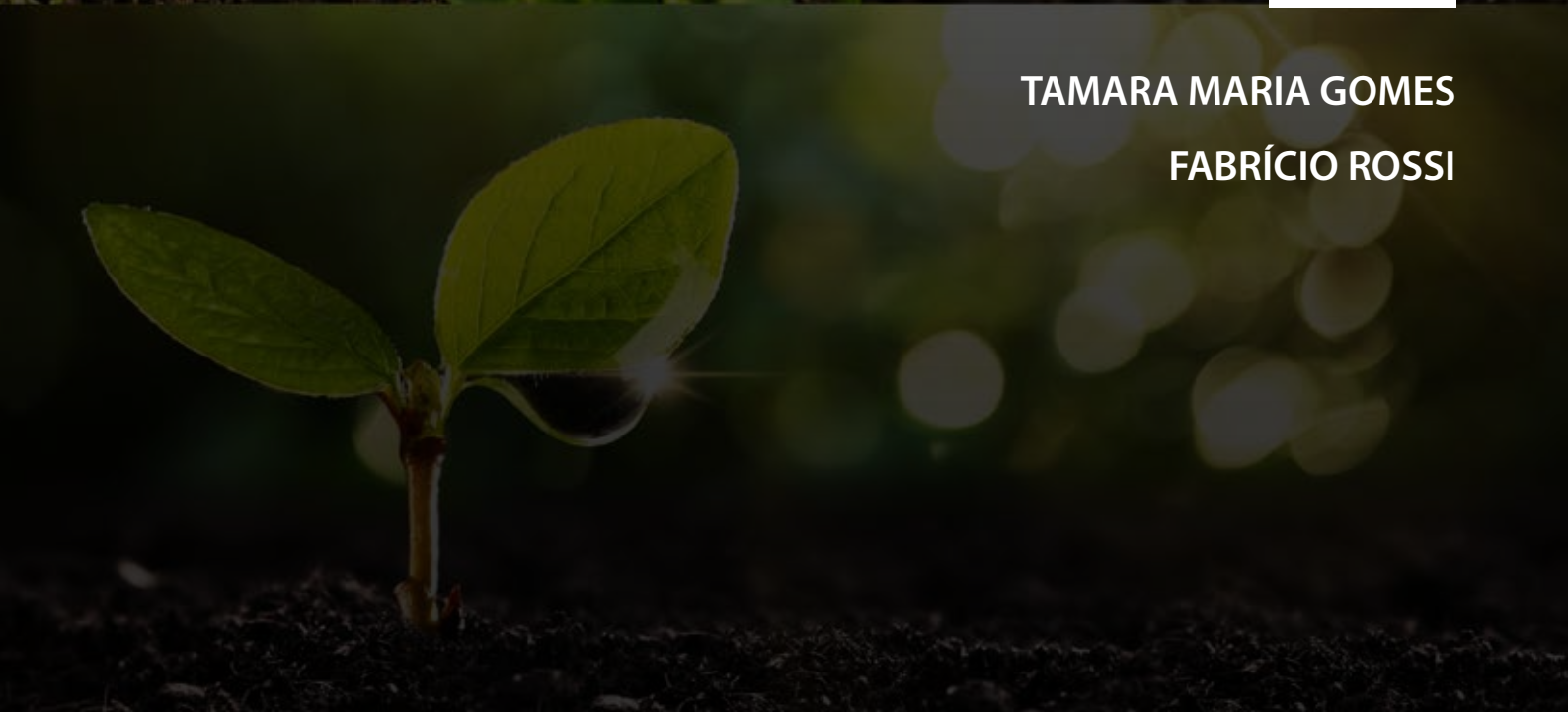


Água e Solo na Agricultura Sustentável

TAMARA MARIA GOMES

FABRÍCIO ROSSI



TAMARA MARIA GOMES

FABRÍCIO ROSSI

Água e Solo na Agricultura Sustentável

DOI: 10.11606/9786587023168

Pirassununga / SP

Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA)

2021

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Reitor: Prof. Dr. Vahan Agopyan
Vice-Reitor: Prof. Dr. Antonio Carlos Hernandes

PRÓ-REITORIA DE CULTURA E EXTENSÃO
Pró-Reitora: Profa. Dra. Maria Aparecida de Andrade Moreira Machado

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
Avenida Duque de Caxias Norte, 225 - Pirassununga, SP
CEP 13.635-900
<http://www.fzea.usp.br>
Diretor: Prof. Dr. Carlos Eduardo Ambrósio
Vice-Diretor: Prof. Dr. Carlos Augusto Fernandes de Oliveira

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO
Paula Ubatuba Tannuri

Financiamento:



Apoio:



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo

G633a Gomes, Tamara Maria
Água e solo na agricultura sustentável / Tamara Maria Gomes, Fabrício Rossi. -- Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, 2021.
56 p.

ISBN 978-65-87023-16-8 (e-book)
DOI: 10.11606/9786587023168

1. ODS. 2. Irrigação eficiente. 3. Reúso agrícola. 4. Adubação verde. 5. Fungos benéficos. I. Rossi, Fabrício. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por Girlei Aparecido de Lima, CRB-8/7113

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 indicada.



Epígrafe

Se não houvesse tristeza nem miséria, se em todo lugar corressem águas sobre as pedras, se cantassem aves, a vida podia ser apenas estar sentado na erva, segurar um malmequer e não lhe arrancar as pétalas, por serem já sabidas as repostas, ou por serem estas de tão pouca importância, que descobri-las não valeria a vida duma flor.

José Saramago





SUMÁRIO

Prefácio	06
Sobre os Autores	07
Capítulo 01	
SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EFICIENTES	08
Capítulo 02	
TÉCNICAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO	17
Capítulo 03	
REÚSO DA ÁGUA	24
Capítulo 04	
GESTÃO DE RESÍDUOS RURAIS	32
Capítulo 05	
O SOLO NA FERTILIDADE DO SISTEMA PRODUTIVO	40
Capítulo 06	
TÉCNICAS PARA AUMENTO DE FERTILIDADE DO SISTEMA	44
Capítulo 07	
ADUBAÇÃO VERDE E MICROBIOMA DO SOLO	48
Referências Bibliográficas	55

PREFÁCIO

O e-book “Água e Solo na Agricultura Sustentável” é resultado do projeto de mesmo título contemplado pelo Edital 01/2021 da PRÓ-REITORIA DE CULTURA E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA (PRCEU) da Universidade de São Paulo para “FOMENTO ÀS INICIATIVAS DE CULTURA E EXTENSÃO LIGADAS AOS ODS-ONU”.

O projeto teve como objetivo abordar de forma direta o objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS) de número 2, para a erradicação da fome e a agricultura sustentável, no que diz respeito aos cultivos agrícolas, de forma a promover sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (UN, 2015).

Para execução foi realizada capacitação, por meio de *lives*, com o público de agricultores, estudantes e interessados no assunto, com divulgação para a região de Pirassununga, entretanto a forma de ensino à distância, possibilitou a participação de outras regiões do Brasil, como do Nordeste.

Os temas abordados trouxeram a discussão para o manejo da água e do solo para uma agricultura sustentável, como:



**INCENTIVAR O USO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EFICIENTES;
DIFUNDIR TÉCNICAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO E REÚSO DE ÁGUA**



FOMENTAR A GESTÃO DE RESÍDUOS NAS PROPRIEDADES RURAIS, PROMOVEDO A RECICLAGEM, A REDUÇÃO E O REÚSO



DIFUNDIR TÉCNICAS PARA AUMENTO DA FERTILIDADE DO SISTEMA PRODUTIVO



INCENTIVAR O USO DE ADUBAÇÃO VERDE E FUNGOS BENÉFICOS AO SOLO

Os ODS apresentados priorizaram a difusão do ODS 2 (fome zero e agricultura sustentável), mas também contemplaram ações para alcançar os ODS 1, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15 e 17.



Os autores desejam que o leitor tenha uma leitura agradável e desperte o interesse por práticas conservacionistas dos recursos naturais, para a uma agricultura sustentável, na promoção de uma vida digna e com saúde.

SOBRE OS AUTORES

TAMARA MARIA GOMES

Agrônoma pela FCA/UNESP-Botucatu, mestre em Irrigação e Drenagem pela mesma Universidade e Doutora em Irrigação e Drenagem pela ESALQ/USP. Realizou programa de Pós Doutorado na ESALQ/USP para desenvolvimento de pesquisas dentro do tema “Utilização de Efluentes de Estação de Tratamento de Esgoto na Agricultura”. Também participou de 2009 a 2011 como auditora do programa de certificação agrícola para recomendação do selo *Rainforest Alliance*. Atualmente é Professora Associada da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos no curso de Engenharia de Biosistemas da Universidade de São Paulo, campus Pirassununga/SP e Assessora Técnica da Superintendência de Gestão Ambiental/USP. Tem experiência na área de Irrigação e Drenagem, trabalhando com elaboração, implantação e avaliação de projetos de irrigação, além de assistência nas áreas afins como: manejo de irrigação e fertirrigação, outorga do uso da água, viabilização do uso de efluentes tratados de origem orgânica em diferentes culturas (reúso agrícola). Orientadora de mestrado e doutorado no programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas (PPGESA), da ESALQ-USP.



FABRÍCIO ROSSI

Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa (1995), mestre e doutor em Fitotecnia pela ESALQ/USP. Pós-doutorado em Fertilidade de sistemas agroecológicos na APTA/Pólo Regional Centro-Sul (2012) e Livre Docente pela Universidade de São Paulo (2019). É Professor Associado da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia de Biosistemas, campus Pirassununga-SP, onde leciona no curso de Engenharia de Biosistemas. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Manejo e Tratos Culturais, atuando principalmente nos seguintes temas: cultivos protegidos, adubação verde, agro-homeopatia, agroecologia e agricultura orgânica, fertilidade, olericultura e grandes cultivos. Orientador de mestrado no programa de Pós-graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural (PPGADR), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Orientador de mestrado e doutorado no programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas (PPGESA), da ESALQ-USP.



SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EFICIENTES

A prática da irrigação teve início a mais de 5.000 A.C, quando as civilizações deixaram de ser nômades e se estabeleceram às margens dos rios para desenvolver a agricultura de subsistência, como os exemplos dos rios Tigre e Eufrates na Mesopotâmia e Nilo no Egito.

A irrigação é uma forma artificial de simular chuva às plantas, com a finalidade de garantir o crescimento e a produção dos cultivos agrícolas. Dentre as principais vantagens estão: aumento de produtividade, melhoria da qualidade do produto e a comercialização na entre safra.

Os recursos hídricos no Brasil são gerenciados por meio de doze regiões hidrográficas, definidas princi-

palmente por diferenças nos fluxos das águas, relevo, clima, solo e vegetação. Como resultados há predominância de diferentes usos da água, o que torna a disponibilidade e a qualidade diferentes para cada região, com influências culturais, sociais e econômicas.

A utilização da água se dá em diferentes segmentos, com distintas vazões de consumo. Dentre os principais, estão os usos domésticos, industriais, rurais e irrigação. A irrigação é o setor de maior demanda, consumiu em 2019, 66,1% de todo volume (ANA, 2020). O que faz da irrigação, quando não praticada de maneira consciente, um risco para os recursos hídricos.

Embora a agricultura irrigada esteja presente so-



mente em cerca de 3,3 milhões de km² representando apenas 2,5% da área total, isso representa 20% da terra cultivada e gera cerca de 40% da produção agrícola global (UNESCO, 2020). Esses números mostram o potencial que a prática da irrigação tem para otimizar o uso da terra, na busca de cultivos produtivos.

Entretanto, antes de entrarmos nos detalhes sobre irrigação é importante o destaque para as questões legais sobre o direito ao uso da água. Para qualquer interferência nos recursos hídricos há necessidade de autorização do órgão ambiental do estado, pelo título de outorga do uso da água. A outorga é necessária nos casos de captação, seja superficial (rios, lagos, etc) ou subterrânea (poços), também nos casos de construções de barramentos e lançamentos de esgotos. Mesmo que a vazão necessária seja pequena é importante consultar o órgão, que no caso do Estado de São Paulo é o DAEE (Departamento de Água e Energia Elétrica).

As fontes de água para irrigação podem ser provenientes rios, reservatórios e poços profundos.

A necessidade da irrigação pode ser obrigatória, quando os cultivos acontecem em ambientes protegidos, no caso de casas de vegetação, ou em regiões em que a quantidade de chuva anual seja inferior a 400 mm. Nas situações, em que a pluviosidade é maior que 600 mm ou áreas em que determinados meses dos anos os volumes são muito baixos, a irrigação suplementar torna-se uma alternativa, para melhorar a produtividade ou garantir produção na entre safra.

No mercado para irrigação existem diferentes métodos e sistemas, divididos basicamente em aspersão, superfície e localizados. Dentro de cada método existem diferentes sistemas, que discutiremos a seguir. Antes de apresentar os equipamentos é importante ficar claro que não existe um método ou sistema ideal, mas sim há uma série de fatores que devem ser considerados no



Captação em rio, em sistema flutuante



Reservatório



Poço profundo



Aspersor Canhão

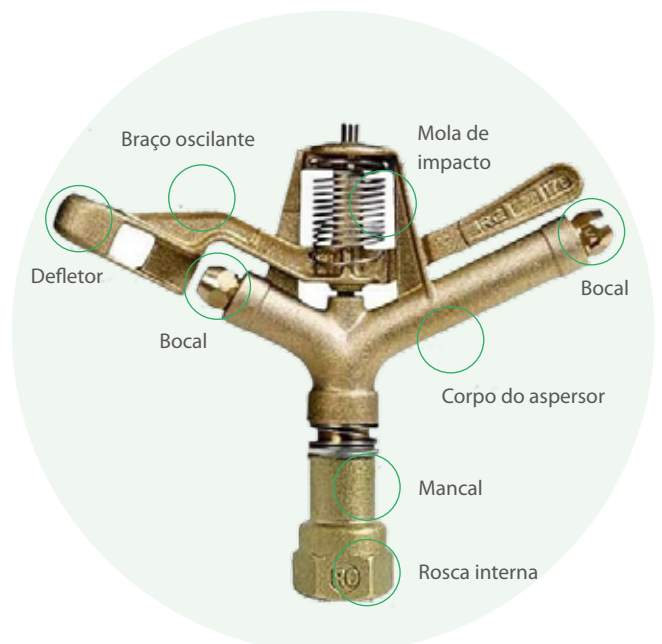
momento da escolha, como: (i) disponibilidade de água e energia; (ii) clima e solo; (iii) cultura; (iv) qualidade da água; (v) topografia; (vi) mão-de-obra; (v) recursos financeiros, dentre outros.

