

MARE

MANUAL DE APLICAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO

Orientação para ensaios técnicos, controle
de produção e coleta de material.

abrecon

Associação Brasileira para Reciclagem de
Resíduos da Construção Civil e Demolição



USP



INSTITUTO
FEDERAL
São Paulo

CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Angulo, Sergio Cirelli
MARE manual de aplicação do agregado reciclado / S C
Angulo et al - ed. rev. -- São Paulo : EPUSP, 2023.
137 p

ISBN 978-65-89190-19-6
DOI: 10.11606/9786589190196

1.Reciclagem de resíduos da construção e demolição 2.Agre-
gados reciclados 3.Construção civil e demolição 4.Manual de
aplicação l.t.

CDU 628.4.036



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Reitor: Carlos Gilberto Carlotti Junior
Vice-Reitora: Maria Arminda do Nascimento Arruda

ESCOLA POLITÉCNICA
Diretor: Reinaldo Giudici
Vice-diretor: Silvio Ikuyo Nabeta

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

AUTORES

EQUIPE

Universidade de São Paulo – USP

Coordenador Sérgio Cirelli Angulo

Pesquisadora Tatiane Isabel Hentges

Instituto Federal São Paulo – IFSP

Pesquisador Leonardo Machado

Alunos colaboradores Ana Luiza Affonso Cardoso, Beatriz Matos Nascimento, Caroline Procopio Magalhães, Gabriel da Silva Santos, Geovana do Espírito Santo Gomes, Gustavo de Souza Tavares, Gustavo Lopes Calazans Bispo, Heloísa Apulcro do Nascimento, Janine Martinez Bellicanta, Valentina Ornellas Dzura.

Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON

Presidente Hewerton Bartoli

Vice presidente Rafael Teixeira

Coordenador Levi Torres

Coordenadora Regiane Moura

Atendimento Nívea Lima

Especialistas (contribuições no processo de revisão)

Eng. Claudio Oliveira Silva, M. Sc., Gerente de projetos da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), na área de Inovação e Sustentabilidade em materiais cimentícios.

Prof. Éder Santos, M.Sc., D. Sc. UFGO, área de geotecnia

Profa. Rosângela dos Santos Motta, M.Sc, D. Sc. Departamento de Transportes, Escola Politécnica, USP, área de pavimentação.

Eng. Valmir Bonfim, M Sc., Diretor da ABRECON e da FREMIX, empresa da área de pavimentos especializada em reciclagem de RAP, resíduos de construção

abrecon

Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

PREFÁCIO

Hewerton Bartoli
Presidente da Abrecon

É com muito orgulho que nós da Abrecon lançamos a revisão do Manual de Aplicação do Agregado Reciclado no Encontro Nacional das Usinas de Reciclagem de RCD 2023.

O MARE, como é conhecido este manual, é fruto de inúmeras reuniões com associados, depuração de dados e informações com a diretoria e muita discussão entre técnicos e colaboradores do projeto.

Este projeto começou a ser discutido no início do comitê da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) 15115/2004 (CB-18) em meados de 2015.

Delá para cá fomos estruturando o Manual a fim de apresentar informações mais próximas do mercado e auxiliar a usina de reciclagem de entulho na venda do agregado reciclado. A ideia inicial era um catálogo de produtos, porém, como sentimos na pele as lamúrias dos empreendedores, resolvemos ir além com dados atualizados dos agregados reciclados, aplicações do material e até uma definição do que é resíduo da construção e demolição para facilitar o trabalho de quem recebe entulho, neste caso para um setor mais amplo que engloba Área de Transbordo e Triagem - ATT e aterros de inertes.

O MARE é a nossa ferramenta para introduzir o agregado reciclado nas tabelas públicas e disseminar a cultura do material nas obras públicas, especialmente aquelas de infraestrutura e pavimentação.

O MARE não é um projeto imutável, ao contrário, nosso objetivo é receber cada vez mais a sugestão de usinas de reciclagem de RCD, órgãos públicos e colaboradores, assim, ficamos à inteira disposição para eventuais dúvidas, sugestões e observações.

#VamosJuntos

PREFÁCIO

Levi Torres

Coordenador da Abrecon

A quarta edição do Manual de Aplicação do Agregado Reciclado, lançada no Encontro Nacional das Usinas de Reciclagem de RCD 2023, é o coroamento das ações da Abrecon na área de promoção do uso do agregado reciclado.

Desde que foi fundada, em fevereiro de 2011, o tripé da Abrecon é: Combate ao descarte irregular de entulho, promoção do uso do agregado reciclado e qualificação do empreendimento e do empreendedor.

O MARE torna-se assim a maior referência para o associado ou empreendedor quanto a aplicação do agregado reciclado, promovendo a informação de qualidade e reduzindo as incertezas para a construção.

O MARE não para por aqui, pretendemos coletar as sugestões dos associados e aperfeiçoar as aplicações do A.R. em parceria com as usinas de reciclagem de RCD.

O RCD Lab também será um ambiente para aperfeiçoar as aplicações do agregado reciclado e testar tecnologias que poderão ser úteis tanto para a produção de A.R. como para procedimentos de recepção de RCD, limpeza e triagem.

O MARE, assim como as Diretivas Abrecon, a Pesquisa Setorial, os cursos de Gestão e Operação de Usina de Reciclagem de RCD, Encontro, Seminário e Missões são projetos da Abrecon para elevar a qualidade do setor.

Sabemos que não é fácil, mas com união a caminhada fica possível.

Associe-se! Faça parte do maior movimento de valorização da reciclagem de RCD do Brasil.

PREFÁCIO

Sérgio Cirelli Angulo

Coordenador do Projeto MARE
Universidade de São Paulo- USP

Possuo 24 anos de pesquisa no tema de resíduos de construção e demolição (RCD), uma boa parte deste período dedicada a investigação do uso dos agregados reciclados de RCD em materiais cimentícios. Procurei entender a variabilidade do material, seus impactos nas propriedades do concreto. Tive a oportunidade de pesquisar práticas internacionais de reciclagem no pós-doutorado, como o praticado na Alemanha, Holanda, Estados Unidos, procurando comparar os diferentes contextos locais. Como pesquisador, procurei disseminar as aplicações dos agregados reciclados por diversos anos, incluindo o desenvolvimento de aplicações inovadoras, que procurassem explorar ao máximo as potencialidades e particularidades dos agregados e finos reciclados.

Considero hoje que aspectos fundamentais para o sucesso e desenvolvimento de mercado da reciclagem de RCD são: I. o registro dos casos de sucesso das aplicações, porque é necessário difundir as condições econômicas mais favoráveis da reciclagem, II. estabelecimento de “benchmarks” dos produtos reciclados, pois, desta forma, podemos otimizar cenários favoráveis quanto a economia de recursos naturais, a redução de impactos ambientais, o retorno financeiro, III. Otimizar composições, formulações, melhorar continuamente processos, encontrar novas aplicações requer envolvimento de toda a cadeia da construção, algo que estamos iniciando via RCD LAB, a primeira casa de pesquisa e de apoio à inovação na América Latina, parceria estabelecida com a Associação Brasileira de Reciclagem de Resíduos da Construção (ABRECON).

Revisar o MARE (Manual de Aplicação do Agregado Reciclado) da ABRECON me trouxe primeiramente a oportunidade de reunir e disseminar aquilo que pude acumular de informações, de reflexões quanto as incertezas, sucessos, insucessos, e de conhecimentos. Segundo, acredito que seja um privilégio estar aqui apoiado por alunos de pós-graduação que oriento atualmente na USP; que, por sua vez, também ensinam e formam outros estudantes de graduação, gerando um movimento de transformação e atualização de conhecimentos na área da Engenharia Civil.

Que este trabalho apoie, dissemine, e facilite as atividades de reciclagem e dos engenheiros civis em formação, ou engenheiros formados, no Brasil. Para os que ainda não sabem, nosso país recicla, hoje (cenário de 2020), 20% da massa dos resíduos de construção, algo que devemos nos orgulhar, podendo chegar a 50%, caso esses mercados de aplicação se consolidem e cheguem, com sucesso, nos CREAs, construtoras, nas obras de infraestrutura do país.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 Objetivo | 17 |
| 1.2 Metodologia..... | 17 |
| 2. TIPOS DOS AGREGADOS RECICLADOS (ARS) E FINOS NATURAIS (SOLOS) | 19 |
| 2.1 Agregado Reciclado Misto (ARM) | 20 |
| 2.2 Agregado Reciclado Cimentício (ARCI)..... | 21 |
| 2.3 Agregado Reciclado de Concreto (ARCO)..... | 22 |
| 2.4 Finos naturais obtidos pelo escalpe (SOLO)..... | 23 |
| 2.5 Material asfáltico reciclado (RAP) | 24 |
| 2.6 Propriedades físicas dos agregados reciclados..... | 25 |
| 3. NOMENCLATURA MARE DOS A.R E FINOS NATURAIS | 27 |
| 3.1 Usos em camadas de pavimentos (PAV) | 28 |
| 3.2 Usos em argamassas (ARG), concretos não estruturais (CNE), e concretos estruturais (CE). | 30 |
| 3.3 Usos em obras geotécnicas (GEO) ou de saneamento (SAN)..... | 33 |
| 4. ESPECIFICAÇÃO NORMATIVA DOS AGREGADOS RECICLADOS (ARS) | 35 |
| 4.1 Para uso em camadas de pavimentação..... | 35 |
| 4.2 Para uso em argamassas e concretos..... | 38 |
| 4.3 Usos em obras de infraestrutura (geotecnia, saneamento)..... | 44 |
| 5. PAVIMENTAÇÃO | 45 |
| 5.1 Revestimento primário de vias, acessos provisórios | 46 |
| 5.2 Reforço de subleito (RS), sub-bases (SB) e bases (BA)..... | 49 |
| 5.3 Bases tratadas com cimento e cal (BT)..... | 52 |
| 5.4 Trabalhos acadêmicos, livros | 54 |
| 6. ARGAMASSAS (ARG) | 57 |
| 6.1 Contrapiso (CP)..... | 59 |
| 6.2 Argamassa de assentamento (AA)..... | 60 |
| 6.3 Revestimento de argamassa (RA) | 62 |
| 6.4 Revestimento (massa única) (RU) | 64 |
| 6.5 Trabalhos acadêmicos, livros | 66 |
| 7. CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS (CNE) | 67 |
| 7.1 Blocos de vedação (BV)..... | 69 |
| 7.2 Guias e Canaletas (GC)..... | 71 |
| 7.3 Caixas de passagem (ou de inspeção) (CI)..... | 74 |
| 7.4 Rufo de concreto (RU)..... | 75 |
| 7.5 Mobiliário Urbanos (MU)..... | 75 |
| 7.6 Calçadas, ciclovias (CC) | 76 |
| 7.7 Concreto de enchimento (EN)..... | 78 |
| 7.8 Trabalhos acadêmicos, livros | 79 |

ÍNDICE

| | |
|--|------------|
| 8. CONCRETOS ESTRUTURAIS (CE) | 81 |
| 8.1 Bloco estrutural de concreto (BE) | 83 |
| 8.2 Piso intertravado (PI)..... | 85 |
| 8.3 Telhas de concreto (TC)..... | 87 |
| 8.4 Pisos ou placas pré-moldadas de concreto (PS) | 88 |
| 8.5 Pavimento de Concreto Armado (PC), Concreto Compactado com Rolo (CR)..... | 90 |
| 8.6 Placas de concreto (PL) | 93 |
| 8.7 Pavimento permeável (PP) | 95 |
| 8.8 Concregrama, grelha perfurada (CG)..... | 97 |
| 8.9 Mourões de Concreto (MO)..... | 98 |
| 8.10 Vergas e Contravergas (VC) | 100 |
| 8.11 Guarda-corpo (pré-fabricado de concreto, ou de concreto armado) (GC) | 101 |
| 8.12 Blocos de fundação, e postes (FP)..... | 102 |
| 8.13 Barreiras de Concreto (New Jersey) (BC) | 103 |
| 8.14 Trabalhos acadêmicos, livros | 104 |
| 9. OBRAS GEOTÉCNICAS (GEO) E DE SANEAMENTO (SAN)..... | 107 |
| 9.1 Elevação de greide, ou nivelamento topográfico (EG) | 112 |
| 9.2 Aterro e reaterro de valas (VA) | 114 |
| 9.3 Estrutura de contenção: Gabiões (GAB), muros com pedra argamassada (PA), muros de arrimo com blocos, tijolos de solo cimento (MA)..... | 116 |
| 9.4 Drenos, trincheiras drenantes (DR)..... | 120 |
| 9.5 Trabalhos acadêmicos, livros | 122 |
| 10. JARDINAGEM E PAISAGISMO (JPA), CORRETIVO DE SOLO (AGR)..... | 125 |
| 10.1 Solo orgânico (top-soil)..... | 126 |
| 10.2 Corretivo de solo, uso agrícola (AGR)..... | 126 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 127 |

