA e Tasso Fragoso-MA apresentaram CMAP bem mais baixa, entre 500 e 700 mg kg⁻¹. Desta forma, é evidente que o que limita a produção agrícola não é a falta de P no solo, independentemente da textura do solo, e sim, a baixa disponibilidade desse P para as plantas.

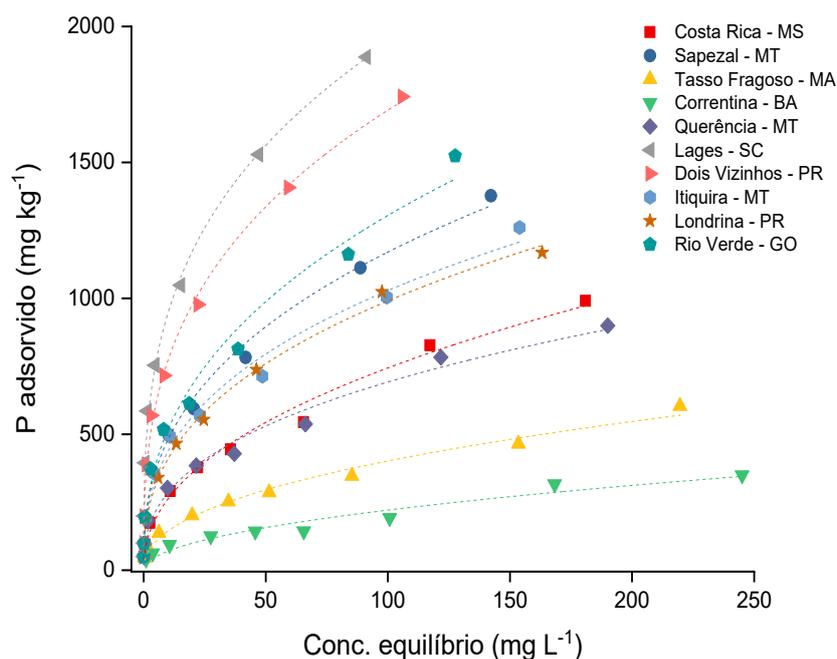


Figura 1. Capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) em 10 distintos solos cultivados de regiões brasileiras, em função de concentrações distintas de P na solução de equilíbrio após 24h de contato.

Apesar do aumento no uso de fertilizantes fosfatados, a eficiência de uso do P (PUE) ainda permanece muito abaixo do esperado, sendo na última década muito baixa para o café (~2,5%), baixa para a cana-de-açúcar, algodão, feijão e laranja (18-40%), razoável para soja, trigo e arroz (45-60%) e alto apenas para milho (60-90%) (Figura 2). A PUE média determinada com os dados de balanço de entradas e saídas foi exatamente 50% para as dez principais culturas do Brasil de 2000-2016. Lun et al. (2018) estimaram uma PUE média global de 46%, incluindo o Brasil com uma PUE média de ~60% em áreas agrícolas, um valor ainda acima do atual observado. Está bem estabelecido que os baixos valores de PUE estão associados à alta capacidade de fixação de P dos solos brasileiros e sua capacidade de ligar quase irreversivelmente P nas superfícies dos oxihidróxidos de Fe/Al (Rodrigues et al., 2016; Withers et al., 2018). Essa ineficiência geral do uso de P criou um paradoxo: como podemos aumentar a PUE em solos tropicais, como América do Sul e África, e como podemos evitar perdas de P via escoamento e lixiviação em regiões como Europa, Ásia e EUA?

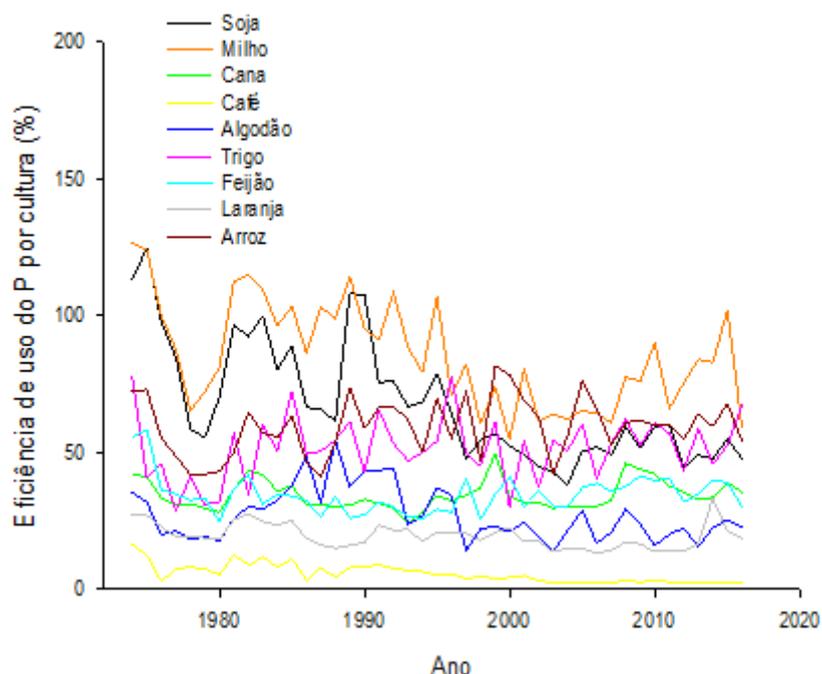


Figura 2. Média anual de eficiência de uso do fósforo (PUE) pelas principais culturas cultivadas no Brasil de 1974-2016. Dados compilados de ANDA (2017) e CONAB (2018).

De acordo com dados de pesquisas recentes, a PUE pode chegar a até 80% quando sob rotação de culturas adequadamente conduzida, como exemplo com bom manejo de soja/milho em longo prazo consorciado por plantas de cobertura sob PD (Withers et al., 2018) e também em outros trabalhos de pesquisa envolvendo rotação de culturas desenvolvidos pela Embrapa Cerrados, com recuperação de 74% do P aplicado (Sousa et al., 2019). Essa estimativa de aumento da PUE é desafiadora quando comparada à eficiência atual observada em geral nas áreas agrícolas no Brasil (~50%) (Pavinato et al., 2020).

Outro aspecto importante que afeta o uso de fertilizantes fosfatados no Brasil é a flutuação do preço de mercado, como exemplificado pela experiência de 2008 com um aumento global de ~800% nos preços do fosfato natural (FN) (Cordell e Neset, 2014). Esse aumento de preço foi uma reação à expectativa de que as reservas globais de FN estariam em rápido declínio, embora essa estimativa tenha sido revisada recentemente para em torno de 300 anos (USGS, 2016).

23.6.2 Expansão agrícola e demanda futura de P

Garantir a segurança alimentar da crescente população global é um enorme desafio para as próximas décadas. Estima-se que a produção de alimentos deverá aumentar em torno de 2,4% ao ano para suprir adequadamente a demanda global até 2050. No entanto, na realidade, o aumento da produtividade das culturas nas últimas décadas não atingiu este nível, especialmente para o arroz e o trigo (Ray et al., 2013), principais culturas da Ásia e Europa, respectivamente. Nesse sentido, para assegurar os futuros suprimentos de alimentos é necessária a exploração de novas áreas aráveis, como a conversão de uso da terra destinada à pecuária para um uso agrícola no Brasil, por exemplo. No entanto, uma questão importante é: quanto fertilizante fosfatado será demandado para alcançar uma produção agrícola lucrativa nessas novas áreas?

A taxa média de expansão de áreas cultivadas nos últimos 20 anos no Brasil foi de 2,6% ao ano, porém o aumento no uso de fertilizantes fosfatados no mesmo período foi de 5,5% ao ano (Withers et al., 2018). Isso reflete em grande parte as altas doses iniciais de fertilizante para saturar parcialmente o solo (fosfatagem) em novas áreas convertidas à agricultura, mas também inclui os adicionais de fertilizantes necessários para o uso mais intensivo das áreas, especialmente onde os agricultores adotaram duplo cultivo na última década (soja na primeira safra e milho na segunda safra). As áreas sob duplo cultivo aumentaram de 3 milhões de ha para quase 12 milhões de ha nos últimos 10 anos (IBGE, 2018). No entanto, o uso de fertilizantes fosfatados sob duplo cultivo é proporcionalmente menor que em monocultivo, ajudando a melhorar a eficiência de uso do P (Roy et al., 2017). De acordo com as previsões do MAPA (2016), é possível expandir ainda mais 70 milhões de ha de áreas agrícolas no Brasil sem qualquer restrição ambiental ou legal, cumprindo com as restrições impostas no novo código florestal (Brasil, 2012).

Nas últimas décadas o uso de fertilizantes fosfatados na agricultura brasileira saiu de quase zero em 1960 (1,5 kg P ha⁻¹ ano⁻¹) para 28-31 kg P ha⁻¹ ano⁻¹ considerando a média dos últimos cinco anos (Figura 3). Esse aumento está diretamente relacionado à revolução verde que ocorreu nas décadas de 1960-1970 (Withers et al., 2018). É bem sabido que antes da década de 1970 menos P era aplicado do que o exigido pelas culturas. Em contraste, o suprimento atual de P é maior que a demanda das culturas. Entre 1976-2015 houve um enorme aumento na produtividade das culturas, de 1,6 para 5,7 t ha⁻¹ para o milho, 1,3 para 3,1 t ha⁻¹ para a soja, 37 para 73 t ha⁻¹ para a cana-de-açúcar (Withers et al., 2018), resultando em remoção adicional de P por essas culturas. Embora essa

absorção/remoção de P tenha aumentado, Roy et al. (2017) ainda estimam um residual acumulado de 14 kg P ha⁻¹ ano⁻¹ em áreas de soja/milho do estado de Mato Grosso, maior produtor de soja no Brasil.

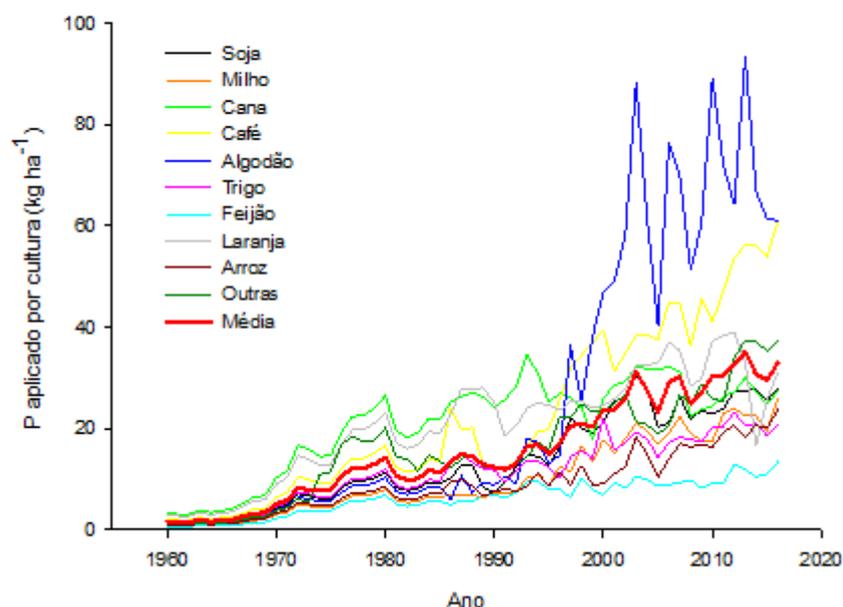


Figura 3. Doses médias anuais de P aplicadas via fertilizante para cada cultura no Brasil, de 1960 a 2016. Dados compilados de ANDA (2017) e CONAB (2018).

De acordo com as previsões de expansão da área cultivada e demanda de fertilizantes fosfatados (Withers et al., 2018), a área cultivada poderia aumentar para um total de 131 milhões de ha até 2050, incluindo uma rápida expansão no Cerrado nativo e sobre pastagens degradadas nas regiões Central e Norte do Brasil (Barreto et al., 2013). Isso representa uma expansão de 56 milhões de ha de lavouras em relação a 2016, bem dentro da área avaliada como adequada para conversão agrícola (Sparovek et al., 2015). Essa conversão exigiria um adicional de fosfatos na ordem de 26 a 122 kg P ha⁻¹ para solos arenosos a argilosos, respectivamente (Sousa e Lobato, 2004). Assumindo uma dose média conservadora de P em fosfatagem de 35 kg ha⁻¹ no primeiro ano de cultivo, além de uma taxa anual média de 25 kg ha⁻¹ para todas as novas áreas de fronteira do Brasil, estima-se uma demanda anual de fertilizantes fosfatados de 4,6 milhões de toneladas por ano em 2050 (Withers et al., 2018). Essa demanda representa um aumento de 110% no consumo atual de P e representaria 22% da demanda total mundial esperada de

fertilizantes fosfatados em 2050. Desta forma, estratégias para reduzir essa demanda e melhorar a eficiência são necessárias para o uso mais racional desse recurso finito.

Além da grande área cultivada, temos ainda 172 milhões de ha atualmente utilizados para pastagem extensiva. A maior parte em solos pobres, com baixos níveis de fertilidade e baixa lotação animal (Dias et al., 2016). Com a demanda de expansão de áreas agrícolas, os pecuaristas estão sendo pressionados pelos altos custos a melhorar a eficiência ou deixar o sistema de produção. Desta forma, melhorar as pastagens utilizando novas variedades de gramíneas e aumentando o uso de fertilizantes, integrando sistemas agricultura/pecuária, ou convertendo de pasto para produção de grãos/cana-de-açúcar são alternativas que se configuram atualmente (Strassburg et al., 2014). O uso de fertilizantes minerais (N-P-K) em pastagens representa apenas cerca de 1,5% do total de fertilizantes consumidos no Brasil atualmente (ANDRA, 2017). Esse cenário pode mudar, uma vez que a melhoria na eficiência das pastagens é obrigatória para manter a estabilidade da produção pecuária e suprir a demanda de carne bovina mundial (Strassburg et al., 2014).

23.6.3 Fósforo residual acumulado no solo

A maior parte do P residual acumulado no solo está em formas não-lábeis, indisponível às plantas. No entanto, parte desse P também é acumulado em formas mais acessíveis, classificadas como lábeis e moderadamente lábeis (Shen et al., 2011). Apesar do grande potencial que esse P acumulado no representa para nutrição das plantas, ainda não temos clareza até que ponto e por quanto tempo o P residual poderia suprir a demanda das culturas (sem redução de rendimento), bem como, qual seria o manejo do fertilizante fosfatado nesta situação de uso do P residual. Embora estratégias de manejo do solo, das culturas e dos fertilizantes precisem ser integradas, a compreensão da dinâmica do P residual em solos cultivados ainda é a principal forma para melhorar a eficiência de uso do mesmo.

Os estoques de P residual estão constantemente aumentando em nossos solos de alta capacidade de adsorção de P, mas essa distribuição é heterogênea. Uma meta-análise feita por MacDonald et al. (2012), em áreas cultivadas por longo tempo com uso de fertilizantes, mostrou elevação do P no solo ano após ano quando comparado com áreas nativas, isso em várias regiões e tipos de solos do mundo todo. Resultados semelhantes também foram observados em regiões brasileiras (Withers et al., 2018; Rodrigues et al.,

2016, Pavinato et al., 2020), havendo muitas vezes o dobro do conteúdo total de P em áreas cultivadas por 20 anos ou mais em comparação com os solos nativos. Além disso, o fertilizante fosfatado é usualmente aplicado em formas inorgânicas solúveis, mas dentro do perfil do solo pode ser rapidamente imobilizado pela adsorção em superfícies de minerais (gibbsite, hematita, goethita) (Shen et al., 2011) ou precipitado com Ca, Fe ou Al. Desta forma, esse P pode estar no solo em formas altamente solúveis, que difunde-se facilmente para a solução do solo, até formas mais fortemente adsorvidas com moderada e/ou alta estabilidade (Negassa e Leinweber, 2009), variando de acordo com a mineralogia de cada solo. Estudos utilizando extrações sequenciais de fracionamento de P e análise espectroscópica concluíram que o P residual se acumula predominantemente como P lábil e moderadamente lábil em solos temperados e como P moderadamente lábil e não lábil em solos tropicais (Negassa e Leinweber, 2009; Rodrigues et al., 2016). Portanto, a acessibilidade das culturas e a exploração do P residual dependerão de sua distribuição em solos agrícolas, do manejo do solo, da rotação de culturas (com sistemas radiculares distintos) e da capacidade das culturas para mobilizar as chamadas formas "não disponíveis" de P.

Para começar a elucidar esse potencial do P acumulado nos solos agrícolas do Brasil, Pavinato et al. (2020) conduziram um grande levantamento de dados e espacializaram os dados em um mapa de P residual no solo. Neste trabalho, foram estimados os valores de P residual acumulado em solos ao longo dos anos de cultivo, baseando-se nos dados de área cultivada e rendimento das principais culturas, com dados compilados dos 5.563 municípios brasileiros da base de dados SIDRA (IBGE, 2018) e CONAB (2018). Os dados anuais de entrega de fertilizantes fosfatados aos agricultores por cada cultura foram obtidos da ANDA (2017) e a média da exportação de P por cada cultura foi obtida a partir de relatórios técnicos e referências regionais. A estimativa geral do excedente de P do solo foi baseada na rotação/sucessão de culturas de grãos anuais (soja, milho, trigo, algodão e feijão) e considerando as demais culturas como não rotacionadas para a cana-de-açúcar, arroz, café, laranja entre outras.

Utilizando a entrada de P de esterco + aplicações de fertilizantes minerais e exportação de P via colheitas, calculou-se um excedente anual atual (2016) de 1,6 milhões de toneladas de P (Figura 4), o que representa um total de aproximadamente 33,4 milhões de toneladas de P residual acumulado nos solos cultivados do Brasil desde 1967. Em valor monetário, isso representa uma estimativa de 22 bilhões de dólares acumulados em áreas

agrícolas (considerando o atual preço internacional do FN de US\$ 86,00/t). Anteriormente a 1967 o balanço de P era negativo (extração maior que adição via fertilizantes/esterco), não sendo considerado aqui. Entre 1980 e 1990 houve uma queda/estabilidade no acúmulo de P como consequência do aumento do preço do fertilizante (1983) e problemas monetários no Brasil naquela década, com uma depreciação substancial da capacidade de investimento agrícola. Nos períodos entre 1967-1980 e 1990-2016, o acúmulo de P residual no solo aumentou substancialmente ano após ano (Figura 4). Além disso, a previsão para as próximas décadas se a tendência atual continuar é de se atingir 106,5 milhões de toneladas de P acumuladas até 2050, o que representa aproximadamente 70 bilhões de dólares estocados no solo, representando um custo enorme para a economia agrícola e sendo potencialmente um risco ambiental para a contaminação das águas superficiais (eutrofização).

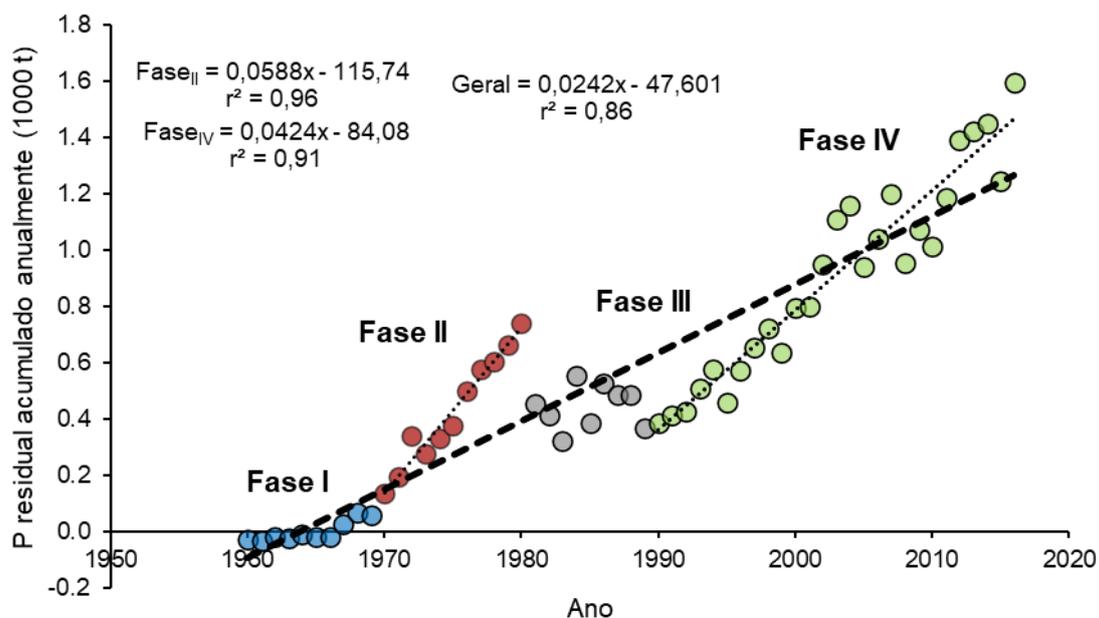


Figura 4. Excedente anual (P adicionado – P exportado) ou P residual acumulado no solo no período 1960-2016 derivado de fertilizantes minerais fosfatados e P orgânico proveniente de esterco e subprodutos industriais utilizados na agricultura brasileira, considerando todas as culturas agrícolas. Fonte: Pavinato et al. (2020)

Com esses dados de P residual, Pavinato et al. (2020) geraram um mapa com a distribuição espacial nas áreas agrícolas brasileiras para o ano base 2016 (Figura 5). Os maiores valores acumulados de P foram detectados em regiões de agricultura intensiva nos estágios iniciais da revolução verde (antes da década de 1970), predominantemente

utilizados para cana-de-açúcar, laranja, café e algodão, com valores superiores a 500 kg ha⁻¹ de P armazenado no perfil do solo. Em alguns casos extremos atingindo até 1.200 kg ha⁻¹ de P em áreas constantemente cultivadas com café, a cultura mais exigente em fertilizante e menos eficiente no uso do P. Esses maiores valores de P acumulado foram observados predominantemente nos estados de SP, MG e norte do PR, além de alguns pontos nos estados do ES e GO.

Áreas utilizadas atualmente para produção de soja e milho, as mais cultivadas no Brasil com um total de 51,5 milhões de ha (2016), boa parte como duplo cultivo, apresentaram um acúmulo de P residual entre 200-400 kg ha⁻¹ (Figura 5). Essas duas culturas, são predominantes no RS, PR, MS, MT, GO, BA e MA. Essas culturas anuais podem ser consideradas as mais eficientes no uso do P (PUE), com valores chegando a 70-80% quando bem gerenciadas na rotação de culturas (Withers et al., 2018), embora as estimativas gerais considerando todas as culturas não sejam tão eficientes quanto deveriam, entre 40-50%, mas prevê-se aumento para até 60% nas próximas décadas (até 2050) como mencionado por Sattari et al. (2012). Portanto, considerando nossas estimativas para o Brasil, o P residual acumulado de 1967 até 2016 utilizando somente soja em monocultivo não seria superior a 314 kg ha⁻¹ e não seria mais que 124 kg ha⁻¹ para o milho em monocultivo (dados brutos não apresentados aqui).

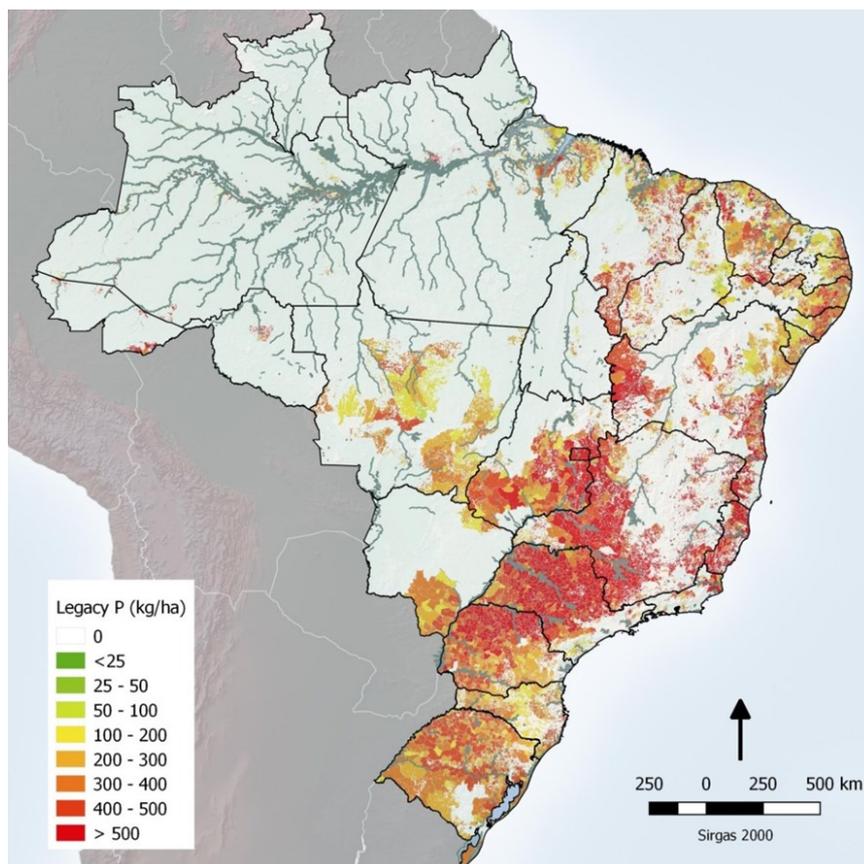


Figura 5. Distribuição espacial do P residual acumulado no solo ao longo dos anos de cultivo com a adição de fertilizante fosfatado, desde 1960 até 2016, nas áreas agrícolas brasileiras.