A irrigação por aspersão é caracterizada pela a água aplicada na forma de gotas ou chuva sobre a folhagem da cultura e sobre o solo. A irrigação por aspersão convencional é constituída por aspersores, os quais chamamos aspersores de impacto, muito utilizada na irrigação de hortaliças, e também em pastagem.

Ainda dentro do método irrigação por aspersão devemos dar destaque para os sistemas mecanizados por Pivô central e linear e aos tracionados, autopropelido, também conhecido como carretel enrolador.

Os sistemas de pivô central e linear são estruturas metálicas de altura de 2,80 m, sobre pneus, as quais apoiam aspersores. Esses sistemas são utilizados para

ASPERSOR DE IMPACTO





Pivô Central

grandes áreas, de preferência acima de 50 ha e são considerados mecanizados devido ao movimento se dar por moto-redutores localizados na base de cada torre.

O autopropelido ou carretel enrolador ou rolão é um sistema muito utilizado para aplicação de águas residuárias, principalmente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, para aplicação de vinhaça, pelo fato do aspersor ter um bocal de grande passagem, permitindo a aplicação de águas com a presença de impurezas. O funcionamento se dá pelo recolhimento de mangueira que traciona o aspersor, em extremidade oposta ao carretel.

Um último segmento da aspersão que tem grande relevância comercial é o setor da irrigação para paisagismo, envolve irrigação de áreas verdes, como jardins públicos, residenciais e áreas comuns de condomínios, como também cemitérios jardins e os campos esportivos (campo de futebol e golf e quadras de saibro para



Autopropelido em funcionamento



Aspersor escamoteável



Irrigação por gotejamento



Irrigação por inundação

tênis). É composto por uma infinidade de equipamentos que atendam a estética da área que se deseja irrigar, para isso usam de tecnologias como, aspersores escamoteáveis, bocais com ângulos reguláveis e automação.

Outro método, que vem ganhando destaque nas últimas décadas são os sistemas localizados, como o gotejamento e a microaspersão. São caracterizados pelo baixo consumo de água e energia e, pela alta frequência de irrigação. Tem sido muito bem empregado para irrigação de culturas perenes, como café, citros, uva, manga, etc. Embora tenha um investimento inicial superior aos outros sistemas, viabiliza a irrigação onde não há muita disponibilidade de água e na maioria dos casos, reduz mão-de-obra, por que é acompanhado de automação e injeção de fertilizantes pela água (fertirrigação).

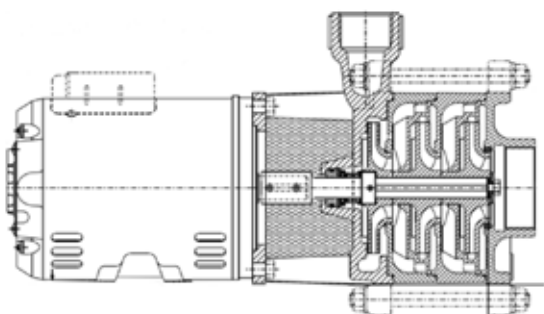
A irrigação por superfície é o método milenar, destaca-se na inundação e na irrigação por sulcos. O Brasil tem uma área de aproximadamente um milhão de hectares destinada a irrigação de arroz por inundação, a maioria localizada no sul do País. A principal característica desse método é não ser pressurizado, ou seja utiliza a força da gravidade para o movimento da água, o que dispensa o uso da energia. Outra característica, não há problemas com a qualidade da água, quando se compara a outros sistemas, que considera a questão de entupimento dos emissores.



Irrigação por sulco

MOTO-BOMBA DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS (4 rotores)

Fonte: Schneider (<https://schneider.ind.br/>)



Moto-bomba de múltiplos estágios (2 rotores)

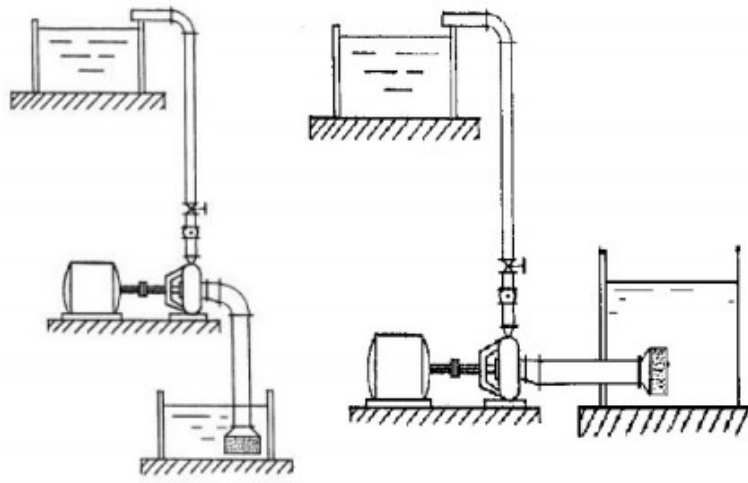
TUBO DE PVC COM ENGATE RÁPIDO

Fonte: Tigre (www.tigre.com.br/)



INSTALAÇÃO DE MOTO-BOMBA

(a) Acima da superfície da água, (b) Afogada



(a)

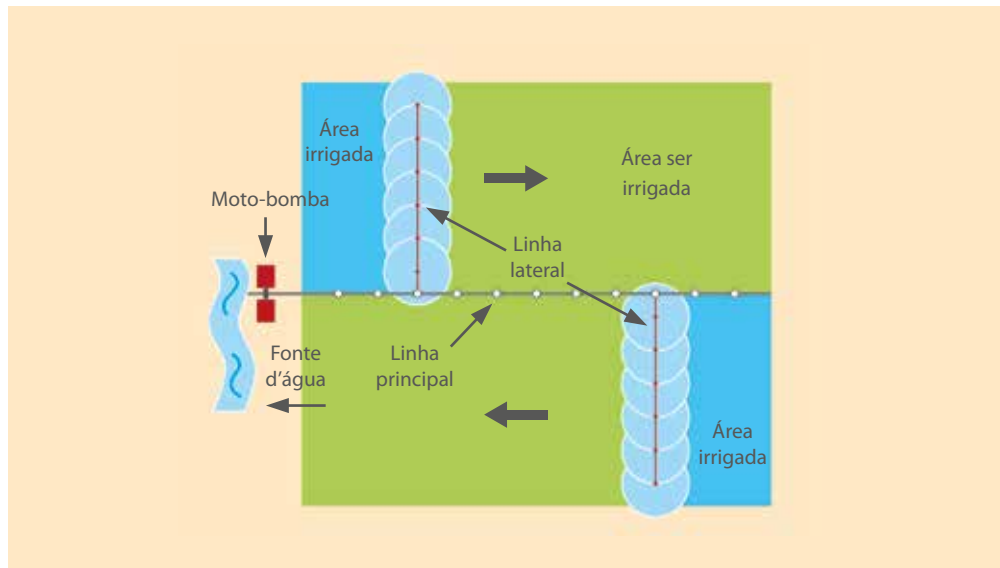
(b)

Assim como conhecer os métodos e sistemas de irrigação é importante ter noção sobre as demais partes que integram todo conjunto. Nos métodos pressurizados, o bombeamento é parte importante que cede energia para movimento da água. Na maioria das vezes, é realizado por sistema moto-bomba, por bombas do tipo centrífuga, que fornece pressão e vazão característica exigida pelo dimensionamento. Os motores acoplados ao eixo da bomba podem ser elétrico ou a diesel.

As tubulações podem ser de material metálico (aço, ferro ou alumínio), PVC (para irrigação identificada com a cor azul) e polietileno. A espessura da parede dos tubos são função da pressão ao qual o sistema será submetido. As conexões entre tubos podem ser de ponta bolsa (cola) ou por engate rápido.

A distribuição dos sistemas pressurizados considera o cabeçal de controle, composto pelo bombeamento, sistema de filtragem da água, controlador e válvulas, nos casos em que se tem automação. As linhas de tubulações são classificadas como principais, secundárias e laterais, está última contém os emissores de irrigação. Na irrigação por aspersão convencional o sistema pode

IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL em esquema semi-fixo, com laterais móveis



ser todo fixo, semi-fixo ou todo portátil. A irrigação pode acontecer em área total ao mesmo tempo ou pode ser setorizada, muito comum na irrigação localizada.

Os sistemas de filtragem são necessários quando a água apresenta valores superiores a 50 mg/L de sólidos, elevada turbidez. Nestes casos, são utilizados equipamentos com material filtrante do tipo disco, tela ou areia. Quando o sistema de irrigação é localizado e há grande presença de matéria orgânica na água é necessário o uso de filtro de areia.

FILTRO DE DISCO



Fonte: AZUD (www.azudbrasil.com.br/)

FILTRO DE AREIA



Fonte: AMIAD (2013)



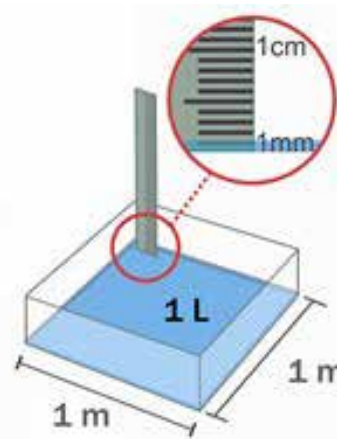
Cavalete com válvula de comando hidráulico

A automação dos sistemas de irrigação é composta por controlador, válvulas solenoides e sensores.

Após apresentar os sistemas e as principais partes que compõe precisamos avaliar a eficiência de aplicação de água e para isso, é preciso entender o conceito de lâmina de irrigação. Lâmina de irrigação é expressa na unidade de milímetros (mm), assim como chuva.

Dessa forma, ambas representam uma altura, se aplicarmos um litro de água em uma área de 1 metro por 1 metro (1 m^2), teremos uma altura de 1 mm.

Quando entendemos que a lâmina de irrigação expressa em mm, corresponde a litros por metro quadrado, fica fácil entender a importância de se considerar a eficiência de aplicação de água dos sistemas de irrigação. Que por sua vez, é a razão entre a quantidade de água efetivamente usada pela planta e a quantidade retirada da fonte de água, dada em %. A eficiência média de irrigação no Brasil está estimada em 60 %, significando que, para cada 10.000 litros de água necessária às plantas por ha, são retirados da fonte de água 16.667 litros. Dentre os sistemas apresentados é comum encontrarmos valores de eficiência de 50% a 60% para irrigação por sulcos, 70 a 80% na aspersão convencional, 85% para pivô central e 90% para gotejamento.



Representação de lâmina (mm)

Para se obter uma boa eficiência de aplicação de água deve se considerar todas as etapas para implantação e utilização da irrigação, entre estas: planejamento, projeto, instalação, montagem e manejo.

O quadro a seguir apresenta um comparativo entre os fatores a serem considerados na escolha e os princi-

pais métodos de irrigação (TESTEZLAF, 2017).

Nesse capítulo foi possível descobrir as diferentes partes e etapas envolvidas na prática da irrigação, o próximo tema traz a importância do manejo da irrigação, como ferramenta para garantir a água no momento e quantidade adequada às plantas.

Fatores	MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO			
	Asperção	Localizada	Superfície	Subterrânea
1. Solo				
Infiltração	●	●	●	●
Declividade	●	●	●	●
2. Cultura				
Anuais	●	●	●	●
Perenes	●	●	●	●
3. Clima				
Vento	●	●	●	●
4. Água				
Quantidade	●	●	●	●
Qualidade	●	●	●	●
Eficiência	●	●	●	●
5. Custos				
Instalação	●	●	●	●
Operação	●	●	●	●
6. Mão-de-Obra				
Manutenção	●	●	●	●
Treinamento	●	●	●	●
7. Sistema				
Automação	●	●	●	●

Fonte: Adaptado de TESTEZLAF, 2017

● Positivo

● Neutro

● Negativo

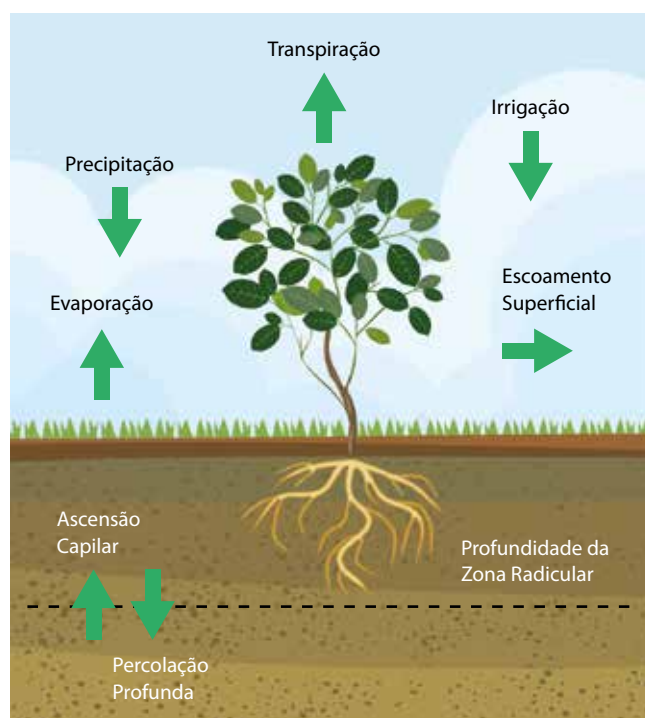
TÉCNICAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO

O manejo da irrigação é tão importante, quanto o correto dimensionamento de um sistema e sua instalação. Um cálculo rápido que demonstra essa importância pode ser feito quando consideramos uma área a ser irrigada de 50 ha, que representa 50.000 m², se houver um erro superestimando o cálculo da lâmina de irrigação em 1 mm ($mm=L/m^2$), teremos uma perda de 50.000 L de água. Considerando um consumo humano diário de 200 L por habitante, será deixado de abastecer 250 pessoas.