ÍNDICE

Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Cadeia da construção e estrutura da normalização de insumos, produtos e sistemas construtivos | 15 |
| Figura 2– RCD misto: demolição de alvenaria de blocos de cerâmica vermelha, misturado com solo de escavação e diversas impurezas (tubulações de instalações elétricas, de água, madeira, metais)..... | 20 |
| Figura 3 – Brita reciclada mista (ARM graúdo) (à esquerda). Contém partículas cimentícias e de cerâmica vermelha (em maior quantidade), de 10 a 40%, usualmente. Pode conter impurezas, quando o resíduo não é bem triado na origem. (à direita) Bica corrida (ARM) (dimensão inferior a 50 mm) | 21 |
| Figura 4 –Resíduo cimentício em usina de reciclagem (à esquerda), constituído por mistura de tipos de argamassas e concretos, diversos não estruturais. Resíduo cimentício de obra (à direita), com quebras de blocos de concreto e sobras da execução de serviços de argamassa (maior concentração de fração fina no material)..... | 21 |
| Figura 5 – (à esquerda) Areia reciclada cimentícia (ARCI), obtida pela britagem de resíduos de argamassa e blocos de concreto em obras..... | 22 |
| Figura 6 – Resíduo da demolição de um piso de concreto estrutural..... | 23 |
| Figura 7- Brita reciclada de concreto (ARCO graúdo). Pode conter, em pequena quantidade, alguns materiais secundários (como cerâmica vermelha, ou impurezas). | 23 |
| Figura 8 – Solos (finos naturais) obtidos por escalpe, antes da britagem do RCD..... | 24 |
| Figura 9 – Fresadora..... | 25 |
| Figura 10 – O ensaio de peneiramento consiste em agrupar peneiras em ordem crescente | 37 |
| Figura 11 – Mecanismo de fissuração do concreto pela presença de fração de gesso no AR | 38 |
| Figura 12 – (à esquerda). Estados costeiros e faixas de influência do mar..... | 40 |
| Figura 11 - - Classificação dos materiais presentes nos agregados reciclados pelo ensaio de catação | 42 |
| Figura 14 – Ensaio de lavagem e determinação dos finos nos agregados, naturais ou reciclados..... | 43 |
| Figura 15 – Ilustração das camadas nos diferentes tipos de pavimentos. | 46 |
| Figura 16 –Revestimentos primários de vias, realizando perenização de estradas de terra..... | 47 |
| Figura 17 – Vias de acesso provisória em obras de construção civil com AR.... | 47 |
| Figura 18 – Curva de compactação para ARCO e ARM (com cerâmica vermelha)..... | 48 |
| Figura 19 – Obra de pavimentação: escavação do solo local e reforço do subleito com rachão reciclado misto..... | 49 |
| Figura 20 – Sequência de execução de uma sub-base de pavimento flexível com bica corrida reciclada mista. | 50 |
| Figura 21 – Granulometria da bica corrida reciclada e os limites da faixa granulométrica B indicada pelo DNER | 50 |
| Figura 22– Efeito da energia do ensaio de proctor na curva de compactação de um material granular. | 51 |
| Figura 23– Brita graduada reciclada cimentícia (granulometria, com dimensão inferior a 25 mm) e execução de camada de base..... | 51 |
| Figura 25 – Brita reciclada mista, tratada com cimento..... | 53 |
| Figura 26 - Execução de argamassa de contrapiso, consistência seca | 59 |
| Figura 27 – Argamassa de assentamento em paredes de alvenaria..... | 61 |
| Figura 28 – Sistema de revestimento de argamassa tradicional | 62 |
| Figura 29 – Revestimento de argamassa: camada única..... | 64 |
| Figura 30 – Bloco de vedação de concreto..... | 69 |
| Figura 31 – Variações dimensionais de produtos para a família de bloco 14cm...70 | |

| | |
|--|-----|
| Figura 32 – (esquerda) sarjeta com concreto extrudado in loco. (direita) guia pré-fabricada..... | 71 |
| Figura 33 – Canaletas e grelha de concreto para coletar água de chuva..... | 72 |
| Figura 34 – caixas de inspeção e tampas pré-fabricadas de água e esgoto..... | 74 |
| Figura 35 – Rufo de concreto sobre muro. | 75 |
| Figura 36 – Bancos e mesas de concreto usados como mobiliário urbano em praças..... | 76 |
| Figura 37 - Calçadas e ciclovias..... | 76 |
| Figura 38 – Concreto de enchimento usado para nivelar áreas externas de edifícios..... | 78 |
| Figura 39 – Blocos estruturais de concreto, algumas famílias, geometria reforçada nos septos..... | 83 |
| Figura 40 – Piso intertravado de concreto (16 faces)..... | 85 |
| Figura 41 – Telha de concreto..... | 87 |
| Figura 42– Camadas do piso de concreto para fins industriais..... | 88 |
| Figura 43 – Piso de concreto armado..... | 90 |
| Figura 44 – Curva de compactação do CCR, consumo de cimento 110 kg/m ³ | 91 |
| Figura 45 – Intervalo granulométrico para uso do agregado, natural ou reciclado, no CCR..... | 92 |
| Figura 46 – Projeto de passeio usando placas planas de concreto..... | 94 |
| Figura 41 – Projetos de pisos drenantes e tipos de blocos intertravados permeáveis..... | 95 |
| Figura 48 – Concregrama: elemento de concreto pré-fabricado vazado..... | 97 |
| Figura 49 – Grelha perfurada..... | 98 |
| Figura 51 – Execução de vergas e contravergas em alvenarias..... | 100 |
| Figura 52 – Guarda corpo pré-fabricado de concreto..... | 102 |
| Figura 53 – Fundações de concreto armado de postes e torres..... | 102 |
| Figura 54 – Barreiras de concreto (New Jersey)..... | 103 |
| Figura 55 – Critérios técnicos para reuso potencial de solos presentes no RCD..... | 110 |
| Figura 56 – (acima) Qualidade do solo levando em conta cenários de uso..... | 112 |
| Figura 57 – Exemplo de elevação de greide (cota), para viabilizar aterros ou camadas de pavimento..... | 113 |
| Figura 58 – Reaterro de valas, prevendo o uso do AR. Extraído de Vedroni..... | 115 |
| Figura 59 – Gabião tipo caixa especificado no projeto de urbanização..... | 117 |
| Figura 60 – Muro de arrimo com bloco de concreto, convencional (acima) e sextavado (abaixo)..... | 118 |
| Figura 61 -Tijolos de solo cimento podem conter agregados reciclados..... | 119 |
| Figura 62 – Trincheira drenante especificada no projeto de urbanização..... | 120 |
| Figura 63 – Uso de Britas recicladas em jardim. Fonte: ABRECON..... | 125 |
| Figura 64 – (à esquerda) Método para remoção do solo orgânico (topsoil) em obras. (à direita) aspecto escuro do solo orgânico..... | 126 |

ÍNDICE

Tabelas

| | |
|---|-----------|
| Tabela 1 – Propriedades dos ARs usados no MARE 2023. | 25 |
| Tabela 2 – Nomenclatura e codificação MARE de ARs - uso de pavimentação..... | 28 |
| Tabela 3 – Nomenclaturas de agregados reciclados para uso em produtos cimentícios. | 30 |
| Tabela 4 – Nomenclaturas de agregados reciclados para uso em obras de geotecnia ou saneamento..... | 33 |
| Tabela 5 – Especificação do agregado reciclado para uso em camadas de pavimento..... | 36 |
| Tabela 6 – Requisitos mínimos para uso dos ARs em concretos | 39 |
| Tabela 7 – Recomendações quanto ao teor limite de cerâmica vermelha nos tipos de ARs..... | 41 |
| Tabela 8 – Requisitos técnicos específicos do produto: revestimento primário de via..... | 48 |
| Tabela 9 – Tipos de ARs e teor de substituição: revestimento primário. | 49 |
| Tabela 10 – Requisitos técnicos específicos do produto: reforço de subleito, sub-bases e bases granulares | 52 |
| Tabela 11 – Tipos de AR e teor de substituição: camadas de pavimentação..... | 52 |
| Tabela 12 – Estimativa inicial de Consumo de agregados, naturais ou reciclados, por camadas de pavimentação..... | 52 |
| Tabela 13 – Critério para base de solo cimento | 53 |
| Tabela 14 – Critério para uso da brita graduada tratada com cimento..... | 53 |
| Tabela 15 – Tipos de ARs e teor de substituição: pavimento rígido. | 53 |
| Tabela 16 – Lista parcial de trabalhos acadêmicos de pavimentos com ARs: mestrados e doutorados, e livros..... | 54 |
| Tabela 17 – Requisitos técnicos específicos do produto: argamassa de contrapiso [124]..... | 59 |
| Tabela 18 – Tipos de AR e teor de substituição: argamassa de contrapiso. | 60 |
| Tabela 19 – Consumos de materiais para o produto: argamassa de contrapiso..... | 60 |
| Tabela 20 – Requisitos técnicos da argamassa de assentamento..... | 61 |
| Tabela 21 – Tipos de AR e teor de substituição: argamassa de assentamento..... | 61 |
| Tabela 22 – Consumos de materiais para o produto: argamassa de assentamento..... | 62 |
| Tabela 23 – Especificações técnicas do produto: argamassas para revestimento | 63 |
| Tabela 24 – Especificações técnicas do produto: revestimento de argamassa..... | 63 |
| Tabela 25 – Tipos de AR e teor de substituição: revestimento de argamassa..... | 64 |
| Tabela 26 – Consumos de materiais para o produto: argamassa de emboço interno. | 64 |
| Tabela 27 – Requisitos técnicos específicos do produto: argamassa de revestimento camada única | 65 |
| Tabela 28 – Lista parcial de trabalhos acadêmicos e livros encontrados. ... | 66 |
| Tabela 29 – Especificação de produto: blocos de vedação | 70 |
| Tabela 30 – Tipos de ARs e teor de substituição: blocos de vedação..... | 71 |
| Tabela 31 – Consumos de materiais para o produto: blocos de vedação de concreto | 71 |
| Tabela 32 – Requisitos técnicos: guias e canaletas | 73 |
| Tabela 33 – Tipos de ARs e teor de substituição: guias e canaletas..... | 73 |

| | |
|---|------------|
| Tabela 34 – Consumos de materiais para o produto: guias e canaletas, caixas de passagem, rufos, mobiliários ou calçadas..... | 73 |
| Tabela 35 – Requisitos técnicos específicos do produto: caixas de inspeção ou canaletas..... | 74 |
| Tabela 36 – Tipos de ARs e teor de substituição: caixas de inspeção..... | 75 |
| Tabela 37 – Requisitos para passeios públicos..... | 77 |
| Tabela 38 – Especificações granulométricas das sub-bases granulares..... | 77 |
| Tabela 39 – Tipos de ARs e teor de substituição: calçadas e ciclovias..... | 78 |
| Tabela 40 – Tipos de agregados reciclados e teor de substituição: concreto de enchimento..... | 79 |
| Tabela 41 – Formulações-exemplo de concretos de enchimento..... | 79 |
| Tabela 42 – Faixas granulométricas de referência da NBR 7211: 2005..... | 82 |
| Tabela 43 – Especificação de produto: blocos estruturais..... | 84 |
| Tabela 44 – Tipos de ARs e teor de substituição: bloco estrutural de concreto..... | 84 |
| Tabela 45 – Consumos de materiais para o produto: Bloco Estrutural..... | 84 |
| Tabela 46 – Requisitos técnicos específicos do produto: assentamento do piso com areia..... | 85 |
| Tabela 47 – Requisitos técnicos específicos do piso intertravado de concreto..... | 86 |
| Tabela 48 – Tipos de ARs e teor de substituição: piso intertravado..... | 86 |
| Tabela 49 – Consumos de materiais para o produto: Bloco Intertravado..... | 86 |
| Tabela 50 – Requisitos técnicos específicos das telhas de concreto..... | 87 |
| Tabela 51 – Alguns requisitos técnicos gerais para pisos de concreto..... | 89 |
| Tabela 52 – Tipos de AR e teor de substituição: pisos de concreto..... | 89 |
| Tabela 53 – Consumos de materiais para o produto: Piso de concreto..... | 90 |
| Tabela 54 – Requisitos gerais de um CCR..... | 92 |
| Tabela 55 – Tipos de ARs e teor de substituição: pavimento de concreto..... | 93 |
| Tabela 56 – Sugestão inicial para uma formulação de um CCR com agregado reciclado de concreto..... | 93 |
| Tabela 57 – Tipos de ARs e teor de substituição: placa de concreto..... | 94 |
| Tabela 58 – Requisitos técnicos específicos do produto..... | 96 |
| Tabela 59 – Tipos de ARs e teor de substituição: piso drenante de concreto..... | 96 |
| Tabela 60 – Sugestão inicial para uma formulação de um concreto permeável com agregado reciclado de concreto..... | 96 |
| Tabela 61 – Tipos de agregados reciclados e teor de substituição: peças pré-fabricadas de concreto..... | 98 |
| Tabela 62 – Consumos de materiais para o produto: peças estruturais pré-fabricadas de concreto estrutural..... | 98 |
| Tabela 63 – Requisitos técnicos específicos do produto: mourões de concreto..... | 99 |
| Tabela 64 – Tipos de ARs e teor de substituição: mourões de concreto..... | 99 |
| Tabela 65 – Consumos de materiais para o produto: mourões de concreto..... | 99 |
| Tabela 66 – Tipos de ARs e teor de substituição: vergas e contravergas..... | 101 |
| Tabela 67 – Consumos de materiais para o produto: Vergas e contravergas..... | 101 |
| Tabela 68 – Requisitos técnicos específicos do produto: barreiras de concreto..... | 103 |
| Tabela 69 – Tipos de ARs e teor de substituição: barreiras de concreto (New Jersey)..... | 103 |

ÍNDICE

Tabelas

| | |
|---|------------|
| Tabela 70 – Consumos de materiais para o produto: Barreira de concreto (New Jersey). | 104 |
| Tabela 71 – Trabalhos acadêmicos e livros sobre o uso de agregados reciclados em concretos. | 104 |
| Tabela 72 – Relação dos principais critérios técnicos para reuso de solos em obras de terra. | 110 |
| Tabela 73 – Ensaio, propriedades físicas e o controle de prováveis defeitos geotécnicos. | 111 |
| Tabela 74 – Requisitos técnicos específicos do produto | 113 |
| Tabela 75- Tipos de ARs e teor de substituição: elevação de greide. | 113 |
| Tabela 73 – Classificação MCT, e propriedades avaliadas para aplicação de solos em pavimentação. | 114 |
| Tabela 77 – Requisitos técnicos específicos do produto segundo a NBR 12266: 1992 e o DER: 2006. | 115 |
| Tabela 78- Recomendações técnicas de acordo com a PMSP e SABESP. | 115 |
| Tabela 79- Tipos de ARs e teor de substituição: elevação de greide. | 116 |
| Tabela 80- Tipos de ARs e teor de substituição: estrutura de contenção. | 117 |
| Tabela 81 – Recomendações técnicas para uso de rachão reciclado ou brita 3 em obras de gabião | 117 |
| Tabela 82– Requisitos técnicos específicos do produto: tijolo de solo cimento. | 119 |
| Tabela 83 – Tipos de ARs e teor de substituição: tijolos de solo cimento. | 119 |
| Tabela 84 - Recomendações técnicas para trincheiras drenantes. | 120 |
| Tabela 85 - Requisitos técnicos específicos do produto – Material drenante. | 121 |
| Tabela 86- Tipos de AR e teor de substituição: drenos, trincheiras drenantes. | 121 |
| Tabela 87 – Lista parcial de trabalhos acadêmicos e livros encontrados. | 122 |



KOMPTECH

ENVIMAT

Enviroment & Material Handling

Tecnologia em Meio Ambiente

Somos especializados em fornecer soluções completas em projetos de Reciclagem, Tratamento de Resíduos e Movimentação de Materiais.