Comparando esses dados de P acumulado no solo com outras regiões do mundo vemos que há certa similaridade em áreas de intenso cultivo. Segundo Sattari et al. (2012), houve um consumo acumulado global de P (fertilizante + esterco) na Europa Ocidental de 1.115 kg ha^{-1} em áreas agrícolas para o período 1965–2007, sendo muito maior do que a quantidade exportada pelas colheitas (350 kg ha^{-1}). No mesmo período, o consumo acumulado de P na Ásia foi de $\sim 700 \text{ kg ha}^{-1}$ e de $\sim 500 \text{ kg ha}^{-1}$ na América do Norte, Europa Oriental e América Latina, com uma exportação média de $\sim 250 \text{ kg ha}^{-1}$ para todas essas regiões. Isso prova que tem havido uma aplicação excessiva de fertilizantes fosfatados de maneira geral nas áreas agrícolas do mundo todo, e que o balanço final sempre está sendo positivo para o solo, acumulando mais P residual. De acordo com Dong et al. (2015), a China também desempenha um papel fundamental na gestão global sustentável de P. De 1970 a 2010, o excedente de P através da aplicação de fertilizante mineral nas áreas agrícolas chinesas foi de ~ 56 milhões de toneladas, o que representa

mais do que o dobro da produção global de fertilizantes fosfatados em 2010 (Bouwman et al., 2017; Sattari et al., 2016).

Nestas recentes estimativas, o excedente de P nas lavouras brasileiras de 1967 a 2016 (33,4 milhões de toneladas) representou quase dois terços do total de fertilizante fosfatado aplicado no mesmo período, o que representa uma PUE geral média de aproximadamente 35%, menor que a eficiência média estimada por Sattari et al. (2012), que foi de 30% em 1965 e atingiu até 40-50% nos anos mais recentes (2000-2007). No entanto, a entrada média de P via fertilizante mineral nas principais culturas no Brasil, soja, milho e cana-de-açúcar, foi de 798, 597 e 1.263 kg ha⁻¹, respectivamente, com uma exportação de P de 484, 473 e 420 kg ha⁻¹, respectivamente, para o período 1967-2016. Estes resultados enfatizam que soja e milho são relativamente eficientes no uso de P nos nossos sistemas de cultivo, apresentando 60 e 79% respectivamente de eficiência durante esse período. No entanto, quando se considera o período mais recente do estudo, entre 2000-2016, com o uso mais intensivo de fertilizantes nessas duas culturas, os valores de PUE caem para 50 e 72% para a soja e milho, respectivamente.

Nossa previsão é de que o excedente de P em áreas cultivadas (fertilizante mineral + esterco) atinja até 2,66 milhões de toneladas por ano em 2050, correspondendo a um total de P acumulado de 106,5 milhões de toneladas (Figura 4). Este montante pode ser reduzido substancialmente com melhorias na eficiência do uso de fertilizantes, que é um grande foco de pesquisa atualmente. O melhoramento genético para variedades mais eficientes e a seleção de microrganismos para melhor aproveitamento do P do solo são sugeridos como as principais áreas de enfoque na pesquisa e desenvolvimento para a exploração do P residual (Withers et al., 2018). Outro ponto importantíssimo que deve ser considerado para melhorar a PUE é o manejo do solo, rotação de culturas ou mesmo a adição de sistemas integrados (Figura 6), como bem observados por vários trabalhos de pesquisa, onde a inclusão de culturas de cobertura com maior potencial de ciclagem de nutrientes como a braquiária (e.g., Almeida et al., 2019; Damian et al., 2020; Rodrigues et al., 2021), conseguem melhorar substancialmente a eficiência dos fertilizantes no processo produtivo.



Figura 6. Uso de plantas de cobertura como a braquiária em consórcio com milho são alternativas para melhorar a ciclagem e eficiência de fertilizantes fosfatados. 2019. Foto: Fazenda Planalto, Costa Rica - MS.

Nossos resultados sugerem que o P residual pode contribuir parcialmente para a produção agrícola e diminuir a demanda de fertilizantes se melhores práticas de manejo das culturas/solo forem adotadas, embora ainda seja difícil prever quanto do P residual é viável de explorar para uma produção agrícola lucrativa. A integração de estratégias para o melhor uso do P residual do solo por meio da adoção de avanços tecnológicos integrados na agricultura de precisão, melhoramento de plantas para melhor PUE e engenharia microbiana para melhorar o sistema radicular, precisam ser abordadas para melhorar a eficiência dos fertilizantes e para reduzir o acúmulo de P no solo pela agricultura brasileira e mundial.

23.6.4 Considerações finais

O fósforo residual acumulado em solos brasileiros é atualmente de 33,4 milhões de toneladas, sendo distribuído de maneira bastante uniforme pelas áreas agrícolas. Este P residual é geralmente armazenado em formas de baixa labilidade no solo, ou seja, formas que não são prontamente disponíveis para as plantas.

A soja e o milho, representando 44 e 20% da área nacional cultivada, são caracterizadas como as culturas mais eficientes no uso de P atualmente, com 50 e 72% de PUE, respectivamente. Áreas com estas culturas apresentam o menor acúmulo de P residual (<300 kg ha⁻¹), muito menor do que o observado em países desenvolvidos (Bouwman et al., 2017).

Práticas de manejo que envolvem o manejo correto do solo, incluindo correção e conservação do solo, o uso de rotação de culturas, duplo cultivo, plantas de cobertura inter-sazonais, sistema de semeadura direta e fertilizantes melhorados, além de variedades mais eficientes e inoculação com microrganismos capazes de formar associações e solubilizar formas de P menos lábeis, são estratégias que poderiam tornar o sistema de produção mais eficaz na exploração do P residual do solo e na redução da demanda por fertilizantes minerais. Desta forma, o aumento da eficiência do uso de P, e particularmente do P acumulado no solo, é um importante avanço para a sustentabilidade do uso P na agricultura no longo prazo.

23.7 A importância da fertilidade do solo no manejo agrícola

Este tópico foi desenvolvido pelo Prof. Rafael Otto, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

A fertilidade do solo e a capacidade do solo em fornecer nutrientes para o adequado desenvolvimento das plantas. Um solo fértil normalmente apresenta teores de nutrientes adequados para o desenvolvimento das plantas. Um conceito importante em fertilidade do solo é o nível crítico de determinado elemento no solo. Quando o teor de um nutriente atinge o nível crítico, as plantas conseguem se desenvolver adequadamente, e atingir as maiores produtividades, mesmo sem adubação. Ou seja, o nível crítico é o teor do elemento no solo a partir do qual não há resposta a aplicação do fertilizante. Em

solos pobres, como em áreas recém incorporadas ao sistema produtivo ou em solos que normalmente não recebem adubações, o teor de nutrientes normalmente está abaixo do nível crítico. Nessas áreas, adubações mais intensas devem ser realizadas, tanto para aumentar o teor do elemento no solo (aumentando o potencial produtivo) quanto para nutrir a planta. Em solos já corrigidos, as adubações podem ser mais moderadas, buscando somente nutrir a planta, uma vez que o solo já possui teor adequado do elemento.

A fertilidade do solo é um assunto amplamente discutido e com conceitos consolidados. Porém, nos últimos anos, esse assunto tem sido rediscutido no Brasil, a partir de descobertas recentes de que áreas altamente produtivas apresentam não somente teores de nutrientes adequados na camada superficial (0-20 cm), mas também ausência de alumínio, saturação por bases adequada e teores moderados de nutrientes em camadas mais profundas do solo, como 20-40 e 40-60 cm (Batistti et al., 2017; Campo et al., 2022). Nestes solos, a fertilidade do solo corrigida em todo o perfil de solo, ou na maior parte deste, permite enraizamento em profundidade, conferindo maior estabilidade de produção, resistência a veranicos (cada vez mais frequentes) e aproveitamento de nutrientes que percolaram no perfil do solo.

Estas evidências demonstram que os conceitos de fertilidade do solo, como nível crítico de nutrientes e classes de interpretação de teores, bastante consolidados para a camada superficial, terão que ser reavaliados para camadas mais profundas do solo em um futuro próximo. Lavouras que tem apresentado produtividades muito elevadas para os padrões atuais, como produtividades de soja que atingem 100 sc ha⁻¹, lavouras de milho (segunda safra) que atingem 140 a 160 sc ha⁻¹, e áreas de cana-de-açúcar que apresentam produtividades de 110-120 t ha⁻¹ (média de 5 cortes), tem sido observada em áreas que apresentam fertilidade do solo corrigida em todo o perfil de solo. Portanto, o próximo desafio para a fertilidade do solo será redefinir os conceitos de fertilidade do solo abaixo da camada arável, permitindo atingir lavouras com maiores produtividades, maior resiliência e estabilidade de produção.

23.8 Poluição do solo e solos

Este tópico foi desenvolvido pelo Prof. Luis Reynaldo Ferracciú Alleoni, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

A poluição do solo é causada pela presença de produtos químicos xenobióticos (produzidos pelo homem) ou outra alteração no ambiente natural do solo. As principais causas da poluição do solo são: Atividades industriais; Atividades agrícolas; Descarte de resíduos; Derramamentos acidentais de óleo; e Chuva ácida. Resíduos de atividades humanas podem liberar metais pesados para a solução do solo, causando toxicidade às plantas e outros organismos do solo. Metais pesados também podem ser adsorvidos a minerais de argila e/ou complexados pela matéria orgânica do solo, tornando-se uma fonte potencial de poluentes.

Uma das primeiras avaliações a ser feita para se detectar se uma área está contaminada é a obtenção do valor de referência de qualidade (VRQ), que é o teor naturalmente encontrado na área, ou seja, à concentração natural de um elemento ou uma substância em solos que não foram modificados por impactos antropogênicos. Santos e Alleoni (2013) determinaram os níveis naturais e valores de referência para Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em amostras da camada superficial (0–20 cm) de 19 solos representativos dos estados de Mato Grosso e Rondônia, na fronteira agrícola do Brasil. Os níveis naturais de metais pesados nas amostras de solo seguiram a ordem: Cr>Co>Cu>Pb>Zn>Ni>Cd. Os autores observaram que os valores foram geralmente menores do que aqueles relatados na literatura brasileira e internacional, o que destaca a importância de estabelecer valores de referência para cada estado ou para cada tipo de solo, levando em consideração a diversidade geomorfológica, pedológica e geológica da região em estudo.

Um aspecto importante de solos poluídos é o conhecimento de qual quantidade do metal é transferido para as plantas, uma vez que a fitotoxicidade e a transferência de elementos potencialmente tóxicos (EPT) dependem da disponibilidade desses elementos nos solos e das espécies de plantas expostas a eles. Melo et al (2014) avaliaram o efeito das taxas de aplicação de Cd e Ba nos rendimentos de ervilha, sorgo, soja e milho cultivados em condições de estufa em um Latossolo e um Entisol com propriedades físicas e químicas contrastantes, e correlacionar a quantidade absorvida pelas plantas com extratores comumente usados em análises de rotina do solo, juntamente com coeficientes de transferência (Fator de Bioconcentração e Fator de Transferência) em diferentes partes das plantas. Os autores observaram que o fator de bioconcentração foi maior nas raízes do que na parte aérea para Cd e Ba.

Além dos teores totais dos elementos potencialmente tóxicos, é importante estudar as distribuições de metais em várias frações do solo. Silveira et al (2006) desenvolveram

um procedimento de fracionamento sequencial para Cu e Zn em amostras superficiais (0-20 cm) de dez solos representativos do estado de São Paulo, e observaram que Zn e Cu foram principalmente associados a frações recalcitrantes do solo. Nogueirol et al (2010) avaliaram a emissão de gases de efeito estufa (GEE) em amostras de solo incubadas coletadas em uma área contaminada com um resíduo sólido de uma indústria automobilística. Amostras foram coletadas aleatoriamente em 0 a 0,2 m (uma mistura de solo e resíduo), 0,2 a 0,4 m (somente resíduo) e 0,4 a 0,6 m (somente solo). Os autores observaram que as taxas de emissão de GEE foram maiores nas amostras da área contaminada do que da área de cana-de-açúcar, particularmente altas durante os primeiros dias de incubação. As emissões de CO₂ foram maiores em amostras coletadas na camada superior para ambas as áreas, enquanto as emissões de CH₄ e N₂O foram semelhantes em todas as amostras. As taxas de emissão de CH₄ foram as variáveis mais eficientes para diferenciar áreas contaminadas e não contaminadas.

A geoquímica e a mineralogia das partículas podem influenciar o comportamento de EPTs no fluido pulmonar, sendo esta área conhecida como Geomedicina, na qual se avalia, por exemplo, o papel dos processos geoquímicos em matrizes ambientais urbanas (MEU) e sua influência na bioacessibilidade respiratória em humanos. Boim et al (2021) avaliaram amostras coletadas em MUEs brasileiras com grande passivo ambiental deixado por antigas indústrias de mineração e em uma cidade com forte expansão industrial. A bioacessibilidade respiratória de EPTs foi avaliada usando fluido lisossomal artificial (pH 4,5), e a extração sequencial foi realizada para avaliar como a bioacessibilidade respiratória do EPT estava relacionada à partição da fase sólida. A fração bioacessível (FBA) variou de 54 - 98% para Cd; 21 - 89% para Cu; 46 - 140% para Pb, 35 - 88% para Mn e; 41 - 84% para Zn. A FBA média dos elementos diminuiu na seguinte ordem: Solo: Cd > Pb > Mn > Zn > Cu; Rejeito: Pb > Cd > Zn > Mn > Cu; e Sedimentos: Pb > Mn > Cd > Zn > Cu.

Muitos processos químicos, físicos e biológicos de remediação têm sido desenvolvidos para reduzir concentrações de EPTs no ambiente. Entre essas tecnologias, a fitorremediação é uma abordagem *in situ* ecologicamente correta e econômica para remediar locais com poluição baixa a moderada com elementos-traço. No entanto, nem todas as espécies têm potencial para serem usadas para fitorremediação de locais poluídos por elementos-traço devido às suas características morfofisiológicas e baixa tolerância à toxicidade induzida pelos elementos-traço. As gramíneas são candidatas potenciais

devido aos seus altos rendimentos de biomassa, rápido crescimento, adaptações a solos inférteis e recrescimento sucessivo de brotos após a colheita (Rabêlo et al. 2021).

Um condicionador muito utilizado para remediação de solos contaminados é o biocarvão (“biochar”). Porém, pouco se sabe sobre o impacto da temperatura de pirólise do biocarvão na biogeoquímica de alguns elementos tóxicos como arsênio (As) e chumbo (Pb) e microrganismos em sedimentos. Soares et al (2024) investigaram os efeitos da temperatura de pirólise e da adição de glicose na liberação e transformação de As e Pb, bem como seus efeitos potenciais na comunidade bacteriana em sedimentos contaminados. A adição de biochar alterou o ciclo geoquímico do As, pois favoreceu grupos bacterianos específicos capazes de mudar espécies de As(V) para As(III) por meio de fermentação, respiração de sulfato e redução de nitrato. A qualidade do carbono e o conteúdo de N e S na solução moldaram o pH e o potencial redox de uma forma que mudou a comunidade microbiana, favorecendo *Firmicutes* e reduzindo *Proteobacteria*. Essa mudança desempenhou papel fundamental na dissolução reductiva de minerais de As e Pb. A adição de biochar foi a única maneira eficiente de remover Pb em função dos mecanismos de sorção e precipitação.

Os impactos ambientais causados pela contaminação de solos por metais pesados podem ser avaliados com mais precisão com o auxílio da caracterização espacial de EPTs. Desenvolver métodos de caracterização espacial econômicos e ecologicamente corretos para EPTs pode facilitar o diagnóstico rápido, preciso e detalhado do solo em grandes áreas. Camargo et al. (2018) utilizaram três superfícies geomórficas de Latossolos para avaliar a capacidade de análises químicas e de difração de raios X de óxidos de ferro, espectroscopia de reflectância difusa (ERD) e medidas de suscetibilidade magnética (SM) para prever os conteúdos de Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb e Zn, e sua variabilidade espacial. A SM e a ERD permitiram o desenvolvimento de modelos de previsão bem calibrados para Ba, Co, Cu, Mn e Ni, enquanto os métodos calibrados por ERD proporcionaram uma previsão mais precisa dos conteúdos de Ba e Mn, e métodos calibrados por suscetibilidade magnética dos conteúdos de Co e Ni. A correlação encontrada entre os teores de EPT e teor de ferro livre, e seu padrão espacial, comprovou a qualidade dos métodos propostos para prever os teores de EPTs nos solos.

23.9 Pesticidas no solo e agricultura

Este tópico foi desenvolvido pela Profa. Jussara Regitano, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

Idealmente, um pesticida deveria ser letal apenas para as pragas-alvo, mas, infelizmente, esse não é o caso, surgindo as controvérsias sobre o seu uso ou abuso, principalmente em áreas agrícolas. Vários benefícios foram obtidos com o uso de pesticidas na silvicultura, na saúde pública, no ambiente doméstico e, é claro, na agricultura, tais como aumento da produtividade agrícola ou, pelo menos, proteção contra sua perda, além de controlar vários vetores de doenças, favorecer a qualidade da alimentação, uma vez que uma dieta rica em frutas e vegetais frescos supera em muito os riscos de consumir concentrações baixas de resíduos de pesticidas presentes nestas culturas, e também favorecer setores de transportes, esportes e construções. Por outro lado, há evidências contundentes de que alguns desses produtos representam riscos potenciais para os seres humanos e outras formas de vida, além de causar efeitos colaterais indesejados ao meio ambiente, podendo contaminar o solo, o ar e as fontes de águas potáveis tanto superficial como subsuperficial. O uso excessivo de pesticidas também irá impactar diretamente à microbiota do solo, além de dizimar polinizadores e outros insetos, os quais são fundamentais para manutenção do sistema agrícola sustentável. Evidências científicas recentes alertam que a perda de biodiversidade é um desafio global tão grave quanto as mudanças climáticas. A problemática torna-se preocupante quando sabido que quase dois terços de todas as terras agrícolas do mundo apresentaram concentração residual de pelo menos um pesticida e que 80% dos solos agrícolas superficiais da Europa continham resíduos de pesticidas, principalmente o DDT, banido há muito tempo, o glifosato e seu principal produto de degradação (AMPA), e os fungicidas de largo espectro, como boscalida, epoxiconazole e tebuconazole.

Conhecer o potencial de sorção de pesticidas às partículas de solo é fundamental para prever o seu transporte e a sua transformação no ambiente, além de seus efeitos ecotoxicológicos e destino ambiental, principalmente em regiões tropicais em que < 5 % das pesquisas sobre sorção de pesticidas foram desenvolvidas. De forma geral, a literatura mostra que: *i*) o teor de carbono orgânico é o principal atributo do solo influenciando a sorção de pesticidas em regiões tropicais e subtropicais, sendo secundário o papel da fração mineral (Regitano et al. 1997 e 2000; Rocha et al., 2002; Regitano et al., 2005);

sistemas de plantio direto e de cana verde (sem queima da palha), apesar de contribuírem para o acúmulo de carbono no solo, pouco influenciaram a sorção de pesticidas, principalmente de moléculas móveis (Lavorenti et al., 2003; Giori et al., 2014; Bonfleur et al., 2014); a adição de resíduos orgânicos ao solo, tais como vinhaça, composto, palha de cana e ácido húmico, e a formulação do ingrediente ativo pouco contribuíram para a sorção de pesticidas, exceto pela adição de cinzas de caldeira, a qual pode ser eficiente na remediação de áreas contaminadas (Prata et al., 2001; Giori et al., 2014; Pereira et al., 2014); a presença da palha da cana na superfície do solo pode funcionar como barreira física capaz de reter cerca de 40% da quantidade de pesticida aplicada, restringindo ou apenas retardando sua lixiviação (Tonieto et al., 2016). No entanto, os valores dos coeficientes de sorção (K_f , K_d e K_{oc}) obtidos para os pesticidas em solos de regiões tropicais não diferiram significativamente daqueles de regiões temperadas, pelo menos não o suficiente para mudar a classe de mobilidade da molécula. Em outras palavras, pode-se dizer que o potencial de sorção de pesticidas está mais relacionado aos atributos físico-químicos intrínsecos da molécula de pesticida, tais como solubilidade, lipofilicidade (K_{ow}) e polaridade (pK_a), do que aos atributos físico-químicos do solo, tais como teores de carbono orgânico e argila e mineralogia da fração argila. No entanto, em regiões tropicais, determinadas condições climáticas e pedológicas podem influenciar a persistência e o fluxo preferencial de pesticidas no solo, podendo aumentar ou diminuir a sua lixiviação em relação ao observado em regiões temperadas. Portanto, estudos de monitoramento de pesticidas em condições reais de campo precisam ser desenvolvidos para calibrar modelos de transporte de pesticidas em condições tropicais. Diante do fato que consumimos principalmente águas de fontes superficiais em regiões tropicais, não podemos esquecer a importância do transporte de pesticidas por escoamento superficial, que pode ser ainda mais problemático devido à distribuição e maior intensidade das chuvas, causando grande perda de solos e de pesticidas por erosão. Portanto, monitorar a contaminação de rios, lagos, riachos e etc. (em escala de microbacias) por pesticidas é necessidade urgente diante da escassez de informações.

23.10 Recuperação de áreas degradadas

Este tópico foi desenvolvido pelo Prof. Miguel Cooper, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

Os solos são o substrato da vida no planeta Terra e como tal precisamos preservar o seu funcionamento para sustentar a produção de alimentos, fibras, energia e biomassa. Ao degradar os solos provocamos uma quebra no seu funcionamento e a perda da sua função essencial de sustentar a vida. Assim, o processo de recuperação do seu funcionamento requer de minucioso planejamento sendo necessário adotar usos e sistemas de manejos que protejam os solos, preservem a estrutura e o funcionamento físico-hídrico do solo. Assim, é altamente desejável e necessário a adoção de sistemas que minimizem o revolvimento do solo e a quantidade de operações agrícolas; mantenham uma cobertura permanente do solo; incorporem, incrementem e preservem os teores de matéria orgânica; utilizem rotações que incorporem plantas com alta biomassa radicular; e incrementem a atividade biológica do solo. Só assim conseguiremos conservar o solo e controlar a erosão, visando obter máximas produtividades com sustentabilidade ambiental.

Existe vasta bibliografia científica que mostra a eficiência de sistemas conservacionistas que buscam a proteção do solo e o incremento e manutenção da matéria orgânica na preservação e recuperação de solos. A matéria orgânica do solo (MOS) é fonte primária de nutrientes às plantas, influencia a infiltração, retenção de água e a suscetibilidade do solo à erosão (Gregorich et al., 1994). Por meio da sua ação sobre a agregação do solo, onde atua como cimentante ligando as partículas e estabilizando os agregados e a estrutura do solo, afeta também as demais características físicas do solo, como a densidade, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção e a infiltração de água, entre outras, que são fundamentais à capacidade produtiva do solo (BAYER et al, 2008). Visto a importância da matéria orgânica na estruturação física dos solos, fica clara a necessidade de se aumentar seus teores e, como descrito por BAYER et al. (2019), para recuperar os estoques de C no solo. Para isto, os manejos conservacionistas deverão implementar um elevado aporte de fitomassa residual e reduzida taxa de decomposição de MOS de forma que haja balanço positivo das entradas em relação às perdas. Basicamente isso será possível com adição de altos volumes de MOS e o não revolvimento do solo através do sistema de plantio direto na palha.

O uso da braquiária como alternativa de cultivo para recuperação de solos degradados, justifica-se pelo aporte de matéria orgânica desta cultura ser consideravelmente maior que cultivos comerciais de grãos (Kliemann et al., 2006), por exemplo, resultados de pesquisa mostram que a braquiária aporta 12,42 Mg ha⁻¹ contra 6,75 Mg ha⁻¹ no caso de sorgo. A braquiária possui sistema radicular bastante agressivo, capaz de melhorar a taxa de infiltração e armazenamento de água no solo, e seu cultivo, em lavouras de soja e milho safrinha apresenta um efeito descompactador do solo (Ceccon & Machado, 2008). Oliveira et al. (2015) afirmam que, o aporte de matéria seca e, conseqüentemente, de matéria orgânica do solo, promovido tanto pela parte aérea quanto radicular das braquiárias, em sistema plantio direto (SPD), atua como agente cimentante das partículas individualizadas do solo, promovendo a formação de agregados estáveis. Isso proporciona: aumento da macroporosidade e a aeração do solo; aumento da infiltração de água e redução do escoamento superficial; e a redução da susceptibilidade do solo à erosão. Os solos com agregados estáveis são menos suscetíveis à erosão, pois estes agregados apresentam maior massa que as partículas individualizadas, dificultando o carregamento pela água e/ou pelo vento.