A lâmina de irrigação é definida pelo tempo que o sistema fica em funcionamento (tempo de irrigação) e a frequência de irrigação, também conhecida como “turno de rega”. Dessa forma, quando pensamos em manejo de irrigação é necessário responder a duas perguntas:

QUANDO INICIAR A IRRIGAÇÃO?

QUANTO TEMPO IRRIGAR?

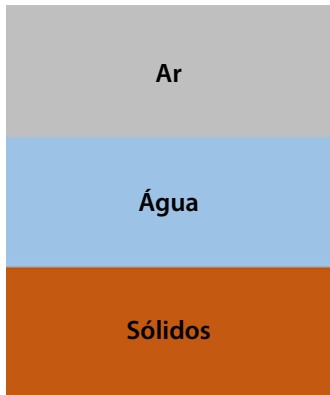


Ciclo da água na agricultura

O ciclo da água na agricultura considera todas as entradas e saídas no sistema solo-planta-atmosfera.

O primeiro ponto a ser compreendido está relacionado ao solo. O solo na sua estrutura porosa, comparativamente a uma esponja, tem a parte composta por sólidos e por espaço poroso. Os poros do solo armazenam água e ar, ou seja dessa forma, podemos considerar o solo como um reservatório de água. Quando os poros estão totalmente repletos de água o solo está com a umidade na saturação. Entretanto, às plantas precisam de ar para a respiração das raízes, dessa forma é importante que haja uma parte dos poros com água e a outra parte com ar.

REPRESENTAÇÃO DO SOLO AGRÍCOLA

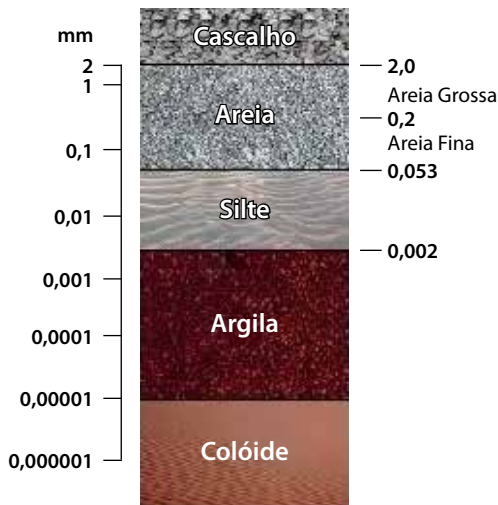


Os constituintes do solo representam a textura, a combinação entre areia, silte e argila, função do diâmetro das partículas, traduzem a capacidade de retenção de água por um solo. O aumento na porcentagem de argila de um solo, favorece a capacidade de retenção de água pelo mesmo.

Outra propriedade importante do solo está relacionada com a estrutura, representada pela densidade, relação entre a massa seca e o volume total, é indicador do grau de compactação dos solos. Estruturas de solos compactados apresentam aumento nos valores de densidade, nestes casos os volumes de espaços vazios (poros) são reduzidos, diminuindo a capacidade de armazenamento de água e ar.

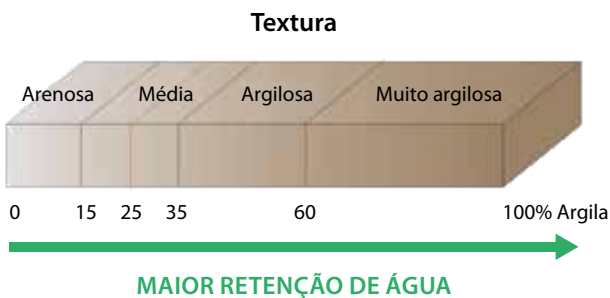
Ao compreendermos às propriedades do solo, como textura e estrutura e sua influência na capacidade de armazenamento de água, vamos classificar o que seria água disponível às plantas.

Fonte: Solo Eco-Humin



Diâmetro das partículas do solo

Fonte: Pedologia fácil



Retenção da água no solo em função da % de argila



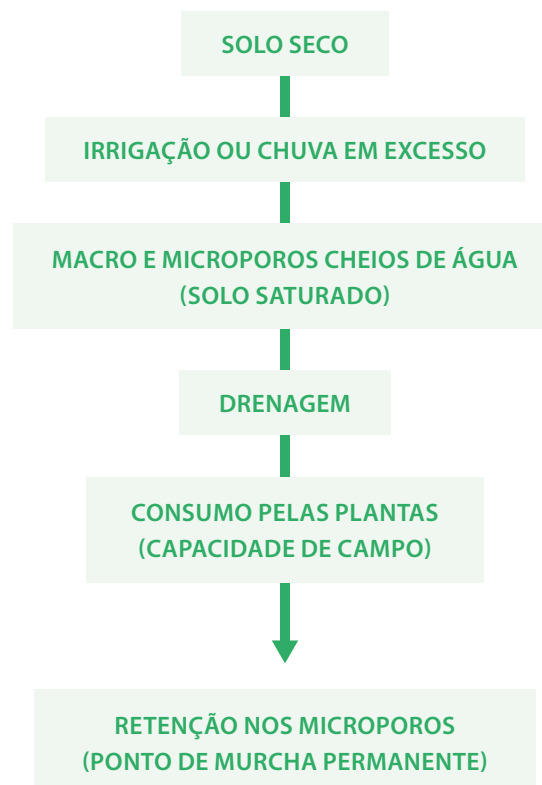
Fonte: e-disciplinas/USP

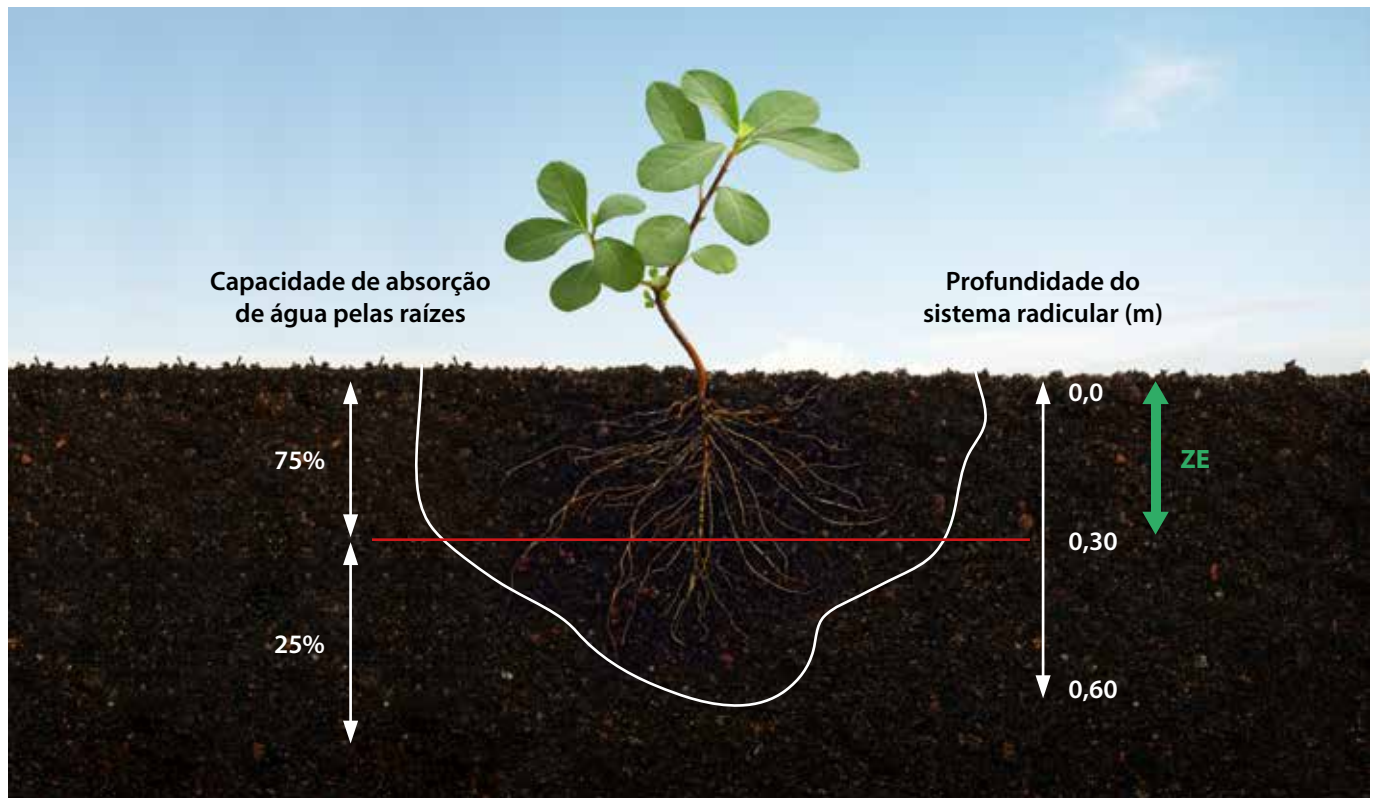
Amostragem para determinação da densidade do solo

O esquema a seguir apresenta as diferentes fases de umedecimento do solo e a disponibilidade da água às plantas:

1. Solo seco;
2. Ocorrência de uma chuva ou irrigação em excesso, nesse momento há o preenchimento de todos os poros com água, condição de saturação do solo, com perda de água por drenagem;
3. Nos instantes seguintes, após reduzir a drenagem, haverá o momento adequado de umidade às plantas, ou seja, não há mais perdas e a umidade e a presença de ar é adequada ao desenvolvimento, essa fase é chamada de “capacidade de campo”;
4. Depois de um período sem reposição de água e com consumo pela planta, o solo voltará a condição seca, até atingir uma quantidade de água fortemente retida às partículas do solo, não mais acessível às plantas, atingindo a umidade no “ponto de murcha permanente”, ou seja, as plantas murcham e não mais restabelecem a turgescência, inviabilizando completamente o cultivo.

DISTRIBUIÇÃO DA UMIDADE NO SOLO





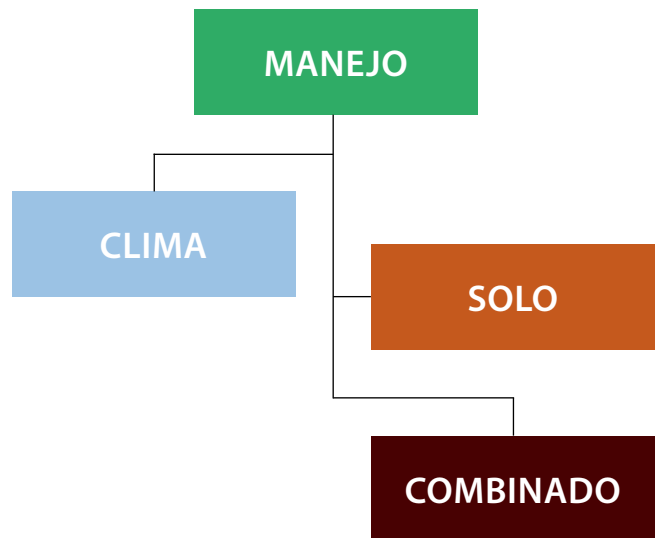
Porcentagem de raízes com maior capacidade de absorção de água – Profundidade efetiva (ZE)

O segundo ponto a ser considerado, quando avaliamos o ciclo da água na agricultura está relacionado a planta, que participa com uma das saídas, representada pela evapotranspiração, resultado da combinação da evaporação do solo, ocupado pelas raízes das plantas e pela transpiração das folhas. Esse fenômeno conhecido como “evapotranspiração da cultura - ETC” depende de uma série de fatores, e expresso por mm/dia. Dentre os fatores influenciadores da ETC estão: a espécie vegetal, a fase de desenvolvimento, as condições climáticas, os tratos culturais, etc.

Ainda com relação às plantas e sua influência no ciclo da água é importante considerar a profundidade efetiva do sistema radicular, é nessa região onde há predominância do maior número de raízes ativas para absorção de água, e tal profundidade (ZE), deve ser considerada para reposição de água.

Com essa rápida revisão dos principais conceitos envolvidos no ciclo da água na agricultura podemos

ESTRATÉGIAS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO



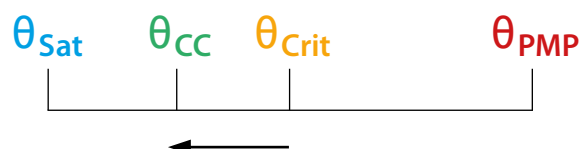
abordar algumas das técnicas empregadas para o manejo da irrigação.

Quando se pensa num manejo de irrigação as principais alternativas que surgem estão relacionadas as medidas das variáveis de clima e da umidade do solo, ou ainda uma combinação dessas duas.