ENVIMAT

Enviroment & Material Handling

envimat.com.br
(16) 2121-0865

SIGA-NOS
NO INSTAGRAM



1. Introdução

A cadeia da Indústria da Construção Civil é grande e complexa, existindo um amplo conjunto de normas e procedimentos técnicos que procuram certificar a qualidade dos seus produtos (Figura 1).

Para algumas aplicações como pavimentação e obras de infraestrutura, normas estabelecidas por prefeituras, departamentos estaduais de estradas de rodagem, ou de grandes concessionárias são as mais disseminadas.

No caso de materiais cimentícios, as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) são mais difundidas no setor. O uso de normas técnicas é feito em diferentes momentos, ora para avaliar a qualidade de insumos básicos (como cimento, agregados, naturais ou reciclados, e aço), ora para fornecer produtos básicos como camadas de pavimento, argamassas e concretos, certificando as suas propriedades para atender as necessidades de uso, como capacidade de suporte e resistência.

Também não é incomum, procurar industrializar certos elementos construtivos (como blocos e telhas, produzidos por vibro prensagem, e artefatos diversos como bancos, caixas de inspeção de água e de esgoto pré-fabricados, tubos de concreto) e até mesmo certos elementos estruturais (mourões, postes de concreto, vigotas de laje pré-fabricada, laje extrudada), visando facilitar e otimizar o uso de mão de obra em serviços da construção.



Figura 1 – Cadeia da construção e estrutura da normalização de insumos, produtos e sistemas construtivos. Figura adaptada usando imagens disponíveis em buscas do Google.

Produtos de construção possuem propriedades técnicas voltadas às condições de uso, como resistência, deformabilidade, padrão dimensional, e/ou estanqueidade à água. Contudo, não fazem menção direta às propriedades de agregados, naturais ou reciclados, usados dentro dos produtos cimentícios. Entende-se que produtos de construção, com qualidade conforme, acabam sendo constituídos de insumos (cimentos, agregados, naturais ou reciclados, aço) com qualidade conforme.

Uma boa parte das normas técnicas difundidas no setor são prescritivas; ou seja, descrevem as propriedades e o uso de tecnologias convencionais, com pouca abertura ao desenvolvimento de novos produtos ou produtos inovadores.

Isso, no entanto não implica que produtos inovadores desenvolvidos na Indústria da Construção Civil não possam ser avaliados ou certificados, pois existe como avaliar o desempenho de edificações e subsistemas dessas (estrutura, vedação, revestimento, cobertura, piso, etc.) [1], independentemente do material e elemento construtivo na construção, incluindo ou não material reciclado. As necessidades dos usuários podem ser consideradas, e as suas exigências são transformadas em critérios de desempenho, podendo ser avaliada a qualidade desta habitação e certificada nacionalmente pelo Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores (SINAT), como, por exemplo, um sistema construtivo totalmente modular, pré-fabricado. A normalização não impede a inovação e as melhorias de sustentabilidade que se espera na Indústria da Construção Civil.

Certificar a qualidade do agregado reciclado de resíduos de construção e demolição (RCD) por uma norma técnica brasileira é importante para regular tecnicamente as relações comerciais entre fabricantes de agregados reciclados (as usinas de reciclagem de RCD) e compradores (construtoras, empresas que produzem argamassas, concretos, pavimentadoras) na elaboração de seus diferentes produtos para a construção.

Não há nada que impeça uma central dosadora de concreto de fornecer concretos magros (lastros) para pisos com agregados reciclados de RCD, sejam esses obtidos por reciclagem interna na empresa, ou por fidelizar uma parceria com empresa de reciclagem (que forneça agregados reciclados de RCD com qualidade controlada e conhecida). Quem paga pela resistência de um concreto, pode nem querer saber qual teor de agregado reciclado de RCD o concreto contém, que tipo de agregado reciclado de RCD (resíduo cimentício, de concreto, misto) é usado, mas sim que o produto tem conformidade com relação ao parâmetro técnico crítico.

Então, o entendimento técnico de como formular o concreto é algo que precisa ser regulado entre fornecedores de agregados reciclados de RCD e fornecedores de produtos cimentícios, estabelecendo parcerias, que minimizem riscos para ambas as partes, com foco na satisfação do cliente final (construção).

Há que se considerar que são centenas de serviços e materiais manipulados em obras convencionais diariamente pelos engenheiros, que certamente dificultam a assimilação de novas tecnologias, os testes de viabilidade de novas tecnologias, a avaliação do sucesso com tempo hábil. Não se deve esperar que um engenheiro do dia a dia, atribulado com suas atividades, vá dedicar uma parte do seu tempo para se “aventurar” no teste de novas tecnologias, de simples curiosidade ou interesse, sem ordem ou intenção imediata de seus superiores.

Construtoras, sejam de grandes obras de infraestrutura ou pavimentação, concessionárias do setor público possuem áreas específicas que procuram verificar e assimilar novas tecnologias para as obras. Achar o canal correto de comunicação dentro dessas empresas parece fundamental, além de entender suas motivações e os reais interesses neste tipo de ação. Como o encadeamento das atividades é complexo, há necessidade de esforço e organização setorial, para que esses objetivos sejam alcançados; ou seja, fazer chegar à sociedade (consumidor final) construções mais sustentáveis, ou seja, de melhor desempenho técnico, econômico, social e ambiental.

1.1 Objetivo

O Manual de Aplicação do Agregado Reciclado (MARE) procura facilitar o acesso a esse conjunto de informações, gerando um acesso rápido e organizado de pontos relevantes para viabilizar o uso dos agregados reciclados de RCD nas diferentes aplicações na Indústria da Construção Civil. Longe de procurar estimular receitas e tabelas tecnológicas, esse documento é um marco orientativo, que deve ser sistematicamente otimizado, estimulando a obtenção de *benchmarks* de custos, impactos sociais, e desempenho técnico e ambiental de produtos.

1.2 Metodologia

Esse documento foi estruturado em 10 seções. A seção 2 descreve os tipos de agregados reciclados de RCD que podem estar disponíveis. Na seção 3, estruturamos uma nomenclatura padronizada para os agregados reciclados de RCD, procurando associar os tipos de agregados reciclados de RCD (resíduos cimentícios, de concreto, mistos), com as faixas granulométricas usadas nas diferentes aplicações de obras civis. Na seção 4, são informadas as normas técnicas que tratam diretamente das especificações mínimas usadas nos agregados reciclados de RCD, assim como os típicos ensaios realizados. As seções 5, 6, 7, 8, 9 e 10 tratam das diferentes aplicações na Indústria da Construção Civil como em pavimentos, concretos não estruturais, concretos estruturais, argamassas, obras geotécnicas e de saneamento, e em jardinagem e paisagismo, respectivamente, incluindo uma lista bibliográfica básica para cada aplicação.

Construindo
relações
sustentáveis



abrecon.org.br

ASSOCIE-SE

Dê um passo adiante para
o sucesso da sua usina



Venda mais
agregado



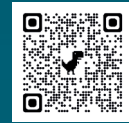
Suporte para a
obtenção de licenças



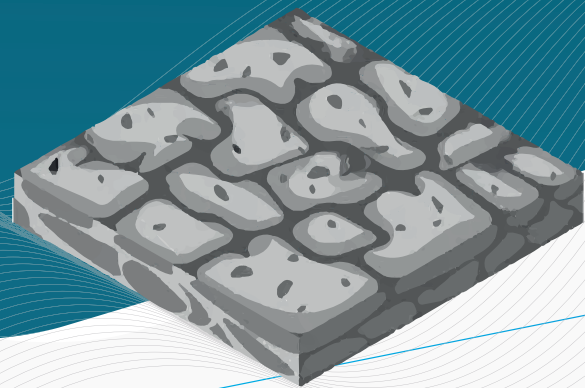
Acesso VIP a
eventos exclusivos

abrecon
Associação Brasileira para Reciclagem de
Resíduos da Construção Civil e Demolição

Escaneie ou clique
no QR Code



2. Tipos dos Agregados Reciclad^{os} (ARs) e Finos Naturais (SOLOS)



Existem três tipos de agregados reciclados de RCD, denominado no MARE como "A.R.", em função da natureza (origem): (i) os obtidos por resíduos mistos (misturas de resíduos cimentícios, cerâmicos, solos, outros); (ii) os obtidos por resíduos cimentícios (concretos, blocos de concreto, argamassas, pisos de concreto), de coloração cinza, separados previamente, antes de processar nas usinas de reciclagem, e (iii) os obtidos por resíduo puro de concreto, obtido em demolição de estruturas de concreto armado, centrais dosadoras de concreto, empresas de pré-fabricados de concreto. Além destes produtos, há também os solos (finos naturais), de natureza variada, obtidos na operação de escalpe (peneiramento prévio do RCD, antes da britagem nas usinas de reciclagem de RCD).

Além da origem, o A.R. precisa ter sua granulometria (intervalo de tamanho de partículas) bem definida, de maneira similar aos agregados naturais (areia de rio), e aos agregados manufaturados artificialmente (brita, areia de brita, pó de pedra), uma vez que isso facilita a comunicação técnica entre fabricantes de agregados e usuários (engenheiros). Da mesma forma, o uso de solos na construção requer uma distribuição granulométrica definida.

Uma categoria particular de RCD são os resíduos de materiais asfálticos, que podem ser reciclados e passam a ser conhecidos como RAP.

2.1 Agregado Reciclado Misto (ARM)

O resíduo de RCD misto (Figura 2) contém mistura de produtos cimentícios e cerâmicos diversos, como blocos e telhas de cerâmica vermelha, mistura com solo de escavação, diversas pequenas impurezas de obras, demolições (plásticos, madeira etc.). É um resíduo comum em execução de obras com alvenaria com blocos cerâmicos, demolições não seletivas de coberturas (de telhas de cerâmica vermelha), alvenarias antigas (incluem tijolos cerâmicos mal queimados). Neste tipo de resíduo, a presença de cerâmica vermelha ultrapassa 10% da composição, mas pode, salvo casos isolados, chega a ultrapassar 40%.

Tipos de agregados reciclados



Figura 2- RCD misto: demolição de alvenaria de blocos de cerâmica vermelha, misturado com solo de escavação e diversas impurezas (tubulações de instalações elétricas, de água, madeira, metais).
Fonte: google imagens.

Devido à maior presença de cerâmica vermelha e solo de escavação, o ARM pode conter argila nos finos, reduzindo a qualidade do agregado reciclado, caso não seja adotado procedimentos especiais de dosagem, para uso na produção de materiais cimentícios.

Um controle mais acurado é requerido na composição do ARM (Figura 3), devendo-se evitar mistura com gesso, cerâmica vidrada (sobras de azulejos, revestimentos cerâmicos vidrados, com brilho superficial) em teores acima de 3%, para uso em camadas de pavimento. O gesso e a cerâmica vidrada podem comprometer a qualidade do AR para uso na produção de materiais cimentícios. Reação expansivas deletérias podem ocorrer devido ao contato com o cimento e umidade; por isso, os teores admitidos são inferiores a 1%.



Figura 3 – Brita reciclada mista (ARM graúdo) (à esquerda). Contém partículas cimentícias e de cerâmica vermelha (em maior quantidade), de 10 a 40%, usualmente. Pode conter impurezas, quando o resíduo não é bem triado na origem. (à direita) Bica corrida (ARM) (dimensão inferior a 50 mm). Fonte: google imagens.

2.2 Agregado Reciclado Cimentício (ARCI)

Os resíduos cimentícios (Figura 4) são aqueles constituídos por uma mistura de diversos produtos cimentícios, e não apenas de concreto (geralmente estrutural). Assim, o resíduo contém argamassa misturada com o concreto, e são decorrentes da demolição de alvenarias executadas com blocos de concreto, argamassa de assentamento, revestimentos de argamassa, contrapisos de argamassa, calçadas de concreto (não estruturais).

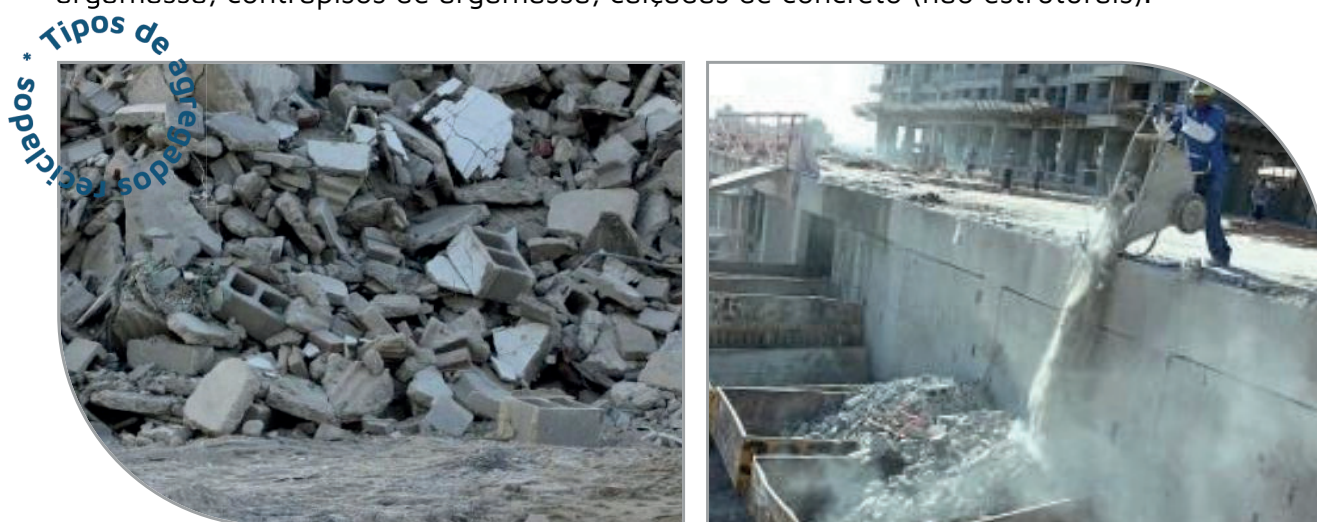


Figura 4 – Resíduo cimentício em usina de reciclagem (à esquerda), constituído por mistura de tipos de argamassas e concretos, diversos não estruturais. Resíduo cimentício de obra (à direita), com quebras de blocos de concreto e sobras da execução de serviços de argamassa (maior concentração de fração fina no material). Fonte: google imagens.