Como exemplo, apresentamos os graves problemas de degradação físico-hídrica do solo e suas implicações sobre o processo erosivo e a perda de solo e água ocorridos numa propriedade localizada no sudoeste do estado da Bahia no município de Jaborandi. Estes graves problemas de degradação do solo (erosão + compactação) foram provocados pelo sistema de manejo adotado na lavoura de tabaco. Os graves danos à estrutura do solo provocados por este uso e manejo se traduzem em um aumento na dispersão das partículas do solo, diminuição da estabilidade dos agregados, e em severos processos de encrostramento e compactação (superficial e subsuperficial). Como consequência destes impactos ocorre a redução da condutividade hidráulica do solo favorecendo o acúmulo de água em superfície e no perfil do solo, e a formação de enxurrada em grandes volumes, gerando as condições necessárias para a formação do processo erosivo nesta propriedade.

O plano de recuperação proposto recomendou que para interromper o processo de degradação do solo é necessário eliminar a causa desta degradação, e como foi analisado anteriormente a principal causa de todos os problemas de degradação do solo foi o sistema de manejo adotado na cultura do tabaco. Assim, o primeiro passo para iniciar um processo de recuperação dos solos nesta propriedade foi substituir o sistema de manejo utilizado na cultura do tabaco. O segundo passo foi a implementação de sistemas de manejo que

recuperem o funcionamento físico-hídrico do solo e o conservem visando garantir a sustentabilidade produtiva, econômica e ambiental da fazenda. Para isto, foi proposto, a adoção do manejo regenerativo do solo que visa, em médio a longo prazo, recuperar o funcionamento dos solos da fazenda. Esta proposta se baseia em atividades e cultivos que promovam o aumento nos teores de matéria orgânica dos solos, pois esse é o componente do solo que mais interfere nas características físicas, químicas e biológicas do solo como observado em vários trabalhos científicos, alguns deles citados acima.

Para o manejo regenerativo desta área recomendou-se, a seguinte rotação:

Ano 1 (2021): braquiária → milho + braquiária (consorciada) → feijão

Ano 2 (2022): braquiária → milho + braquiária (consorciada) → feijão

Ano 3 (2023) ao Ano 8 (2029): milho + braquiária (consorciada) → feijão

Antes do plantio da braquiária e do milho nos Anos 2 e 3, recomendou-se aplicar 40 toneladas de esterco bovino por cobertura.

Os sistemas conservacionistas propostos para a recuperação/regeneração dos solos da fazenda conseguiram reverter o quadro de degradação física (mas também química e biológica) melhorando a qualidade física do solo e a sua produtividade. Assim, além do sucesso na recuperação da estrutura do solo e sua agregação, obteve-se, a partir do segundo ano produtividades de feijão na ordem de 35 sacas/ha. Lembrando que a produtividade do feijão utilizado em rotação com a cultura de tabaco em anos anteriores tinha produzido entorno de 15 sacas/ha.

Foto da área antes da recuperação (2021)



Depois da recuperação (2022):



Figura. Ilustração de uma área antes e depois da recuperação.

23.11 Nutrição mineral e relação com solos e agricultura

Este tópico foi desenvolvido pelo Prof. Flávio Henrique Silveira Rabêlo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

Produzir alimentos em quantidade e qualidade suficientes para atender uma população em constante crescimento representa um dos maiores desafios da humanidade, especialmente em um cenário de mudanças climáticas. A agricultura é muito sensível às alterações climáticas, uma vez que o solo, a água e outros recursos naturais são afetados pelo clima. A alteração desses recursos naturais induz uma série de mudanças bioquímicas e fisiológicas nas plantas, restringindo o seu crescimento e produtividade. Para lidar com essas alterações, as plantas precisam ajustar os seus mecanismos de tolerância aos estresses. Todavia, esta capacidade de modulação do metabolismo está fortemente associada a aquisição e utilização dos nutrientes pelas plantas. Dessa forma,

o adequado fornecimento de nutrientes às plantas expostas a fatores de estresse abiótico pode contribuir para aumentar a tolerância ao estresse e a produtividade das culturas (Rabêlo, 2024).

A nutrição de plantas é uma ferramenta essencial para mitigar o estresse e aumentar a produção de alimentos. Contudo, a adequada nutrição depende, entre outros fatores, de adequadas práticas de cultivo para a manutenção das características físicas, químicas e biológicas do solo. O bom manejo do solo permite que a sua exploração seja duradoura e sustentável, e que as culturas estabelecidas se desenvolvam melhor devido a absorção de água e de nutrientes em camadas do solo que não seriam exploradas diante de um manejo inadequado. Além disso, o adequado manejo do solo pode contribuir para a mitigação das mudanças climáticas devido ao importante papel do solo no armazenamento e regulação do ciclo do carbono na atmosfera. Solos bem manejados normalmente atuam no sequestro de carbono e apresentam maiores teores de matéria orgânica, resultando em características mais propícias à produção de alimentos. Portanto, o adequado manejo e a sustentabilidade dos solos agrícolas são essenciais para garantir a adequada nutrição das plantas e a segurança alimentar da população.

23.12 Manejo do solo e nutrição de plantas - aquisição de nutrientes e arquitetura radicular

Este tópico foi desenvolvido pelo Prof. Tiago Tezotto, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

O manejo de solo conservacionista tem sido adotado na produção de cereais e na produção integrada com espécies forrageiras e florestais para reduzir a erosão hídrica ao não perturbar o solo (Kavian et al., 2020) e melhorar a sua qualidade (De Andrade et al., 2017). Essa abordagem não apenas impulsiona a ciclagem de nutrientes e aumenta a atividade biológica do solo, mas também facilita o sequestro de carbono e reduz a evaporação da água (Munoz Romero et al., 2011). No entanto, alguns desafios como compactação do solo, estratificação de nutrientes, particularmente de nutrientes imóveis como fósforo (P) com aplicação de fertilizante P sem incorporação, próximo à superfície

do solo (Cade-Menun et al., 2010), e problemas decorrentes da rotação ineficiente de culturas e baixa entrada de matéria orgânica (Peixoto et al., 2020) afetam a eficiência de aquisição dos nutrientes.

Em regiões com alta precipitação anual, a aplicação superficial de calcário e fertilizante tem sido suficiente para reduzir os problemas de acidez do solo e aumentar a produtividade das culturas em sistemas agrícolas bem estabelecidos (Auler et al., 2019). No entanto, as mudanças climáticas têm impactado cada vez mais a disponibilidade de água — tanto em termos de volume quanto de distribuição — representando riscos significativos para a produção agrícola (Kang et al., 2009). Os déficits hídricos representam um grande desafio para a produtividade agrícola, afetando o crescimento das culturas, a produtividade e a sustentabilidade a longo prazo (Paudel, 2023).

Além dos efeitos diretos do estresse hídrico, a redução da umidade do solo também impacta negativamente a nutrição mineral das plantas, particularmente a disponibilidade e absorção de nitrogênio (N) e P (Teraza et al., 1999; He e Dijkstra, 2014; Jiao et al., 2016). As práticas de fertilização geralmente levam a uma distribuição desequilibrada de nutrientes, com concentrações mais altas acumulando-se na camada superficial do solo, uma região onde a disponibilidade reduzida de água complica ainda mais a absorção de nutrientes (Nandan et al., 2019). Sob essas condições, as plantas podem estender suas raízes mais profundamente para acessar a umidade, potencialmente falhando em utilizar eficientemente os nutrientes na camada superficial do solo (Li et al., 2009). Portanto, desenvolver estratégias avançadas de manejo do solo que considerem a variabilidade espacial e temporal da umidade do solo e da disponibilidade de nutrientes é crucial para sustentar a produtividade agrícola e garantir a segurança alimentar.

As raízes das plantas podem responder a ambientes de solo heterogêneos por meio do aumento do crescimento de raízes laterais. Sob a limitação de P, as plantas mudam sua arquitetura de raiz, incluindo morfologia, topologia e padrões de distribuição da raiz, e a proliferação de raízes em camadas de solo ricas em P está relacionada a uma resposta gravitrópica diminuída da raiz sob limitação de P. Fenótipos de raiz que aumentam o sequestro de carbono atmosférico não só ajudariam a combater as mudanças climáticas, mas também serviriam para aliviar a degradação do solo, estabilizando agregados, melhorando a retenção de água e nutrientes, aumentando o ciclo de nutrientes e sustentando a comunidade da rizosfera (Lynch, 2022).

A rizosfera, a interface entre as raízes das plantas e o solo, desempenha um papel fundamental no ciclo de nutrientes e nas preferências de colonização dos organismos biológicos do solo. Os processos de raiz, particularmente sob condições de seca e estresse nutricional, moldam biomas distintos da rizosfera. Por exemplo, certos protistas podem alterar significativamente a composição do bioma do solo e aumentar os níveis de nutrientes ao consumir bactérias e fungos, liberando nutrientes acessíveis para plantas e outros táxons microbianos (Asiloglu et al., 2021).

Além disso, os metabólitos secretados pelas raízes das plantas e microrganismos do solo influenciam a estrutura da comunidade microbiana e ajudam os nichos preferidos dos microrganismos. Entender as interações entre o manejo do solo e os metabólitos da rizosfera, o microbioma, a ciclagem de nutrientes e as atividades enzimáticas é essencial para gerenciar a nutrição das plantas, controlar doenças transmitidas pelo solo e modular a morfologia das raízes (Yue et al., 2023).

23.13 Como é que os microorganismos podem tornar a terra mais sustentável?

Este tópico foi desenvolvido pelo Prof. Fernando Andreoti, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

Os solos cumprem papel fundamental em diferentes serviços ambientais, dentre os quais destaca-se o fato de servir como base da produtividade de plantas, de onde advém nossos recursos para alimentação, produção de fibras e recursos para geração de energia. A qualidade do solo é considerada como elemento essencial para a máxima conversão do potencial genético das plantas em produtos derivados da agricultura. Dentre os componentes da qualidade do solo, está seu componente biológico, o qual cumpre funções fundamentais aos solos, como a ciclagem dos nutrientes, a interação e proteção das plantas, e a eficiente ciclagem do carbono. Ocorre que, estas atividades são executadas por um complexo e diversos sistema microbiano, onde alguns grupos apresentam atividades específicas, ao mesmo tempo que muitas destas funções são dependentes da biodiversidade do solo. Surge assim, a necessidade de melhor compreender sobre a

estruturação das comunidades microbianas dos solos em áreas empregadas para a agricultura.

Sabemos que a agricultura tem como premissa o uso eficiente do solo e diversos outros insumos e práticas para a eficiente produção vegetal. Dentro deste complexo ambiente, para que possamos atender as demandas das plantas, as atividades agrícolas acabam por transformar os solos, de forma a alterar as condições ambientais dos solos, tornando este ambiente mais homogêneo e seletivo. Dessa forma, se a atividade da agricultura não incorporar práticas de manejo da fração microbiana dos solos, certamente estas passarão por processos seletivos a cada ciclo de cultivo, poderão diminuir em sua biodiversidade, o que acarretará perdas das funções microbianas nos solos. Em última instância, esta perda de qualidade do componente biológico dos solos levará a dependência de maiores quantidades de insumos e maior exposição das plantas a agentes de estresse.

Com este cenário, torna-se importante desenvolver sistemas de manejo da microbiologia do solo, de forma análoga ao que é realizado para os componentes de qualidade física ou qualidade química deste ambiente. Ao considerarmos as iniciativas que atendem esta demanda, podemos verificar que dois grupos de atividades estão alinhados com este objetivo: i) a aplicação de micro-organismos com reconhecido potencial benéfico nos solos e nas plantas no momento do cultivo; ii) a adoção de práticas de manejo que tragam as melhores condições ambientais, como a quantidade e a qualidade da matéria orgânica, a umidade, dentre outros.

Ao considerarmos a primeira possibilidade para o manejo microbiológico dos solos, observamos um crescente número de espécies microbianas descritas com diferentes potencialidades de contribuição na agricultura, com atuação na disponibilização de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), na proteção de plantas contra pragas e patógenos, ou na mitigação do estresse hídrico. Soma-se a estas funcionalidades específicas, o uso de produtos biológicos conhecidos como condicionadores biológicos dos solos, os quais prezam por uma maior atividade microbiana ou pela recolonização do solo por uma maior biodiversidade. Vale destacar neste ponto, que Brasil e Europa apresentam-se como as regiões de cultivo que mais adotam estas tecnologias, na busca por uma agricultura mais eficiente.

Ainda dentro das estratégias de manejo microbiológico, as práticas agrícolas que podem contribuir na busca por melhores condições ambientais são diversas, como a manutenção da cobertura do solo (por plantas vivas ou resíduos), o cultivo de plantas de cobertura em sistemas de rotação organizados em alta biodiversidade vegetal, ou a reposição de insumos tradicionais por tecnologias menos agressivas, ou de embasamento biológico. Ao somarmos esforços dentro das duas premissas apresentadas acima, certamente construiremos sistemas de cultivo mais eficientes, agregando a estes a qualidade biológica, sem comprometer a viabilidade econômica da agricultura. O que se observa como resultado do incremento dessas práticas de manejo é um uso mais eficiente dos recursos, o que traz incremento na produtividade das culturas.

Por fim, é importante relatar que este maior conhecimento sobre o conteúdo microbiano dos solos deriva do desenvolvimento técnico e científico, o que incrementou em muito, nossa capacidade de mensurar este sistema nas últimas décadas. Dessa forma, embasados em métodos inovadores, somos capazes de monitorar a estruturação microbiana dos solos, entender como esta responde aos diferentes usos, e gerar inovações tecnológicas para possibilitar sua melhoria. Ainda derivado destas metodologias, surge a demanda de desenvolvimento de estratégias analíticas que permitam que toda a cadeia usuária das tecnologias ligadas ao solo possa utilizar.

Há uma forte demanda, em nível mundial, para que sejam gerados protocolos analíticos em solos sob diferentes usos, capaz de trazer aos produtores, consultores, e outros atuantes nesta atividade, a real alteração na estruturação ou na atividade microbiana dos solos, promovidas pelas práticas de manejo. Estas metodologias devem atender ao desafio de serem rápidas, eficientes, interpretativas, e de custo adequado ao emprego na agricultura. Certamente, estas características são difíceis de serem combinadas, o que poderá levar a muitas inovações dentro desta demanda.

Hoje, os métodos analíticos mais empregados se dividem em premissas da quantificação de grupos específicos, e em inferências sobre atividade microbiana ou composição das comunidades. Destaca-se nos grupos específicos, a quantificação daqueles que apresentam fenótipo característico, como as micorrizas ou os fixadores de nitrogênio. Na área da atividade microbiana, enzimas de solo relacionadas a ciclagem da matéria orgânica tem se mostrado ótimos indicadores deste parâmetro, ao passo que na descrição de comunidades, há diversas iniciativas que buscar empregar métodos de

sequenciamento de DNA para produção de sistemas eficientes de diagnose microbiana nos solos.

De acordo com Rodrigues et al. (2023), Silva et al. (2022) e Cotta et al. (2016), a alta complexidade do ecossistema solo sustenta uma diversidade de organismos, variados em tamanho, forma, metabolismo e funcionalidade, que desempenham papéis cruciais no funcionamento do solo e, conseqüentemente, na prestação de múltiplos serviços ecossistêmicos. Os microrganismos, em particular, são essenciais na execução de processos como a ciclagem de nutrientes, decomposição de matéria orgânica e promoção da saúde vegetal, aspectos fundamentais para garantir a eficiência produtiva de diversas culturas. Portanto, sua atividade deve ser considerada no contexto do desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Esses microrganismos facilitam a disponibilização de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, contribuindo para um crescimento vegetal mais saudável e produtivo, sem a necessidade excessiva de fertilizantes químicos. Além disso, sua atividade aumenta a resiliência das plantas ao estresse ambiental, como seca e doenças, promovendo interações benéficas na rizosfera, a zona ao redor das raízes. Dessa forma, a gestão adequada da microbiota do solo se apresenta como uma estratégia poderosa para impulsionar a produtividade agrícola de maneira ecologicamente equilibrada.

Em suma, o desenvolvimento recente da microbiologia do solo dentro da atividade agrícola atingiu patamares inimagináveis há alguns anos, comprovando a importância deste componente na qualidade dos solos. Os próximos anos guardam muitas inovações nas diferentes vertentes desta área de conhecimento, o que certamente será fundamental na busca por sistemas agrícolas mais eficientes.

23.14 Potencial de sequestro de carbono no solo na agropecuária brasileira

Este tópico foi desenvolvido pelo Prof. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo.

a. Considerações iniciais

Gases como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), são responsáveis pela manutenção da temperatura média de aproximadamente 15°C na Terra, promovendo o chamado "efeito estufa natural", essencial para a existência da vida no planeta. No entanto, tem crescido a preocupação mundial em relação às mudanças do clima no planeta, uma vez que estudos revelam que a concentração desses gases na atmosfera, principalmente do CO₂, tem aumentado nos últimos 200 anos e, em especial, nas últimas décadas. Uma das principais consequências deste incremento é o que pode ser chamado "aumento do efeito estufa" ou "efeito estufa antrópico", ou seja, uma maior quantidade dos raios infravermelhos, interagem com os gases do efeito estufa (GEE), promovendo um desequilíbrio energético.

Globalmente, a queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento constituem as maiores fontes, responsáveis por 66% dos GEE lançados na atmosfera. A agricultura (20%) e a mudança do uso da terra (14%) completam o total das emissões antrópicas. A quantificação da contribuição dos GEE emitidos pela queima de combustíveis fósseis é mais exata e com menor incerteza, visto que se conhecem bem as quantidades de petróleo, carvão e gás natural extraídas e consumidas anualmente no mundo. Quanto à agricultura e às mudanças no uso da terra, as estimativas das emissões de GEE são mais difíceis de serem feitas, uma vez que as fontes são difusas e os sistemas são muito mais complexos. Por tais motivos, faz-se necessário conhecer melhor as emissões oriundas dessas duas fontes para diminuir as incertezas e assim colaborar para um diagnóstico mais preciso sobre os balanços globais e dar subsídios concretos para tomadas de decisões mitigadoras.

No Brasil, a proporção entre as contribuições dos GEE provenientes da queima de combustíveis fósseis, agricultura e mudanças do uso da terra apresentam padrões diferentes daqueles observados globalmente. Aqui, a contribuição da queima de combustíveis fósseis é a menos importante, enquanto a mudança de uso da terra e a agricultura são responsáveis por mais de dois terços das emissões.

As consequências adversas do aquecimento global, que se manifestam como mudanças climáticas, estão atualmente entre as principais preocupações ambientais enfrentadas pela população da Terra. Para enfrentar o problema foi criado o Comitê Intergovernamental de Negociação da Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima

(INC/UNFCCC). Esse Comitê elaborou um documento que determinava as diretrizes da Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima, assinado em maio de 1992 pelas Nações Unidas e aberto para adesão dos países em junho de 1992 na Cúpula sobre Meio Ambiente no Rio de Janeiro. Esta convenção foi assinada por 175 países até 1999, quando os governos associados concluíram que ela poderia ser a propulsora de ações mais enfáticas em longo prazo nas questões de cunho ambiental.

O Acordo de Paris, aprovado ao final da 21ª Conferência das Partes (COP-21) em 2015, determina que os 195 países signatários tomem medidas para conter o aumento da temperatura média do planeta neste século bem abaixo dos 2 °C, com relação aos níveis pré-Revolução Industrial. Um ponto fundamental para a agropecuária na COP-21 foi o reconhecimento de que, apesar de contribuir com as mudanças climáticas, esse é também um setor bem-posicionado para ajudar na redução das emissões de gases do efeito estufa. Com as responsabilidades de cada país definidas pelo novo acordo mundial do clima, o desafio para a agropecuária agora será ampliar cada vez mais os investimentos em uma agricultura de baixa emissão carbono.

O governo brasileiro desenvolveu o plano ABC (“Plano ABC - Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura”) que é composto por sete programas, seis deles referentes às tecnologias de mitigação (Tabela 170), e um programa com as ações de adaptação às mudanças climáticas. Dentre os programas, o referente à recuperação de pastagens degradadas é responsável por 43% da área total da abrangência do programa ABC com um “potencial de mitigação” 64% do total.

Nesse contexto, o solo constitui um compartimento chave do processo de emissão e sequestro de carbono. Globalmente, há duas a três vezes mais carbono nos solos do que estocado na vegetação, e cerca do dobro em comparação com a atmosfera. Manejos inadequados podem, portanto, levar à mineralização da matéria orgânica e transferir grandes quantidades de gases do efeito estufa para a atmosfera. Portanto, é importante salientar a diferença entre aumento do estoque de carbono e sequestro de carbono no solo. O primeiro está restrito à diferença de estoques de carbono entre dois manejos ou sistemas agrícolas. O segundo, mais amplo, envolve não só a diferença de estoques, mas também as variações nas taxas de emissão de CH₄ e N₂O, uma vez que o CO₂ está computado pela diferença dos estoques de carbono do solo. A diferença entre o estoque de C no solo e o fluxo de gases, ou seja, o sequestro de carbono, é normalmente expresso na unidade

“equivalente em Carbono”, no qual se leva em consideração o potencial de aquecimento global dos gases envolvidos.

Tabela 170 – Programa ABC, sub-programas, compromisso do governo e potencial de mitigação de cada sub-programa.

Processo Tecnológico	Compromisso (aumento de área/uso)	Potencial de Mitigação (milhões Mg CO₂ eq)
Recuperação de Pastagens Degradadas ¹	15,0 milhões há	83 a 104
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta ²	4,0 milhões há	18 a 22
Sistema Plantio Direto ³	8,0 milhões ha	16 a 20
Fixação Biológica de Nitrogênio ⁴	5,5 milhões ha	10
Florestas Plantadas ⁵	3,0 milhões ha	-
Tratamento de Dejetos Animais ⁶	4,4 milhões m ³	6,9
Total	-	133,9 a 162,9

A seguir, é apresentada uma breve análise sobre algumas das práticas de manejo empregadas em diferentes sistemas de produção agrícola e o uso racional de insumos agrícolas como potenciais medidas de sequestro de carbono e mitigação das emissões de GEE no campo.

¹ Por meio do manejo adequado e adubação. Base de cálculo foi de 3,79 Mg de CO₂ eq.ha⁻¹. ano⁻¹.

² Incluindo Sistemas Agroflorestais (SAFs). Base de cálculo foi de 3,79 Mg de CO₂ eq.ha⁻¹.ano⁻¹.

³ Base de cálculo foi de 1,83 Mg de CO₂ eq.ha⁻¹.ano⁻¹.

⁴ Base de cálculo foi de 1,83 Mg de CO₂ eq.ha⁻¹.ano⁻¹.

⁵ Não está computado o compromisso brasileiro relativo ao setor da siderurgia; e, não foi contabilizado o potencial de mitigação de emissão de GEE.

⁶ Base de cálculo foi de 1,56 Mg de CO₂ eq.m⁻³.

b. Sistema de plantio direto

O plantio direto na palha (PD) começou a se tornar uma prática no Brasil, durante a década de 1970, em que agricultores do sul do país, como forma de controlar a erosão generalizada causada pelo revolvimento intensivo dos solos agrícolas, introduziram uma nova forma de manejo do solo. A aceitação do PD foi relativamente lenta. No entanto, os agricultores começaram gradualmente a perceber que havia grandes benefícios na implantação do PD, o qual exigia menos operações de campo, diminuindo despesas com maquinário e combustível, as culturas podiam ser plantadas mais cedo do que no plantio convencional (PC), além de contribuir para a conservação do solo e da água. Além disso, existem alguns princípios subjacentes ao manejo do solo que levaram ao desenvolvimento do sistema de PD no Brasil foram: a prevenção da vedação/selamento e desagregação da superfície do solo causada pelo impacto da precipitação sobre o solo, a obtenção e manutenção da estrutura do solo e, a redução do volume e velocidade de escoamento superficial.

Atualmente, o PD envolve a combinação de práticas biológicas ou culturais, como: (1) o uso de xenobióticos e/ou práticas mecânicas no manejo de culturas para adubação verde, a formação de cobertura do solo por meio da manutenção da biomassa cultural residual na superfície, (2) a combinação de espécies com diferentes exigências nutricionais, produção de biomassa e sistema radicular, o que pode ser denominado de rotação de culturas, e (3) a adoção de métodos integrados de controle de plantas infestantes por meio da cobertura morta do solo, herbicidas e minimização de distúrbios no solo, exceto nos sulcos de semeadura.

Com a expansão da agricultura no país, o governo brasileiro com o objetivo de difundir uma “nova agricultura sustentável”, a ser adotada pelos agricultores para reduzir os impactos do aquecimento global, está incentivando a ampliação das áreas cultivadas sob plantio direto, visando o sequestro de C nos solos agrícolas. A estimativa é que esse acréscimo de áreas sob um manejo mais conservacionista, considerando uma taxa média de 0,5 toneladas de carbono por hectare por ano, permitirá a redução da emissão de 10 a 20 milhões de toneladas de C equivalentes.

Neste contexto, a manutenção e manejo da matéria orgânica do solo são de grande importância para a sustentabilidade de culturas agrícolas, pastagens e florestas, sendo o fator chave no PD. Atualmente, atenções têm sido voltadas para a função dos solos no

ciclo global do C, onde são estocados mais que 1,5 trilhões de toneladas de C ou cerca de três vezes o C contido na vegetação mundial e, duas vezes a quantidade de C (como CO₂) na atmosfera terrestre. Por isso, relativamente pequenas mudanças no estoque de C da MOS podem acarretar grandes efeitos na concentração dos GEE, seja positiva ou negativamente. Nesse sentido, se os solos são manejados de forma a aumentar o conteúdo de MOS (o que também contribui para aumentar a fertilidade do solo), níveis de CO₂ emitidos para a atmosfera podem ser reduzidos.

c. Recuperação de áreas degradadas

O Brasil possui uma área de mais de 170 milhões de hectares ocupada por pastagens. Estimativas recentes têm sugerido que pelo menos a metade das áreas de pastagens encontra-se degradada ou em processo de degradação. A degradação das pastagens é um processo evolutivo de perda da produtividade e da capacidade de recuperação natural das forrageiras para sustentar os níveis de produção e a qualidade exigida pelos animais, sendo diretamente relacionada à perda de solo por meio de processos erosivos. Esse processo geralmente está associado à intensidade de pastoreio, perda da fertilidade do solo, mudança de vegetação e até mesmo devido às consequências do desmatamento, caso comum nas áreas de pastagens na região da Amazônia.