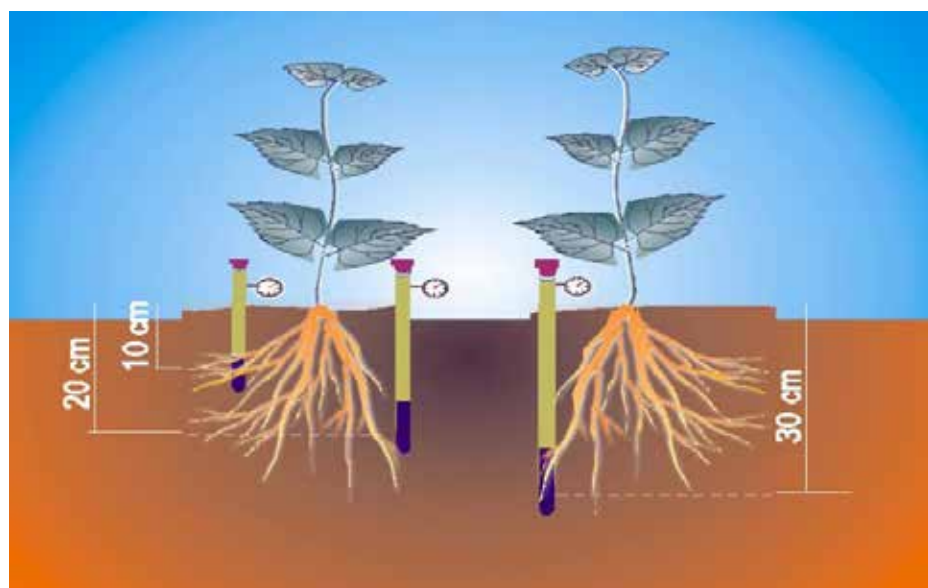
Quando a estratégia adotada considera o solo, haverá um monitoramento da umidade do solo e a decisão de iniciar a irrigação acontecerá quando os valores forem críticos ao desenvolvimento da cultura (umidade crítica - θ_{crit}), o momento de finalizar a irrigação deve acontecer quando a umidade atingir a capacidade de campo (umidade na capacidade de campo - θ_{cc}), dessa forma o status da água no solo permitirá que a planta não sofra estresse hídrico e nem haja perda de água para camadas mais profundas.

Uma das formas de se manejar a irrigação pelo controle da umidade do solo é o uso do equipamento chamado de tensiômetro. O tensiômetro é composto por um tubo de PVC com uma capsula porosa instalada na sua extremidade. Essa capsula deve ser instalada a uma profundidade na qual se deseja realizar o manejo da irrigação, normalmente na camada efetiva do sistema radi-

DIFERENTES STATUS DA UMIDADE DO SOLO, ESTRATÉGIA DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA MANTER A UMIDADE ENTRE A CAPACIDADE DE CAMPO E A UMIDADE CRÍTICA PARA A CULTURA



- Umidade na saturação - θ_{sat}
- Umidade na capacidade de campo - θ_{cc}
- Umidade crítica - θ_{crit}
- Umidade no ponto de murcha permanente - θ_{pmp}



Esquema de instalação de tensiômetros



Tensiômetro com vacuômetro

VALORES DE TENSÃO MEDIDOS NOS TENSÍOMETROS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO DE DIFERENTES HORTALIÇAS

Tensão (kPa)	Hortaliças
10 - 30	Alface, alho, beterraba, cebola, cenoura, morango, folhosas, hortaliças sob cultivo protegido e/ou irrigadas por gotejamento
30 - 50	Abóbora, batata, berinjela, brócolis, melancia, melão, pimentão, tomate, vagem
50 - 70	Batata-doce, couve-flor, mandioquinha-salsa, milho-doce, repolho
> 70	Ervilha, grão-de-bico, lentilha, pepino, tomate industrial

Fonte: Adaptado de Marouelli et al. (2008)

cular da cultura. O tubo de PVC deve ser preenchido por água e o sistema vedado, após algumas horas haverá uma estabilização entre a umidade do solo e da capsula porosa, na condição em que o solo esteja mais seco haverá uma perda de água do tensiômetro para o solo ao redor da capsula, criando um vácuo dentro do tubo. A presença do vácuo poderá ser medida por um vacuômetro, essa informação da tensão é correlacionada com a umidade do solo, por meio de calibração, sendo possível estabelecer o momento de iniciar a irrigação e o tempo de irrigação.

Dentre os principais cuidados para o manuseio dos tensiômetros deve-se manter o nível de água dentro do tubo e a reposição deve ser realizada sempre após a leitura e a próxima medida deve ser feita somente após 24 horas, garantindo estabilidade da umidade no entorno da capsula. As leituras devem ocorrer sempre no mesmo horário e deve-se evitar compactação no entorno dos equipamentos.

Assim como os tensiômetros existe no mercado uma série de sensores capazes de estimar a umidade do solo, a resposta pode ser, por exemplo, um sinal elétrico. A confiabilidade da utilização desses sensores está rela-



Bloco de gesso



Sonda de Capacitância - TDR

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

Fonte: METOS Brasil (<https://metos.com.br/>)



cionada com precisão da calibração, para as condições do solo que deseja-se manejar.

Outra forma possível, de se realizar o manejo da irrigação é a avaliação das variáveis climáticas para estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc), conhecendo-se o valor de ETc do dia anterior é possível definir a lâmina de irrigação atual pela reposição da ETc.

A estimativa de ETc pode ser baseada pela medida

TANQUE EVAPORATIVO – TANQUE CLASSE A



da perda de água em tanques evaporativos ou por meio de equações que utilizam as variáveis climáticas armazenadas em estações meteorológicas, instaladas próximas as áreas de cultivos.

Por fim, a estratégia do manejo combinado (solo e clima), considera a umidade do solo e a reposição da evapotranspiração da cultura, dessa forma, as duas perguntas iniciais deste texto acabam sendo respondidas.

QUANDO INICIAR A IRRIGAÇÃO?

O SOLO ATINGIU A UMIDADE CRÍTICA.

QUANTO TEMPO IRRIGAR?

REPOSIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA.

REÚSO DA ÁGUA

Segundo o Conselho Social e Econômico das Nações Unidas em 1958:

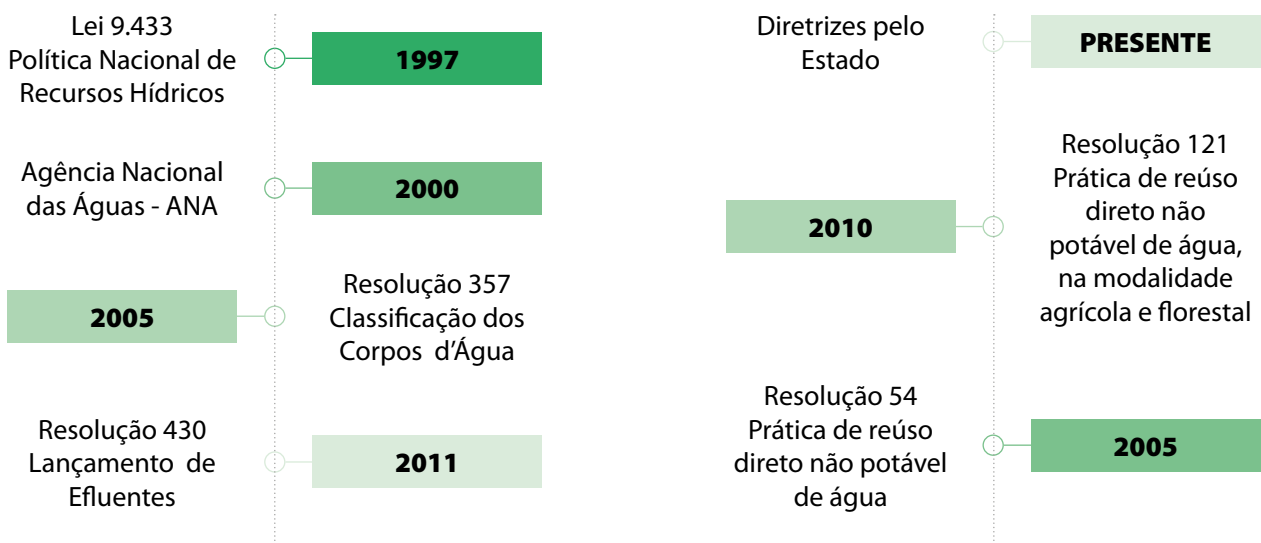
“A não ser que exista grande disponibilidade de água, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que tolerem águas de qualidade inferior”

O reúso da água é classificado em três principais segmentos com diferentes aplicações.

- **URBANO:** lavagem de pisos, logradouros e veículos; uso sanitário; sistema de incêndio; construção civil; paisagismo, desobstrução de galerias, etc.
- **INDUSTRIAL:** refrigeração; caldeira; lavagem; sistema de incêndio; processos industriais.
- **AGRICULTURA:** irrigação de culturas e hidropônia.

Quanto a legislação para reúso da água, o arcabouço legal ainda é insuficiente, o esquema a seguir, apresenta uma linha do tempo das principais leis, tocantes aos recursos hídricos e um paralelo com as resoluções sobre reúso. Atualmente, está sobre a responsabilidade dos órgãos ambientais locais (estado e município), às orientações de como realizar essa prática.

RECURSOS HÍDRICOS | Legislação

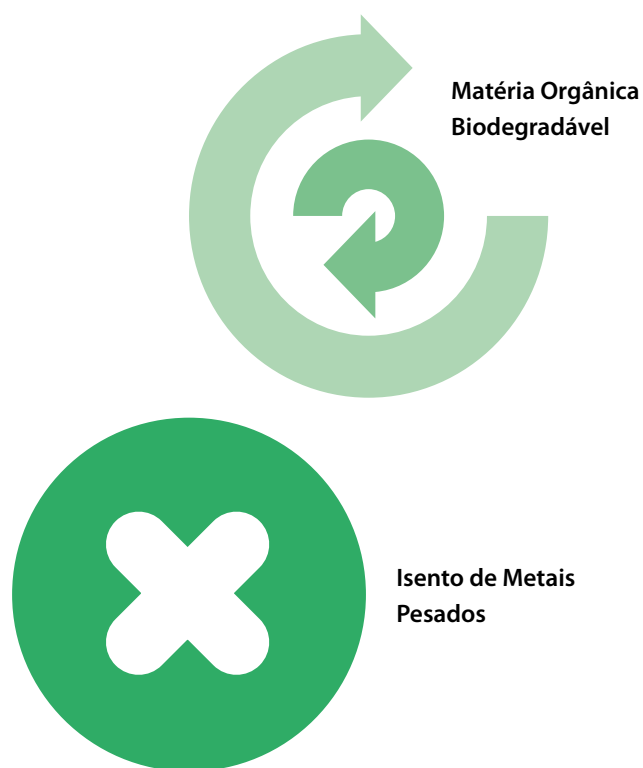


No contexto da agricultura sustentável a irrigação de culturas com efluentes é uma importante alternativa, na conservação dos recursos hídricos e na garantia da produção agrícola.

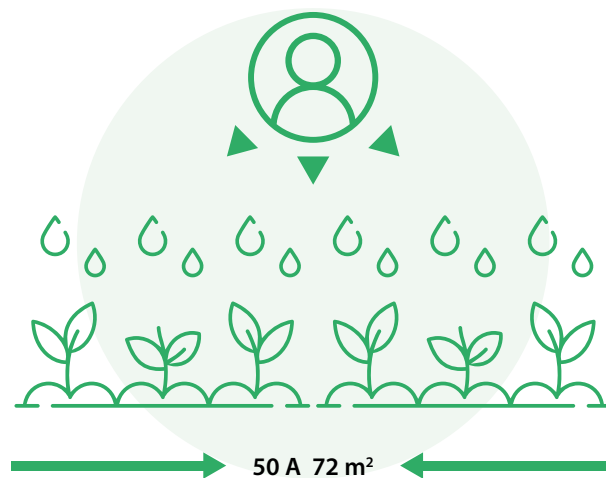
A irrigação de culturas pode ser realizada: (i) em situações em que se fizer necessária a irrigação, podendo substituir os recursos hídricos primários; (ii) complementando os sistemas biológicos de tratamento de efluentes, preservando os corpos d'água; (iii) fornecendo umidade aos solos, com parcial economia em fertilizantes.

Entretanto, os pontos de advertência dessa prática sempre devem estar em primeiro plano, com destaque: (i) às questões sanitárias, devem atender as diretrizes microbiológicas impostas à saúde pública; (ii) o potencial de contaminação dos solos e das águas subterrâneas, pela introdução de algum contaminante, como excesso de nitrato e metais pesados e; (iii) ao aporte desbalanceado de nutrientes às plantas.

A escolha de uma fonte de água residuária para irrigação deve atender dois principais pré-requisitos:



Uma fonte muito utilizada como água de reúso são os efluentes domésticos, uma pessoa gera de 100 a 200 L de esgotos por dia, quando tratados, apresentam o potencial em irrigar uma área de 50 a 70 m².



Os efluentes domésticos possuem alta carga orgânica, que após tratamento disponibilizam nutrientes primários às plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio. Os pontos de atenção desses efluentes estão relacionados ao teores de sais, como sódio e cloreto, que são provenientes da dieta humana e dos produtos de limpeza, esses elementos são indesejáveis ao solo e às plantas. Outro ponto de destaque, é a presença dos microrganismos patogênicos provenientes das fezes e urina humana, com potencial de contaminação aos alimentos. Por outro lado, o reúso no contexto dos efluentes domésticos, melhora a eficiência de tratamento dessas águas, principalmente em cenários com estações de tratamento de baixa eficiência.

Outra fonte, com grande perspectiva para irrigação, são os efluentes da indústria de alimentos e agroindústria. Em muitas situações essas águas são passivos ambientais nos locais que são gerados. A concentração de nutriente pode em muitos casos ultrapassar os teores dos esgotos domésticos, com menor potencial de patogenicidade e, com uma logística de utilização favorecida, já que em muitos casos, as instalações estão localizadas próximas das áreas de cultivos.

**CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTE DE
ABATEDOURO TRATADO, COM DESTAQUE
PARA A CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO**

Parâmetro	Unidade	Resultados
N-NTK	mg/L	211,00±63,32
N-NH ₄ ⁺	mg/L	146,04±44,63
N-NO ₃ ⁻	mg/L	0,96±0,80
N-NO ₂ ⁻	mg/L	0,12±0,12
N-NT	mg/L	176,00±52,32
P-total	mg/L	2,06±0,87
K ⁺	mg/L	24,53±8,67
Ca ⁺²	mg/L	15,90±3,23
Mg ⁺²	mg/L	3,52±1,38
S-SO ₄ ⁺	mg/L	4,44±2,03
Cloreto	mg/L	61,64±23,11
Sódio	mg/L	67,17±29,13
RAS	mmol/L ^{-1/2}	3,70±1,30
CE	dS/m	1,46±0,34
pH	-	7,37±0,35
SST	mg/L	83,61±32,89



A definição de qual cultura deve ser irrigada com efluentes está, na maioria dos casos, relacionadas com às diretrizes microbiológicas. A exemplo dessa questão está a Resolução CONAMA 357/2005, que estabelece valores máximos de coliformes fecais (CF) em águas doces, por tipo de planta a receber essas águas.

Classe	Unidade	Valor
1	Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rente ao solo	<200CF/100mL
2	Hortalças, frutíferas, parques, jardins e campos esportivos	<1000CF/100mL
3	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	<4000CF/100mL

Fonte: CONAMA (2005)

As culturas que serão processadas apresentam maior potencial de receberem águas residuárias como fonte de irrigação, pois neste processo serão eliminados os microrganismos introduzidos no momento da aplicação do efluente.



Café



Capim para feno



Milho para silagem



Cana-de-acúcar



Arroz

Outra fonte de água para irrigação, que vem ganhando importância nos últimos anos é a coleta e armazenamento da água da chuva, a exemplo, temos a coleta da chuva de telhados de ambientes protegidos e sua utilização na irrigação das plantas do seu interior.

O maior desafio para a utilização da água da chuva é considerar o volume de reservatório para atender a demanda hídrica da cultura, na fase de maior estiagem. Para isso, o cálculo deve considerar a lâmina de irrigação necessária pela planta no período de déficit hídrico, área a ser irrigada e área do telhado.

O cálculo da lâmina de irrigação no período de estiagem deve avaliar o balanço hídrico climatológico do

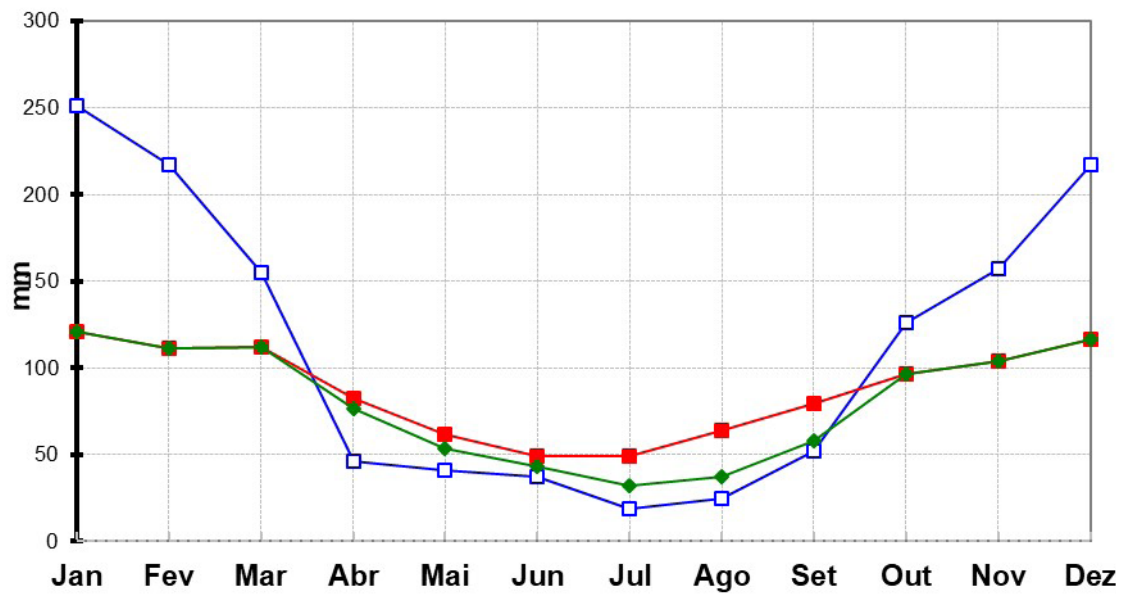


Tubulação para coleta da água da chuva



Reservatório para armazenamento da água da chuva

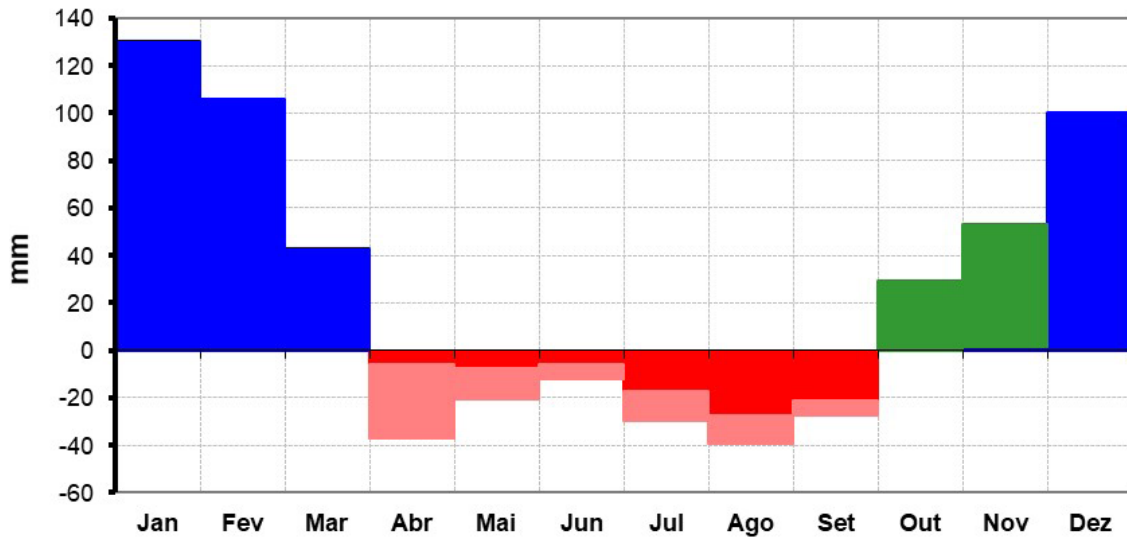
BALANÇO HÍDRICO NORMAL MENSAL



Balanço Hídrico Climatológico- Pirassununga/SP



DEFICIÊNCIA, EXCEDENTE, RETIRADA E REPOSIÇÃO HÍDRICA AO LONGO DO ANO

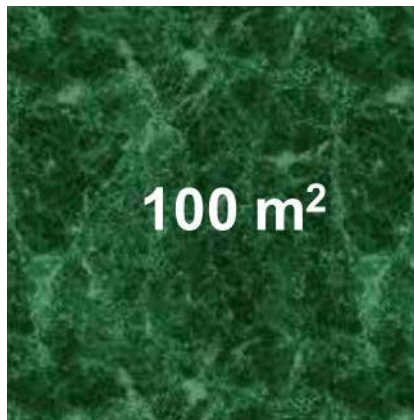


Armazenamento – Pirassununga/SP

● Deficiência ● Excedente ● Retirada ● Reposição

município de cultivo, no caso deste exemplo, estamos avaliando os dados do município de Pirassununga/SP (ROLIM et al., 1998).

No período de deficiência hídrica, a lâmina total de retirada pelo gráfico é de 81,00 mm, referente aos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro. Vamos considerar uma área a ser irrigada de 100 m².

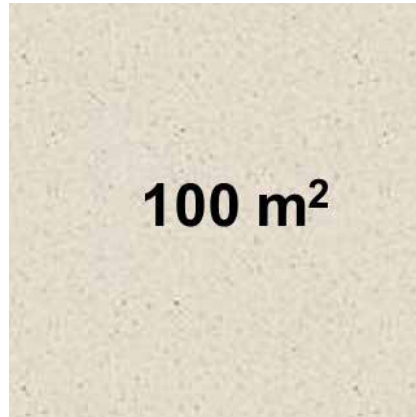


Área irrigada

$$Vol_{reservatório} = 81,00 \frac{L}{m^2} \times 100m^2 = Vol_{reservatório} = 8.100,00 L \cong 8.000L$$

Dessa forma, será necessário um reservatório de aproximadamente 8.000 L, para atravessar o período de estiagem, irrigando somente com a água da chuva.

Ao fazermos o cálculo inverso, ou seja o volume produzido pela água da chuva, por um telhado de 100 m², considerando os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. Novamente pelo gráfico de armazenamento, considerando reposição e excedente, temos uma precipitação total desses meses de 459,70 mm.



Área de telhado

$$Vol_{gerado\ pela\ chuva} = 459,70 \frac{L}{m^2} \times 100m^2 = Vol_{gerado\ pela\ chuva} = 45.970 L$$

O volume gerado por um telhado de 100 m² nos meses com chuva será de 45.970 L, como demonstrado pelo cálculo, ou seja, o reservatório de 8.000 L, no período das águas, rapidamente será preenchido, garantindo o volume de irrigação necessário para atravessar todo o período da estiagem.

A utilização de águas por fontes alternativas na irrigação contribuem para uma gestão integrada dos recursos hídricos, conservando qualidade e quantidade para o consumo humano.

GESTÃO DE RESÍDUOS RURAIS

Quando o assunto é resíduos, a sua classificação é de extrema importância. De forma geral, há separação no que é lixo, resíduo e rejeito: (i) lixo - Lix (latim)=cinza, configura a mistura entre resíduos e rejeitos; (ii) resíduo - são substâncias, produtos ou materiais gerados num processo industrial ou agrícola ou urbano, que no mesmo processo ou em outro, ainda podem ser reaproveitados; (iii) rejeito - algo inservível, cuja a única aplicação é destinação final.

A classificação técnica dos resíduos no Brasil segue a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, pela instrução NBR 10.004/04 (ABNT, 2004):

- Classifica em resíduos sólidos, líquidos e semi-sólidos, orgânicos, organo-minerais ou minerais gerados pela nossa sociedade;
- Potencial de risco de contaminação ao meio ambiente;
- Baseada nas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas que o resíduo pode apresentar.



CLASSE I: Perigosos

Inflamável

Corrosivo

Reativo

Tóxico

Patogênico



CLASSE II A: Não Inertes

Resíduos que não são classificados como inertes e que também não se enquadram na categoria de perigosos. A classificação de um resíduo em Classe II não inviabiliza o seu uso agrícola



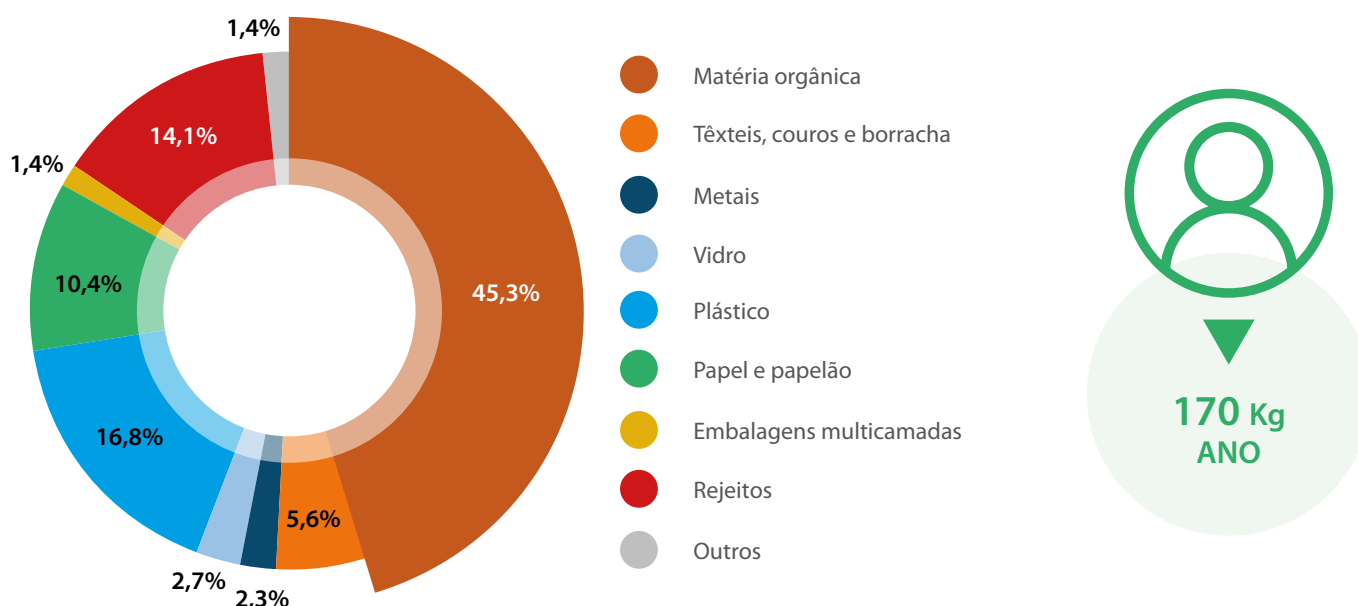
CLASSE II B: Inertes

Resíduos que não apresentam constituintes solúveis em água em concentrações superiores aos padrões de potabilidade.