A argamassa é um material menos resistente, mais friável. Isso resulta em um agregado reciclado cimentício menos resistente e mais poroso que o agregado reciclado de concreto (ARCO), contendo maior quantidade de finos (dimensão abaixo de 0,075 mm) (Figura 5). Tais características limitam o seu potencial de uso em concretos de qualidade superior, mas possui qualidade perfeitamente compatível a produção de concretos não estruturais e argamassas, em teores de substituição de agregado natural/artificial pelo AR de até 100%.

Podem se apresentar quase integralmente constituídos de materiais cimentícios, mas há chance de encontrar impurezas como fragmentos de plásticos (das instalações elétricas), embalagens plásticas de obras, fragmentos de metais (pregos, etc.). Neste caso, há uma necessidade de controle de composição, visando avaliar a sua pureza, uma vez que podem incluir outros finos e solos na varrição, ou fruto de gestão menos cuidadosa dos resíduos nas obras, ou reformas/demolições. Até 10% de cerâmica vermelha na composição do agregado reciclado cimentício não altera muito suas características, sendo admitido esse tipo de contaminação nas especificações técnicas deste tipo de AR.



Figura 5 - (à esquerda) Areia reciclada cimentícia (ARCI), obtida pela britagem de resíduos de argamassa e blocos de concreto em obras. Fonte: S. C. Angulo; (à direita) brita reciclada cimentícia (piso, alvenaria de concreto), incluindo uma pequena fração de cerâmica vermelha. Fonte: google imagens.

2.3 Agregado Reciclado de Concreto (ARCO)

Resíduos de concreto puros (sem qualquer tipo de mistura ou contaminação) (Figura 6) podem ser encontrados em fabricantes de materiais e produtos cimentícios, como sobras de concreto que retornam nos caminhões betoneira para as centrais dosadoras de concreto ou resíduos da produção de artefatos pré-fabricados de concreto (como blocos e telhas, tubulações de água e esgoto etc.). São resíduos objeto de logística reversa com a cadeia de fabricantes de produtos cimentícios, menos comum de existir em usinas de reciclagem - que acabam recebendo diversos tipos de resíduos e misturas entre estes.

Quando o resíduo de concreto é devidamente triado na própria origem, são homogêneos, dispensam a realização de testes de avaliação da composição, pois não contém impurezas.

Podem ainda ser encontrados na demolição seletiva de edifícios de múltiplos andares, em final de vida útil, ou manutenção regular em fábricas (determinadas obras industriais), que necessitam de quebra de pisos e pavimentos de concreto (obras de infraestrutura). O concreto é denominado estrutural tipicamente quando sua resistência mínima à compressão ultrapassa 20 MPa. A denominação do agregado reciclado de concreto (ARCO) pode ser ainda acrescida da palavra “estrutural”.



Figura 6 - Resíduo da demolição de um piso de concreto estrutural. Fonte: google imagens.

2.4 Finos naturais obtidos pelo escalpe (SOLO)

Os finos naturais são obtidos no escalpe (Figura 8), um peneiramento prévio na abertura de 10 mm, antes da britagem do RCD. No Brasil, devido à presença de solos tropicais, temos solos variados, de siltosos e argilosos. O peneiramento nesta dimensão acaba concentrando os siltes e argilas naturais presentes nos solos das atividades de escavação na construção. Não são usados como AR (pois podem apresentar propriedades expansivas), e sim como solos, um material de enchimento, mas que pode ser combinado com o AR para fornecer melhor compactação do material granular; para usos geotécnicos como elevação de greide, preenchimento de valas (ver itens 3 e 9, a seguir).

O ARCO (Figura 7) possui, portanto, resistência mecânica (incluindo ao desgaste) relativamente superior aos demais tipos de AR, e, assim, são menos sujeitos à quebra por manuseio e/ou compactação. É o AR que costuma apresentar a melhor qualidade nas diferentes aplicações.



Figura 7 - Brita reciclada de concreto (ARCO graúdo). Pode conter, em pequena quantidade, alguns materiais secundários (como cerâmica vermelha, ou impurezas). A partícula contém cimento endurecido e agregados naturais (areia de rio) e artificiais (rochas britadas). Fonte: google imagens.

2.5 Material asfáltico reciclado (RAP)

Devido ao seu valor agregado, o RAP é geralmente reciclado, diretamente nas usinas de asfalto, não sendo comumente direcionado para as usinas de reciclagem de RCD. O RAP é obtido por operação de fresagem dos pavimentos antigos (Figura 9). O material contém ainda ligante asfáltico ativo sendo possível se pensar o uso em camada de revestimento asfáltico [2], ou alternativas de reciclagem a frio (espumas de asfalto) [3,4], e uso em bases de pavimentos.



Figura 8 – Solos (finos naturais) obtidos por escalpe, antes da britagem do RCD. É comercializado como um produto secundário das usinas de reciclagem, mas que, dependendo do RCD recebido na usina, pode chegar a representar quase metade da massa de entrada das usinas.

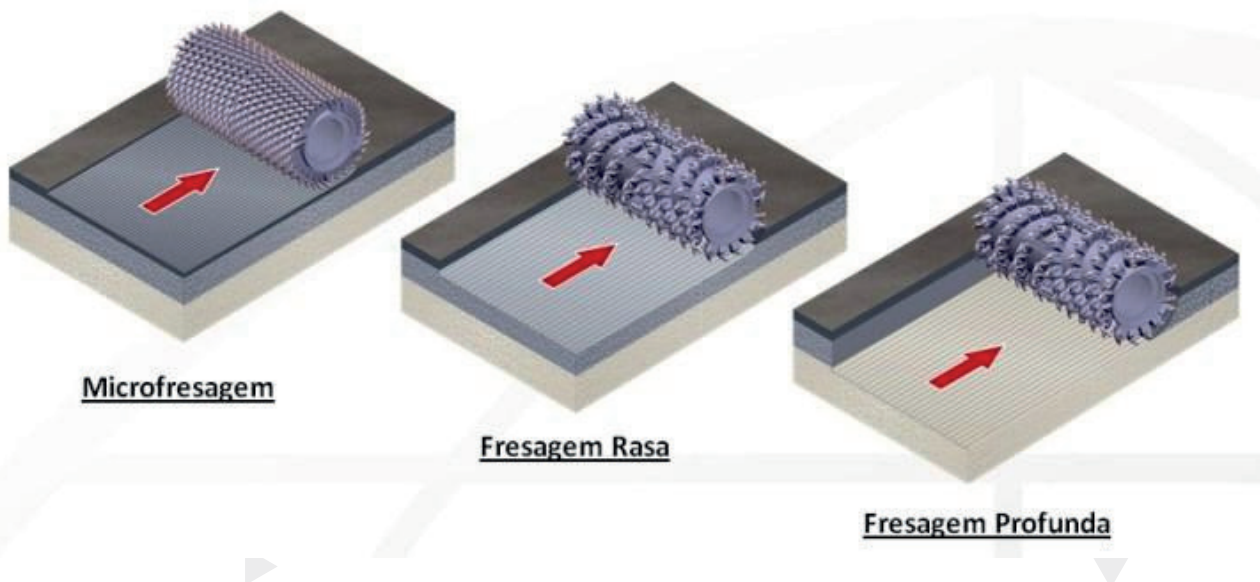




Figura 9 – Fresadora. Fonte: <https://viafresa.com.br/fresagem-de-pavimentos/> ; <https://alemdainercia.com/2018/11/28/conheca-os-3-tipos-de-fresagem/> ; <http://asfaltodequalidade.blogspot.com/2021/04/fresagem-asfaltica-e-reaproveitamento.html>

2.6 Propriedades físicas dos agregados reciclados

As propriedades físicas dos AR, densidade e absorção de água, são fundamentais para i. se estabelecer conversões entre massa e volume de material nas aplicações de pavimentação e como materiais cimentícios, ii. informar parâmetros técnicos limítrofes que definem o tipo de AR e de controle de qualidade para essas aplicações, iii. são usados para conseguir compactação adequada, condições reológicas (fluidez) de materiais cimentícios.

Essa propriedade é variável no AR. e deve ser monitorada frequentemente nas usinas, até se obter certa uniformidade (variabilidade reduzida) do produto. Para fins de uso no MARE, adotamos valores constantes, próximo aos valores médios, para os diferentes tipos de ARs (Tabela 1).

Tabela 1 – Propriedades dos ARs usados no MARE 2023.

| Tipo de AR | Absorção de água - 24h (%) | Densidade (estado solto, compactado), ou Massa unitária (kg/m ³) | Densidade, ou Massa específica (kg/m ³) |
|-------------|----------------------------|--|---|
| ARM | 12 | 1.200 | 2.000 |
| ARCI | 7 | 1.200 | 2.200 |
| ARCO | 7 | 1.200 | 2.200 |

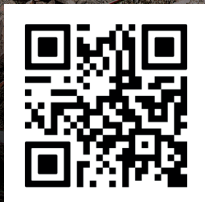
ALTO DESEMPENHO PARA AS USINAS DE RECICLAGEM

SOLUÇÕES E EQUIPAMENTOS
CUSTOMIZADOS CAT®

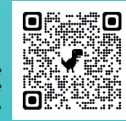
**OS MELHORES RESULTADOS
PARA OS SEUS NEGÓCIOS.**

Só a Caterpillar® oferece a solução completa para sua usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição: máquinas e acessórios com tecnologias exclusivas, financiamento pela Cat® Financial, peças de reposição e o suporte do seu revendedor Cat.

Para fazer mais em menos tempo e aumentar a sua lucratividade, conte sempre com a qualidade e a confiabilidade Cat.



Escaneie ou clique
no QR Code



3. Nomenclatura MARE dos A.R e finos naturais



Tanto a origem do AR quanto a sua granulometria precisa estar claramente definidas. Assim, o MARE propõe as nomenclaturas padronizadas para atender os diferentes usos na construção, procurando atender certas propriedades requeridas por normas e especificações técnicas brasileiras, inclusive atendendo as terminologias usualmente empregadas na comercialização de agregados na construção.

3.1 Usos em camadas de pavimentos (PAV)

A Tabela 2 apresenta a nomenclatura de AR e codificação MARE para uso em pavimentação. A primeira parte da nomenclatura identifica dois nomes comerciais do produto reciclado, como a bica corrida reciclada, a brita graduada reciclada e a brita reciclada tratada com cimento ou cal. A segunda parte da nomenclatura identifica a natureza do AR obtido até outras duas letras: de resíduo de concreto (CO), do resíduo cimentício (CI), do resíduo misto (M). A faixa granulométrica é definida por 6 números, os três primeiros números para a faixa de tamanho inferior, e outros três para a faixa de tamanho superior.

Tabela 2 – Nomenclatura e codificação MARE de ARs - uso de pavimentação.

| Tipo do agregado reciclado | Nomenclatura | Faixa de tamanho (em mm) | Código MARE |
|----------------------------|---|--------------------------|---------------|
| ARCO | Bica corrida reciclada de concreto (usado em camada de sub-base ou base de vias de baixo volume de tráfego de todos os tipos de pavimentos) | 0 – 50 mm | BC CO 000-050 |
| | Brita graduada reciclada de concreto (mistura de brita 1, ou pedrisco, e areia, ajustando limites granulométricos do material para uso como base de todos os tipos de pavimentos) | 0 -25 mm | BG CO 000-025 |
| | Brita reciclada de concreto, tratada com cimento ou cal (~4% da massa), usado para melhorar propriedades das bases em termos de resistência ou módulo de resiliência. | 0 -25 mm | BT CO 000-025 |
| | Rachão reciclado de concreto (usado como reforço de subleito, elevação de greide) | 50-75 mm | RR CO 050-075 |
| ARCI | Bica corrida reciclada cimentícia (usado em camada de sub-base ou base de vias de baixo volume de tráfego de todos os tipos de pavimentos) | 0 – 50 mm | BC CI 000-050 |
| | Brita graduada reciclada cimentícia (mistura de brita 1, ou pedrisco, e areia, ajustando limites granulométricos do material para uso como base de todos os tipos de pavimentos) | 0-25 mm | BG CI 000-025 |
| | Brita reciclada cimentícia, tratada com cimento ou cal (~4% da massa), usado para melhorar propriedades das bases em termos de resistência ou módulo de resiliência. | 0-25 mm | BT CI 000-025 |
| | Rachão reciclado cimentício (obtido de resíduos cimentício, usado como reforço de subleito, elevação de greide) | 50-75 mm | RR CI 050-075 |

| Tipo do agregado reciclado | Nomenclatura | Faixa de tamanho (em mm) | Código MARE |
|----------------------------|---|--------------------------|---------------|
| ARM | Bica corrida reciclada mista (usado em camada de sub-base ou base de vias de baixo volume de tráfego de todos os tipos de pavimentos) | 0,075 – 50 mm | BC MI 000-050 |
| | Brita graduada reciclada mista (mistura de brita 1, ou pedrisco, e areia, ajustando limites granulométricos do material para uso como base de todos os tipos de pavimentos) | 0,075-25 mm | BG MI 000-025 |
| | Brita reciclada mista, tratada com cimento ou cal (~4% da massa), usado para melhorar propriedades das bases em termos de resistência ou módulo de resiliência. | 0,075-25 mm | BT MI 000-025 |
| | Rachão reciclado misto (obtido de resíduos mistos, usado como reforço de subleito, elevação de greide) | 50-75 mm | RR MI 050-075 |

| Material fresado | Nomenclatura | Faixa de tamanho (em mm) | Código MARE |
|------------------|--|--------------------------|-------------|
| RAP | Material da fresagem da pavimentação asfáltica | 0-25 mm | RAP 000-025 |

| Aplicação | Codificação MARE | Tipos de ARs |
|---------------------------|------------------------------------|--|
| Pavimentação (PAV) | Revestimento primário de vias (RP) | PAV RP BC CO 000-050 BC CI 000-050 BC MI 000-050 |
| | Reforço de subleito (RS) | PAV RS RR CO 050-075 RR CI 050-075 RR MI 050-075 BC CO 000-050 BC CI 000-050 BC MI 000-050 |
| | Subbase (SU) | PAV SU BC CO 000-050 BC CI 000-050 BC MI 000-050 |
| | Base (BA) | PAV BA BG CO 000-025 BG CI 000-025 BG MI 000-025 |
| | Base tratada (BT) | PAV BT BT CO 000-025 BT CI 000-025 BT MI 000-025 |
| | Espuma de asfalto | PAV EA RAP 000-025 |

3.2 Usos em argamassas (ARG), concretos não estruturais (CNE), e concretos estruturais (CE).

Os três tipos de agregados reciclados também podem ser usados para essa finalidade (Tabela 3). É comum o uso de areias e britas recicladas, em diferentes faixas de tamanho, assim como o uso de agregado total (composto por uma mistura de areia de brita), como o pó de pedra, onde não se costuma peneirar o subproduto da britagem abaixo de 6,3 mm, ou pedrisco, abaixo de 12,5 mm. Dessa forma, trata-se da mistura de dois produtos (brita e areia), mas que, tipicamente, atende exigências da produção de artefatos cimentícios pré-fabricados (como blocos intertravados de pavimento, blocos de concreto etc.).