Associada a perda de solo está a perda da matéria orgânica do solo e conseqüentemente, do C do solo. Sendo assim, considera-se que dependendo do manejo dado as pastagens o solo pode funcionar como fonte ou dreno de C, sendo estes pontos chave na mitigação da emissão de GEE gerados pela agricultura. De acordo com estimativas efetuadas por nosso grupo de pesquisa, se toda área de pastagem degradada da Amazônia (cerca de 13 milhões de hectares) recebesse o manejo adequado e fosse recuperada, haveria a possibilidade de obter uma taxa de acúmulo de 0,27 t ha⁻¹ ano⁻¹ de C na camada de 0 a 30 cm, o que aumentaria os estoques de C dos solos dessa região além de deixar de emitir cerca de 3,5 Tg ano⁻¹ de C. Nesse sentido a recuperação dessas pastagens degradadas passa a ser fundamental e é um dos principais pilares capaz de sustentar e tornar eficaz os planos de mitigação de GEE gerados pela agricultura e mudar a imagem desse setor como um dos vilões do aquecimento global no Brasil.

O Governo brasileiro pretende recuperar 15 milhões de hectares de áreas de pastagens degradadas até 2020. Essa é uma das metas do Programa ABC e tem grande

importância, pois além dos impactos climáticos, a degradação ambiental impõe elevados custos à sociedade, além do empobrecimento do produtor rural. Para atingir esse objetivo, uma das práticas que vem sendo largamente adotada no Brasil é integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Nota-se então que, do ponto de vista do sequestro de carbono, pode-se reduzir em até cinco vezes a emissão dos GEE com a recuperação das pastagens degradadas. Além disso, se essas pastagens forem recuperadas poderá ser possível reduzir a pressão pela derrubada de mais florestas para abertura de novas pastagens e, se for possível trabalhar com pastagens em pleno potencial, bem manejadas e adubadas, o Brasil poderá usar um quinto da área atual de pastos para produzir a mesma quantidade em termos de produtos animais, e ainda com menores emissões de gases do efeito estufa.

d. Integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF)

As principais estratégias para a redução da emissão de GEE consistem em redução da queima de combustíveis fósseis, minimização de desmatamento e queimadas, manejo adequado do solo e maximização do sequestro de carbono no solo. Quanto às duas últimas estratégias, o uso de práticas conservacionistas do solo é indiscutível para sua otimização.

A iLPF é uma estratégia de produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, sequencial ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do sistema produtivo, contemplando a adequação ambiental e a viabilidade econômica da atividade agropecuária. Dessa forma, abrange sistemas produtivos diversificados para a produção de alimentos, fibras, energia, produtos madeireiros e não madeireiros, quer sejam de origem vegetal ou animal, de forma a otimizar os ciclos biológicos das plantas e dos animais, bem como dos insumos e seus respectivos resíduos.

A estratégia de iLPF contempla pelo menos quatro modalidades de sistema, tais como: integração Lavoura-Pecuária ou Agropastoril (iLP); integração Pecuária-Floresta ou Silvipastoril (iPF); integração Lavoura-Floresta ou Silviagrícola (iLF) e integração lavoura-pecuária-floresta ou Agrossilvipastoril (iLPF).

A iLP vem exibindo considerável potencial de acúmulo de C no solo. As avaliações das modificações nos estoques de C do solo nos principais processos de mudança de uso da terra nos biomas Amazônia e Cerrado, comparados com a implantação

de sistemas iLP, demonstram que a conversão de áreas de sucessão de cultivos, tendo a soja como cultura principal, para sistemas de iLP (ambos em sistema PD) resulta em acúmulo de C no solo que varia de 0,82 a 2,85 t ha⁻¹ ano⁻¹. Entretanto, a magnitude do acúmulo de C no solo depende das culturas implantadas, das condições edafoclimáticas e ainda do tempo de implantação do sistema de iLP.

Em virtude do papel reconhecido das árvores e crescimento para sequestrar C e, conseqüentemente, mitigar a emissão de GEE, os sistemas de iLPF são considerados relevantes para a produção sustentável. No sistema de iLPF estabelece-se o cultivo da espécie florestal com espaçamento ampliado entrelinhas, possibilitando a implantação de uma cultura de interesse comercial na região como soja, milho, feijão, sorgo, girassol, mandioca etc., nas entrelinhas por dois a três anos. Em seguida implanta a cultura forrageira consorciada com o milho ou com o sorgo. Após colher a cultura de grãos terá o pasto formado nas entrelinhas da floresta cultivada, permitindo a implantação da atividade de pecuária e a sua exploração até o corte da madeira.

Estudos com diferentes arranjos de sistemas de iLPF demonstraram que o componente florestal propicia inúmeros benefícios que refletem em melhoria na eficiência de uso da terra. Entretanto, são os impactos positivos em variáveis microclimáticas e no sequestro de C que ampliam as possibilidades de seu uso em cenários de mudanças climáticas.

Os resultados obtidos com a iLPF apontam que trata-se de uma alternativa economicamente viável, ambientalmente correta e socialmente justa para o aumento da produção de alimentos seguros, fibras e agroenergia, possibilitando a diversificação de atividades na propriedade, a redução dos riscos climáticos e de mercado, a melhoria da renda e da qualidade de vida no campo, contribuindo para a mitigação do desmatamento, para a redução da erosão, para o sequestro de C e a diminuição da emissão de GEE, enfim, possibilitando a produção sustentável.

Entretanto, os diferentes sistemas de iLPF, podem ser constituídos de grande diversidade de plantas de lavouras e de pastagens, e de arranjos e densidade arbóreas. Assim, o sequestro, fluxo e estoque de C dá-se de formas diferentes nos diferentes agrossistemas, eco-regiões e formas de manejo dos componentes dos sistemas. Dessa forma, o conteúdo de C e a taxa anual de sequestro/imobilização de C nesses sistemas podem variar grandemente. Embora haja exemplos de utilização da iLPF no Brasil, a

diversidade de condições regionais do país indica a necessidade de estudos regionalizados sobre o sistema de iLPF, para, assim, diminuir o grau de incertezas na estimativa do potencial de sequestro de C na fitomassa e no solo nos diferentes sistemas.

e. Fatores que afetam o sequestro de carbono

A dinâmica do carbono orgânico do solo (COS) é influenciada pelos mesmos fatores de formação do solo, como o clima, organismos, material de origem, relevo e tempo (Hobley et al., 2005). Portanto, o potencial de sequestro e armazenamento de carbono (C) no solo será afetado por esses fatores. A importância da mineralogia nesse potencial tem sido mencionada (Gray et al., 2015, Wiesmeier et al., 2011), assim como o uso do solo (Adhikari et al. 2014, Hobley et al., 2015) e a atividade de microrganismos, a qual interfere no grau de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) (De Beeck et al., 2021) e na estabilização do C (Nicolas et al., 2019). Rodriguez-Albarracin et al. (2023) identificaram a importância e a capacidade de variação dos minerais do solo na predição do potencial de sequestro de C. Além disso, foi identificado em Rodriguez-Albarracin et al. (2024) que envolver a interação da atividade dos microrganismos com minerais do solo melhora a predição desse potencial de sequestro de carbono, destacando a importância de minerais como a caulinita, hematita, goethita, gibbissita e variáveis microbiológicas como a abundância de fungos, actinomicetos, fungos micorrízicos vesículo-arbusculares, atividade enzimática da beta-glicosidase, urease, fosfatase e matéria orgânica particulada (MOP).

f. Considerações finais

As certificações dos produtos agropecuários no Brasil e iniciativas do Governo Federal como o Programa Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Programa ABC) condicionam um novo modelo de produção agrícola. Nesse contexto, este texto abordou alguns exemplos de usos da terra e práticas de manejo agrícolas de caráter conservacionista. Há elevado potencial de sequestro de carbono no âmbito da agricultura conservacionista, que representa uma das mais promissoras alternativas para mitigação dos gases do efeito estufa. Dessa maneira, faz-se necessário intensificar o incentivo à adoção de práticas e processos tecnológicos que por um lado auxiliem na redução da

concentração de gases na atmosfera provocado pelo setor agrícola e por outro lado aumentem o sequestro de carbono na vegetação e solo. Essas práticas podem conferir ao agricultor e pecuarista um benefício complementar, uma vez que essa redução ou sequestro de carbono poderão conferir potenciais créditos, negociáveis em bolsas de valores. Nesse contexto, o Brasil pode ser um dos países beneficiados, uma vez que possui grande extensão territorial, elevado nível tecnológico agropecuário e condições climáticas favoráveis ao crescimento vegetal e transferência de material orgânico ao solo.

23.15 Saúde do solo: Conceitos e implicações de manejo

Este tópico foi desenvolvido pelo Prof. Maurício Cherubin, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Departamento de Ciência do Solo. O texto é baseado no artigo publicado por Cherubin et al. (2023), o qual aborda a evolução conceitual de SAÚDE DO SOLO baseado no entendimento do funcionamento do solo e suas relações com a produção agrícola e com outros componentes do ecossistema.

a. O avanço do conceito de saúde do solo

O conceito de saúde do solo é bastante amplo, complexo e emergente, exigindo uma visão integrada do solo para compreendê-lo e aplicá-lo. Saúde do solo refere-se a “capacidade contínua do solo, como um ecossistema vivo, desempenhar suas múltiplas funções, tais como suporte à produção de alimentos, fibras e biocombustíveis, ciclagem de nutrientes, estocagem de carbono, habitat para a biodiversidade, regulação do fluxo de água, matéria-prima à indústria farmacêutica, cosmética e construção civil, além de ser um patrimônio e herança cultural” (Karlen et al., 1997; Lehmann et al., 2021). Tais funções são vitais para sustentar a produção de plantas e animais e a nossa própria vida na Terra. Solo saudável é o principal pilar da necessária transição para uma agricultura mais sustentável (e/ou regenerativa), permitindo assim, avançarmos na resolução de grandes problemas globais, como a insegurança alimentar e as mudanças climáticas.

Por se tratar de uma temática atual e de interesse global, a geração de conhecimento técnico-científico sobre os conceitos, métricas (indicadores) e aplicações e manejo da saúde do solo tem evoluído em um ritmo muito acelerado, particularmente na

última década. A Saúde do Solo foi recentemente considerada como a área da fronteira do conhecimento da Ciência do Solo (Shen e Teng, 2022). Este interesse na área de Saúde do Solo se reflete no aumento exponencial do número de artigos científicos publicados relacionando os termos (“saúde do solo” ou “qualidade do solo”), no qual tanto globalmente quanto no Brasil, verifica-se que cerca de 75% das publicações ocorreram na última década (2013-2022), e 50% nos últimos 5 anos (2018-2022). Estes números são bastante impressionantes, e refletem o engajamento crescente de pesquisadores na área de Saúde do Solo. O Brasil é o quarto país com maior número de publicações na área de saúde do solo, estando atrás apenas de China, Estados Unidos e Índia.

b. Saúde do solo em sistemas agrícolas

Em sistemas agrícolas, a saúde do solo pode ser definida como a "capacidade contínua de um solo manter-se equilibrado sob o ponto de vista químico, físico e biológico, sustentando processos e funções que proporcionem um ambiente favorável para que as plantas expressem seu máximo potencial genético". Solos saudáveis apresentam maior teor de carbono e biodiversidade, favorecendo processos de retenção, ciclagem e mineralização de nutrientes, infiltração, condutividade hidráulica e retenção de água, aeração, agregação, supressão de pragas e doenças, os quais favorecem o crescimento e desenvolvimento das plantas (Cherubin et al., 2023). Portanto, o equilíbrio das propriedades físicas, químicas e biológicas sustenta a multifuncionalidade do solo (Figura 150).

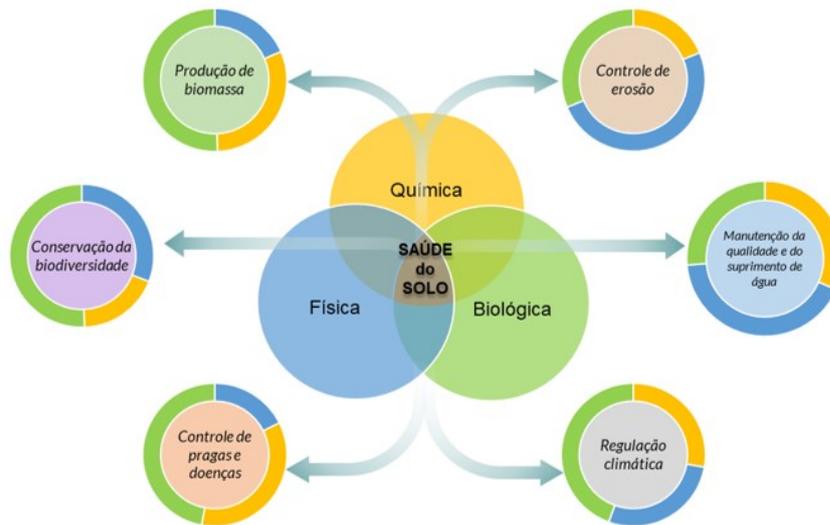


Figura 150 - A saúde do solo reflete a capacidade do solo exercer continuamente suas funções, e depende do equilíbrio entre suas propriedades físicas e químicas, e da diversidade e abundância de organismos vivos. **Fonte:** Cherubin et al. (2023).

Portanto, plantas cultivadas em solos saudáveis tornam-se mais resistentes e resilientes a estresses bióticos e abióticos (ambientais), resultando em maior produtividade e estabilidade produção ao longo do tempo (Figura 151). Desta forma, espera-se que haja um incremento de produtividade em solos saudáveis comparados a não saudáveis tanto em anos de condições climáticas favoráveis quanto desfavoráveis (por exemplo, com ocorrência de estiagem). Todavia, as diferenças de produtividade são amplificadas nos anos com condições desfavoráveis, onde solos saudáveis sustentam condições mais favorável ao crescimento e desenvolvimento das plantas, tais como: maior teor de matéria orgânica, maior retenção de água e nutrientes, maior atividade biológica e estrutura que permite maior crescimento radicular.

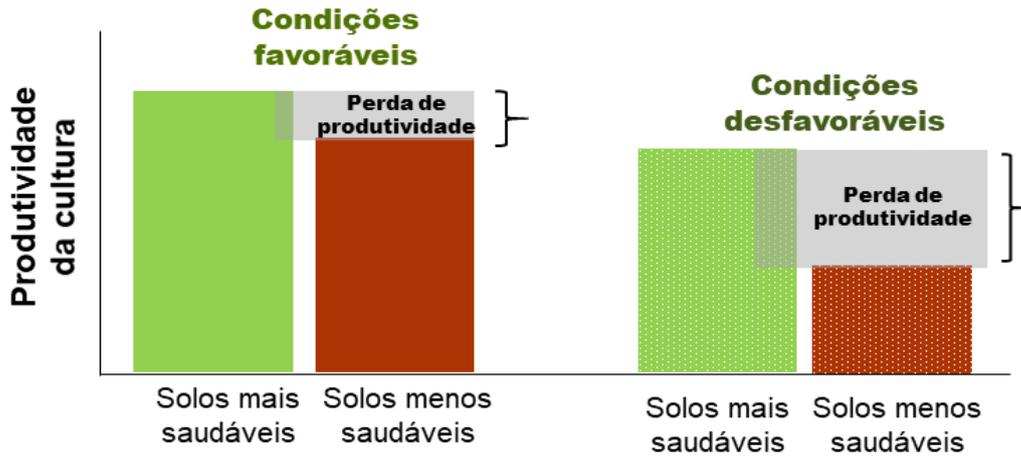


Figura 151 - Representação esquemática do impacto da saúde do solo na produtividade das culturas. **Fonte:** Cherubin et al. (2023).

Essa teoria tem sido provada em diferentes culturas agrícolas e condições edafoclimáticas. Por exemplo, na safra de soja 2019/2020, ocorreram perdas importantes de produtividade no Rio Grande do Sul por conta de uma estiagem prolongada. Para avaliar a resposta da soja à estiagem, Fiorin et al. (2020) avaliaram a diferença na produtividade da cultura em talhões com alta e baixa qualidade do sistema plantio direto em dezenas de propriedades rurais. Os autores concluíram que talhões com alta qualidade do plantio direto (i.e., rotação de culturas, plantas de cobertura, semeadura em contorno e correção do solo) e conseqüentemente, solos mais saudáveis, apresentaram média de 13,7 sacas ha⁻¹ a mais do que nos talhões com baixa qualidade do sistema. Cherubin et al. (2021) avaliaram 12 experimentos na Região Centro-Sul do Brasil, e verificaram que a remoção (excessiva) da palha de açúcar, para a produção de bioenergia, reduziu a saúde do solo, e isso resultou em reduções de produtividade da cultura. A produtividade foi impactada com maior intensidade no Sul de Goiás, onde o período de déficit hídrico é mais prolongado do que no estado de São Paulo, por exemplo. Em um grande estudo realizado na China, Qiao et al. (2022), concluíram que solos de alta qualidade reduziram a sensibilidade da produtividade das culturas (trigo, milho e arroz) à variabilidade climática, levando a uma produtividade média mais alta ($10,3 \pm 6,7\%$) e maior estabilidade da produção (diminuindo a variabilidade em $15,6 \pm 14,4\%$). Portanto, fica evidente nos vários estudos, que a saúde do solo é um pilar fundamental para sustentarmos as produtividades em anos adversos e atingirmos altas produtividades em anos favoráveis.

A saúde do solo é dinâmica, sendo influenciada pelo uso da terra e, em sistemas agrícolas, principalmente pelo manejo. Em um ecossistema natural, tende a manter-se estável, alterando-se raramente apenas como resultado de eventos extremos (como queimadas e deslizamentos). Com a remoção da vegetação natural para fins agrícolas o equilíbrio do ecossistema é severamente alterado, e a saúde do solo flutuará conforme o novo uso for alterando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Por isso, a saúde do solo em sistemas agrícolas está relacionada com uma avaliação integrada de atributos (indicadores) químicos, físicos e biológicos, que sejam dinâmicos e sensíveis às alterações de manejo na camada superficial do solo (aproximadamente 0 - 30 cm).

Neste ponto, a saúde do solo difere de outros conceitos, como o antigo conceito de qualidade do solo relacionado apenas à produtividade das culturas, e como o conceito de ambiente de produção. A saúde do solo é relativa e relaciona-se com os atributos de cada solo individualmente. Por exemplo, a porosidade do solo, é um aspecto físico que regula o comportamento hídrico do solo, mas também é habitat para os organismos responsáveis pela ciclagem de matéria orgânica e nutrientes. Os bioporos formados por membros da macrofauna, como as minhocas, são importantes para a percolação de água no solo e para o crescimento de raízes em camadas mais profundas, aumentando a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas. O processo de formação de agregados, é um processo que envolve a aproximação física das partículas minerais do solo, e depende da presença de elementos flocculantes, como o cálcio, mas também de minerais como os óxidos de ferro e alumínio, e do biológico do solo - a matéria orgânica, os microrganismos e as raízes das plantas - para cimentação e manutenção de agregados estáveis. Da mesma forma, as funções do solo são compostas por processos integrados que dependem simultaneamente das interações de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Figura 150).

c. Considerações finais

Saúde do solo é o principal pilar para produzirmos mais e de forma mais estável e sustentável ao longo dos anos. Portanto, o conceito de saúde do solo está diretamente relacionado aos novos modelos de agricultura, denominados de agricultura sustentável, agricultura de baixo carbono e/ ou agricultura regenerativa. Desta forma, solos saudáveis

são peça chave para combatermos grandes problemas globais como insegurança alimentar e mudanças climáticas.

Na última década, Saúde do Solo tem sido uma das áreas mais pesquisadas e discutidas dentro da Ciência do Solo. No Brasil, tem-se gerado avanços importantes nesta área, apesar do número ainda reduzido de grupos de pesquisas dedicados à temática. Portanto, trata-se de uma área muito promissora, tanto sob o ponto de vista de pesquisa, desenvolvimento e inovação, quanto do ponto de vista de aplicação prática/comercial pelos produtores, consultores e empresas do agronegócio. Ainda há uma série de desafios a serem superados, como por exemplo, o estabelecimento de protocolos de quantificação e monitoramento de saúde do solo no campo, incluindo amostragem de solo, indicadores e análises laboratoriais e ferramentas para interpretação dos resultados. Todavia, o conhecimento científico deve continuar pavimentando o caminho da inovação para que tenhamos soluções no mercado que contribuam efetivamente para melhoria da saúde do solo, e com isso, tenhamos uma agricultura mais produtiva, resiliente e sustentável.

24 CAPÍTULO 24: O FUTURO DO MANEJO NA ERA DA MODERNIDADE

Neste tópico vamos realizar uma linha do tempo em relação ao avanço das tecnologias verificando aonde chegamos. Com o advento tecnológico, em especial dos modernos computadores no pós-2000, muita coisa mudou. Os processadores mais rápidos alavancaram softwares de maior capacidade de armazenamento de dados, o que se denomina os big data. Trata-se de grandes bancos de dados. Esses bancos podem ter diversos tamanhos, e basicamente são as informações oriundas por um único fazendeiro ou uma grande empresa. Os dados vão desde a temporalidade das análises de solo, dos locais com ataque de pragas e doenças, dos locais com compactação, entre outros. Nesse bojo, veio a agricultura de precisão, que trouxe um altíssimo número de análise de solo (partindo de 1 ponto a cada 4 há chegando a 1 ponto por há, ou variações).

Em resumo, pode-se dizer que as tecnologias vieram para auxiliar na captura de dados de maneira mais rápida, limpa e amigável. Além disso, os pacotes tecnológicos têm a capacidade de cruzar informações e detectar respostas que o ser humano não consegue pela quantidade de dados. As novas linguagens de programação como R, Python, Google Earth Engine e Century são inovações de grande impacto para a sociedade como um todo.

O ponto é que a agricultura de precisão trouxe consigo uma enormidade de dados. Junto a isso, surgiram os mapas de atributos do solo, como Ca, Mg, K, P, necessidade de calcário, entre outros. Estes mapas são realizados regularmente para atualizar as análises de solo. Como o custo operacional desta técnica começou a encarecer, a pesquisa iniciou a busca por alternativas. A primeira foi a do uso de sensores em diferentes faixas do espectro-eletromagnético com o intuito de quantificar elementos do solo. Os resultados têm sido promissores para alguns elementos como CTC, argila, areia, carbono e mineralogia. Os equipamentos usados têm sido as faixas do visível-infravermelho (Viscarra Rosel et al., 2016), infravermelho médio (Terra et al., 2019), o ultravioleta (Tavares e tal., 2022) e o raios X de fluorescência (Rosin et al., 2023). Todos têm vantagens e limitações devendo o usuário avaliar. O futuro dos laboratórios de análise de solo, de acordo com Demattê et al. (2018), é que serão híbridos, quais seja, vão trabalhar em conjunto os sensores e as tecnologias clássicas (Figura 152).

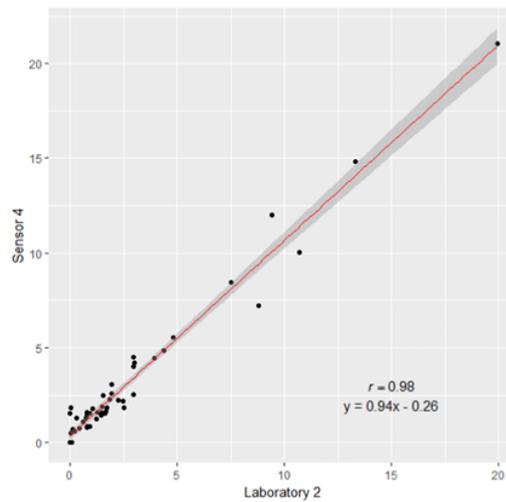


Figura 152 - Ilustração estatística entre o cálculo da necessidade de calcário determinada por um sensor vis-NIR e um método tradicional.

Vindo após as análises em um laboratório, existe a estratégia de conseguir tal intento diretamente no campo em plataformas em tratores. Existe uma demanda global por análises de solo para nutrir as plantas e técnicas inovadoras são necessárias. A mais promissora são as plataformas conjugadas e adaptadas em tratores, nos quais se realiza as análises de solo em tempo real. Essa abordagem é em tempo real e o laboratório funciona como um termômetro para validar ou criar os padrões dos modelos que vão nos tratores. Este foco tem sido buscado por vários autores entre eles Eitelwein et al. (2022) and Tavares et al. (2023) – Figura 153. Contudo, prever nutrientes do solo continua sendo uma tarefa árdua, onde os elementos mais confiáveis até o momento são argila, areia, CTC, mineralogia e carbono. Os químicos sempre apresentam resultados variáveis e necessitam de maiores estudos. A figura apresenta tais plataformas.