A TABELA A SEGUIR NOS PERMITE CONHECER UM POUCO DOS RESÍDUOS E SUA CLASSIFICAÇÃO

	O que são	Valor
Recicláveis	Embalagens e utensílios fabricados com materiais que podem voltar à indústria	Papel, papelão, plásticos, metais, vidros, caixas multicamadas e óleo de cozinha
Compostáveis	Resíduos orgânicos que podem ser processados por organismos e devolvidos ao solo como adubo	Restos de alimentos, guardanapos, serragem, resíduos de poda e capina, borra de café, esterco, etc
Rejeito	Resíduos ainda não aproveitáveis por falta de viabilidade técnica ou econômica	Embalagens laminadas, plastificadas, metalizadas, borracha, espumas, isopor, cerâmica, resíduos sanitários, etc
Perigosos	Resíduos que precisam de tratamento especial	Pilhas, baterias, lâmpadas, medicamentos, resíduos perfurocortantes, tintas, eletrônicos

Os resíduos urbanos são constituídos em sua maioria pela fração orgânica. Uma pessoa pode gerar 170 kg de resíduos orgânicos por ano.

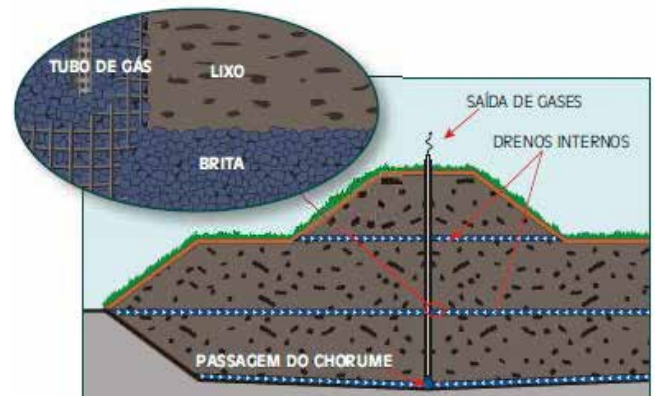


Fonte: Abrelpe (2020)

A gestão dos resíduos deve seguir o conceito de manejo integrado priorizando a reciclabilidade, com destaque para os seguintes pontos:

- **REDUÇÃO NA FONTE:** adoção de práticas de consumo que visem diminuir a quantidade de embalagens e produtos que seriam normalmente destinados à cadeia de resíduos sólidos urbanos.
- **REUTILIZAÇÃO:** o resíduo mantém suas características e pode ou não ter a mesma função.
- **RECICLAGEM:** queima de resíduos em equipamentos que permitam a produção de energia elétrica.
- **ATERRO:** destino dos resíduos que não puderam ser incluídos nas etapas anteriores, ou que após ter passado por elas tenham esgotado o ciclo de vida.

ESTRUTURA DE ATERRO SANITÁRIO



No ano de 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Lei 12.305/2010), cujos princípios foram definidos como:

- I. a prevenção e a precaução;
- II. o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;
- III. a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis: am-

biental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

IV. o desenvolvimento sustentável;

V. a ecoeficiência;

VI. a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;

VII. a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

VIII. o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

IX. o respeito às diversidades locais e regionais;

X. o direito da sociedade à informação e ao controle social;

XI. a razoabilidade e a proporcionalidade.

Um dos instrumentos de grande importância PNRS é a logística reversa. Definida como:

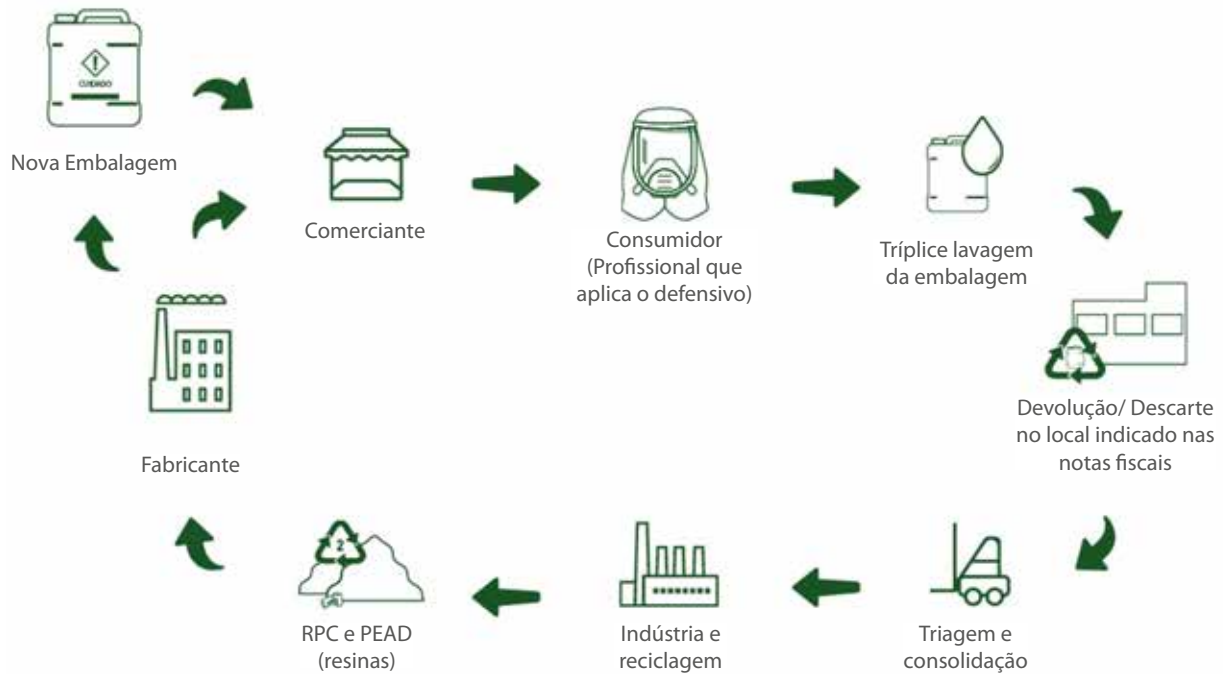
“Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.” Assim, a PNRS também estabelece a responsabilidade compartilhada pelos resíduos entre geradores, poder público, fabricantes e importadores.”

Dentre exemplos de produtos para aplicação da logística reversa destacam-se: pilhas, baterias e lâmpadas; pneus; óleos lubrificantes; embalagens de agrotóxicos; produtos elétricos e eletrônicos; medicamentos, etc.



Um caso de sucesso pela aplicação da logística reversa estão nas embalagens de agrotóxicos, no ano de 2019 foram recolhidas 45.563 toneladas de embalagens, sendo que 94% foram recicladas e 6% incineradas.

CICLO DA LOGÍSTICA REVERSA Defensivos Agrícolas



Fonte: site SINIR (<https://sinir.gov.br/>)

O ambiente rural, além da geração dos resíduos domésticos, há a geração de outros característicos das atividades agropecuárias e da silvicultura, chamados de resíduos agrossilvopastoris (RASP).

QUAIS OS RESÍDUOS GERADOS EM UMA PROPRIEDADE RURAL?



A tabela abaixo apresenta a geração estimada de RASP anual, por região do Brasil. Os valores totais são elevados, mostram o impacto que essas atividades podem ter, tanto do ponto de vista negativo, pela contaminação ambiental, quanto do positivo, se utilizados dentro de um manejo integrado, considerando o potencial econômico do reúso ou da reciclagem.

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE RASP POR REGIÃO E TIPO DE ATIVIDADE

Região	Resíduos			RASP (t)
	Agricultura (t)	Pecuária (t)	Sivicultura (t)	
Norte	6.101.266	12.545.326	730.765	19.377.357
Nordeste	50.513.139	24.321.339	1.521.655	76.356.133
Centro-Oeste	159.550.253	23.121.916	1.295.147	183.967.316
Sudeste	383.380.115	20.230.041	4.918.216	408.528.372
Sul	43.004.986	37.850.395	6.286.407	87.141.788
Brasil	642.549.759	118.069.017	14.752.190	775.370.966

Fonte: IBGE (2016) – Ano base 2015

Os dados a seguir são relativos ao potencial de aporte de nutrientes (macronutrientes) às plantas, por resíduos orgânicos.

Resíduo	N	P	K	Ca	Mg	S
g Kg ⁻¹ base seca						
Esterco	17,3	2,0	8,5	5,5	3,9	0,2
Poedeira	23,8	23	19,1	7,7	-	nd
Comp. Lixo	12,3	2,8	8,0	25,1	3,4	nd
Vinhaça (g/m ³)	0,31	0,11	3,6	0,79	0,27	0,92
Tor. Filtro	7,0	5,0	3,0	35,0	2,0	1,0
Cama Frango	27,7	16,7	25,7	23,7	6	nd
Lodo	79,1	10,6	0,63	22,1	2,1	nd
Efluente (g/m ³)	10 - 50	4,2 - 9,7	10 - 40	20 - 120	10 - 50	62

Fonte: Adaptado de Bettiol & Camargo (2000)

Um caminho para implantação de um sistema de gestão de resíduos em propriedades rurais pode surgir pela certificação. A certificação é pautada em uma norma constituída por diferentes princípios e critérios a serem cumpridos, que ao final do processo gera um selo de certificação a um determinado produto, garantindo credibilidade na comercialização.

EXEMPLOS DE SELOS DE CERTIFICAÇÃO



Nas propriedades rurais um princípio considerado pela certificação é o programa de gestão de resíduos. A seguir são apresentados exemplos de ações promovidas pela certificação, que reduzem o potencial de contaminação do meio ambiente e valorizam os resíduos gerados.



Armazenamento de óleos automotivos usados



Sistema de coleta e separação de água/óleo, em local de lavagem de maquinários



Processamento de resíduos orgânicos, na compostagem



Estação de tratamento de esgoto



Aterro Classe I

O resultado da implantação de um programa de gestão de resíduos, considerando dentre as etapas, o controle das quantidades produzidas, os responsáveis, planos de monitoramento e mitigação, assim como a destinação correta, quando necessário, trará a propriedade rural, não são a conservação dos recursos naturais, mas também qualidade de vida aos moradores, eficiência econômica, além de credibilidade frente ao mercado consumidor.

No tocante aos ODS, a gestão de resíduos mostra aderência direta com:



O SOLO NA FERTILIDADE DO SISTEMA PRODUTIVO

O solo é essencial aos sistemas produtivos, pois é nele e sobre ele que ocorre o desenvolvimento das plantas e dos animais, ou seja, os agroecossistemas. O solo desempenha a função de sustentar a produtividade agrícola, além de auxiliar na manutenção da qualidade da água e do ar, promovendo a saúde dos seres vivos.

Este corpo tridimensional e trifásico é manejado pelo produtor rural visando a obtenção de produtos e alimentos. O solo é composto por material mineral, material orgânico, água e ar.

A fertilidade do sistema de produção é resultado da interação entre o solo, a planta, o ambiente e o produtor. E este resultado pode ser mensurado através da quantidade de produção de biomassa, que é a expressão da vida no sistema (**Figura 1**).



Figura 1

Interação solo, planta, ambiente e produtor na geração da fertilidade do sistema produtivo

**Figura 2**

Visão da fertilidade do solo como resultados de suas características físicas, químicas e biológicas

A qualidade inerente do solo é função da sua formação, obtida a partir do material de origem, do clima, do relevo, dos organismos e da ação antrópica (seres humanos). No entanto, a fertilidade do solo, é também dinâmica, pode ser recuperada e incrementada, mas pode ser também degradada. Numa visão ampla da fertilidade do solo as características físicas, químicas e biológicas podem ser favorecidas para o desenvolvimento das plantas. As ações do produtor rural, que é parte integrante do agroecossistema, podem favorecer a estruturação do solo, o incremento de carbono no solo e o desenvolvimento de microrganismos no solo.

Existem solos quimicamente pobres e que são responsáveis por grandes produções vegetais, ou seja, não é possível atribuir apenas às características químicas do solo a sua fertilidade. A fertilidade do solo é função das características integradas da sua qualidade física, química e biológica, não em um somatório, mas em sua sinergia¹, promovendo o solo vivo (**Figura 2**).

As informações sobre os processos naturais de criação de fertilidade nos ecossistemas permitem trabalhar os agroecossistemas de maneira a otimizar os processos, trazendo sustentabilidade à produção. O objetivo é conhecer a natureza e aplicar as suas leis e princípios no manejo dos agroecossistemas.

No campus USP “Fernando Costa” existe fragmentos de matas mesófilas semi-

1. Ampliação do efeito ou potencialização, em que o resultado é maior do que a soma das partes.

decíduas em transição com o Cerradão² (**Figura 3**). Interessante observar que sob o mesmo clima há predominância e desenvolvimento de espécies vegetais distintas em suas características e necessidades de desenvolvimento, o que pode ser explicado, entre outros, pelos tipos de solos.

O solo, que sustenta a vida neste ambiente natural, é quimicamente pobre (distrófico³). Deste modo, enfatizando a produção de biomassa como sinal da fertilidade do sistema, percebe-se que apenas os nutrientes essenciais às plantas, por si só, não bastam para explicar o exuberante desenvolvimento do ecossistema florestal, há necessidade de se considerar as condições edafoclimáticas (solo e clima). As propriedades físicas, como por exemplo, a estruturação do solo, permite o armazenamento e a drenagem de água, além do adequado desenvolvimento em profundidade de raízes, mesmo em solos ácidos (**Figura 4**).

As características biológicas estão intimamente relacionadas aos macrorganismos e microrganismos presentes e que se desenvolvem no solo em vida livre ou simbiose com as plantas. O solo vivo é sinal da possibilidade da agricultura baseada em processos, em que os ciclos biogeoquímicos podem ser favorecidos para fornecimento de nutrientes às plantas nos agroecossistemas, com intervenção do produtor rural no sentido de transição de uma agricultura de produtos para uma agricultura de processos (**Figura 5**). Na agricultura baseada em processos a vida em diversidade (biodiversidade) deve ser priorizada em relação ao desenvolvimento de uma única espécie (monocultura).