Tabela 3 – Nomenclaturas de agregados reciclados para uso em produtos cimentícios.

| Tipo do agregado reciclado | Nomenclatura | Faixa de tamanho (em mm) | Código MARE |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------|
| ARCO | Areia (fina) reciclada de concreto | 0 – 0,6 mm | AF CO 000-001 |
| | Areia (média) reciclada de concreto | 0,6 - 2,36 mm | AM CO 001-002 |
| | Areia (grossa) reciclada de concreto | 1,2 - 4,75 mm | AG CO 001-004 |
| | Pó de pedra reciclado de concreto | 0-6,3 mm | PP CO 000-006 |
| | Pedrisco reciclado de concreto | 0-12,5mm | PE CO 000-012 |
| | Brita (zero) reciclada de concreto | 4,75-12,5mm | BZ CO 004-012 |
| | Brita (um) reciclada de concreto | 9,5 – 25 mm | BU CO 009-025 |
| | Brita (dois) reciclada de concreto | 19-31,5 mm | BD CO 019-031 |
| | Brita (três) reciclada de concreto | 25-50 mm | BT CO 025-050 |
| | Brita (quatro) reciclada de concreto | 37,5-75 mm | BQ CO 037-075 |
| ARCI | Areia (fina) reciclada cimentícia | 0 – 0,6 mm | AF CI 000-001 |
| | Areia (média) reciclada cimentícia | 0-6 - 2,36 mm | AM CI 001-002 |
| | Areia (grossa) reciclada cimentícia | 1,2 - 4,75 mm | AG CI 001-004 |
| | Pó de pedra reciclado cimentício | 0- - 6,3 mm | PP CI 000-006 |
| | Brita (zero) reciclada cimentícia | 4,75-12,5mm | BZ CI 004-012 |
| | Brita (um) reciclada cimentícia | 9,5 – 25 mm | BU CI 009-025 |
| | Brita (dois) reciclada cimentícia | 19-31,5 mm | BD CI 019-031 |
| | Brita (três) reciclada cimentícia | 25-50 mm | BT CI 025-050 |
| | Brita (quatro) reciclada cimentícia | 37,5-75 mm | BQ CI 037-075 |
| ARM | Areia (fina) reciclada mista | 0,075 – 0,6 mm | AF MI 000-001 |
| | Areia (média) reciclada mista | 0,6 - 2,36 mm | AM MI 001-002 |
| | Areia (grossa) reciclada mista | 1,2 - 4,75 mm | AG MI 001-004 |
| | Pó de pedra reciclado misto | 0-6,3 mm | PP MI 000-006 |
| | Pedrisco reciclado misto | 0-12,5mm | PE MI 000-012 |
| | Brita (zero) reciclada mista | 4,75-12,5mm | BZ MI 004-012 |
| | Brita (um) reciclada mista | 9,5 – 25 mm | BU MI 009-025 |
| | Brita (dois) reciclada mista | 19-31,5 mm | BD MI 019-031 |
| | Brita (três) reciclada mista | 25-50 mm | BT MI 025-050 |
| | Brita (quatro) reciclada mista | 37,5-75 mm | BQ MI 037-075 |

| Aplicação | | Codificação MARE | Tipos de ARs |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------------|---|
| Argamassas (ARG) | Contrapiso (CP) | ARG CP | AF CO 000-001 AF CI 000-001 AF MI 000-001 |
| | Argamassa de Assentamento (AA) | ARG AA | AM CO 001-002 AM CI 001-002 AM MI 001-002 |
| | Revestimento de argamassa (RA) | ARG RA | AG CO 001-004 AG CI 001-004 AG MI 001-004 |
| | Revestimento único | ARG RU | AG CO 001-004 AG CI 001-004 AG MI 001-004 |
| Concreto Não Estrutural (CON) | Bloco de vedação (BV) | CON BV | AF CO 000-001 AF CI 000-001 AF MI 000-001 AM CO 001-002 AM CI 001-002 AM MI 001-002 AG CO 001-004 AG CI 001-004 AG MI 001-004 PE CO 000-012 PE CI 000-012 PE MI 000-012 PP CO 000-006 PP CI 000-006 PP MI 000-006 |
| | Guias e Canaletas (GC) | CON GC | AF CO 000-001 AF CI 000-001 AF MI 000-001 |
| | Caixa de inspeção (CI) | CON CI | AF CO 000-001 AF CI 000-001 AF MI 000-001 |
| | Rufo de concreto (RU) | CON RU | AM CO 001-002 AM CI 001-002 AM MI 001-002 AG CO 001-004 AG CI 001-004 AG MI 001-004 |
| | Mobiliário Urbano (MU) | CON UM | B0 CO 004-012 B0 CI 004-012 B0 MI 004-012 B1 CO 009-025 B1 CI 009-025 B1 MI 009-025 |
| | Concreto de Enchimento (EN) | CON EN | B2 CO 019-031 B2 CI 019-031 B2 MI 019-031 B3 CO 025-050 B3 CI 025-050 B3 MI 025-050 |

| Aplicação | | Codificação MARE | Tipos de ARs |
|---------------------------------|---|------------------|---|
| Concreto Estrutural (CE) | Bloco Estrutural (BE) | CE BE | AF CO 000-001 AM CO 001-002 AG CO 001-004 |
| | Piso Intertravado (PI) | CE PI | PE CO 000-012 PP CO 000-006 |
| | Telha de Concreto (TC) | CE TC | |
| | Piso de Concreto (PI) | CE PI | AF CO 000-001 AM CO 001-002 AG CO 001-004 |
| | Pavimento de Concreto (PC) | CE PC | |
| | Concreto Compactado com Rolo (CR) | CE CR | B0 CO 004-012 B1 CO 009-025 |
| | Placa de Concreto (PL) | CE PL | AF CO 000-001 AM CO 001-002 AG CO 001-004 |
| | Pavimento Permeável (PP) | CE PP | PE CO 000-012 B0 CO 004-012 B1 CO 009-025 |
| | Concregrama, Grelha (CG) | CE CG | AF CO 000-001 AM CO 001-002 AG CO 001-004 B0 CO 004-012 |
| | Vergas e Contravergas (VC) | CE VC | |
| | Mourões de Concreto (MO) | CE MO | AF CO 000-001 AM CO 001-002 AG CO 001-004 |
| | Guarda Corpo (GC) | CE GC | B0 CO 004-012 B1 CO 009-025 |
| | Blocos de fundação e postes (FP) | CE FP | |
| | Barreiras de Concreto , New Jersey (NJ) | CE BC | AF CO 000-001 AM CO 001-002 AG CO 001-004 B0 CO 004-012 B1 CO 009-025 B2 CO 009-025 B3 CO 009-025 |

3.3 Usos em obras geotécnicas (GEO) ou de saneamento (SAN)

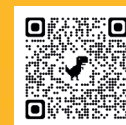
A Tabela 4 apresenta algumas padronizações para uso de agregados reciclados para obras geotécnicas ou de saneamento. Podem ser usados produtos como areia reciclada, com nomenclatura compatível com uso em materiais cimentícios, assim como bica corrida e rachão reciclado, com a nomenclatura compatível com uso em pavimentação.

Tabela 4 – Nomenclaturas de agregados reciclados para uso em obras de geotecnia ou saneamento.

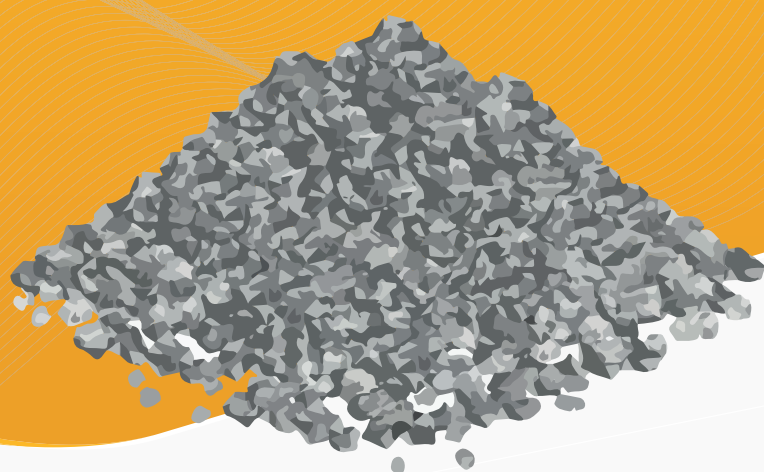
| Tipo do agregado reciclado | Nomenclatura | Faixa de tamanho (em mm) | Código MARE |
|----------------------------|--|--------------------------|---------------|
| ARCO | Areia de assentamento reciclada de concreto (assentamento de tubulações) | 0-4,8 mm | AA CO 000-004 |
| | Bica corrida reciclada de concreto (usado em preenchimento de valas) | 0- 50 mm | BC CO 000-050 |
| | Rachão reciclado de concreto | 50-75 mm | RR CO 050-075 |
| ARCI | Areia de assentamento reciclada cimentícia (assentamento de tubulações) | 0-4,8 mm | AA CI 000-004 |
| | Bica corrida reciclada cimentícia (preenchimento de valas) | 0- 50 mm | BC CI 000-050 |
| | Rachão reciclado cimentício (somente para muro de arrimo com argamassada) | 50 -75 mm | RR CI 050-075 |
| ARM | Areia de assentamento reciclada mista (assentamento de tubulações) | 0 - 50 mm | AA MI 000-004 |
| | Bica corrida reciclada mista (usado em preenchimento de valas) | 0,6 - 2,36 mm | BC MI 000-050 |
| | Rachão reciclado misto (somente para muro de arrimo com argamassada) | 50 -75 mm | RR MI 050-075 |
| Produto do escalpe | Nomenclatura | Faixa de tamanho (em mm) | Código MARE |
| SOLO | Finos naturais obtidos pelo escalpe (peneiramento em abertura de 10 mm), antes da britagem do RCD bruto nas usinas de reciclagem de RCD. | 0 - 10 mm | SOLO 000-010 |

| Aplicação | | Codificação MARE | Tipos de ARs |
|---|---|------------------|---|
| Geotecnia (GEO) e Saneamento (SAN) | Elevação de greide (EG) | GEO EG | RR CO 050-075 RR CI 050-075 RR MI 050-075 BC CO 000-050 BC CI 000-050 BC MI 000-050 SOLO 000-010 |
| | Aterro e reaterro de Valas (VA) | GEO VA | ACO A 000-004 ACI A 000-004 AMI A 000-004 RR CO 050-075 RR CI 050-075 RR MI 050-075 BC CO 000-050 BC CI 000-050 BC MI 000-050 SOLO 000-010 |
| | Gabião (GA) | GEO PA | ACO A 000-004 ACI A 000-004 AMI A 000-004 RR CO 050-075 RR CI 050-075 RR MI 050-075 |
| Geotecnia (GEO) e Saneamento (SAN) | Muro de pedra argamassada (PA) | GEO PA | ACO A 000-004 ACI A 000-004 AMI A 000-004 RR CO 050-075 RR CI 050-075 RR MI 050-075 |
| | Muros de arrimo (alvenaria) com blocos sextavados, tijolos de solo cimento (MA) | GEO MA | SOLO 000-010 AF CO 000-001 AF CI 000-001 AF MI 000-001 AM CO 001-002 AM CI 001-002 AM MI 001-002 AG CO 001-004 AG CI 001-004 AG MI 001-004 PE CO 000-012 PE CI 000-012 PE MI 000-012 PP CO 000-006 PP CI 000-006 PP MI 000-006 |
| | Drenos (DR) | SAN DR | BG CO 000-025 BG CI 000-025 BG MI 000-025 PE CO 000-012 PE CI 000-012 PE MI 000-012 |
| | | | |

Escaneie ou clique
no QR Code



4. Especificação Normativa dos Agregados Reciclados (ARs)



4.1 Para uso em camadas de pavimentação

Nesta seção são apresentadas e discutidas as especificações que os ARs precisam atender para executar reforço de subleito, revestimento primário de vias não pavimentadas (voltado à perenização de estradas de terra, vias de acesso provisórias), e camadas de sub-base e base de pavimentos (flexíveis, semirrígidos, rígidos e invertidos) usados nas cidades e nas rodovias.

A norma que apresenta especificações mínimas para emprego de AR em camadas de pavimento é a NBR 15.115: 2004 [5]. As especificações estão apresentadas na Tabela 5. A norma foca no uso do ARM; ou seja, pode conter misturas de materiais cimentícios (argamassas, concretos), e de cerâmica (vermelha ou branca). Assim, esta não subclassifica o tipo de AR. Essa situação atende a grande maioria das usinas de reciclagem brasileiras, que usualmente recebem resíduo misto, e produzem ARM, geralmente para pavimentação.

Isso não quer dizer que a obtenção de agregado reciclado cimentício (ARCI) ou de concreto (ARCO) não possa ser interessante nesse tipo de aplicação, haja visto que o AR de qualidade superior pode ser usado também em camadas de bases de pavimentos, inclusive usada para preparar outras faixas granulométricas de material (como a brita graduada simples) até incorporando aglomerantes como cal e cimento (produto similar à base de solo cimento ou de brita graduada tratada com cimento - BGTC).