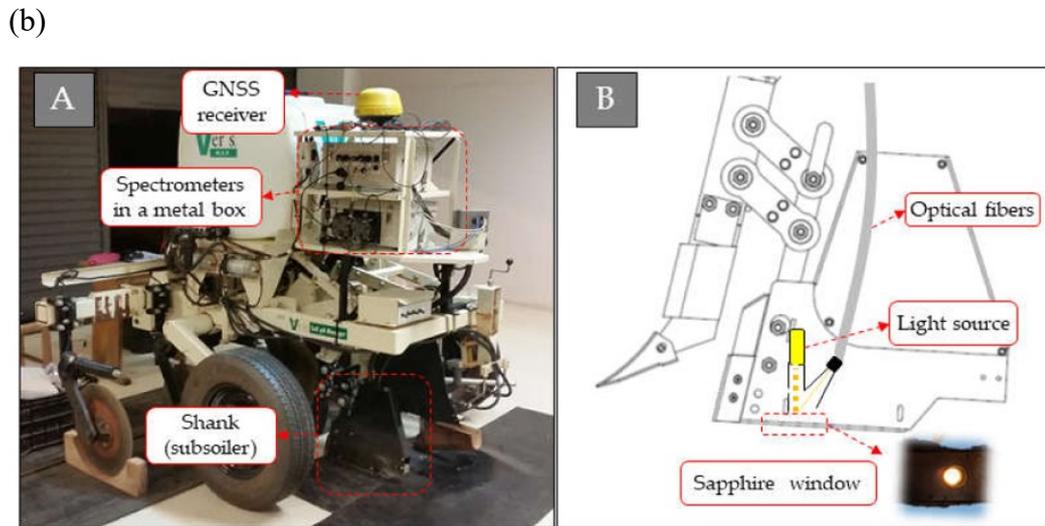
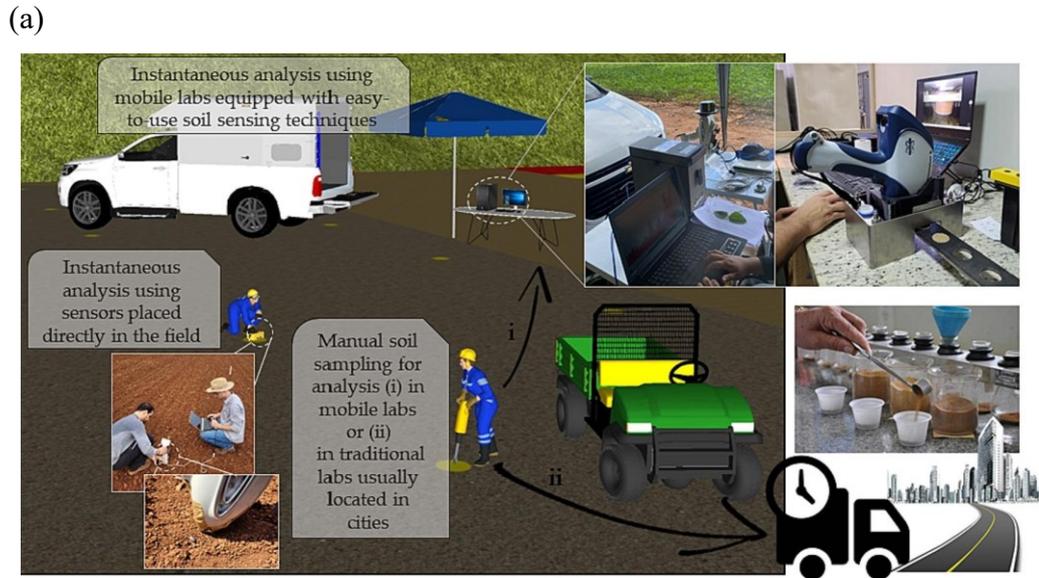


Figura 153 - (a) Ilustração de leituras de análise de solo em tempo real, (a) Mobile vis-NIR platform (A) and its shank in detail (B), Eitelwein et al. (2022), (b) (Tavares et al., 2023)

As estratégias não param aí. Outra promissora técnica na caracterização física do ambiente, são via dados por sensores em seus mais diferentes níveis de aquisição (Bellinaso et al., 2021). Os autores verificaram que para cada nível de aquisição tem vantagens e limitações ao usuário, e cabe ao mesmo, escolher qual a mais adequada a sua possibilidade de custo e objetivos (Figura 154). O trabalho fez análises com sensores em laboratório, campo, avião hiperespectral, e três satélites (sentinel, landsat, planet). Atualmente já se tem os hiperespectrais como HYPERION (Lu et al, 2013), PRISMA (Rossi et al., 2024), ENMAP (Ward et al., 2020) e EMIT (novo: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/articles/meet-emit>). Importante lembrar que estes

sensores hiperespectrais obtêm curvas e dados bem próximos aos alocados no campo. A limitação é que detectam somente a camada superficial do solo.

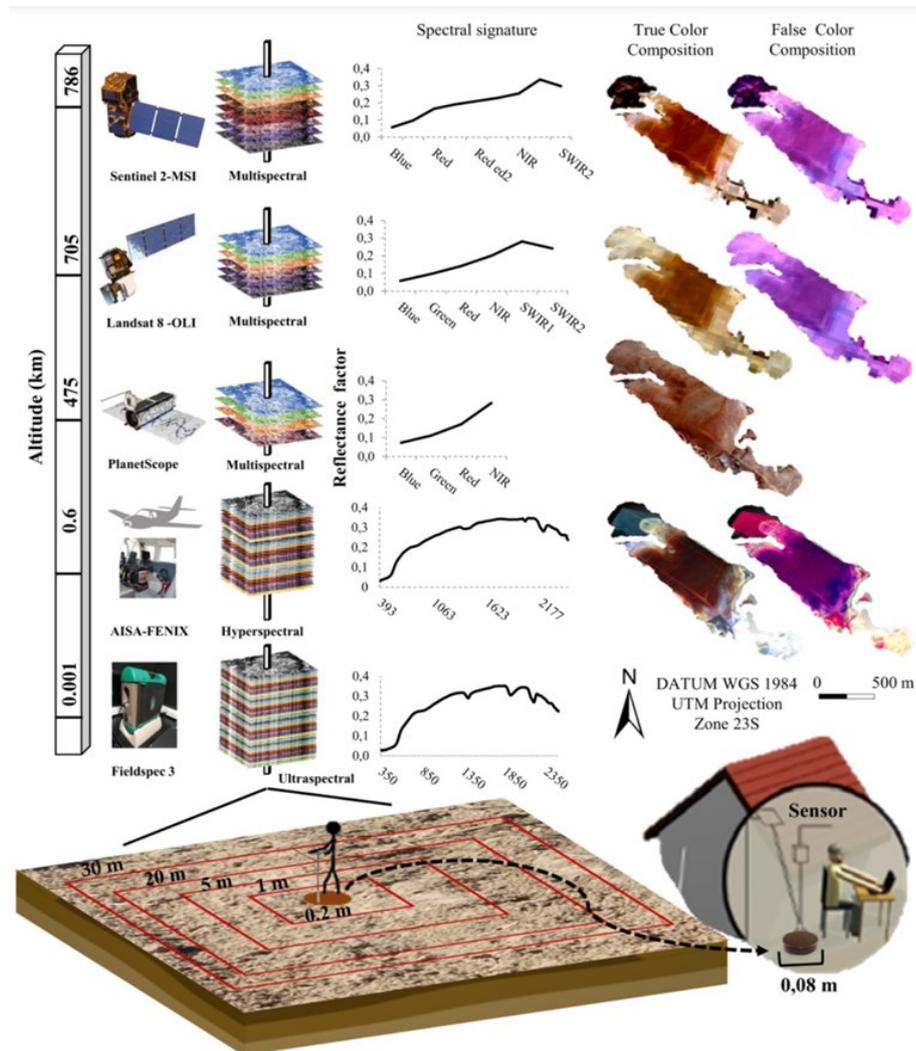
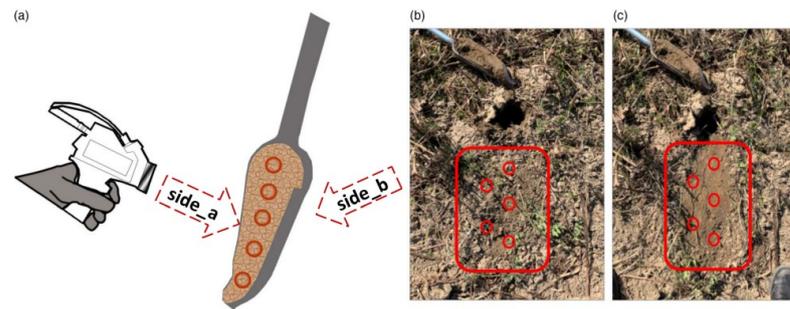


Figura 154 - Ilustração dos níveis de aquisição de dados via sensores (Fonte: Bellinaso et al., 2021)

Do laboratório ao campo, outra estratégia é usar dados terrestres portáteis. O usuário recebe um sensor, mede o solo em sua área, a informação espectral segue via nuvem até uma central onde tem um modelo. O modelo processa o dado, e através de comparações e algoritmos devolve ao usuário o resultado das análises de solo. Tal estratégia vem sendo realizada por autores como Metzger et al. (2024) – Figura 155a. Uma das limitações (como aliás todos nesta categoria), é ter um banco de dados que contemple os padrões das amostras que compõem o banco de dados. Logicamente este é o grande desafio. Tal estratégia é historiada em Karyotis et al. (2023). Da mesma forma, está em andamento, a montagem de bibliotecas espectrais em todo o globo com o

intuito de oferecer esse serviço gratuitamente a população, conforme preconizado por Demattê et al. (2023) – Figura 155b, pelo sistema on-line The Brazilain Soil Spectral Service (BRASPECS).

(a)



(b)

BraSpecs - Services

Find the researcher and samples: **Interact!**

(b) Spectrum range: Vis-NIR-SWIR Mid-IR

WRB - WORLD SYSTEM
SIBCS - BRAZILIAN SYSTEM
ORDER
SUB-ORDER
GROUP
SUB-GROUP
Layers A B C D All Depths
TEXTURE: Indifferent

(c) USER

Soil quantification via spectra

1. Select the attributes you want to analyze

Soil color	Granulometry	Chemistry	Mineralogical
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Sand	<input checked="" type="checkbox"/> Organic carbon	<input checked="" type="checkbox"/> Fe ₂ O ₃
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Silte	<input checked="" type="checkbox"/> pH (H ₂ O)	<input checked="" type="checkbox"/> Al ₂ O ₃
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Clay	<input checked="" type="checkbox"/> Phosphorus (resin)	<input checked="" type="checkbox"/> SiO ₂
		<input checked="" type="checkbox"/> Exchangeable Calcium	<input checked="" type="checkbox"/> TiO ₂
		<input checked="" type="checkbox"/> Exchangeable magnesium	<input checked="" type="checkbox"/> MnO
		<input checked="" type="checkbox"/> Exchangeable potassium	<input checked="" type="checkbox"/> Ki
		<input checked="" type="checkbox"/> Aluminum interchangeable	
		<input checked="" type="checkbox"/> Exchangeable Hydrogen	
		<input checked="" type="checkbox"/> Sum of bases	
		<input checked="" type="checkbox"/> CEC pH7	
		<input checked="" type="checkbox"/> Base Saturation	
		<input checked="" type="checkbox"/> Aluminum Saturation	

2. Download the model spreadsheet, insert your Vis-NIR-SWIR spectra and save it to your computer
If the bands of your data do not match those of the model, you should resample.

3. Select and load the spreadsheet with data from your computer and certify that it is correct
File size limit of 50 Mb.

Search spectra by soil attributes and classes

Vis-NIR-SWIR Mid-IR

Figura 155 - (a) Representação esquemática de sensor portátil de mão no campo (Fonte Metzger et al., 2024), (b) Plataforma gratuita em análises de solo (Fonte: Demattê et al., 2023)

Partindo para um nível de manejo, o trabalho de Demattê et al. (2018, 2020) apresenta uma tecnologia que desnuda o solo via imagens de satélite temporais (Figura 156). O resultado é que permite visualizar a superfície do solo. Tal informação impacta sobre as mais variadas temáticas como mapeamento pedológico, zonas de manejo e quantificação de atributos do solo. Outra vantagem é que permite inferir o tipo de manejo que vem sendo adotado em determinada área, se convencional ou plantio direto. Isso pois a técnica apresenta o número de vezes que um mesmo local ficou com o solo exposto num período. Logo, onde ficou mais exposto, tem maior possibilidade de degradação.

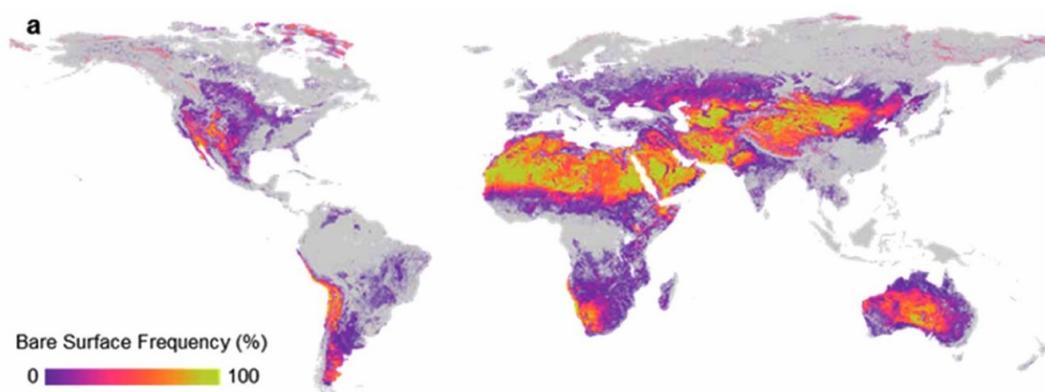


Figura 156 - Ilustração das áreas com maior tempo com o solo exposto as intempéries. **Fonte:** Demattê et al. (2020).

Essa tecnologia abriu as portas para o mapeamento de atributos do solo via satélite, desde o nível fazenda até o global. Rosin et al. (2023), mapeou todo o Brasil em relação a sua mineralogia (Figura 154). Tais mapas podem ser utilizados no entendimento do comportamento do solo em várias regiões função da mineralogia. Da mesma forma, Rosa et al. (2024) conseguiu mapear o Brasil em relação ao teor de P total (Figura 155). Tal informação está diretamente relacionada a parte química do solo.

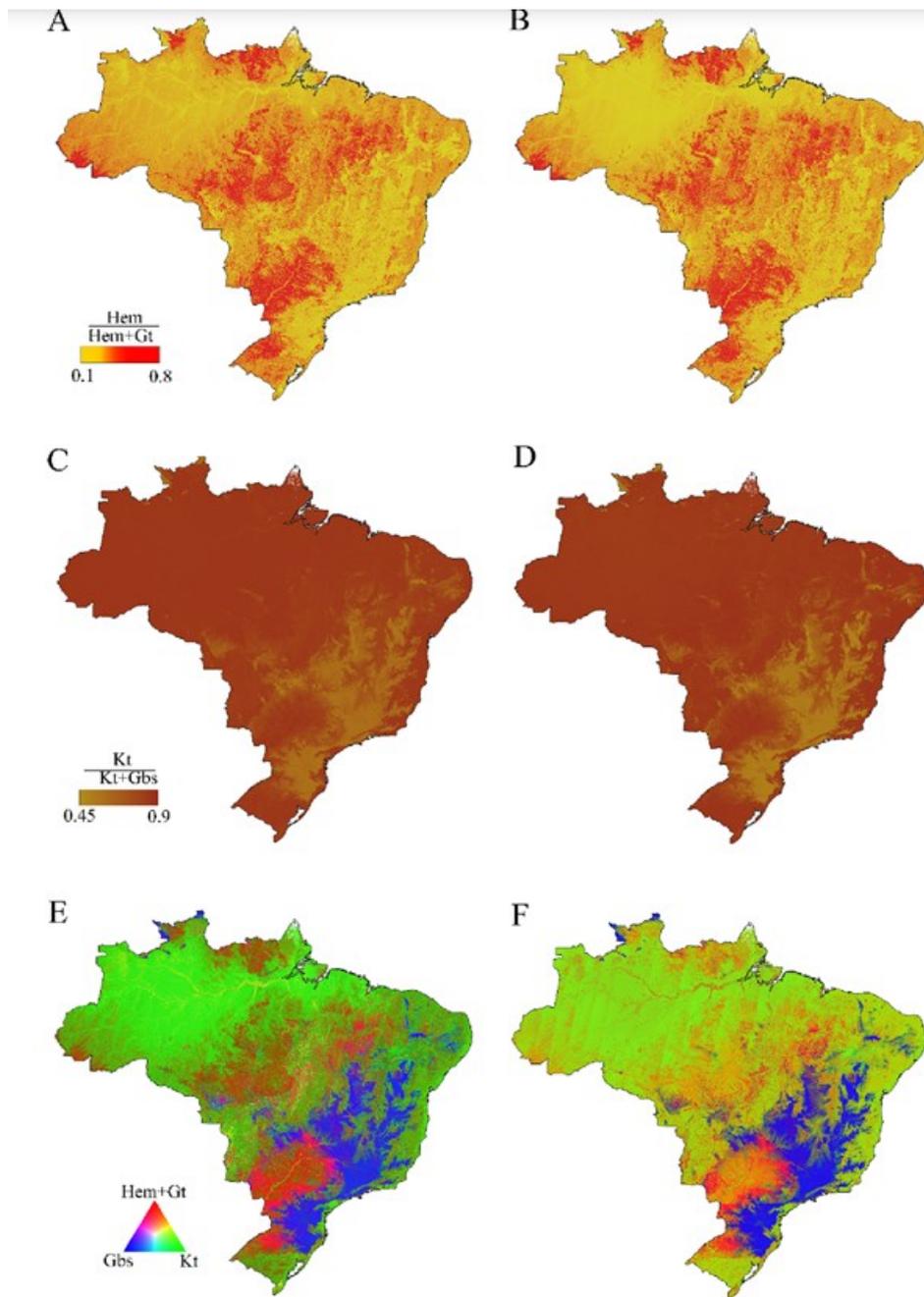


Figura 154 - Hem/(Hem + Gt) ratio for 0–0.2 m (A) and 0.8–1 m (B), Kt/(Kt + Gt) ratio for 0–0.2 m (C) and 0.8–1 m (D), and ternary plot (D) for 0–0.2 m (E) and 0.8–1 m (F) layers. Hem = haematite; Gt = goethite; Kt = kaolinite; Gbs = gibbsite. **Fonte:** Rosin et al. (2024)

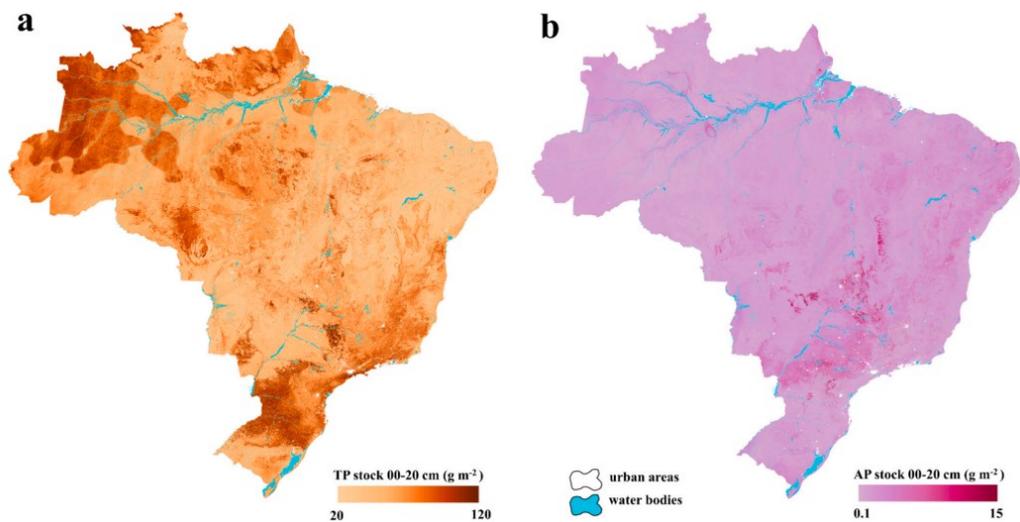


Figura 155 - Mapas de estoque de P em solos do Brasil. Fósforo total (TP) estocados na camada 0-20 cm (a); Mapa de fósforo disponível (AP) estocados na camada de 0-20 cm (**Fonte:** Rosa et al., 2024).

Dado a quantidade de informações e técnicas disponíveis, já é possível automatizar o potencial de produção das terras (os denominados Ambientes de produção em larga escala. Isso foi realizado por Greschuk et al. (2023) através da tecnologia SoilPP (Figura 156).

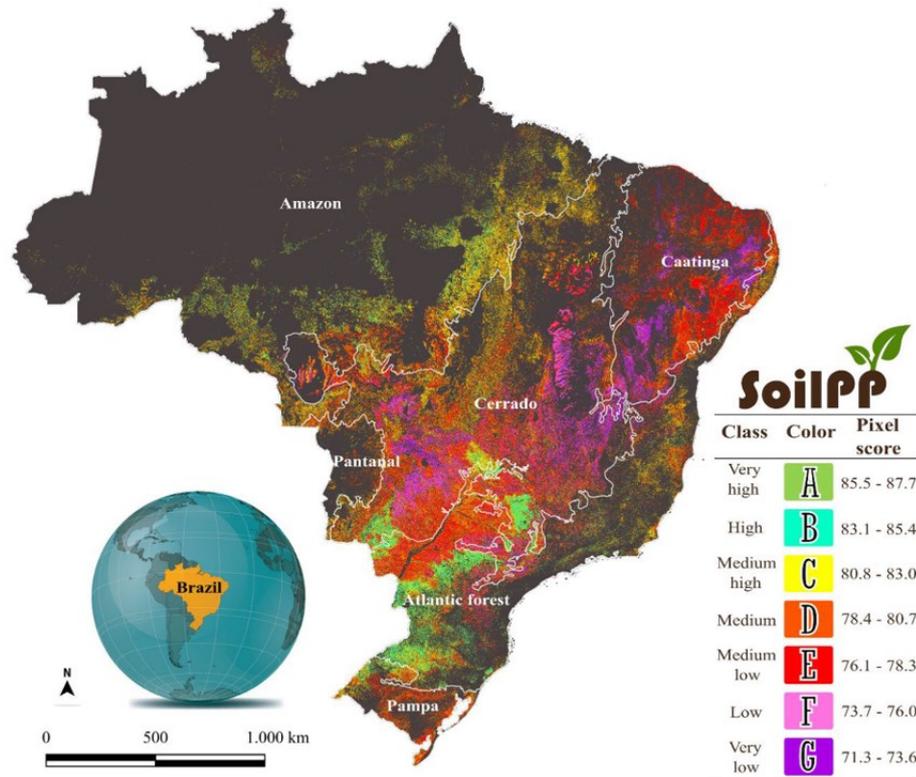


Figura 156 - The Soil Productive Potential (SoilPP) das áreas agrícolas do Brasil em ambientes de A a G, representando do mais ao menos produtivo. SoilPPscore: Soil Productive Potential score (pixel value). A figura foi criada pelo software QGIS Development Team (2021). Version 3.22. <http://qgis.osgeo.org> and Inkscape Project (2021). Version 1.1. <https://inkscape.org>. (Fonte: Greschuk et al., 2023)

Uma das vertentes ora em análise, são os denominados smart farming (ou agricultura esperta), ou comumente batizada como digital twins (Gêmeos Digitais). Esse conceito tem se mostrado promissor para levar a agricultura inteligente a novos níveis de produtividade e sustentabilidade agrícola. Um Gêmeo Digital é um equivalente digital de um objeto da vida real, do qual reflete seu comportamento e estados ao longo de sua vida em um espaço virtual. A utilização de Digital Twins como meio central de gestão agrícola permite a dissociação dos fluxos físicos do seu planejamento e controle. Como consequência, os agricultores podem gerir as operações remotamente com base em informações digitais (quase) em tempo real, em vez de terem de depender da observação direta e de tarefas manuais no local. **Não há dúvida que, se de um lado há a necessidade de alimentos para o mundo, de outro há de se preservar. Trata-se de um balanceamento necessário com o qual a humanidade terá que conseguir equacionar.** Neste sentido, vários trabalhos têm sido direcionados ao conceito da preservação dos

ecossistemas dentro do qual se insere o Digital twins (Tsakiridis et al., 2023). Isto permite aos agricultores agir imediatamente em caso de desvios (esperados) e simular efeitos de intervenções com base em dados da vida real (Verdouw et al., 2021) – Figura 157 com revisão de Purcell & Neubaue (2023).