Exemplificando: na agricultura baseada em produtos, quando o produtor precisa fornecer, por exemplo,



Figura 3

Áreas de preservação ambiental no campus USP "Fernando Costa"

nitrogênio (N) às plantas, ele recorre a um adubo químico, seja ureia ou uma formulação NPK, no qual, além de fornecer o nitrogênio, poderá fornecer fósforo (P) e potássio (K); na agricultura de processos, o produtor prioriza a fixação biológica do nitrogênio (FBN) pela adubação verde com espécies de plantas fabáceas (leguminosas), as quais, por simbiose com bactérias do solo, fixam o nitrogênio, fornecendo-o ao sistema so-

2. O Cerradão é a formação florestal do bioma Cerrado com características esclerófilas, apresenta dossel contínuo e cobertura arbórea que pode oscilar de 50% a 90%, sendo maior na estação chuvosa e menor na seca. Fonte: <https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado/cerradao>

3. Distrófico: solo quimicamente pobre, no qual a saturação por bases (V%) é menor do que 50%, ou seja, da capacidade do solo em armazenar nutrientes cátions (K⁺ - potássio, por exemplo), menos da metade é ocupado com estes nutrientes, sendo, portanto, a maioria hidrogênio (H⁺) e/ou alumínio (Al³⁺), responsáveis pela acidez potencial do solo.

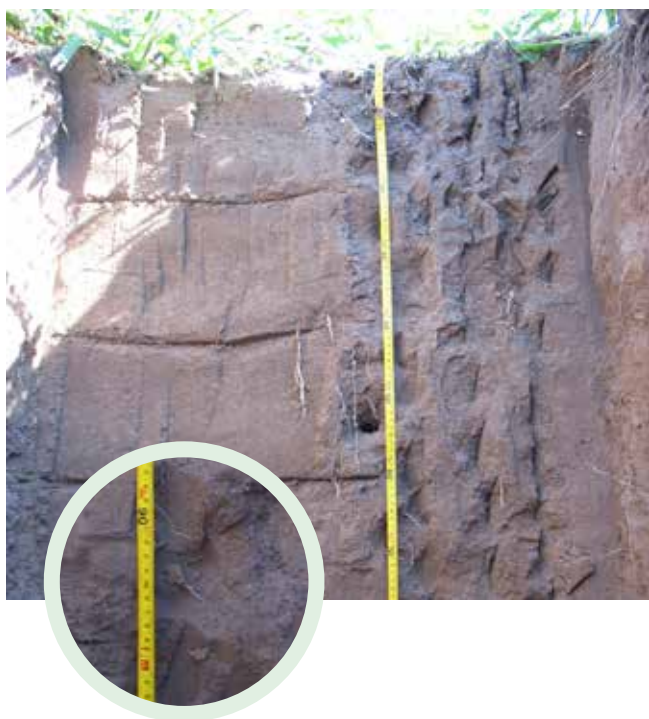


Figura 4
 Perfil de solo, Latossolo Amarelo Distrófico, com destaque de presença de raízes até um (1) metro

lo-plantas. Lembre-se que, na natureza, o nitrogênio é encontrado na forma de gás na atmosfera, ocupando certa de 78% dos gases.

No entanto, não é apenas como ocorre o suprimento de nutrientes minerais e sua ciclagem aos sistemas produtivos que possibilita a sustentabilidade, mas também como a biodiversidade interage entre si; seja cumprindo seu papel na cadeia alimentar, seja, de forma direta ou indireta, favorecendo o desenvolvimento de cada indivíduo ou coletivo no ecossistema. Além disso, há de se buscar a maximização da fotossíntese pelos organismos produtores, pois este processo é essencial à vida. Neste sentido, técnicas que auxiliem no condicionamento climático e no condicionamento do solo precisam ser implementadas e corretamente manejadas visando potencializar seus efeitos a curto, médio e longo prazo.

Há necessidade de se promover ações antrópicas no sentido de recuperar e incrementar a fertilidade dos agroecossistemas.

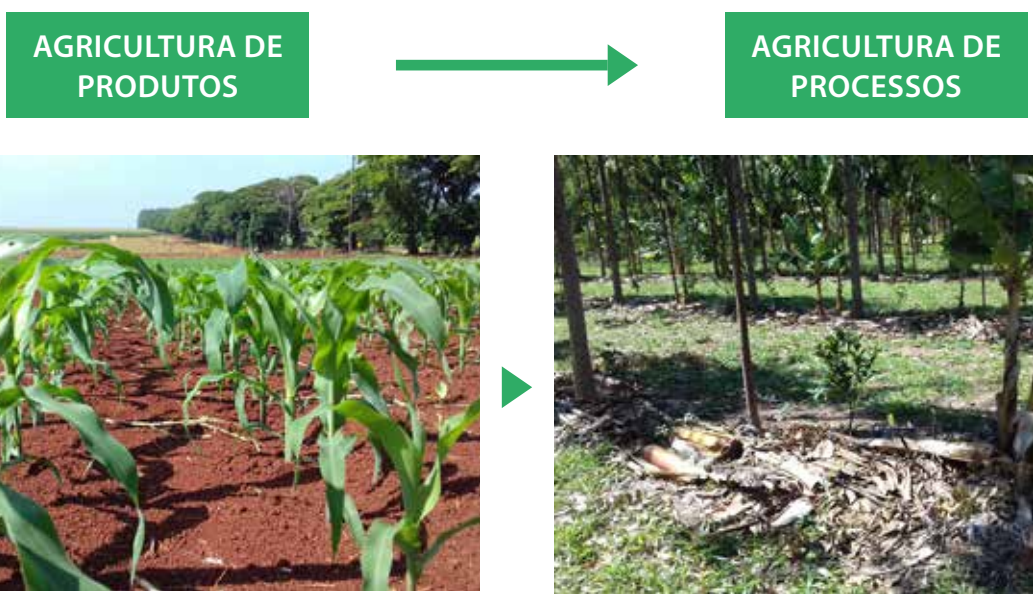


Figura 5
 Sustentabilidade pela transição da agricultura de produtos pela agricultura de processos

TÉCNICAS PARA AUMENTO DE FERTILIDADE DO SISTEMA

Técnicas agroecológicas, empregadas em conjunto no tempo e no espaço, formam uma tecnologia de produção, que visa otimizar a produção de alimentos saudáveis, por pessoas saudáveis, para pessoas que querem se alimentar de um produto isento de resíduos e de melhor qualidade nutricional. Dentre estas técnicas, pode-se citar: a integração entre as atividades agropecuárias, o condicionamento climático e a adubação verde.

1. INTEGRAÇÃO ENTRE ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS

A integração entre as atividades agropecuárias, na qual, o resíduo de uma atividade é utilizado em outra atividade, ou mesmo, quando atividades coexistem no mesmo ambiente (consórcio), visa a sinergia do biosistema. Há possibilidades de redução de custos de produção, bem como, em certos casos, de aumento de renda por área agrícola.

Um exemplo interessante de integração entre atividades ocupando a mesma área ao longo do tempo é o sistema de rizipiscicultura, no qual há um consórcio entre o cultivo de arroz inundado (rizicultura) e a criação de peixes (piscicultura). Os peixes auxiliam no controle de plantas invasoras e insetos-pragas, beneficiando o cultivo do arroz e as fezes dos peixes fornecem nutrientes ao sistema de cultivo.

Integrar a produção animal e vegetal normalmente traz resultados satisfatórios. Os resíduos de uma cria-



Figura 1
Integração entre atividades agropecuárias: ILPF, detalhe dos animais pastando no sombreamento das árvores

ção leiteira, como o esterco produzido pelas vacas, podem ser um importante recurso na geração de energia e/ou no fornecimento de nutrientes às culturas como o milho, que pode ser utilizado como silagem para a própria criação animal. Ou utilizado como fonte de água e nutrientes na produção de forragem, quando o sistema de limpeza da ordenha gera um resíduo líquido, que precisa ser tratado e destinado.

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) pode ser implementada visando a recuperação de pastagens degradadas com a implementação das lavouras, incrementando a produtividade na área. A escolha da espécie arbórea precisa ser tecnicamente e economicamente viável a região, com a possibilidade de cultivo de várias espécies, tais como: o eucalipto, o pinus, a teca, o cedro-africano ou espécies nativas, com redução e mitigação dos gases do efeito estufa, através do sequestro do carbono. Os animais se beneficiam de um pasto de melhor qualidade, com possibilidade de maior adensamento animal por área e maior bem estar animal pelo sombreamento das árvores (**Figura 1**).

Há inúmeras possibilidades de sistemas de integração, sendo importante o produtor avaliar a viabilidade técnica, econômica e social, pois na maioria das vezes, a sustentabilidade pelo incremento da fertilidade do sistema de produção é um caminho seguro a ser percorrido.

2. CONDICIONAMENTO CLIMÁTICO

Um ambiente adequado para o desenvolvimento das espécies vegetais, em que sejam atendidas suas necessidades em temperatura, luminosidade e umidade relativa do ar água é essencial.

O plantio de espécies que funcionem como barreira vegetal, diminuindo a incidências de ventos, pode auxiliar na manutenção das condições climáticas, otimizando o processo fotossintético das culturas (**Figura 2**).



Figura 2
Flor do mel, espécie cultivada como cerca-viva e pasto apícola

Na figura 2 encontra-se em destaque uma cerca viva com múltiplas aptidões: além de influenciar no condicionamento climático, a flor do mel é uma espécie que atrai diferentes insetos, como abelhas por exemplo, que promovem a polinização dos vegetais.

As espécies cultivadas como cercas vivas podem ser podadas quando necessário e sua fitomassa pode ser utilizada na cobertura do solo para plantio ou semeadura direta de hortícolas (**Figura 3**).



Figura 3
Cerca-viva com capim napier

3. INCREMENTO DA BIODIVERSIDADE

Os sistemas agroflorestais, em que o componente arbóreo é essencial, são aplicações de inúmeros conceitos obtidos a partir do estudo da natureza, principalmente o incremento da biodiversidade. Conhecer as características dos vegetais e suas funções no sistema produtivo, permite cultivar inúmeras espécies vegetais, tornando o agroecossistemas mais equilibrado, diminuindo a incidência de pragas e doenças (**Figura 4**).

A gliricídia, por exemplo, é uma espécie que tolera a poda e pode ser cultivada em consórcio com outras espécies vegetais de importância comercial. Na figura 3 é possível ver a copa das árvores, o cultivo do feijão-vagem, que se beneficia da sombra e da decomposição do material vegetal, além de auxiliar o tutoramento das plantas, e outras hortaliças.

A gliricídia, neste sistema, pode ser considerada uma espécie de adubo verde. A adubação verde também é a principal técnica para aumento de fertilidade do sistema.

**Figura 4**

Gliricídia, espécie arbórea cultivada para sombreamento e fixação biológica de nitrogênio, com produção de hortaliças

4. ADUBAÇÃO VERDE

A adubação verde consiste no cultivo e/ou manutenção de espécies vegetais na área de produção com o objetivo de produzir, essencialmente, material vegetal que não será exportada da área de produção, contribuindo para a melhoria das condições do ambiente e do solo em relação suas características físicas, químicas e biológicas (**Figura 5**).

A adubação verde é a maneira possível de se imitar o que acontece na natureza em termos de produção e ciclagem da fitomassa.

**Figura 5**

Crotalaria-júncea, espécie de adubo verde, no estágio de desenvolvimento vegetativo. erca-viva com capim napier

ADUBAÇÃO VERDE E MICROBIOMA DO SOLO

No Brasil, há trabalhos científicos desde o início do século XX, embora nas décadas de 50 e 60, em função dos adubos químicos pós segunda guerra mundial, existir uma lacuna de resultados de pesquisa, houve retorno na década de 70 e grande aplicação a partir da década de 80 até os dias atuais.

A adubação verde foi a maneira encontrada pelos cientistas da natureza para recuperar solos “cansados”. Em 1947, o engenheiro agrônomo Álvaro Ornelas de Souza escreveu a obra intitulada “Recuperação das terras pela adubação verde”, onde se lê: “Em vez de derrubar as matas ou levar a devastação ao coração virgem do Brasil, muito mais simples e prático será reincorporar essas terras ao patrimônio agrícola, por meio da aplicação correta e inteligente da adubação verde.”

Praticar a adubação verde é utilizar as plantas para a manutenção da cobertura do solo e posteriormente sua decomposição para aumentar o teor de matéria orgânica no solo, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo (**Figura 1**).



Figura 1

Espécies de adubos verdes: em primeiro plano, feijão-de-porco; em florescimento, crotalaria-spectabilis; ao fundo a esquerda, crotalaria-ochroleuca

1. BENEFÍCIOS

São inúmeros os benefícios dos adubos verdes aos sistemas de cultivo, que podem ocorrer de forma integrada em função da sua forma de contribuição aos agroecossistemas (**Figura 2**).

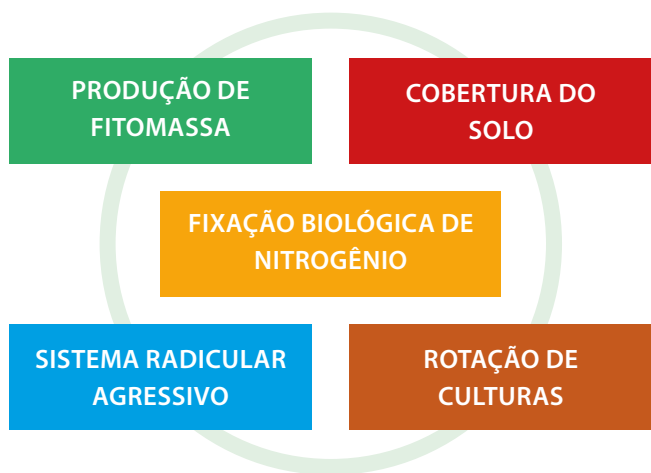


Figura 2
Representação das principais formas de contribuição dos adubos verdes ao agroecossistema

Um dos principais motivos pelo qual o produtor rural opta pela adubação verde é a fixação biológica de nitrogênio (FBN), pois várias espécies vegetais possuem a capacidade de interagir com o microbioma do solo, especialmente as bactérias, que em processo de simbiose fixam o nitrogênio do ar atmosférico e o incorporam ao solo e às plantas; as plantas fornecem alimentos às bactérias e as bactérias retribuem com o nitrogênio, nutriente essencial ao desenvolvimento dos vegetais.