Tabela 5 – Especificação do agregado reciclado para uso em camadas de pavimento. Fonte: NBR 15.115: 2004 [5]

| Propriedade | Parâmetros | | Normas de ensaios |
|--|---|--------|--|
| Composição granulométrica | Não uniforme, curva granulométrica contínua e bem graduada. | | NBR 7181: 2016 [6] |
| | Coeficiente de curvatura (Cc) | 1 a 3 | |
| | Coeficiente de "não" uniformidade (Cu) | > 10 | |
| Grãos de forma lamelar | < 30 % (agregado graúdo) | | NBR 6954: 1989, substituída por NBR 5564: 2021 [7] |
| Dimensão máxima característica | ≤ 63 mm | | |
| Teor de material passante na peneira de 0,42mm | 10 a 40% | | NBR 7181: 2016 [6] |
| Contaminantes (%) | Materiais não minerais de mesmas características | até 2% | |
| | Materiais não minerais de características distintas | até 3% | |

O termo "contaminantes" se refere a impurezas; ou seja, pedaços de madeira, ou de aço (que podem furar os pneus das máquinas usadas na pavimentação), fragmentos de plásticos, de vidro (que podem cortar e/ou furar pneus, causar acidentes), gesso (friável, que dissolve em água), que não foram totalmente removidos no processo de reciclagem. A implantação de mesas de triagem melhora significativamente a limpeza do resíduo, antes de britagem, favorecendo a obtenção de AR conformes, de acordo com a especificação.

Não é estabelecido um método de ensaio claro para se realizar a análise da composição do AR. Subentende-se que o método de catação deve ser empregado como o estabelecido na norma NBR 15.116 [8], separando, a olho nu, ou por lupa, os constituintes presentes nos ARs.

Na especificação é admitido até 3% da massa de contaminantes não minerais, somando todos os tipos de impurezas presentes, em relação à parte mineral e útil do AR (fração cimentícia e cerâmica). A massa de cada tipo de impureza não pode ultrapassar 2%. Embora os teores limites sejam bem flexíveis, há relatos que teores perceptíveis (bem inferiores aos limites) podem ser motivos para não aceitação do uso dos ARs em obras, sendo recomendável trabalhar com teores limites inferiores.

A dimensão máxima do agregado, natural ou reciclado é um controle importante pois afeta, após a compactação, a qualidade da camada de pavimento. A dimensão máxima da bica corrida (BC) não deve ultrapassar 63 mm, preferivelmente, deve estar abaixo de 50 mm [9,10].

Além disso, procura-se com a especificação controlar a fração fina presente na BC reciclada, procurando evitar misturas do ARs com solos de escavação [11]. Deve-se atentar que os solos de escavação podem ser expansivos, causando sérios problemas nas camadas de pavimentação. Assim, quanto à fração passante de material na peneira 0,42 mm, esta não deve ultrapassar 40% de massa, pois neste caso as misturas de ARs com solos de escavação podem prejudicar a qualidade da camada (por expansibilidade, dificuldades na compactação e perda de capacidade de suporte da camada - CBR).

Os dois índices relacionados à granulometria que constam da NBR 15115 - coeficiente de curvatura, e o coeficiente e "não" uniformidade - são calculados com as frações passantes acumuladas, a partir do ensaio de granulometria (Figura 10).

O ensaio de granulometria consiste em determinar as massas de agregados, naturais ou reciclados que ficam retidas, partindo das peneiras de maior abertura de malha para as de menor abertura. Com esses dados, se estabelece a porcentagem de massa retida acumulada, e a passante acumulada é determinada, subtraindo-se esse valor de 100%; ou seja, a massa acumulada que não é retida, é a fração passante acumulada (valor complementar) [12].

A forma dos agregados, naturais ou reciclados é medida com paquímetro, de acordo com a norma de lastro ferroviário NBR 6954: 1986 (desatualizada, recentemente incluída na norma NBR 5564: 2021[7], estabelecendo as três dimensões principais dos grãos (altura, largura, e comprimento) e classificando-os como cúbico, alongado, lamelar ou alongado-lamelar.

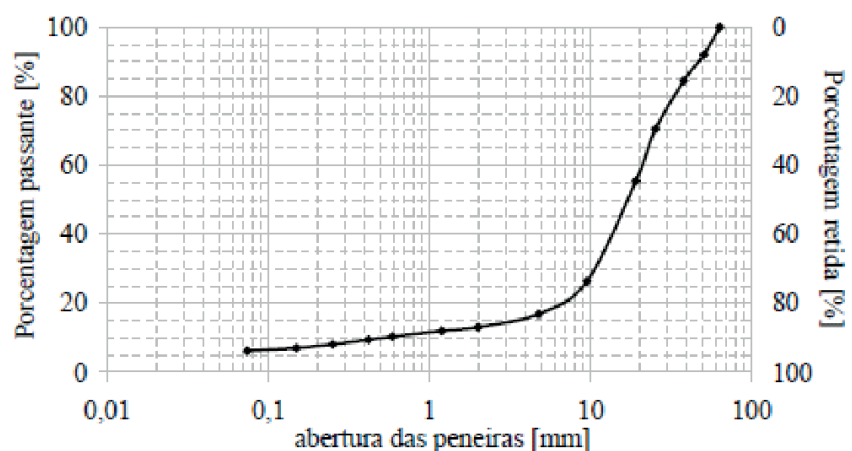
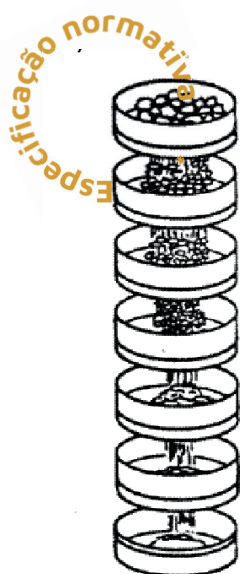


Figura 10 - O ensaio de peneiramento consiste em agrupar peneiras em ordem crescente, e medir a massas percentuais retidas, ou passantes, acumuladas, construindo um gráfico em função do tamanho de tela de aberturas das peneiras.

4.2 Para uso em argamassas e concretos

Para uso em argamassa e concreto não estrutural, os ARs devem atender os requisitos específicos estabelecidos pela norma brasileira ABNT NBR 15.116: 2021 [8] (Tabela 6). São aceitos os três tipos de ARs (ARCO, ARCI e ARMI), os quais podem substituir até 100% de um tipo de agregado natural por tipo equivalente de agregado reciclado. Para uso no concreto estrutural, são aceitos apenas agregados reciclados de concreto (ARCO), e em teores de substituição do agregado natural em relação ao reciclado de até 20% da massa.

Para uso no concreto estrutural, a absorção de água do ARCO não deve ultrapassar 7%. Não é admitida a presença de cerâmica vermelha. Impurezas podem existir, mas são bem incomuns uma vez que o resíduo deve ser de fonte totalmente conhecida (ou seja, concreto puro).

Impurezas – materiais indesejáveis (tais como: fragmentos de madeira, plásticos, –concreto asfáltico etc.) – não podem ser superior a 1%, alinhado ao limite de diversas recomendações e normas estrangeiras do uso do AR no concreto [13].

Atenção especial deve ser dada à presença de gesso no resíduo (Figura 11). A fração de gesso presente no AR se solubiliza, disponibilizando íon sulfato nos poros do material cimentício. Isso altera o equilíbrio do material, formando etringita, um composto expansivo que contém grande volume de água combinada na composição. Como não há espaço para se expandir, o material cimentício acaba absorvendo tensões de tração, que ocasionam a fissuração generalizada do material cimentício [14]. A presença de partículas de coloração branca, solúvel em água (que se decompõe por lavagem em água corrente) são indícios fortes de presença de gesso.

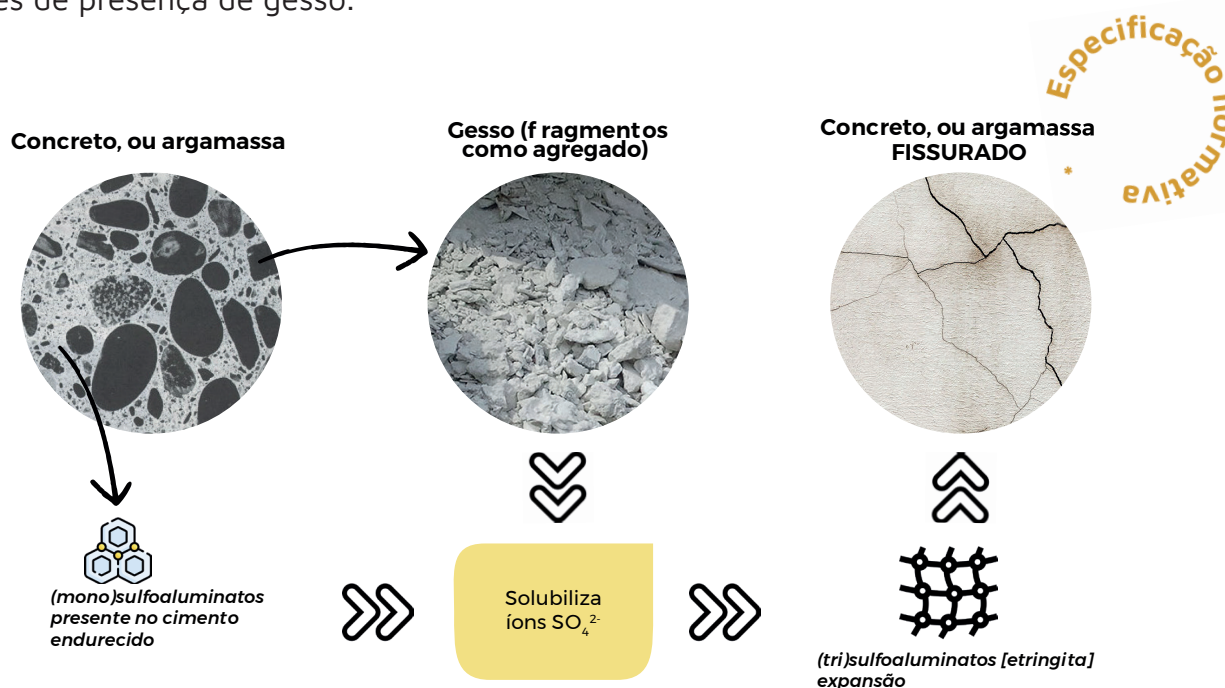


Figura 11 – Mecanismo de fissuração do concreto pela presença de fração de gesso no AR. Fonte: imagem à esquerda extraída de [15], as demais obtidas no banco do google imagens.

Nestes casos, as usinas de reciclagem, em comum acordo com empresas de construção precisam realizar ensaio químico, de acordo com a NBR 9917: 2009 [16], para determinar com precisão o teor de sulfato solúvel no AR (Tabela 6). Se não houver contaminação por gesso (controle total da origem do resíduo), esse ensaio pode ser dispensado. Tal controle é justificado pelo fato desses ensaios poderem representar altos custos para as usinas e os clientes interessados em comprar o AR.

Da mesma forma, a presença de cerâmica branca (de louças sanitárias, com brilho, vidrado na superfície, por exemplo), incluindo azulejos e pisos cerâmicos nesta condição são fonte de sílica amorfa. Essas podem desenvolver reação com os álcalis presentes no cimento, especialmente quando expostas a ambientes úmidos. ARs podem apresentar reatividade álcali-sílica, gerando problemas sérios quando usado sem controle devido na obra.

Assim, caso haja cerâmica branca vidrada ou vidro nos materiais indesejáveis representando grande parte dessas impurezas, é exigido certificar-se de que o AR não é potencialmente reativo na presença de cimento, realizando ensaios e testes complementares da norma brasileira (NBR 15.577: 2018) [17]. O ensaio implica em produzir corpos de prova de argamassa com AR e medir sua expansibilidade no tempo, em ambiente contendo álcalis. Dependendo do resultado, outros ensaios podem ser feitos, inclusive adoção de adições cimentícias capaz de mitigar o problema, controlar condições de exposição, para evitar esse tipo de reação (que ocorre muito frequente em locais úmidos, mas não em ambientes secos).

Tabela 6 - Requisitos mínimos para uso dos ARs em concretos. NBR 15116: 2021 [8]. Integra valores limites da NBR 7211: 2009 [18].

| Ensaio | | Limite % | Método de ensaio |
|---|--|----------|--|
| Materiais indesejáveis ^b (G ⁴) | Teor | < 1 | Anexos A e B |
| Argila em torrões | Teor | < 3 | NBR 7218: 2010 [19] |
| Sulfatos | Teor | < 0,1 | NBR 9917: 2009 [16] |
| Absorção de água | Classe ARCO | < 7 | NBR NM 53: 2009 [20] (gráudo) |
| | Classe ARCI ou ARM | < 12 | NBR NM 30: 2000 (miúdo), substituída pela NBR 16916: 2021 [21] |
| Finos (< 0,075 mm) | Teor para concretos protegidos de desgaste superficial | < 12 | NBR NM 46: 2003 (cancelada), substituída pela NBR 16973: 2021 [22] |
| | Teor para concretos submetidos a desgaste superficial | < 10 | |

^a Por exigência do consumidor, pode ser necessária a verificação da reação álcali-agregado, de acordo com a ABNT NBR 15577-1 [17]. A mesma exigência pode ser aplicada a outras propriedades do AR, como massa unitária, massa específica, ciclagem etc.

^b São considerados materiais indesejáveis os fragmentos de natureza orgânica, como madeiras, plástico, betume e materiais carbonizados, e de natureza inorgânica, como vidros, vidrados cerâmicos e gesso. Os Anexos A e B estabelecem os métodos para determinação desses materiais.

A ausência de cerâmica branca vidrada ou vidros nas impurezas do AR já subentende que esse tipo de ensaio não se faz necessário. Assim, com o controle total da origem do AR, tal ensaio pode ser dispensado. Nesse contexto, deve-se considerar que tais ensaios podem ter altos custos para as usinas e clientes interessados em comprar o AR.