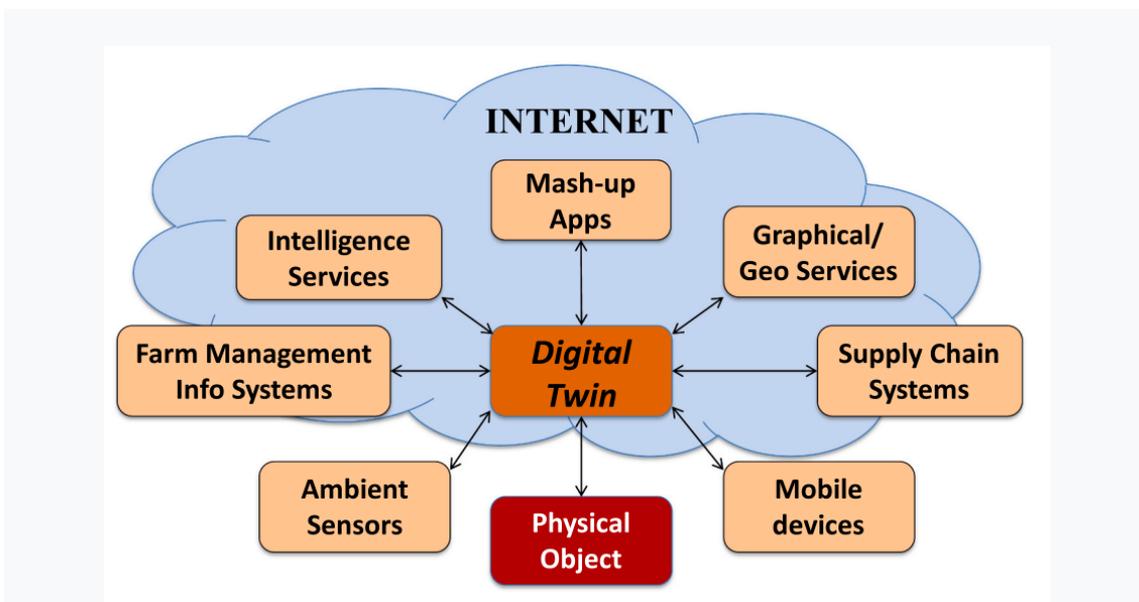


Figura 157 - A sistemática do Digital Twins

A caracterização do solo, seja para pesquisa científica ou manejo agrícola teve uma revolução primária a partir dos anos 2000, pelo uso de produtos de sensoriamento remoto (disponível gratuitamente) e pelo considerável avanço computacional e uso de linguagens de programação (principalmente R) e softwares de geoprocessamento pelos cientistas de solo, bem como pelo uso de técnicas de aprendizado de máquina (machine learning). Mais recentemente, a partir de meados de 2015 até os dias atuais, novas técnicas e ferramentas vem impulsionado a caracterização do solo. A maior facilidade de se obter supercomputadores, computação em nuvem e o surgimento da plataforma Google Earth Engine, chegam no mesmo tempo em que outras linguagens de programação (como Python, JavaScript e Centurion) começam a ser utilizadas no dia a dia da ciência do solo, bem como algoritmos de aprendizado profundo (deep learning). Nesse mesmo período se concentraram os esforços para construção de bancos de dados georreferenciados e bibliotecas espectrais a nível nacional e global. O uso de supercomputadores está permitindo a construção de mapas de atributos do solo em escala mundial (Soil Grids), enquanto a computação em nuvem (serviços como o Amazon

Web Services e o Google Cloud) possuem um enorme potencial para uso em ciência do solo, com alta capacidade de processamento sob demanda.

Grande destaque deve ser dado à plataforma Google Earth Engine. Lançada em 2017, não é apenas uma simples plataforma de geoprocessamento e modelagem em nuvem. O grande diferencial está na alta capacidade de processamento (atingindo nível global) e principalmente no fato de possuir um acervo com grande quantidade de dados de sensoriamento remoto e outros produtos (os dados terão a capacidade de ser retroalimentados constantemente). Nos dias atuais, a inteligência artificial regenerativa está mudando a ciência e o dia a dia das pessoas, sendo as ferramentas mais conhecidas o Chat GPT, Copilot e Gemini, que inclusive já facilita diversas atividades na ciência do solo. É de se esperar que em breve essas técnicas possuam aplicações mais específicas para o sensoriamento remoto e para a ciência do solo. Existem iniciativas para se criar modelos de base (fundament models) com dados de sensoriamento remoto.

Baseado nestas observações, é de se esperar que da ciência do solo, o banco de dados bem como os mecanismos de análise, possam auxiliar na busca de soluções para os problemas em manejo. Considerando que o sistema de IA tem a capacidade de aprender, e por conseguinte ensinar, há de se fortalecer a necessidade de inserção nestes sistemas de aprendizado os fundamentos do solo, como os aqui apresentados, como base fundamental no diagnóstico e possíveis soluções. Por outro lado, destaque-se que estes mecanismos devem ser utilizados como um meio e não como um fim, pois o conhecimento e capacidade humana na interpretação final, não devem ser substituídos.

25 CAPÍTULO 25: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nas considerações do livro observa-se os seguintes pontos:

- a) É evidente que o manejo só terá sucesso se o objeto de análise, o solo, seja detalhadamente identificado e mapeado. **A caracterização correta do meio físico (solo)**, tem sido um dos motivos principais, na tomada de decisões equivocadas. Qual seja, só se pode colocar em prática os fundamentos do manejo do solo, se o mesmo esteja classificado e mapeado, advindo dos conhecimentos pedológicos. Existe claramente uma falta dos conceitos fundamentais da dinâmica básica dos solos. Tais conceitos estão se perdendo em detrimento pelo avanço tecnológico. Se por um lado a tecnologia avança, por outro os fundamentos decrescem. Ao mesmo tempo, ambos são importantes na evolução, e, portanto, o equilíbrio é imprescindível. Mesmo por que, é impossível conter tal avanço, o que nos leva a crer que estamos na fase da espiral da evolução.
- b) Também tem sido observado disfuncionalidade na comunicação entre a parte científica, consultores e agricultores quanto a conceitos fundamentais. Como exemplo temos os conceitos de tipos de solos (classificação), tipos de solos e atributos de solos, ambientes de produção, grupos de manejo, agricultura de precisão, zonas de manejo, saúde do solo entre outros. Todos estes temas buscam o aumento da produtividade, mas tem funções e objetivos diferentes. É preciso ordenar estes conceitos a partir da academia e procurar meios para que cheguem de maneira adequada ao campo.
- c) As geotecnologias sempre existiram, mas não adentraram tão fortemente no meio agrícola, devido ao custo e falta de conhecimento humano. Com o avanço exponencial das tecnologias ocorreram fatos importantes tais como, aumento exponencial de dados a analisar, aumento do número de softwares e algoritmos de análise, um incrível aparato de técnicas de caracterização do meio físico de maneira limpa, rápida e automatizada como o sensoriamento próximo e remoto.
- d) O mundo passa por transformações importantes que certamente trará benefícios, desde que as tecnologias sejam utilizadas com cuidado,

coerência e conhecimento. Observa-se que as tecnologias estão adentrando tão rapidamente no mercado, que se corre o risco de utilizar de maneira inadequada. Neste sentido, deixe claro que a responsabilidade não é a tecnologia, mas do intérprete. Logo, é necessário reestruturar os programas de ensino para que se ajustem a demanda atual, sem perder de vista as necessidades básicas dos conceitos do solo.

- e) Está claro que as camadas de subsuperfície do solo tem importância substancial no desenvolvimento da planta e por consequência na produtividade. Atingir este conhecimento passa necessariamente pelo desenvolvimento do mapa pedológico. Não se concebe um planejamento agrícola sem conhecer o solo onde se planta. O solo como um todo, como um corpo vivo que funciona numa dinâmica de solutos que impacta nos custos de implantação da cultura e na manutenção da saúde do solo.
- f) As áreas de carbono e saúde do solo têm alto impacto atualmente, pois impactam no solo e no clima. Entretanto, é preciso atentar para as camadas mais profundas. Caso contrário, esta tecnologia pode incorrer nas mesmas lacunas ocorridas em fertilidade, que se preocupou demasiada com a camada superficial.
- g) O monitoramento do solo para a sua não degradação, ou até mesmo recuperação são temas imprescindíveis pois trata-se de recurso não renovável. Logo, o manejo do solo deve contemplar a sua recuperação e preservação. Dentro deste contexto, as tecnologias em particular via sensores próximos ou remotos tem papel fundamental pois podem realizar estas tarefas com rapidez, a distância e em áreas de difícil acesso.
- h) O monitoramento do solo para a sua não degradação, ou até mesmo recuperação são temas imprescindíveis pois trata-se de recurso não renovável. Logo, o manejo do solo deve contemplar a sua recuperação e preservação. Dentro deste contexto, as tecnologias em particular via sensores próximos ou remotos tem papel fundamental pois podem realizar estas tarefas com rapidez, a distância e em áreas de difícil acesso.
- i) Manejo de solos é um termo amplo, que agrega todas as informações do objeto solo, da planta e do clima, não sendo possível realizar um

diagnóstico sem ter todas as informações. Neste sentido, as geotecnologias têm sua maior contribuição, a de promover a caracterização do meio físico de maneira rápida e mais assertiva.

j) Os modelos matemáticos por sua vez, tem como grande importância permitir ao intérprete descobrir ou atentar a variáveis passíveis de detecção pelo olhar humano. Entretanto, cabe ressaltar que os mecanismos matemáticos seja qual for, podem incorrer em erros, conforme indicado por alguns autores. Os sistemas algoritmos não conseguem interpretar todo o processo. É nesse ponto que entra o intérprete humano. É ele que deve direcionar a construção do banco de dados, do algoritmo, do modelo e da validação.

k) O manejo de solos é algo dinâmico, e, portanto, deve constantemente ser revisado. A expansão agrícola no Brasil continua intensa, e, com isso, adentrando em solos antes não utilizados. Logo, áreas tecnificadas estão sempre em busca de soluções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A

ADHIKARI, K.; HARTEMINK, A.; MINASNY, B.; BOU KHEIR, R.; GREVE, M.; GREVE, M. H. Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark. *PLoS ONE*, v. 9, n. 8, 2014.

ADAMCHUK, V.I.; HUMMEL, J.W.; MORGAN, M.T.; UPADHYAYA, S.K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 44, n. 1, p. 71-91, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>.

ALEXANDER, E.B. Soil slope-depth relationships in the Klamah Mountains, California and comparisons in Central Nevada. *Soil Surv. Horiz.*, v. 36, p. 94-103, 1995.

ASILOGLU, R.; SHIROISHI, K.; SUZUKI, K.; TURGAY, O.C.; HARADA, N. Soil properties have more significant effects on the community composition of protists than the rhizosphere effect of rice plants in alkaline paddy field soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 161, p. 108397, 2021.

AULER, A. C.; CAIRES, E. F.; PIRES, L. F.; GALETTO, S. L.; ROMANIW, J.; CHARNOBAI, A. C. Lime effects in a no-tillage system on Inceptisols in Southern Brazil. *Geoderma Regional*, v. 16, e00206, 2019.

ALEGRE, J.C. Effects of land clearing and preparation methods on soil physical and chemical properties and crop performance on an ultisol in the Amazon Basin. Raleigh. N.C., North Carolina State University, 1985. 153 p. (PhD Thesis).

ALEGRE, J.C. & SANCHEZ, P.A. Central continuous cropping experiment in Yurimaguas, y-101. In: *Tropsoil Technical Report*, 1988-89, p. 249-251. 1993.

ALEGRE, J.C. SZOTT. L.; PALM, C. Central low-input cropping experiment. Second cropping cycle. In: *Trop soil technical report*. NCSU. Raleigh. p. 130-134. 1991.

ALEGRE, J.C.; CASSEL, D.K. & BANDY, D.E. Effects of land clearing method and subsequent soil management on soil physical properties of an Ultison in the Amazon Basin of Peru. *Journal Series of the North Carolina Agricultural Research Service*. Raleigh, N.C. North Carolina State University, 1986. 17 p. (Paper number 15).

ALEGRE, J.C.; SANCHEZ, P.A.; SMYTH, T. Manejo de suelos con cultivos contínuos en los trópicos húmidos do Peru. In: *Manejo de suelos tropicais em Latino America*. Ed. SMYTH, T.; RAUN, W.; BERTSCH, Soil Science. NCSU. Raleigh, USA, 1991. p.157-168.

ADAMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, G. de.; MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região dos cerrados. In: GOEDERT, W. (Ed.). *Solos dos cerrados*. São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA, CPAC, 1986. p. 33-74.

ALMEIDA, I.R. O clima como um dos fatores de expansão da cultura de soja no Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso. Presidente Prudente, 2005. (Tese de Doutorado).

ALVAREZ V, V.H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C.H.; PEREIRA, N.F. Enxofre. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG: Ver Editores, 2007.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; SACHS, R. C. C.; AZCÓN, R. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. *Bragantia*, v. 70, n. 4, p. 810–818, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400012>.

ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, p. 57–87.

ANDRADE, E.B.; FRAZÃO, D.A.C. Sistemas de produção em policultivo de mandioca, milho e caupi para microrregião Bragantina, Pará, Belém. PA. CPATU. 1980. 32 p.

ANDREOTE, F. D.; PEREIRA E SILVA, M. C. Microbial communities associated with plants: learning from nature to apply it in agriculture. *Current Opinion in Microbiology*, v. 37, p. 29–34, 2017.

ANTOS, H.G. dos; CARVALHO JUNIOR, W. de; DART, R. de O.; AGLIO, M.L.D.; SOUSA, J.S. de; PARES, J.G.; FONTANA, A.; MARTINS, A.L. da S.; OLIVEIRA, A.P. de. O novo mapa de solos do Brasil; legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p.

ARTIOLLI, J. Nossa Cultura é Nossa Paixão. In: Reunião Técnica FMC Clube da Cana, Guarujá, SP, 2012.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985. 174 p.

AZEREDO, D.F. DE; BOLSANELLO, J.; WEBER, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana plantados e fracionamento. *STAB*, v. 4, 1986.

B

BALBINIOT JUNIOR, A.A.; REIS, R.F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; MANDARINO, J.M.G.; FERREIRA, A.S.; WERNER, F.; IWASAKI, G.S. Adubação nitrogenada na soja cultivada em solo arenoso no sistema de integração lavoura-pecuária. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 34., 2014, Brasília. Londrina. Resumo expandido. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 40-41.

BATTISTI, R., Sentelhas, P.C., Pascoalino, J.A.L. et al. Soybean Yield Gap in the Areas of Yield Contest in Brazil. *Int. J. Plant Prod.* 12, 159–168 (2018). <https://doi.org/10.1007/s42106-018-0016-0>

BAYER, C.; DIECKOW, J.; CONCEIÇÃO, P.C.; SANTOS, J.C.F. dos. Sistemas de manejo conservacionista e qualidade de solos com ênfase na matéria orgânica. p. 315-343. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. (Ed.). *Manejo e conservação do solo e da água*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2019.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. p. 07-18. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

BENGOUGH, A. G. Water Dynamics of the Root Zone: Rhizosphere Biophysics and Its Control on Soil Hydrology. *Vadose Zone Journal*, v. 11, n. 2, p. 1–6, 2012. Disponível em: <https://www.soils.org/publications/vzj/>.

BOULET, R.; LUCAS, Y.; FRITSCH, E.; PAQUET, H. Géochimie des paysages: le rôle des couvertures pédologiques. *Colloque Sédimentologie et Géochimie de la Surface à la mémoire de Georges Millot*, Académie des Sciences et du CADAS, p. 55-76, 1993. Trad. por ESPÍNDOLA, C. R. Geoquímica das paisagens tropicais: o papel das coberturas pedológicas. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 1-23, 2016. DOI: 10.5935/0100-929X.20160006.

BANDY, D.E. Deep lime experiment. In: *Agronomic economic research on soils of the tropics*. 1978-1979. Report. North Caroline State University, USA. p. 127-137. 1980.

BARBER, S.A. Soil-Plant Interactions in the Phosphorus Nutrition of Plants. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Eds.). *Madison: America Society of Agronomy*, Wisconsin, USA.

BARROS, M.F.C.; MAGALHÃES, A.F. Avaliação de métodos de determinação da necessidade de gesso em solos salinos-sódicos. *RBCS*, v. 13, p. 119-123, 1989.

BAZAGLIA FILHO, O.; RIZZO, R.; LEPSCH, I.F.; PRADO, H. do; GOMES, F.H.; MAZZA, J.A.; DEMATTÊ, J.A.M. Comparison between detailed digital and conventional soil maps of an area with complex geology. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 37, p. 1136-1148, 2013.

BAZANI, J.H.; GONÇALVES, J.L.M.; ROCHA, J.H.T.; CABRAL DE MELO, E.S.A. Nutrição fosfatada em plantação de eucalipto. *Informações Agrônomicas*, n. 148, dezembro 2014. 11 p.

BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. 1996. 241 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; AMADO, T.J.C. C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interactions in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. *Geoderma*, Amsterdam, v. 133, n. 3-4, p. 258-266, 2006.

BEAR, F.E.; TOTH, S.J. Influence of calcium on availability of other cations. *Soil Science*, Baltimore, v. 65, p. 67-74, 1948.

BENATTI, P. Palestra realizada em Sertãozinho, SP em 2007. In: Livro Penatti.

BENITES, J.R.; NUREÑA, M.A. Integrated low input cropping system. In: *Tropsoils Triennial Technical Report. 1981-1984*. Raleigh: North Carolina State University, 1985. p. 149-151.

BERGAMIN, A.C. Compactação do solo em sistemas intensivos de produção. *Informações Agronômicas*, n. 164, dezembro 2008.

BERNSTEIN, L. Crop growth and salinity. In: *Drainage for agriculture*. Madison: American Society of Agronomy, 1974. 252 p.

BERTOL, I.; CASSOL, E.A.; MERTEN, H. Modelagem e modelos utilizados para estimar a erosão do solo. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I.C.; SOUZA, L.S. (Eds.). *Manejo e conservação do solo e da água*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

BERTOL, I.; DEMARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. (Org.). *Manejo e conservação do solo e da água*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

BELLINASSO, I.F. A compactação e o preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 1997.

BELLINASSO, I.F. A compactação e o preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar. In: VII Seminário Copersucar de Tecnologia Agronômica. Centro de Tecnologia Canavieira. Piracicaba, SP, 1997. Número de pgs 452.

BLASS, F.D. *Crystallography and Crystal Chemistry: An Introduction*. New York: Reinhold and Winston, Inc., 1971.

BOHN, H.L.; MCNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. *Soil Chemistry*. New York: A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, 1979.

BOGIANI, J.C.; FERREIRA, A.C. de B. Plantas de cobertura no sistema soja-milho-algodão no cerrado. *Informações Agronômicas IPNI*, n. 160, 2017. 16 p.

BORLAUG, N.E.; DOWSWELL, C.R. Fertilizantes para nutrir o solo infértil que alimenta uma população fértil que povoa um mundo frágil. In: IFA 61st Annual Conference, New Orleans, 1993. Translated by F. Cardoso. Published by Manah S.A. São Paulo, 35 p.

BOHN, L. H.; MCNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. *Soil chemistry*. 3. ed. John Wiley and Sons, 2001.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos*. 3. ed. Bookman Editora, 2009. Disponível em:

https://books.google.com.br/books/about/Elementos_da_Natureza_e_Propriedades_dos.html?id=XI49IAu5mwkC&redir_esc=y.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora Limitada, 2013. 685 p.

BREVIK, E.C. et al. Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions. *Geoderma*, v. 264, p. 256-274, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.05.017>.

BRISCOE, O.C. Integrated forestry-agriculture-livestock land use at Jari Florestal. *Agropecuária*. In: HUXLEY, P.A. (Ed.). *Plant Research in Agroforestry*. Nairobi: ICRAF, 1983. p. 63-70.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: MIRANDA-DINARDO, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G. de A. (Eds.). *Cana-de-açúcar*. Campinas: IAC, 2008. p. 205-237.

C

CACERES, N.T.; ALCARDE, J.C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana de açúcar. *Revista STAB*, v. 13, 1995.

CADE-MENUN, B. J.; CARTER, M. R.; JAMES, D. C.; LIU, C. W. Phosphorus forms and chemistry in the soil profile under long-term conservation tillage: A phosphorus-31 nuclear magnetic resonance study. *Journal of Environmental Quality*, v. 39, n. 5, p. 1647-1656, 2010.

CASTRO, S. S. Micromorfologia de solos aplicada ao diagnóstico de erosão. In: *Erosão e Conservação de Solos: conceitos, temas e aplicações*. Cap. 4, p. 127-163, 1999.

CASTRO, S. S. Solo e Relevô: pontos para um resgate histórico sobre o estudo das interrelações. *Revista de Geomorfologia Willian Morris Davis*, v. 2, n. 1, p. 1-36, 2021. DOI: <https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900>.

CASTRO, S. S.; ALVES, G. B.; OLIVEIRA, F. S. Solo e Paisagem: estudos das interrelações. Cap. 3. In: AMORIM; PEREZ FILHO; FERREIRA (Ed.). *Geografia Teorias, métodos e aplicações na perspectiva ambiental*. Ed. Consequência, Campinas, 2023.

CASTRO, S. S.; COOPER, M. *Fundamentos de Micromorfologia de Solos*. Edit. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

CECON, G.; MACHADO, L. A. Z. Braquiária pode substituir a "grade" do plantio direto no Cerrado. *Diário do Campo*, 23 out. 2008. *Caderno Semanal*. Embrapa Agropecuária Oeste - Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E).

CONACHER, A. J.; DALRYMPLE, J. B. The nine unit landsurface model: an approach to pedogeomorphic research. *Geoderma*, v. 18, p. 127-144, 1977.

CAMARGO, O.A.; RAIJ, B. van. Relações entre alumínio trocável, bases trocáveis e pH em solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., 1975, Campinas, SP. Anais... Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p. 95-101.

CAMPOS, M.; Rossato, O.B.; Marasca, I.; Martello, J.M.; Siqueira, G.F.; Garcia, C.P.; Rossetto, R.; Calonego, J.C.; Cantarella, H.; Crusciol, C.A.C. Deep liming and localized liming improve soil chemical fertility and sugarcane yield in clayey soils. *Soil Tillage Research* 222: 105425, 2022.

CAMPANELLI, V.C. Agricultura de Alta Tecnologia na Prática. In: Clube da Cana FMC, Guarujá, SP, out. 2012.

CARDOSO, F.P. Santa Braquiária. *Informações Agronômicas*, n. 73, março 1996.

CARNAÚBA, B.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. *Revista STAB*, v. 8, 1990.

CARNEIRO, M.A.C.; FERREIRA, D.A.; SOUZA, E.D.; PAULINO, H.B.; SAGGIN JUNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O. Arbuscular mycorrhizal fungi in soil aggregates from fields of "murundus" converted to agriculture. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 50, n. 4, p. 313-321, abr. 2015.

CAROLINO DE SÁ, M.A.; REIN, T.A.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; SOUZA, K.W.; FRANZ, C.A.B. Produtividade da cana-de-açúcar e atributos de um Latossolo Acriférrico do Cerrado sob plantio direto e convencional. *STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 2022.

CATANI, R.A.; GALLO, J.R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do estado de São Paulo: a correlação entre pH e a saturação em bases. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v. 30, p. 49-60, 1995.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). Relatório de fechamento de safra. Piracicaba, SP, dez. 2016.

CERRI, C.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar. 1986. 197 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 1986.

CHERUBIN, M.R. et al. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 2, p. 168-177, 2015.

COPERSUCAR. Potencial de produção de cana de açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1997.

CROOKSTON, R.K. A top 10 list of developments and issues impacting crop management and ecology during the past 50 years. *Crop Science*, v. 46, n. 5, p. 2253-2262, 2006.

COELHO, A. M.; FRANCA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio (15 N) em um Latossolo vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/471605>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra de grãos. 2019.

CRAVO, M. Resumen de resultados en sistemas de cultivos con bajos insumos. In: SMYTH, T.; RAUN, W.; BERTOCH, S. (Ed.). Manejo de solos tropicales en Latino América. Costa Rica: Soil Sci. Dep., NCSU-USA, 1990. p. 58-60.

CRAVO, M.; SMYTH, T. Sistema de cultivo com altos insumos na Amazônia brasileira. In: SMYTH, T.; RAUN, W.; BERTSCH (Ed.). Manejo de solos tropicales en Latino América. Raleigh: Soil Sci. Dep., NCSU, USA, 1991. p. 144-156.

CHERUBIN, M.R.; BORDON, R.O.; CASTIONI, G.A.; GUIMARÃES, E.M.; LISBOA, I.P.; MORAES, L.A.; CARVALHO, J.L. Industrial Crops and Products, v. 163, p. 113315, 2021.

CHERUBIN, M.R.; CARVALHO, M.L.; RODRIGUES, M. Saúde do Solo: Entendendo os Conceitos, Relevância e suas Aplicações na Agricultura e Meio Ambiente. Informações Agronômicas Nutrição de Plantas, 18, 2023.

CAVALCANTE, E.P.; PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar de Latossolos da região de Araxá-MG. Nucleus, v. 7, p. 115-124, 2010.

D

DEMATTÊ, J.A.M.; POPPIEL, R.R.; SILVERO, N.E.Q.; BELLINASO, H. A importância das geotecnologias na caracterização do meio físico com vistas ao aumento da produtividade. Nutrição de plantas Ciência e Tecnologia (NPCT), número 6, p. 1-20, junho 2020.

DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. An hypothetical nine-unit landsurface model. Zeitschrift für Geomorphologie, v. 12, p. 60–76, 1968.

DE ANDRADE, C. A. O.; BORGHI, E.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; DE CAMARGO, F. P.; AVANZI, J. C. Straw production and agronomic performance of soybean intercropped with forage species in no-tillage system. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 52, n. 10, p. 861-868, 2017.