Na tabela 1 são apresentados dados médios de diversos experimentos e plantios comerciais com idade entre 120 a 150 dias. Os valores de nitrogênio (N), fixação biológica do nitrogênio (FBN em % e kg/ha) variam em função do local (clima), época de semeadura, densidade de sementes, idade das plantas.

A produção de fitomassa é, em primeira instância, a forma de avaliar a fertilidade do sistema. A fitomassa produzida irá permitir a reciclagem de nutrientes, com fornecimento às plantas a partir da decomposição do microbioma do solo (**Tabela 2**). Os microrganismos são responsáveis pela degradação da matéria orgânica, com consequente mineralização e liberação dos nutrientes, tornando-os disponível ao sistema solo-planta.

TABELA 1
PRODUÇÃO DE FITOMASSA (MASSA VERDE E MASSA SECA) DE ALGUMAS ESPÉCIES VEGETAIS DA FAMÍLIA DAS FABÁCEAS (LEGUMINOSAS)

Espécies	Massa Verde (t/ha)	Massa Seca (t/ha)	N (kg/ha)	FBN (%)	FBN (kg/ha)
Crotalárea-júncea	40-60	12-18	300-450	70	210-315
Crotalária-spectabilis	10-30	2-6	54-162	60	32-97
Gandu-arbóreo	15-30	4,5-9	112-225	75	84-168
Feijão-de-porco	30-40	3-6	114-228	87	99-198
Mucuna-preta	30-50	6-10	162-270	85	138-230

Fonte: Pirai Sementes

TABELA 2

MACRONUTRIENTES RECICLADOS (FÓSFORO – P, POTÁSSIO – K, CÁLCIO – CA) E MAGNÉSIO – MG) DE ALGUMAS ESPÉCIES VEGETAIS DA FAMÍLIA DAS FABÁCEAS (LEGUMINOSAS)

Espécies	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)
Crotalárea-júncea	30-45	168-252	90-135	48-72
Crotalária-spectabilis	4-12	44-132	30-90	7-21
Gandu-arbóreo	9-18	49-99	18-36	9-18
Feijão-de-porco	6-12	40-80	30-60	11-22
Mucuna-anã	3-6	20-40	14-28	5-10
Mucuna-preta	12-20	72-120	36-60	15-25

Fonte: Pirai Sementes

O manejo dos adubos verdes, normalmente, é feito em pleno florescimento, com o corte e/ou trituração e sua deposição sobre o solo. Desta maneira é possível a obtenção dos benefícios em relação a cobertura do solo, com proteção contra a erosão solar e hídrica e diminuição da variação da temperatura do solo ao longo do dia.

A adubação verde pode ocorrer durante o ano todo, desde que sejam escolhidas espécies adequadas as condições edafoclimáticas, ou seja, condições de solo e clima, em diversas modalidades de cultivo.

2. MODALIDADE DE CULTIVO

2.1 Cultivo em rotação ou sucessão de culturas

A rotação ou sucessão de culturas pressupõe o cultivo do adubo verde com o objetivo de incrementar a fertilidade do sistema produtivo para as culturas que serão cultivadas em sequência, ao longo do tempo (**Figura 3**).



Figura 3

Espécies de adubos verdes para cultivo no inverno (nabo-forrageiro), a esquerda e no verão (crotalária-breviflora), a direita

2.2 Cultivo consorciado

No cultivo consorciado a espécie adubo verde é cultivado em conjunto com a cultura principal (**Figura 4**).

Esta modalidade de cultivo é comum em cultivo intercalar com culturas perenes, como por exemplo o citrus e o café.

No entanto, é possível também o cultivo consorciado com hortaliças (**Figura 5**). Neste consórcio o objetivo principal é que a cultura comercial se beneficie da fixação biológica do nitrogênio (FBN), com o fornecimento do nitrogênio (N) ao longo do seu ciclo de cultivo. Mas, ela pode se beneficiar também da cobertura do solo, depois de manejado o adubo verde.

Nos cultivos consorciados pode haver competição entre as plantas por água, luz e nutrientes. Isto ocorre se as culturas não forem adequadamente espaçadas. Verificado este caso o produtor rural pode manejar a adubação verde com podas ou mesmo um corte ao nível do solo.



Figura 4
Adubação verde nas entrelinhas da bananeira



Figura 5
Adubação verde em cultivo intercalar ao tomateiro: a esquerda, tremoço-branco com mini tomate; a direita, tremoço-branco com alface roxa, antes e após manejo da fitomassa



2.3 Transferência de fertilidade

A transferência de fertilidade permite o aproveitamento de áreas de cultivo de maior valor agregado, como o cultivo em ambientes protegidos (**Figura 6**).

As estufas agrícolas são estruturas de alto investimento pelo produtor rural e a otimização dos cultivos de culturas de valor agregado ao longo do ano visam tornar o empreendimento economicamente rentável.

Na transferência de fertilidade os adubos verdes são cultivados em área adjacente ao local onde, após manejados, serão depositados. Deste modo, pelo manejo da fitomassa, exporta-se os nutrientes de um local para outro local, por isso, o termo transferência. O local que recebe a fitomassa dos adubos verdes se beneficia da decomposição do material orgânico, com incremento da matéria orgânica e dos nutrientes. No entanto, os benefícios do desenvolvimento do sistema radicular, como descompactação e agregação do solo ficam no local de origem do cultivo.



Figura 6

Crotalária-júncea em cultivo em área externa e posteriormente utilizado para cobertura morta do solo em estufa agrícola para cultivo da alface crespa

3. ADUBOS VERDES COM DUPLA APTIDÃO

Algumas espécies vegetais são cultivadas como adubos verdes por possibilitar a fixação biológica do nitrogênio, como é o caso das leguminosas, mas também por permitir que seus grãos sejam comercializados, como destacados na figura 7.

O girassol é da família Asteraceae e pode ser cultivado em consórcio com outras espécies de adubos verdes ou em rotação com culturas produtoras de grãos, apresentam sistema radicular profundo, que o torna tolerante a seca.

Embora, a colheita destes grãos quebre uma regra essencial da adubação verde, que é a não exportação de biomassa produzida no sistema pelos vegetais, o aumento de produtos a serem consumidos ou comercializados pelo produtor rural, pode compensar a menor vantagem em termos das melhorias das características do solo.



Figura 7

Grãos dos adubos verdes: soja, amendoim, girassos, tremoço, feijão-mungo e feijão-adzuki (esquerda); broto de feijão-mungo - moyashi (direita)

4. MICROBIOMA DO SOLO

Segundo a FAO¹ os solos abrigam mais de 25% da biodiversidade do planeta terra. Um solo biodiverso inclui vertebrados, invertebrados, fungos, bactérias, vírus, e líquenes que fornecem funções e serviços ecossistêmicos ao sistema de produção,

O solo vivo é consequência das ações antrópicas (do homem), quando se favorece o incremento da matéria orgânica, seja pela adição de resíduos animais ou vegetais, que vivificam o solo e consequentemente o agroecossistema. Deste modo, é o produtor rural, que indiretamente, seleciona o microbioma

1. <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1361870/>

do seu solo. Além das ações antrópicas, o clima, o relevo e o entorno influenciam de maneira direta na biodiversidade microbiana.

O microbioma do solo está diretamente relacionado com as condições físicas, químicas e biológicas do solo. Quando mais diversificada for a matéria orgânica aportada ao solo mais biodiverso será o microbioma do solo.

Os fungos do gênero *Trichoderma* são encontrados em solos do mundo inteiro e podem interagir com as plantas através da rizosfera (zona ao redor das raízes), promovendo seu crescimento, induzindo resistência a patógenos e como controle biológico (**Figura 8**).

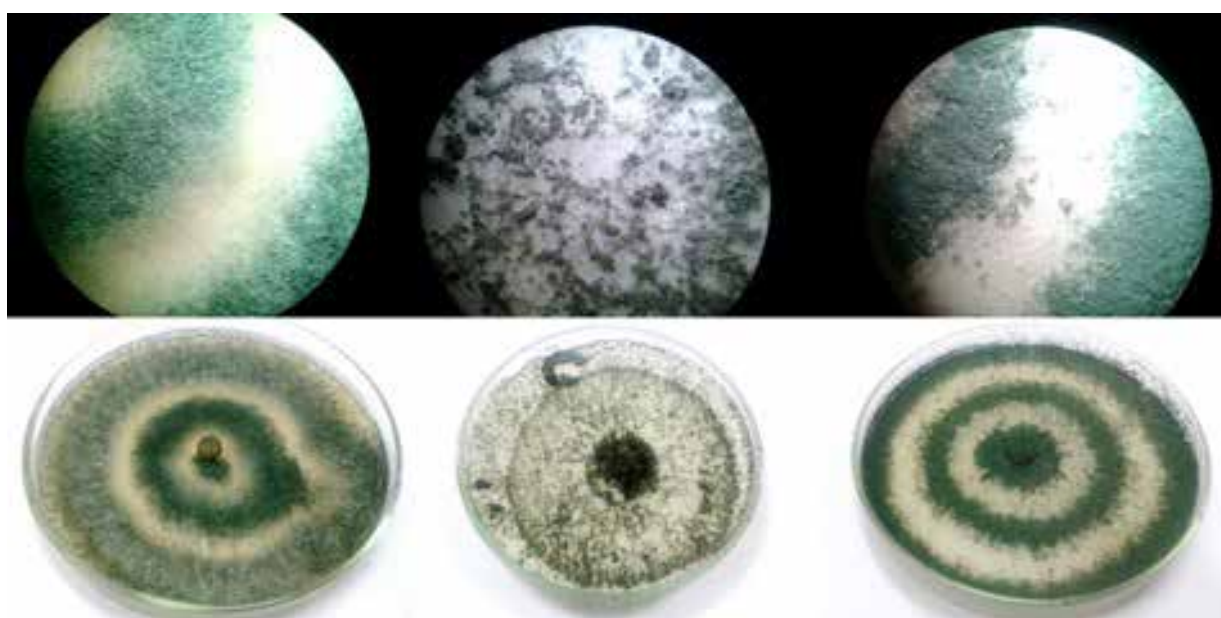


Figura 8

Trichoderma ssp. isolados de solos em cultivo orgânico e biodiverso

A decomposição dos resíduos culturais dos adubos verdes é um processo realizado essencialmente pelos microrganismos heterotróficos do solo, que deles retiram a energia, o carbono e os nutrientes necessários à produção de energia e à biossíntese microbiana.

Deste modo, a fertilidade dos sistemas de produção é função do ambiente (clima e solo), da quantidade de produção de biomassa, com otimização do processo fotossintético, da biodiversidade e sua interação para a saúde do sistema, e da ação do homem como parte integrante do agroecossistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro-RJ, ABNT, 2004.

ABRELPE – **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo –SP: ABRELPE. 2020, 52 p. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>

AMBROSANO, E. J. et al. **Adubação verde na agricultura orgânica**. In: FONTÃO, O. L. F. et al. (org.). *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 2, p. 100-150.

AMIAD - **Water Systems. Media Filters**. Disponível em: <http://www.amiad.com/f>

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura Recursos Hídricos Brasil 2020**. Brasília: ANA, 2020, 118 p.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357**, de 18 de março de 2005; p. 58–53.

CORSINI, I.; LABIGALINI, I.; GOMES, T. M.; FREIRE, ALVARENGA, M. T.; VERRUMA-BERNARDI, M. R.; ROSSI, F. Minitomateiro em sistema orgânico inoculado com *Trichoderma asperellum* e consorciado com hortaliças da família fabaceae. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, p. 1-9, 2021.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001. 345p.

LABIGALINI, I.; SALA, F.C.; GOMES, T. M.; CORSINI, I.; ROSSI, F. Green manure, *Trichoderma asperellum* and homeopathy in cultivating the biquinho pepper. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, p. 1-10, 2020.

_____. **Lei 12.305**, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. 2 ed., Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, 150 p.

MENEGASSI, L. C.; ROSSI, F.; DOMINICAL, L. D.; TOMMASO, G.; MONTES, C. R.; GOMIDE, C. A.; GOMES, T. M. Reuse in the agro-industrial: Irrigation with treated slaughterhouse effluent in grass. **Journal of Cleaner Production**, v. 251, p. 119698, 2020.

ROLIM, G. S., SENTELHAS, P. C., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137, 1998.

ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D.. **Histórico da adubação verde no Brasil**. In: Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática [S.l: s.n.], v. 1., 2014.

SALGADO, G. C.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; OTSUK, I. P.; AMBROSANO, G. M. B.; SANTANA, C. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O. Biological N Fixation and N Transfer in an Intercropping System between Legumes and Organic Cherry Tomatoes in Succession to Green Corn. **Agriculture**, v. 11, p. 690, 2021.

SALGADO, G. C.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; OTSUK, I. P.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; AMBROSANO, G. M. B.; DIAS, F. L. F.; TAVARES, S.; MELO, P. C. T. Nitrogen transfer from green manure to organic cherry tomato in a greenhouse intercropping system. **Journal of Plant Nutrition**, v. 1, p. 1-17, 2020.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. 1. ed. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP 2017. 215p.

THE UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **The United Nations World Water Development Report 2020: Water and climate change**. Paris, France, 2020. Disponível em:<[http:// www.unwater.org](http://www.unwater.org)>

UNITED NATIONS (UN). **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. RES/70/1, New York, United Nations, 2015, Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>>



ISBN 978-65-87023-16-8 (e-book)