Para uso do ARCO no concreto estrutural, atenção deve ser dada ao teor de cloreto presente no material pois é preciso garantir a mesma durabilidade dos concretos produzidos com agregados convencionais, naturais ou artificiais. A presença de cloreto tem relação com o clima brasileiro. Todas as cidades situadas próximo até 10 km da orla do mar (Figura 12) têm concentração de cloreto crítica na atmosfera, e, portanto, nos resíduos expostos devido à maresia. O vento vindo do mar pode contaminar o material, e é deletério quando a peça de concreto é executada com armadura de aço (concreto armado). O cloro corrói o aço situado dentro do concreto. Nesta condição, é exigido o teste químico de cloreto no ARCO, para se ter certeza de que a concentração está abaixo de determinados limites, de forma a garantir uma durabilidade mínima ao concreto armado. Fora desta condição, ou suspeita de contaminação do material com resíduos como lodos de ETA (fontes externas outra de contaminação do material por cloro), o ensaio é dispensável.

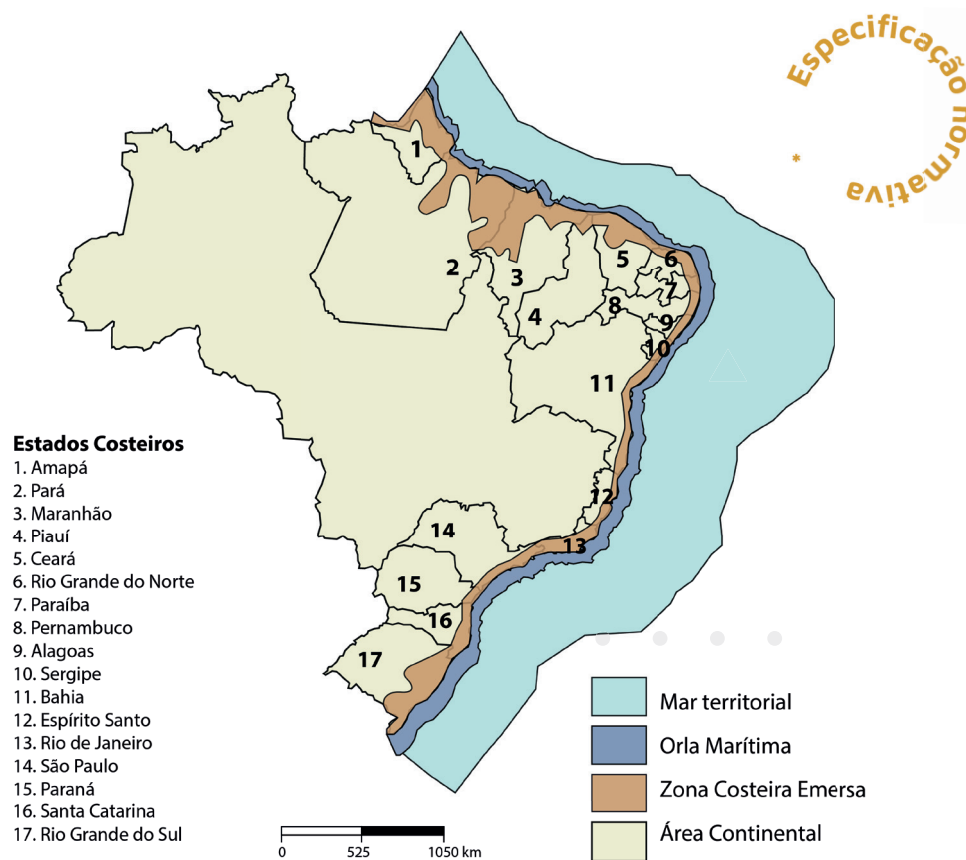


Figura 12 – (à esquerda). Estados costeiros e faixas de influência do mar. Fonte: figura extraída de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/32/326007/html/index.html>

A NBR 15116: 2021 estabelece o controle da origem do RCD para se estabelecer os possíveis tipos de ARs: ARCO (resíduo de concreto puro), ARCI (mistura de resíduos de concreto, argamassa), e ARM (mistura de resíduos cimentícios e cerâmica vermelha). Não é possível diferenciar visualmente, com clareza, a origem do AR, após a britagem. Assim, a composição do resíduo deve ser aferida antes da britagem do material. Para fins práticos, um ARCI puro, com absorção de água inferior a 7% poderia ser enquadrado como um ARCO.

A norma não estabelece requisitos mínimos específicos relacionados à composição; apenas recomendações, conforme Tabela 7, com relação ao teor de cerâmica vermelha presente no AR; 0%, 10% e 40% de cerâmica vermelha na composição para os diferentes tipos de ARs, ARCO, ARCI e ARM, respectivamente. Esse parâmetro é apenas um indicativo, que não impede a comercialização do AR caso esteja ligeiramente fora de especificação.

Esse indicativo foi construído considerando que essa a mudança da composição do AR (aumento do teor de cerâmica vermelha no AR) afeta diretamente um dos parâmetros principais da qualidade do AR, a absorção de água (relacionado à sua porosidade). Assim, geralmente, quando os teores ultrapassam esses limites fica difícil atender os limites máximos estabelecido – para a absorção de água – de 7% para o ARCO, e 12% para o ARCI ou ARMI.

Tabela 7 - Recomendações quanto ao teor limite de cerâmica vermelha nos tipos de ARs, e a adoção das faixas granulométricas de referência da NBR 7211: 2009 [18].

| Ensaio | | Limite sugerido | Método de ensaio |
|---|---|-----------------|------------------------|
| Teor de cerâmica vermelha ou branca não polida (G3) | Classe ARCO | 0% | Anexos A e B |
| | Classe ARCI | < 10% | |
| | Classe ARMI | < 40% | |
| Granulometria | Agregado graúdo, natural, artificial ou reciclado | 4,75/12,5 mm | NBR NM 248: 2003 [23] |
| | | 9,5/25 mm | |
| | | 19/31,5 mm | |
| | | 37,5/75 mm | |
| | Agregado miúdo, natural, artificial ou reciclado | Zona utilizável | NBR NM 248 : 2003 [23] |
| Zona ótima | | | |

De maneira similar, não existe a obrigação de seguir necessariamente as faixas granulométricas estabelecidas para se confeccionar um concreto. Essas são indicativos técnicos, baseados nas práticas usuais de comercialização de agregados, naturais ou reciclados, faixas que auxiliam na obtenção de produtos cimentícios convencionais, com baixo consumo de água e de cimento. Uma vez que são indicativos antigos, não foram desenvolvidos considerando a existência de aditivos dispersantes (plastificantes e superplastificantes), que conseguem contornar partes dessas limitações.

Assim, não há necessidade de restrição, deixando para fabricantes de agregados, naturais ou reciclados, e materiais de construção a liberdade de desenvolverem produtos mais competitivos, mesmo que usando agregados, naturais ou reciclados, fora de especificações tradicionais. Existe o mesmo entendimento hoje nas normas de agregados naturais e artificiais, obtidos por britagem de rochas, como a areia de britagem.

Obviamente, a mudança do tipo do AR vai implicar em produzir mais ou menos finos durante a britagem do resíduo. Esse parâmetro, teor de finos abaixo da peneira de 0,075 mm de abertura de malha, afeta muito a demanda de água [12], por serem materiais muito finos, com granulometria próxima a do cimento. Aqui talvez esteja a maior diferença entre o ARCO, e o ARCI. O ARCI possui teores de finos que podem ultrapassar os teores limites especificados [24,25], e deve-se ter cuidado para não se obter produtos com consumo elevado de cimento, o que é indesejável do ponto de vista econômico e ambiental.

Métodos de dosagem de concreto convencionais dificilmente conseguem contornar essas limitações com uso de aditivos, havendo necessidade de se repensar radicalmente as frações e controle granulométrico dos agregados, naturais ou reciclados, e finos. Por isso, esses valores máximos foram estabelecidos como exigências, assim como nas normas de agregados naturais e artificiais; ou seja, até 12%, dependendo da condição de exposição concreto.

Agindo dessa forma, os ensaios de controle de qualidade de ARs são de baixa complexidade, e baixo custo. Os ensaios requerem um funcionário treinado para identificar os materiais presentes e realizar a catação de impurezas (Figura 13), como, por exemplo, de cerâmica vermelha.



Figura 11 - -
Classificação dos materiais presentes nos agregados reciclados pelo ensaio de catação. O método só é aplicado na fração graúda (acima de 4,8 mm). Fonte: S. C. Angulo.

As diferentes classes de materiais são pesadas, e as suas massas determinadas. Os teores percentuais são expressos entre as massas de cada classe de material constituinte, em relação à massa total de AR. Esse é método mais adotado, e corresponde ao adotado pela norma brasileira. No caso dos agregados miúdos reciclados (anexo B, NBR 15.116 [8]), a composição é feita por contagem das classes de partículas (entre 4,8 mm e 2,4 mm), e os teores percentuais, expressos em relação ao total de 300 partículas observadas na lupa (para garantir boa representatividade estatística), similar ao ensaio petrográfico.

O ensaio de granulometria requer uma balança e um conjunto de peneiras. Com uma estufa (ou simples fogareiro), pode-se realizar a secagem do material, necessária no ensaio de granulometria, teor de finos (Figura 14) e absorção de água dos ARs.



Figura 14 – Ensaio de lavagem e determinação dos finos nos agregados, naturais ou reciclados. Usa-se a peneira de abertura de malha de 0,075 mm.
Fonte: google imagens.

A norma também permite uma livre negociação entre produtor de AR e fabricante de materiais cimentícios, para estabelecer tamanhos de lotes e fornecimento de laudos de qualidade, que especificam a qualidade mínima do AR. Isso torna mais flexível o entendimento entre as partes, com a possibilidade de reduzir custos daqueles que conseguem controlar bem a qualidade e a variação dessa nas usinas de reciclagem.

A norma dá diretrizes de formação de lote mínimo de 300 m³, o que numa usina de reciclagem pequena, seria inferior a 1 mês de produção de AR. É preciso um controle mínimo, ou espaçar, dando flexibilidade, quando se tem qualidade na produção.

Vale ressaltar que, para uso em materiais cimentícios, outras propriedades são mais importantes, tais como o teor de finos e a absorção de água do AR.

4.3 Usos em obras de infraestrutura (geotecnia, saneamento)

Nestas aplicações, as normas técnicas da ABNT regulamentam geralmente os serviços de execução, como a norma de valas (NBR 12266: 1992 [23]), e a de controle de estabilidade de taludes (NBR 11682 [24]). Não se discute a especificação detalhada dos materiais, ou esta depende das características dos materiais disponíveis, dimensionada pelo projetista geotécnico.

Empresas que realizam obras de saneamento também costumam ter especificações de uso interno como a SABESP, ou CONGÁS, e até mesmo, grandes empresas de infraestrutura como a Petrobrás, ou especificações de prefeituras. Algumas, geralmente as mais completas ou eficazes, são disseminadas para diferentes cidades, ou empresas, devendo ser analisada, caso a caso. Não cabe detalhar aqui, devido às diversas situações particulares de tais obras. Obras de drenagem são feitas por concessionárias de pavimentação, existindo especificações dos Departamentos de Estradas de Rodagem (DERs), ou do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).





5. Pavimentação



Existem tipicamente três tipos pavimentos (Figura 15) [4,28]. Os flexíveis, mais comuns podem ser usados desde vias de tráfego leve e menos movimentadas até vias de tráfego intenso e pesado. Abaixo da camada de revestimento asfáltico, o pavimento flexível é composto por bases e sub-bases granulares.

Os pavimentos semirrígidos e rígidos geralmente são usados em locais com tráfego pesado e intenso, tais como corredores de ônibus, grandes avenidas, ou rodovias com tráfegos intensos de caminhões. A sub-base é granular, mas a base pode ser cimentada. No caso do pavimento rígido, a base e revestimento normalmente são executados com concreto, compactado com rolo ou não.

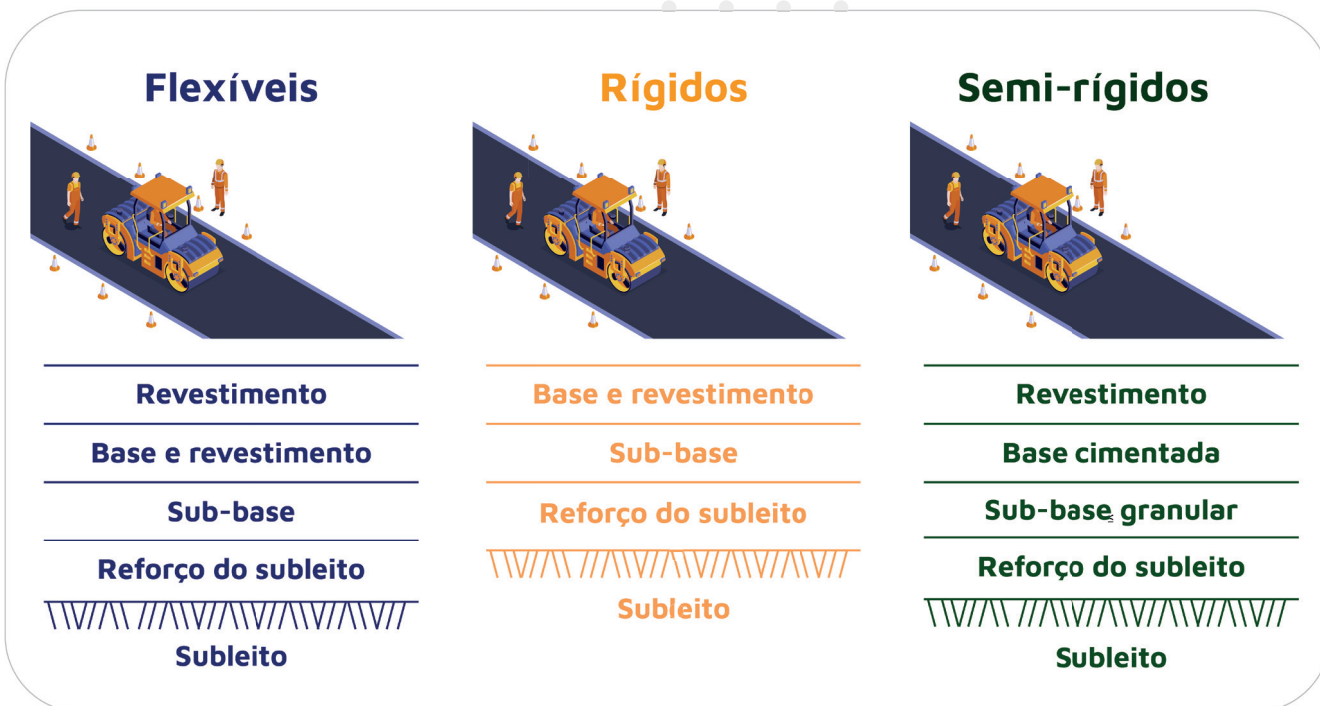


Figura 15 – Ilustração das camadas nos diferentes tipos de pavimentos. Extraído de [29], google imagens.