DE BEECK, M.; PERSSON, P.; TUNLID, A. Fungal extracellular polymeric substance matrices – Highly specialized microenvironments that allow fungi to control soil organic matter decomposition reactions. Soil Biology and Biochemistry, v. 159, p. 108304, 2021. DOI: 10.1016/j.soilbio.2021.108304.

DEMATTÊ, J. A. M.; SAFANELLI, J. L.; POPPIEL, R. R.; RIZZO, R.; SILVERO, N. E. Q.; MENDES, W. de S.; BONFATTI, B. R.; DOTTO, A. C.; SALAZAR, D. F. U.; MELLO, F. A. de O.; PAIVA, A. F. da S.; SOUZA, A. B.; VALADARES DOS SANTOS, N.; NASCIMENTO, C. M.; MELLO, D. C. de; BELLINASO, H.; NETO, L. G.; AMORIM, M. T. A.; RESENDE, M. E. B. de; VIEIRA, J. da S.; QUEIROZ, L. G. de; GALLO, B. C.; SAYÃO, V. M.; LISBOA, C. J. da S. Bare earth's surface spectra as a proxy for soil resource monitoring. Scientific Reports, v. 10, p. 4461, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61408-1>.

DEMATTÊ, J. A. M.; DOTTO, A. C.; BEDIN, L. G.; SAYÃO, V. M.; SOUZA, A. B. de. Soil analytical quality control by traditional and spectroscopy techniques: constructing the future of a hybrid laboratory for low environmental impact. *Geoderma*, v. 337, p. 111-121, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.010>.

DEMATTÊ, J. A. M.; FONGARO, C. T.; RIZZO, R.; SAFANELLI, J. L. Geospatial Soil Sensing System (GEOS3): a powerful data mining procedure to retrieve soil spectral reflectance from satellite images. *Remote Sensing of Environment*, v. 212, p. 161-175, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.047>.

DEMATTÊ, J. A. M.; VASQUES, G. de M.; CORRÊA, E. A.; ARRUDA, G. P. de. Fotopedologia, espectroscopia e sistema de informação geográfica na caracterização de solos desenvolvidos do Grupo Barreiras no Amapá. *Bragantia*, Campinas, v. 71, n. 3, p. 438-446, 2012.

DEMATTÊ, J.L.I. Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos - Região Amazônica. Fundação Cargill, Campinas, 1988. 215 p.

DEMATTÊ, J.L.I. Compactação em Terra Roxa Estruturada. In: Seminário da Cosan, Reunião Técnica da Equipe Agrícola. Usina da Barra, Barra Bonita, SP, 2004 (pode ser 2020).

DEMATTÊ, J.L.I. Compactação do Solo. In: Reunião Técnica da Cosan. Usina da Barra Área Agrícola, Barra Bonita, SP, 2003 (pode ser 2020).

DEMATTÊ, J.L.I. Considerações gerais sobre o manejo da cultura canavieira. In: Reunião Técnica com Fornecedores de cana da região de Penápolis, SP. Usina Penápolis, Penápolis, SP, 2007.

DEMATTÊ, J.L.I. Considerações gerais sobre o manejo da cultura canavieira. In: Reunião Técnica com Fornecedores de cana da região de Penápolis, SP. Usina Penápolis, Penápolis, SP, 2007 (pode ser 2020).

DEMATTÊ, J.L.I. Debates sobre o aumento de produtividade da cana-de-açúcar. Usina São João, Araras, SP, abril 2015.

DEMATTÊ, J.L.I. O pedólogo e a agricultura de precisão. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 26, n. 1, p. 17-19, 2001.

DEMATTÊ, J.L.I. Qualidade e Tecnologia para o Plantio de Cana-de-Açúcar. In: Centro Canagro “José Coral”, Cooperativa de Fornecedores de Cana. Piracicaba, SP, 2015 (pode ser 2020).

DEMATTÊ, J.L.I. Racionalização de fertilizantes e corretivos na cultura de cana-de-açúcar: uma importante alternativa de redução de custos agrícola. *International Plant Nutrition. Informações Agronômicas*, n. 127, p. 1-9, 2009.

DEMATTÊ, J.L.I. Reunião técnica com a área agrícola da Usina Costa Pinto, SP, 2010 (pode ser 2020).

- DEMATTÊ, J.L.I. Reunião técnica com a equipe agrícola, Usina Santa Helena, Piracicaba, SP, 2011.
- DEMATTÊ, J.L.I. Reunião técnica com a equipe agrícola da Usina Terracal Alimentos e Energia, em Guadalajara, Piauí, PI, 2014.
- DEMATTÊ, J.L.I. Reunião técnica com a equipe agrícola da Usina da Barra. Usina da Barra, SP, set. 2015 (pode ser 2020).
- DEMATTÊ, J.L.I. Reunião técnica com a equipe agrícola da Usina Sonora, MT, 2019.
- DEMATTÊ, J.L.I. Reunião técnica com componentes da área agrícola da Usina São Francisco e Rio Dourado, Goiás. In: Workshop para Diretoria, Quirinópolis, GO, 2019.
- DEMATTÊ, J.L.I. Reunião técnica da Usina Barra Bonita, em Barra Bonita, a respeito de Torta de Filtro e amostras de MPB, 2015.
- DEMATTÊ, J.L.I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 111, set. 2005, 24 p.
- DEMATTÊ, J.L.I. Reunião técnica sobre ação dos compostos, gesso, calcário, fósforo e vinhaça em socas. Usina São José, Macatuba, SP, 1989.
- DEMATTÊ, J.L.I. Solos. In: SALATI, E.; ABSY, M.L.; VICTORIA, R.L. (Ed.). Amazônia: Um ecossistema em transformação. Manaus, 2000. p. 119-162.
- DEMATTÊ, J.L.I. Solos arenosos de baixa fertilidade: estratégia de manejo. In: 5º Seminário Agroindustrial, 29ª Semana “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 1986. (Mimeografado).
- DEMATTÊ, J.L.I. A queda na produtividade da cana-de-açúcar após a safra de 2010. Informações Agronômicas NPCT, n. 8, Piracicaba, SP, 2020.
- DEMATTÊ, J.L.I. Considerações a respeito da adubação nitrogenada e seu parcelamento em cana planta. STAB, v. 15, n. 4, p. 14, 1997.
- DEMATTÊ, J.L.I. Reunião técnica com equipe agrícola da Usina da Barra, SP, set. 2015 (pode ser 2020).
- DEMATTÊ, J.L.I. Reunião técnica da Usina Barra Bonita, em Barra Bonita, a respeito de Torta de Filtro e amostras de MPB, 2015 (pode ser 2020).
- DEMATTÊ, J.L.I.; DEMATTÊ, J.A.M. Ambientes de produção como estratégia de manejo da cultura de cana-de-açúcar. International Plant Nutrition. Informações Agronômicas, n. 127, p. 11-17, 2009.
- DEMATTÊ, J.L.I.; DEMATTÊ, J.A.M. Comparações entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta Amazônica e do Cerrado do Brasil Central. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 272-286, jun./set. 1993.

DEMATTÊ, J.L.I.; DEMATTÊ, J.A.M. Fertilidade e sustentabilidade de solos amazônicos. In: Amazônia Agricultura Sustentável. SBCS, Manaus, 1997.

DEMATTÊ, J.A.M. et al. Hyperspectral remote sensing as an alternative to estimate soil attributes. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 2, p. 223-232, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150001>.

DEMATTÊ, J.A.M. et al. Soil analytical quality control by traditional and spectroscopy techniques: Constructing the future of a hybrid laboratory for low environmental impact. *Geoderma*, v. 337, p. 111-121, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.010>.

DENEVA, W.M.; TREEACY, J.M.; ALCORN, J.B.; PADOCH, C.; DENSLOW, J.; FLORES-PNIT.ÉN, S. Indigenous agroforestry in the Peruvian Amazon: Bora Indian management of swidden fallows. In: HEMMING, J. (Ed.). *Change in the Amazon Basin: man's impact on forests and rivers*. Manchester, U.K.: Univ. of Manchester Press, 1983.

DICK, D.P.; GOMES, J.; BAYER, C.; BODMANN, B. Adsorção de ácidos húmicos em latossolo roxo natural e tratado com oxalato de amônio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 24, p. 285-294, 2000.

DICK, D.P.; NOVOTNY, E.H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. de F.; ALLEONI, L.R.F. (Org.). *Química e mineralogia do solo: aplicações*. Viçosa: SBCS, 2009. v. 2, p. 2.

DINIZ, T.D.A.; BASTOS, T.X. Efeito do desmatamento na temperatura do solo em região equatorial úmida. Belém, PA: Centro Nacional de Pesquisa do Trópico Úmido, 1980. (Boletim de Pesquisa, n. 5).

DIRE, D.W.; DARST, B. Agriculture – Progress through knowledge. In: INFOAG99 Information Agriculture Conference. West Lafayette: Purdue University.

DIXON, J.B. *Minerals in soil environments*. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, 1977.

DJALMA, M.G.S.; REIN, T.A.; LOBATO, E. Solubilidade e eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos avaliados com a cultura da soja em um Latossolo de Cerrado. *Heringer*, 2021.

DONAGEMMA, G.K.; FREITAS, P.L.; BALIEIRO, F.C.; FONTANA, A.; SPERA, S.T.; LUMBRERAS, J.F.; VIANA, J.H.M.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE, M.R.; MACEDO, M.C.M.; TEIXEIRA, P.C.; AMARAL, A.J.; BORTOLAN, E.; BORTOLAN, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, set. 2016.

DOS SANTOS, G.A.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.; FURTINI NETO, A.E. Produção de matéria seca da parte aérea de milho com a dose de 200 ppm de P em diferentes graus de compactação. *Ciência e Tecnologia*, v. 27, 2005, Lavras.

DUDA, G.P.; GUERRA, J.C.M.; MONTEIRO, M.T.; DE POLLI, H.; TEIXEIRA, M.G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N, and P of the microbial biomass. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 139-147, 2003.

DUBOIS, J. Condições e justificativas para produção de consórcios na Amazônia: enfoque teórico. In: SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM CONSÓRCIO PARA EXPLORAÇÃO PERMANENTE DOS SOLOS DA AMAZÔNIA. Belém, 1982. Anais, Belém: CPATU, p. 153-174.

E

EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos e aptidão agrícola das terras de parte da região geoeconômica de Brasília. *Bol. tec.* 24. Rio de Janeiro, 1983. 515 p.

EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. *Bol. tec.* 1. Rio de Janeiro, 1982. 512 p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, R.J.). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Solos, 1999. 412 p.: incl. 12 apêndices.

EMBRAPA Solos/IAC Londrina (PR). Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. *Boletim de Pesquisa* n° 27. Londrina, 1984.

EMBRAPA. Os solos do Brasil. 2011.

ESPÍNDOLA, C. R. Geoquímica das paisagens tropicais: o papel das coberturas pedológicas. Tradução de Boulet et al., 1993. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 1-23, 2016. DOI: 10.5935/0100-929X.20160006.

F

FALÊSI, I. C.; BAENA, A. R. C.; DUTRA, S. Consequências da exploração agropecuária sobre as condições físicas e químicas dos solos das microrregiões do nordeste paraense. Belém: EMBRAPA/CPATU, 1980. 49 p. (*Boletim de Pesquisa*, 14).

FAGERIA, N. K.; ARAÚJO, A. P.; STONE, L. F. Mudanças químicas na rizosfera. In: MELO, V. de F.; ALLEONI, L. R. Química e mineralogia do solo. Parte II: Aplicações. Viçosa, MG: SBCS, 2009.

FAVARIN, J. L.; MOSCARDINI, D. V.; SOUZA, L. T.; BAPTISTELLA, J. L. C. Caminhos para aumentar a produtividade do café arábica. *Informações Agronômicas*, n. 164, dez. 2018.

FAVORETO, L.; MEYER, M. C. O nematoide de haste verde. Londrina: Embrapa Soja, 2019. *Circular Técnica*, 147.

FERREIRA, A. C. B.; BOGIANI, J. C.; SOFIATTI, V.; LAMAS, F. M. Sistemas de cultivo de plantas de cobertura para semeadura direta de algodoeiro. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. 15 p. (Comunicado Técnico, 377).

FERNANDES, M. F.; ALMEIDA, R. G. Sistema São Mateus – Sistema de Integração Lavoura-Pecuária para a região do Bolsão Sul-Mato-Grossense. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 6 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 186).

FIORIN, J.; WYZYKOWSKI, T.; FERNANDES, A.; CORASSA, G. Construindo sistemas resilientes: a chave para o enfrentamento da estiagem. ECR Soja RS 2019/2020. Ensaio de Cultivares em Rede, ed. 2, p. 48-50, 2020.

FIXEN, P.E. A brief account of the genesis of 4R nutrient stewardship. *Agronomy Journal*, v. 112, p. 4511–4518, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20315>.

FOLEY, J.A. et al. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, v. 478, n. 7369, p. 337–342, 2011.

FELIPPI, D.; DENARDIN, L. G. O.; AMBROSINI, V. G.; ALVES, L. A.; FLORES, J. P. M.; MARTINS, A. P.; PIAS, O. H. C.; TIETCHER, T. Concentration and removal macronutrients by soybean seeds over 45 years in Brazil: a meta-analysis. *RBCS*, 2021.

FRANCHINI, J. C.; DA COSTA, J. M.; DEBIASI, H. Rotação de culturas: práticas que conferem maior sustentabilidade à produção agrícola no Paraná. *Informações Agronômicas*, n. 134, jun. 2011.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT, A. A.; DEBIASI, H.; COSTA, J. M.; SICHIERI, F. R.; TEIXEIRA, L. C. Soja em solos arenosos: papel do sistema plantio direto e da integração lavoura-pecuária. *Circular Técnica*, 116. Londrina, PR: Embrapa, 2016.

FRANCO, H. C. J.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canavial. *Revista STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v. 25, n. 3, p. 32-36, 2007.

FREIRE, M. B. G. dos S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAES, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p. 1017.

FUNDAÇÃO MT. Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso. *Boletim técnico de soja 2004*. Rondonópolis: Fundação MT, 2004. 228 p.

FABRÍCIO S. TERRA; RAPHAEL A. VISCSARRA ROSSELA; JOSÉ A. M. DEMATTÊ. Spectral fusion by Outer Product Analysis (OPA) to improve predictions of soil organic C. *Geoderma*, v. 335, p. 35-46, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.005>.

FRANDESCOM, R.; CASA, R.; HUANG, W.; LANEVE, G.; LIU, L.; MIRZAEI, S.; PASCUCCHI, S.; PIGNATTI, S.; REN, Y. Predicting soil nutrients with PRISMA hyperspectral data at the field scale: the Handan (south of Hebei Province) test cases. *Geo-spatial Information Science*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10095020.2024.2343021>.

G

GAVA, G. J. C. Efeitos da restrição hídrica e de nitrogênio no crescimento e na fisiologia da cana-de-açúcar. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO, 4., 2012, Fortaleza, CE. Resumos. Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada, 2012. v. 4. CD-ROM.

GALUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z.M.; NAMIEŚNIK, J. Moving your laboratories to the field—Advantages and limitations of the use of field portable instruments in environmental sample analysis. *Environmental Research*, v. 140, p. 593-603, 2015.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V.I. Precision agriculture and food security. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 828-831, 2010. DOI: 10.1126/science.1183899.

GODFRAY, H.C.J. et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010. DOI: 10.1126/science.1185383.

GOEDERT, W. J.; SCOLARI, D.; LOBATO, E. Estratégia de uso e manejo do solo. In: SOLLOS DE CERRADOS: TECNOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE MANEJO. Ed. W. Goedert (ed.). EMBRAPA. São Paulo: Nobel, 1986.

GOEDERT, W. J. Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. 1986.

GONÇALVES, J. L. G. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: soja. In: PROCHANOV, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). Anais do Simpósio Boas Práticas de Uso Eficiente de Fertilizantes. Vol. 3. Piracicaba, SP: IPNI Plant Nutrition, 2009.

GONÇALVES, J. L. G.; ROCHA, J. H. T.; ALVARES, C. A. Manejo de solos em sistemas de cultivo de eucalipto e pinus. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. (Ed.). Manejo e Conservação do Solo e da Água. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; RESENDE, A. V.; ALVARENGA, R. C. Benefícios e desafios da integração lavoura-pecuária na melhoria da qualidade dos solos do cerrado. *Informações Agronômicas*, n. 161, mar. 2018. p. 9-21.

GONZALEZ, E.; KAMPRATH, E.; NACHERMAN, G.; SGARER, W. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 43, p. 1155-1158.

GUALDRON, R.; SPAIN, J. M. *Suelos Equatorianos*, v. 10, p. 131-136, 1980.

GRAY, J.; BISHOP, T.; WILSON, B. R. Factors controlling soil organic carbon stocks with depth in Eastern Australia. *Soil Science Society of America Journal*, v. 79, n. 6, p. 1741-1751, 2015.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 74, p. 367-375, 1994.

GROHMANN, F. Correlação entre superfície específica e outras propriedades de solos de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, v. 1, p. 9-12, 1977.

H

HALLIDAY, J. In: SANCHEZ, P.; TERGAS, L. E. (Ed.). Pasture Production in Acid Soils of the Tropics. Cali, Colombia: CIAT, 1979. p. 123-138.

HARA, T. Capacidade de troca de cátions de três solos de Minas Gerais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1974. Tese de mestrado. 74 p.

HEAP, I. International survey of herbicide resistant weeds. Disponível em: <https://www.weedscience.org>. Acesso em: 2019.

HECHT, S. B. Los sistemas agroforestales en la cuenca amazónica: práctica teórica y límites de un uso promisor de la tierra. In: HECHT, S. B. (Ed.). Amazonia: Investigación sobre Agricultura y Uso de Tierras. Cali, Colombia: CIAT, 1982. p. 344-390.

HERNANDEZ, D.; COUTU, A. J. Economic evaluation of slash and burn cultivation options in Yurimaguas, Peru. Agronomy Abstracts, v. 42, 1981.

HOBLEY, E.; WILSON, B.; WILKIE, A.; GRAY, J.; KOEN, T. Drivers of soil organic carbon storage and vertical distribution in Eastern Australia. Plant and Soil, v. 390, p. 111-127, 2015.

HONG, Z.; CHEN, W.; RONG, X.; CAI, P.; DAI, K.; HUANG, Q. The effect of extracellular polymeric substances on the adhesion of bacteria to clay minerals and goethite. Chemical Geology, Amsterdam, v. 306, p. 118-125, 2013.

HÉLIO DO PRADO. Ambientes de produção da cana-de-açúcar na região Centro-Sul. In: IPNI, junho 2005. p. 12-17.

HYTTIÄINEN, K. et al. Adaptive optimization of crop production and nitrogen leaching abatement under yield uncertainty. Agricultural Systems, v. 104, n. 8, p. 634-644, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.06.006>.

I

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário. Rio de Janeiro. 2006.

J

JACKSON, M. L. Soil chemical analyses: advanced course. Edited ed. Madison: University of Wisconsin, 1969.

JACKSON, M. L.; SHERMAN, G. D. Chemical weathering of minerals in soil. *Advanced Agronomy*, v. 5, p. 219-318, 1953.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons – A pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*, v. 182, p. 147-156, 2013. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.11.005.

JENNY, H. Arrangement of soil series and types according to functions of soil-forming factors. *Soil Science*, v. 61, n. 5, p. 375-392, 1946.

JIAO, F.; SHI, X. R.; HAN, F. P.; YUAN, Z. Y. Increasing aridity, temperature and soil pH induce soil C-N-P imbalance in grasslands. *Scientific Reports*, v. 6, p. 19601, 2016.

JONES, R. C.; UEHARA, G. Amorphous coatings on mineral surfaces. *Soil Science Society of America Journal*, v. 37, n. 5, p. 792-798, 1973. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/SSSAJ1973.03615995003700050044X>.

K

KANG, Y.; KHAN, S.; MA, X. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. *Progress in Natural Science*, v. 19, n. 12, p. 1665-1674, 2009.

KASSIM, A.M.; NAWAR, S.; MOUAZEN, A.M. Potential of on-the-go gamma-ray spectrometry for estimation and management of soil potassium site specifically. *Sustainability*, v. 13, n. 2, p. 661, 2021.

KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R. Gênese e classificação dos Latossolos. p. 50-94. In: KER, J. C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Ed.). *Pedologia: fundamentos*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa: Editora SBCS, 2012.

KÄMPF, F. N.; SCWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinite soil. *Geoderma*, v. 29, p. 27-39, 1983.

KORENBLUM, E.; DONG, Y.; SZYMANSKI, J.; PANDA, S.; JOZWIAK, A.; MASSALHA, H.; MEIR, S.; ROGACHEV, I.; AHARONI, A. Rhizosphere microbiome mediates systemic root metabolite exudation by root-to-root signaling. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020.

KINJO, T. Conceitos de acidez do solo. In: RAIG, O. C.; SILVA, N. M. (Org.). *Acidez e calagem no Brasil*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p. 23-31.

KOFFLER, N. F. A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água às plantas no cerrado. *Inf. Agron.*, p. 1-4, 1986.

KOHNE, R.; ANGHINONI, I.; MIELNICZUK, J. Adubação fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: OLIVEIRA, A. A. J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W. (Org.). *Adubação fosfatada no Brasil*. Brasília, DF: Embrapa-Did, 1982. p. 29-60.

KATHRIN, J.; WARD, S.; CHABRILLAT, S.; BRELL, M.; CASTALDI, F.; SPENGLER, D.; FOERSTER, S. Mapping soil organic carbon for airborne and simulated EnMAP imagery using the LUCAS soil database and a local PLSR. *Remote Sensing*, 2020, v. 12, n. 20, p. 3451. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12203451>.

KONRAD, M.; LIEBISCH, F.; HERRERA, J. M.; GUILLAUM, T.; WALDER, F.; BRAGAZZA, L. The use of visible and near-infrared spectroscopy for in-situ characterization of agricultural soil fertility: A proposition of best practice by comparing scanning positions and spectrometers. *Soil Use and Management*, 2024, v. 40, p. 1-13. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/sum.12952>.

KONSTANTINOS, K.; RIZOS, N.; MAROULIS, E. Using remote sensing technologies in soil science. In: *SMART TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE SMALLHOLDER AGRICULTURE*. 2024, p. 102-118. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99522-4.00012-4>.

L

LAERCIO, C.; ALMEIDA, R. R. de; COUTO, L. M. C. Bioenergia e biorrefinaria: tecnologias e processos para uma economia sustentável. Lavras, MG: UFLA, 2022.

LAL, R. Different methods of land clearing for agricultural purposes in the tropics. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.; CREMMINGS, R. (Ed.). *Land clearing and development in the tropics*. Rotterdam: Balkema, 1986. p. 55-68.

LACOSTE, M. et al. On-Farm Experimentation to transform global agriculture. *Nature Food*, v. 3, n. 1, p. 11-18, 2022.

LANDELL, M.G.A.; PRADO, H.; VASCONCELOS, A.C.M. et al. Oxisol subsurface chemicals related to sugarcane productivity. *Scientia Agricola*, v. 60, n. 4, 2004.

LEPSCH, I. F. *Formação e Conservação dos Solos*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 224 p.

LEPSCH, I. F. 19 Lições de Pedologia. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 304 p.

LUCAS, Y.; FRITSCH, E.; NWANKPAH, N. A.; LAVILLE, P.; MAMOUROU, R. Soil geomorphology relationships in western Africa. *Catena*, v. 25, n. 1-4, p. 35-50, 1995.

LIMA, D. M. A.; SANCHEZ JUNIOR, J. H. Seleção e avaliação de nova tecnologia para os pequenos agricultores do sertão central do Ceará. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 99-118, 1978.

LLOPES, A. S.; SMYTH, T. J.; CURI, N. The need for a soil fertility reference base and nutrient dynamics studies. In: *Management of acid tropical soils for sustainable agriculture*. Bangkok: IBSRAM, 1987. Proc. number 2, p. 147-166.

LOPES, A. S. *Solos sob “cerrado”*. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1983. 162 p.

LOPES, A. S.; FOX, F. R. A survey of the fertility states of surface soils under cerrado vegetation in Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 41, p. 742-747, 1977.

LOROZETTI, J. M.; RODRIGUES, J. C.; DEMATTÊ, J. L. I. Calcário e gesso em soqueira de cana-de-açúcar. *Revista STAB*, v. 10, 1992.

LUDWICK, A. Maximum yield research: friend of the environment. In: *Research for maximum yield in harmony with nature*. Acapulco, México, 1994.

LUCHIARI, A.; RESENDE, M.; RITCHEY, K. Manejo do solo e aproveitamento da água. In: GOEDERT, W. (Ed.). *Solos de cerrados: tecnologia e estratégias de manejo*. São Paulo: EMBRAPA/Nobel, 1986.

LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A. de; MOTTA, P. E. F. da; BARROSA, H. C.; AGLIO, M. L. D.; DART, R. de O.; SILVEIRA, H. L. F. da; QUARTAROLI, C. F.; ALMEIDA, R. E. M. de; FREITAS, P. L. de. *Aptidão agrícola das terras de MATOPIBA*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 48 p.

LINDSAY, W. *Chemical equilibria in soils*. New York: John Wiley & Sons, 1979.

LUIS AUGUSTO D. L.; DI RAIMO, E. G.; DEMATTÊ, J. A. M.; AMORIM, R. S. S.; TORRES, G. N.; CREMON, C.; MELLO, D. C. de; BOCUTI, E. D.; SILVA, A. N. da; LIMA, L. N.; NETO, L. C. G.; WATER RETENTION IN SANDY SOILS: A RELATIONSHIP BETWEEN PARTICLE MICROMORPHOMETRY AND VIS-NIR-SWIR AND MIR SPECTROSCOPY.

M

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estudo da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, p. 133-146, 2009.

MALAVOLTA, E. Reações do solo e crescimento das plantas. In: MALAVOLTA, E. (Ed.). *Seminários sobre corretivos agrícolas*. Piracicaba: Fundação Cargill, 1985. p. 3-64.

MALAVOLTA, E. Resenha – Biodiversidade do solo na Amazônia e outros ecossistemas brasileiros. *Informações Agrícolas*, n. 114, p. 1-5, jun. 2006.

MANLIO, S. F.; SANTOS, L. A.; de SOUZA, S. R. Absorção de nutrientes. In: MELO, V. de F.; ALLEONI, L. R. (Ed.). *Química e mineralogia do solo. Parte II - Aplicações*. Viçosa, MG: SBCS, 2009. p. 113-131.

MANLIO, S. F.; SANTOS, L. A.; de SOUZA, S. R. Absorção de nutrientes. In: MELO, V. de F.; ALLEONI, L. R. (Ed.). *Química e mineralogia do solo. Parte II - Aplicações*. Viçosa, MG: SBCS, 2018. p. 113-131.

MARSCHENER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. San Diego: Academic Press, 1995.

MARTINELLI, L.; VICTORIA, R. L.; DEMATTÊ, J. L. I. Chemical and mineralogical composition of Amazon River flood-plain sediments, Brazil. *Applied Geochemistry*, v. 8, p. 391-402, 1993.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; CASTRO LOPES, A. A. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. Circular Técnica 38, Planaltina-DF, 2018. ISSN 1517-0187.

MENDES, F. H. Tipos de solo no Brasil: conheça os principais. Disponível em: Tipos de Solo No Brasil: Conheça Os Principais, 2024.

MELFI, A. F.; PEDRO, G.; WOLKOFF, B. Natureza e distribuição dos compostos férricos nos solos do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 3, n. 1, p. 47-53, 1979.

MELO, V. de F.; WYPYCH, J. Caulinita e aloisita. In: MELO, V. de F.; ALLEONI, L. R. (Ed.). *Química e mineralogia do solo. Parte I*. Viçosa, MG: SBCS, 2009. p. 35-50.

MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. A solução do solo. In: MEURER, E. J. *Fundamentos de química de solos*. Porto Alegre: Gênese, 2000. p. 174.

MILLER, W. P.; NEWMAN, K. D.; FRENKEL, H. Flocculation concentration and sodium/calcium exchange of kaolinitic soil clays. *Soil Science Society of America Journal*, v. 54, n. 2, p. 346-351, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/SSAJ1990.03615995005400020008X>.

MIRANDA, I. N.; MIRANDA, J. C. C. Efeito residual de calcário na produção de milho e soja em solo gley pouco húmico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 24, p. 209-215, 2000.

MONNIER, G.; GOSS, M. J. (Eds.). *Soil compaction and regeneration*. Boston: Balkema, 1987. p. 145-155.

MOREIRA, S. G. Desafios para a sustentabilidade dos sistemas de produção com culturas anuais. *Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia (NPCT)*, 2019.

MORELLI, J. L.; DALBEN, A. E.; DEMATTE, J. L. I. Efeitos de doses crescentes de calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades de solos arenosos ácidos. *STAB*, v. 6, n. 2, p. 24-31, 1987.

MORELLI, J. L.; NELLI, E. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 15, p. 57-61, 1991.

MORELLI, J. L.; DALBEN, A. E.; ALMEIDA, J. O.; DEMATTÊ, J. L. I. Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média alíco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 16, p. 187-194, 1992.

MUNNS, D. N. In: ANDREW, C. S.; KAMPRATH, E. J. (Eds.). *Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils*. Melbourne: CSIRO, 1978. p. 247-264.

MUNNS, D. N.; KEYSER, H. H.; FOGLE, V. W.; HOHENBERG, J. S.; RIGHETTI, T. L.; LANTES, D. L.; ZAROUGH, M. G.; CLARKIN, K. L.; WHITACRE, K. A. Tolerance of soil acidity in symbiosis of mung bean with Rhizobia. *Agronomy Journal*, v. 71, p. 256-260, 1979.

MAGALHÃES, P. S. G. Projeção da produtividade de cana-de-açúcar com uso de dados climáticos e séries temporais. *Brazilian Journal of Soil Science*, v. 33, p. 1943-1951, 2009.

MARCO ANDRE MENDES MAGALHÃES; CARVALHO, S. T. A.; MACEDO, L. A. Data Science Applied to Agronomy. *Brazilian Agricultural Sciences Journal*, v. 56, n. 2, p. 200-212, 2021. DOI: 10.1234/56789-0.

MEIRA, L.; MENDES, W.; POPPIEL, R.; DEMATTÊ, J. A. M.; SANCHES, G.; SOUSA, R. A importância das geotecnologias na caracterização do meio físico com vistas ao aumento da produtividade. *Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia (NPCT)*, n. 6, p. 1-20, jun. 2020.

MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA, M. de L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. *Geoderma*, v. 117, p. 3-52, 2003. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4.

MCBRATNEY, A. B.; MINASNY, B.; STOCKMANN, U. *Progress in Soil Science*. Springer, 2018. 720 p. ISBN 978-3-319-63437-1.

MOURA-BUENO, J. M.; ZBOROWSKI HORST, T.; DALMOLIN, R. S. D.; SAMUEL-ROSA, A.; DEMATTÊ, J. A. M.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MIGUEL, P.; MACIEL, E.; ROSIN, N. A. *Pedometria: histórico, princípios e aplicações*.

N

NAKAYAMA, L. H. I.; BARBO, C. V. S.; FABRICIO, A. C. Aplicação de calcário em Latossolo roxo sob cultivo de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 8, p. 309-312, 1984.

NANNI, M.R. et al. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. *Scientia Agricola*, v. 68, n. 3, p. 386-392, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162011000300017>.

NAWAR, S. et al. Delineation of soil management zones for variable-rate fertilization: A review. In: *Advances in Agronomy*, v. 143, p. 175-245. Academic Press, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.01.003>.

NICCHIO, B. Reunião técnica da STAB. Ribeirão Preto, SP, 2017.

NICHOULIDES, J.; PIHA, M. A field method for selecting cultivars with tolerance to Al and high yield potential. In: *Conference on Aluminum Tolerance in Sorghum*. CIAT, Cali, Colombia, 1985.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Relação solo-planta. In: *SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 133-204, 2007.

NOVAIS, R. F. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Universidade Federal de Viçosa, MG, 1999.

NOVAIS, R. F. Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils. Raleigh: North Carolina State University, 1977. 153 p. (Tese de doutorado).

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Universidade Federal de Viçosa, MG, 1999.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V.; NAIRAM, F. B.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). Fertilidade do solo. 2007.

NIEMEIJER, D.; DE GROOT, R. S. Framing environmental indicators: moving from causal chains to causal networks. *Environment, Development and Sustainability*, 2008.

NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. Research on tropical soils. Annual report, Raleigh, N.C.: Soil Science Department/North Carolina State University, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976/77, 1978/79 e 1980/81.

O

OLIVEIRA, M. W. de; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. de C.; PENATTI, C. P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, v. 56, n. 4, p. 803–809, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000400006>.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F. A. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: soja. In: PROCHANOV, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.). *Anais do Simpósio Boas Práticas de Uso Eficiente de Fertilizantes*. Vol. 3. Piracicaba, SP: IPNI Plant Nutrition, 2009.

OLIVEIRA JUNIOR, N. M.; COSTA, R. N. T.; SAUNDERS, L. C. U. Parâmetros de produção do melão em um solo aluvial sódico em processo de recuperação. *Engenharia Agrícola*, v. 18, p. 110-117, 1998.

P

PAN BRASIL. Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.

PAOLINELLI, M. T.; OLIVEIRA, P. M. de; SANTOS, P. R. R.; SÁ, L. V. de P.; MORAIS, W. de. Aplicação direta do fosfogesso. In: *Anais do I Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura*. Brasília: Embrapa DDT, 1986. p. 197-207.

PARFITT, R. L. Chemical properties of variable charge soils. In: THENG, B. K. G. (Ed.). Soil with Variable Charge. New Zealand Society of Soil Science, 1980. p. 167-194.

PARTON, W. J.; SCHIMEL, D. S.; COLE, C. V.; OJIMA, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter in Great Plains grassland. Soil Science Society of America Journal, v. 51, p. 1173-1179, 1987.

PAVAN, M. A. Toxicity of Al (III) to coffee in nutrient solution culture and in Oxisol and Ultisol amended with CaCO₃, MgCO₃ and CaSO₄.H₂O. University of California, Riverside, 1981. (Tese de Doutorado).

PRADO, H. Solos e ambientes de produção de cana de açúcar. IDEA News, ano 8, 2008.

PRADO, H.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETO, R. A importância do conhecimento pedológico nos ambientes de produção de cana-de-açúcar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá-MT. Anais... Cuiabá: SBCS, 2002. CD-ROM.

PRADO, H.; VAN LIER, Q.J.; LANDELL, M.G.A.; VASCONCELOS, A.C.M. Classes de disponibilidade de água para a cana-de-açúcar nos principais solos da região Centro-Sul do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. Anais... 1 CD-ROM.

PENATTI, C. P. Efeitos da vinhaça no solo e na planta. Jaboticabal, SP: Unesp, Projeto Fapesp, CTC, 2007.

PENATTI, C. P. Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência. Ituiutaba: Ottoni Ed., 2013. 347 p.

PECK, R. B. Forest research activities and the importance of multistrata production systems in the Amazon basin. In: HECHT, S. B. (Ed.). Amazonia: Agricultural and Land Use Research. Cali, Colombia: CIAT, 1982. p. 373-386.

PEARSON, R. W. Soil environment and root development. In: PIERRE, W. H.; KIRKHAM, D.; PESEK, J.; SHAW, R. (Eds.). Plant Environment and Efficient Water Use. Madison: American Society of Agronomy, 1996. p. 95-126.

PRADO, H. Solos e ambientes de produção de cana-de-açúcar. IDEA News, ano 8, 2008.

PRADO, H. Solos e ambientes de produção de cana-de-açúcar. IDEA News, ano 8, 2008.

PRADO, H.; VAN LIER, Q. J.; LANDELL, M. G. A.; VASCONCELOS, A. C. M. Classes de disponibilidade de água para a cana-de-açúcar nos principais solos da região Centro-Sul do Brasil. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 13., 2003, Juazeiro. Anais.... 1 CD ROM.

PROCHNOW, L. I. Agricultura: progresso através do conhecimento. Informações Agronômicas, no 87, 1999.

PADUA, J. E. Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas. 2012. 81 p. Tese (Mestrado em Agricultura) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Q

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 16, n. 3, p. 245-260, 1985.

QUAGGIO, J. A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 2000. 111 p.

R

RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, SP: Instituto de Potassa e Fosfato (EUA) e Instituto Internacional de Potassa (Suíça), 1981.

RAIJ, B. van. Gesso na agricultura. Campinas, SP: IAC, 2008.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAJAN, S. S. S. Sulfate adsorbed on hydrous alumina ligands displaced and charges in surface charge. *Soil Science Society of America Journal*, v. 42, p. 265-269, 1978.

RAZUK, R. B. Avaliação do sistema radicular de acessos de *Brachiaria brizantha* e suas relações com atributos químicos e físicos do solo. 2002. 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados.

REICHARDT, K.; CABALLERO, S. U. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: *AGROCHEMICALS*, 1982, p. 291-304.

RESENDE, A. V. et al. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. *Espaço & Geografia*, Brasília, v. 9, n. 2, p. 135-161, 2006.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; SOUZA, D. M. G. Relação entre teor de cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 7, p. 269-275, 1983.

RITCHEY, K. D.; COX, F. R.; GALVÃO, E. Z.; YOST, R. S. Disponibilidade de zinco para cultura de milho, sorgo e soja em latossolo vermelho escuro argiloso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 21, n. 3, p. 215-225, 1986.

RITCHEY, K. D.; DJALMA, M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. *Agronomy Journal*, v. 72, p. 40-44, 1980.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savanna oxisols. *Soil Science*, v. 6, p. 378–382, 1982.

ROMERO, R.; ROMERO, M. Utilización y manejo florestal. Lima, Perú: REDINAA, INIPA, 1983. 180 p.

ROSSETTO, R.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; MELLIS, E. V.; VARGAS, V. P.; CANTARELLA, H.; PRADO, H. do; DIAS, F. L. F.; LANDELL, M. G. A.; BRANCALIÃO, S. R.; GARCIA, J. C. Cana-de-açúcar – cultivo com sustentabilidade. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 142, p. 1-13, junho 2013.

ROSSIELLO, R. O. P.; ZONTA, E.; BUCHER, C. A. Mais de uma década de pesquisas sobre o alumínio e plantas: processos em mecanismos de toxidez e de tolerância ao estresse. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (Ed.). *Nutrição Mineral de Plantas*. 2. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018.

RUSSEL, C. E. Nutrient cycling, and productivity in native and plantation forests in Jari Florestal, Pará, Brasil. Athens: Institute of Ecology, University of Georgia, 1983. 133 p. (PhD Thesis).

RAFAEL AMARAL ARANTES DE OLIVEIRA; RENATA DE CÁSSIA OLIVEIRA; JOSÉ ALEXANDRE M. DEMATTÊ. Deep learning models for soil classification using contextual multi-channel convolutional neural networks (cmCNN). *Geoderma*, v. 345, p. 125-140, 15 fev. 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.02.032.

ROBERT D. DETRICK; JOHN H. WILLIAMS. *Advances in Environmental Research: Soil and Water Contamination*. Nova Science Publishers, 2010. ISBN 978-1608760220.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Texas A&M University Remote Sensing Center, 1973.

S

SALATA, J. C.; ARMENE, J. C.; DEMATTE, J. L. Influência do tipo de sulcador no desenvolvimento do sistema radicular e produtividade da cana-de-açúcar. *STAB*, v. 6, n. 4, p. 14-16, 1987.

SALATI, E.; VOSE, P. B. Amazon Basin: a system in equilibrium. *Science*, v. 225, p. 129-137, 1984.

SALINAS, J. G. Effects of land clearing methods on soil properties of an Ultisol in the Amazon jungle of Peru. Raleigh: North Carolina State University, 1978. 205 p.

SÁ, B. I.; PAIVA, A. de Q. A desertificação no semiárido brasileiro. In: BERTOL, I.; DEMARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. (Org.). *Manejo e conservação do solo e da água*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: The Role of Phosphorus in Agriculture, 1980, p. 263–310. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/1980.ROLEOFFPHOSPHORUS.C12>.

SANCHES, P. A. Properties and Management of Soils in the Tropics. 1976. Disponível em: https://books.google.com/books/about/Properties_and_Management_of_Soils_in_th.html?hl=pt-BR&id=YKh7DwAAQBAJ.

SÁNCHEZ, P. & BENITES, J. Opciones tecnológicas para el manejo nacional de suelos en la selva peruana. CIPA, XVI, Estación Exp. Yurimáguas. Série n. 6, Yurimáguas, Peru, 1983. 68 p.

SÁNCHEZ, P. & COCHARANE, T. Soil constraints in relation to major farming systems of tropical America. In: PRIORITIES FOR ALLEVIATING SOIL-RELATED CONSTRAINTS TO FOOD PRODUCTION IN THE TROPICS. Los Baños: IRRI, The Philippines, 1980. p. 107-139.

SÁNCHEZ, P. Management of acid soils in the humid tropics of Latin America. In: Management of acid soils for sustainable agriculture. Proceedings of IBSRAM, Bangkok, Thailand, 1985. p. 63-107.

SÁNCHEZ, P. A.; BANDY, D. E.; VILLACHICA, J. H. & NICHOLAIDES, J. J. Soils of the Amazon basin and their management for continuous crop production. Science, v. 216, p. 821-827, 1982.

SÁNCHEZ, P. A.; SZOTT, L.; PALM, C. Comparative soil dynamics under different management systems. In: Trop Soil Technical Report. NSCSU – Raleigh, 1991. p. 188-191.

SÁNCHEZ, P. A.; VILLACHICA, J. H. & BANDY, D. E. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. Soil Science Society of America Journal, v. 47, p. 1171-1178, 1983.

SANTANA, M. B. M.; CABALA-ROSAND, P. Reciclagem de nutrientes em uma plantação de cacau sombreada com Eritrina. In: International Cocoa Research Conference, 9., Lomé, Togo, 1984. p. 12.

SANTOS, G. A. dos; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T.; FURTINI NETO, A. E. Produção de matéria seca da parte aérea de milho com a dose de 200 ppm de P em diferentes graus de compactação. Ciência e Tecnologia, Lavras, v. 27, 2005.

SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J.; RACZ, G. J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). The Role of Phosphorus in Agriculture. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 1980.

SALTON, C. J.; FERREIRA, A. C. B.; BORIN, A. L. D. C.; TOMAZI, M. In: BERTOL, I.; DEMARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. (Org.). Manejo do solo em sistemas de cultivo anual para a região Centro-Oeste. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

SCHLESINGER, W. H. Biogeochemistry: An analysis of global change. New York: Academic Press, 1997. 588 p.

SCHOFIELD, R. K. A ratio law governing the equilibrium of cations in the soil solution. In: International Congress of Pure and Applied Chemistry, IL, 1947. Proceedings. London: International Union of Pure and Applied Chemistry, v. 3, p. 257-261.

SERRÃO, E. A. S.; FALESI, I. C.; VEIGA, J. B.; TEIXEIRA, J. F. Productivity of cultivated pastures in low fertility soils of the Amazon of Brazil. In: SÁNCHEZ, P. A.; TERGUS, L. E. (Ed.). Pasture production in acid soils of the tropics. Cali, Colombia: CIAT, 1979. p. 195-226.

SIQUEIRA, O. J. F. de; SCHERER, E. E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J. F.; TEDESCO, M. J.; MILAN, P. A.; ERNANI, P. R. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/819071>.

SILVA, L. B. Caracterização e quantificação da matéria orgânica em horizontes A de solos sob pastagem natural dos Campos de Cima da Serra, RS. 2007. 66 p. Tese (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, N. M.; CARVALHO, L. H.; QUAGGIO, J. A. Ensaio de longa duração com calcário e cloreto de potássio na cultura do algodoeiro. *Bragantia*, Campinas, v. 54, n. 2, p. 353-360, 1995.

SIQUEIRA, O. J. F.; SCHERER, E. E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J. J.; TEDESCO, M. J.; MILAN, P. A.; ERNANI, P. R. Recomendações de adubação e calagem para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Passo Fundo: Embrapa/CNPT, 1987. 100 p.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: *Fertilidade do solo*. Vol. 1. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 205-275.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados. Planaltina: Embrapa – CPAC, 1995. Circular Técnica 32, 20 p.

SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Correção de acidez subsuperficial: uso de gesso no solo de cerrado. In: *Simpósio de Química e Fertilidade do Solo*. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 91-113.

SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Uso do gesso no solo de cerrado. In: *Anais do I Seminário sobre o uso do fosfogesso na agricultura*. Brasília: Embrapa – DDT, 1986. p. 119-144.

SOUZA, D. M. G.; VILELA, I.; LOBATO, E.; SOARES, W. V. Uso do gesso, calcário e adubos para pastagens no Cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrado, 2001. Circular Técnica 12, 22 p.

SOUSA, D. M. B.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. B.; LOBATO, E. (Ed.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2002. p. 81-96.

SOUSA, D. M.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: POTAFOS, *Encarte Técnico*, n. 112, 2003.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Correção de acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 81-96.

SOUZA, A. C. P. de; VASCONCELLOS, A. F.; PRADO, R. B. do; MELLO, C. R. Impacts of climate and land use changes on the hydrology of the Grande River Basin Headwaters, Southeastern Brazil. *Agricultural Water Management*, v. 171, p. 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.012>

SMYTH, T.; BASTOS, I. B. Alterações na fertilidade em um latossolo amarelo últico pela queima da vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 8, p. 127-132, 1984.

SMYTH, T.; CRAVO, M. S. Soil fertility management in oxisols of Manaus. In: *Trop Soils Technical Report*, 1989. Nesu – Raleigh. p. 147-154.

SPARKS, D. L. *Environmental soil chemistry*. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2003. 267 p.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; CORREIA, J. R.; CUNHA, T. J. F. Solos arenos-quartzosos no Cerrado: problemas características e limitações ao uso. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. p. 1-48.

SUMMER, M. Uso atual do gesso no mundo em solos ácidos. In: *II Seminário sobre o uso do gesso na agricultura*. Uberaba, MG: Instituto Brasileiro do Fosfato, 1992.

T

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J. (Eds.). *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. v. 2, p. 778-835. (Special Publication, 5).

TAVARES, T.R. et al. Effect of X-ray tube configuration on measurement of key soil fertility attributes with XRF. *Remote Sensing*, v. 12, n. 6, p. 963, 2020.

TAVARES, T.R. et al. Towards rapid analysis with XRF sensor for assessing soil fertility attributes: Effects of dwell time reduction. *Soil and Tillage Research*, v. 232, p. 105768, 2023.

TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLAN, E.; BORTOLAN, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, set. 2016.

TISDALE, S.; NELSON, W.; BEATON, J. *Soil fertility and fertilizers*. 4. ed. London: Macmillan Publishers, 1984.

TOGNON, A. *Variações das propriedades físicas e químicas em solos sob diversos tipos de manejo*. 1996. Tese (Mestrado) — Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM*, 1., Brasília, 2010. Anais. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. p. 173-181.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p. 721-730, 2006.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. *The water balance*. Centerton: New Jersey, 1955. 104 p.

U

URIBE, E.; SZOTT, L.; ALEGRE, J. Soil fertility dynamics. In: *TROP SOIL TECHNICAL REPORT*. Raleigh: NCSU, 1991. p. 197-205.

USINA GASA. Relatório do setor de desenvolvimento. Andradina, SP, 2016.

USINA JALES. Relatório do setor de desenvolvimento. Jales, GO, 2017.

USINA SANTA HELENA. Relatório do setor agrícola. Nova Andradina, MT, 2016.

USINA TERRACAL ALIMENTOS E BIOENERGIA. Relatório do setor de desenvolvimento. Guadalajara, Piauí, 2014.

V

VAN DEN BROECK, H.; VERBEKE, W.; BAESENS, B. *Data mining for digital soil mapping: principles and applications*. CRC Press, 2014.

VAN, A.; E, V. W.; A, V. Desinfection du sol au bromure de méthyle et limitation de la quantité de résidus de bromure dans les légumes. *Desinfection du Sol au Bromure de Methyle et Limitation de la Quantite de Residus de Bromure Dans Les Legumes*, p. 1395–1406, 1974.

VARGAS, R. M. B.; MEURER, E. J.; ANGHINONI, M. Mecanismos de suprimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 7, p. 143-148, 1983.

VERDOUW, C.; TEKINERDOGAN, B.; BEULENS, A.; WOLFER, S. Digital twins in smart farming. *Agricultural Systems*, v. 189, p. 103046, abril 2021. DOI: 10.1016/j.agsy.2020.103046.

VASCONCELLOS, R. L. F.; BONFIM, J. A.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and glomalin related soil protein (GRSP) as potential indicators of soil quality in a gradient of the Atlantic Forest in Brazil. *Land Degradation & Development*, v. 27, n. 2, p. 325-334, junho 2013.

VISCARRA ROSSEL, R.A. et al. Proximal soil sensing: an effective approach for soil measurements in space and time. In: *Advances in Agronomy*, v. 113, p. 243-291.

W

WEBSTER, R.; McBRATNEY, A.B. Mapping soil fertility at Broom's Barn by simple kriging. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 38, n. 2, p. 97-115, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740380203>.

Y

YORK, E. T. Nutrient management in wood food production. In: INFOAG99 INFORMATION AGRICULTURE CONFERENCE, 1999, West Lafayette. Anais... West Lafayette: Purdue University, 1999.

Z

ZANCANARO, L. Simpósio Brasileiro de Solos Arenosos - Fundação Mato Grosso. Experimentos com sistemas de produção e manejo de solos arenosos no Mato Grosso. Presidente Prudente, out. 2014.

ZANCANARO, L.; ONO, F. B.; KAPPES, C.; VALENDORF, J. D. P.; CORADINI, D.; DAVID, M. A.; SEMLER, T. D.; VIDOTTI, M. V. Adubação fosfatada no sulco de semeadura e em superfície. In: FUNCAÇÃO MT. Boletim de Pesquisa 2017/2018, soja, algodão e milho. 18. ed. MT: Entrelinhas Editora, 2017. p. 82-95.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; ROCHA, J. F.; SANTOS, L. A.; FERREIRA, L. M.; TAVARES, O. C. H.; PIMENTEL, R. R.; ROSSIELLO, R. O. P.; GOI, S. R. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M. S.; DE SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG, 2018.

ZHANG, G. Y.; YU, T. R. Coordination adsorption of anions. In: YU, T. R. (Ed.). New York: Oxford University Press, 1997.