As espessuras das camadas são dimensionadas em projeto, procurando absorver as cargas cíclicas previstas durante a vida útil, mantendo-se em uso, com deformação reduzida, sem defeitos. Os pavimentos rígidos possuem menores espessuras porque são constituídos por camadas mais rígidas, e distribuem de maneira mais uniforme as tensões no pavimento, mais adequadas para o tráfego pesado.

Os ARs podem ser usados para preparar diversas dessas camadas, tais como reforço do subleito, sub-base e base, inclusive as camadas melhoradas com cal e cimento, e concretos compactados com rolo (ver na seção de concreto, inclusive os pisos intertravados). Assim, seu uso pode atender a concepção dos diferentes tipos de pavimentos, sejam estes flexível, rígido, semirrígido ou invertido, a depender do tráfego, espessura, se está como base ou sub-base nesta condição, e rigidez requerida pelo dimensionamento (para suportar as cargas).

5.1 Revestimento primário de vias, acessos provisórios

A perenização de estrada rural é uma atividade que envolve a melhoria no revestimento primário de vias (Figura 16), executada em estradas de terra (meio rural), e permite melhor trafegabilidade nestas vias até em estação de chuvas, realizando-se uma regularização e compactação mecânica do agregado, natural ou reciclado, sobre o próprio solo disponível na estrada de terra. É comum nas obras de construção, a execução de uma via provisória de acesso para veículos de descarga (Figura 17).



Figura 16 – Revestimentos primários de vias, realizando perenização de estradas de terra. Fonte: ABRECON.



Figura 17 – Vias de acesso provisória em obras de construção civil com AR. Fonte: ABRECON.

Para usar os ARs é preciso realizar o ensaio de compactação da bica corrida, para se definir a umidade ótima de compactação, bem como realizar o ensaio de determinação do CBR (Tabela 8) [4], que parametriza a capacidade de suporte, expressa em valor relativo, cujo mínimo é 20% [5]. A expansibilidade é avaliada por imersão do corpo de prova, e realização de medidas, expressando percentualmente a variação das dimensões do corpo de prova. O valor não deve ultrapassar 1%.

Tabela 8 – Requisitos técnicos específicos do produto: revestimento primário de via. NBR 15116: 2004 [5] ; ETS – 001/2003 [30]

| Propriedade | Limite | Norma |
|--|-----------------------|--|
| Índice de Suporte Califórnia (CBR) ² | ≥ 20 % | NBR 9895: 2016 [31] |
| Expansibilidade ² | ≤ 1,0 % | NBR 9895: 2016 [31] |
| Energia de compactação ³ | Normal | NBR 7182: 2016 [32]) |
| Espessura mínima de camada compactada ⁴ | 8 cm | NBR 1511 [29]5: 2004 [33] ETS – 001/2003 [30] |
| Espessura máxima de camada compactada ⁵ | 20 cm | |
| Umidade de compactação do material ¹ | umidade ótima ± 1,5 % | |
| Grau de compactação G.C | no mínimo 100% | |

* Permitted use for roads with $N \leq 106$ repetitions of the standard axle of 8,2 tf (80 kN) in the project period.

**Em relação à umidade ótima obtida em laboratório (ensaio de compactação, na energia Proctor normal)

É utilizado o ensaio de Proctor em energia normal, padronizando a altura de queda do cilindro de 2,5 kg (Figura 18). A massa específica seca máxima e a umidade ótima mudam em função do tipo de AR usado. Em campo, a massa específica obtida na compactação é comparada com a do ensaio de laboratório, devendo atingir, no mínimo, o mesmo valor, ou seja, 100% do valor previsto pelo ensaio.

C.S. Poon, D. Chan / *Construction and Building Materials* 20 (2006) 578–585

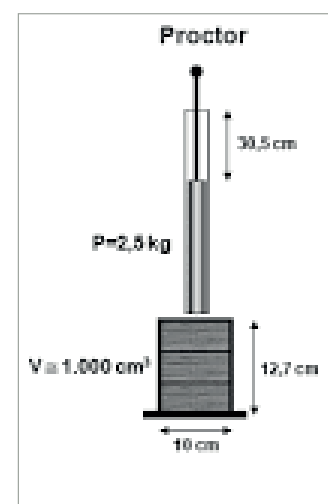
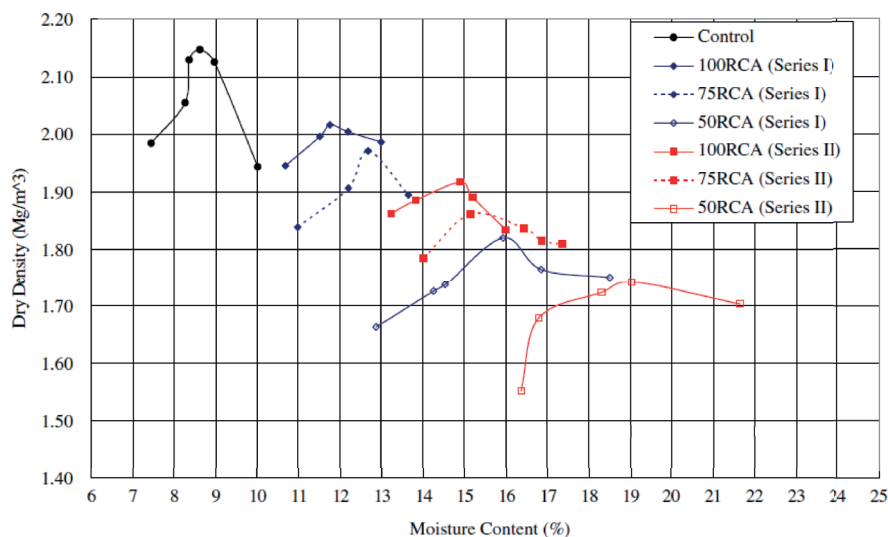


Figura 18 – Curva de compactação para ARCO e ARM (com cerâmica vermelha). O gráfico foi extraído de [34]

Nesse tipo de aplicação, bicas corridas recicladas de ARCO, ARCI ou ARMI são viáveis tecnicamente (Tabela 9), em substituição total aos agregados naturais ou artificiais. Dois exemplos de bica corrida reciclada mista são apresentados na .

Não é possível informar uma quantidade tipicamente consumida de bica corrida nesta aplicação porque depende muito das condições e do solo local, podendo variar significativamente a espessura executada.

Tabela 9 - Tipos de ARs e teor de substituição: revestimento primário.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|---------------|---------------|
| Bica corrida | BC CO 000-050 | BC CI 000-050 | BC MI 000-050 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 100% (kg/kg) | | |

5.2 Reforço de subleito (RS), sub-bases (SB) e bases (BA)

O reforço de subleito pode ser feito com rachão reciclado, onde neste caso o rachão pode funcionar como um “estabilizante” do solo local se este tiver baixa capacidade de suporte (Figura 19). Na camada de sub-base pode ser usada bica corrida reciclada (Figura 20), com certa especificação granulométrica (Figura 21). A camada de base pode ser obtida por uma mistura de areias e britas recicladas, gerando um AR composto, denominada brita graduada reciclada simples (Figura 23), também com certa especificação granulométrica (Figura 24).



Figura 19 – Obra de pavimentação: escavação do solo local e reforço do subleito com rachão reciclado misto. Fonte: [35]

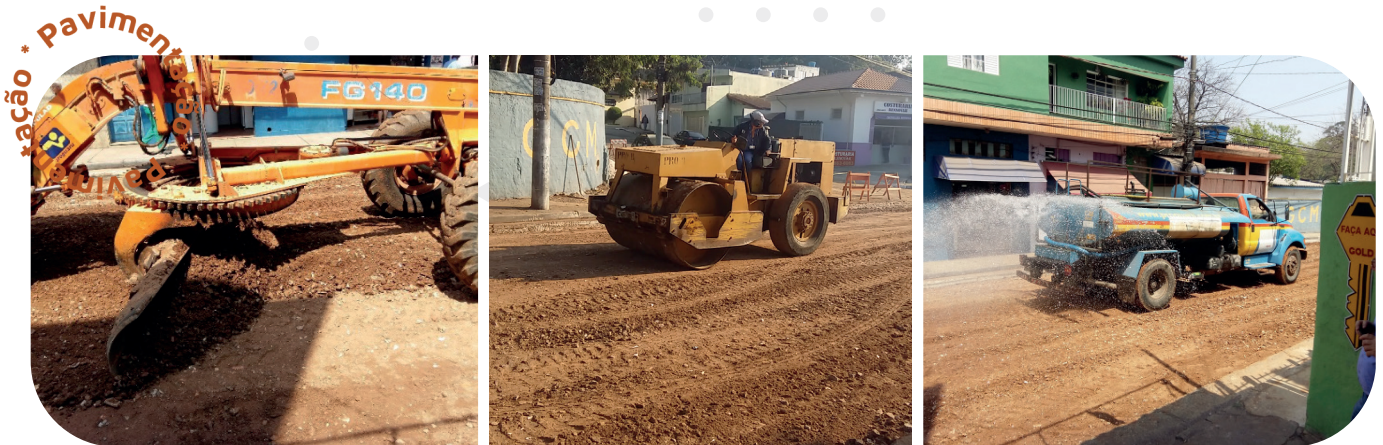


Figura 20 – Sequência de execução de uma sub-base de pavimento flexível com bica corrida reciclada mista. Fonte: IPT.

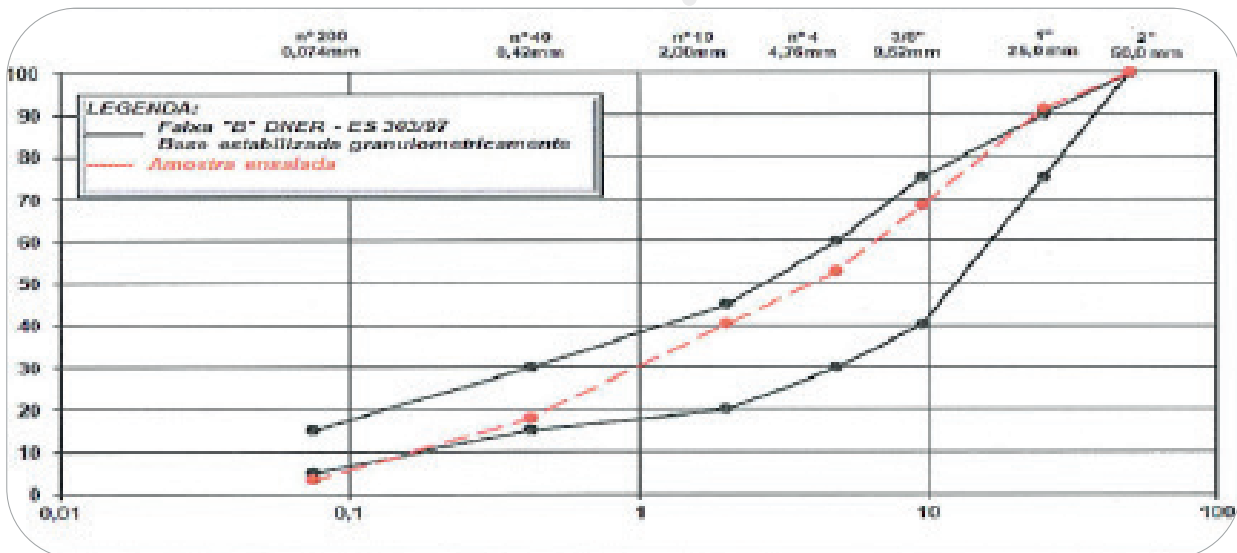
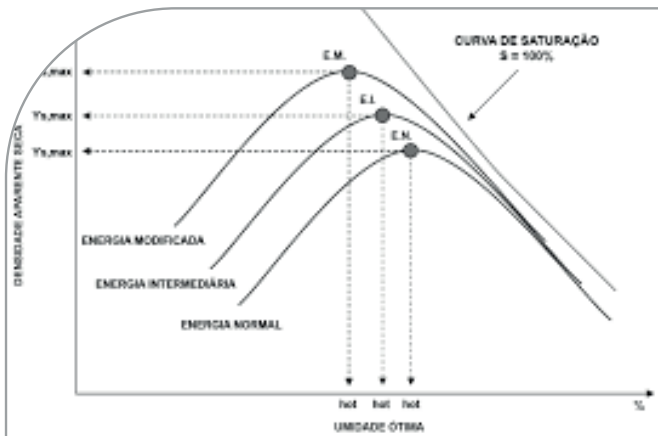


Figura 21 – Granulometria da bica corrida reciclada e os limites da faixa granulométrica B indicada pelo DNER. Fonte: extraído de ficha técnica de produto, Odebrecht Ambiental, autoria de Marcelo Alarsa.

O teor de cerâmica vermelha no ARM afeta o teor de umidade ótimo [34]; ou seja, aquele que resulta na melhor condição de compactação do material, para uso como sub-bases de pavimento (Figura 18). Para uma aplicação adequada, é importante fazer ensaios de compactação e determinar/controlar a umidade ótima e densidade máxima de compactação.

Como pode ocorrer a quebra dos AR devido à energia de compactação usada [9,10], estudos indicam que a energia deve ser, no mínimo, intermediária (Figura 22), favorecendo o processo de quebra já na execução da obra, antes da liberação de uso, o que poderia aumentar o intertravamento dos grãos e aumentar a rigidez do material (por reações de cimentação tardia, inerente ao material) ainda na fase de construção.



Pavimentação
Pavimentação
Pavimentação

Figura 22- Efeito da energia do ensaio de proctor na curva de compactação de um material granular.



Figura 23- Brita graduada reciclada cimentícia (granulometria, com dimensão inferior a 25 mm) e execução de camada de base. Fonte: google imagens.

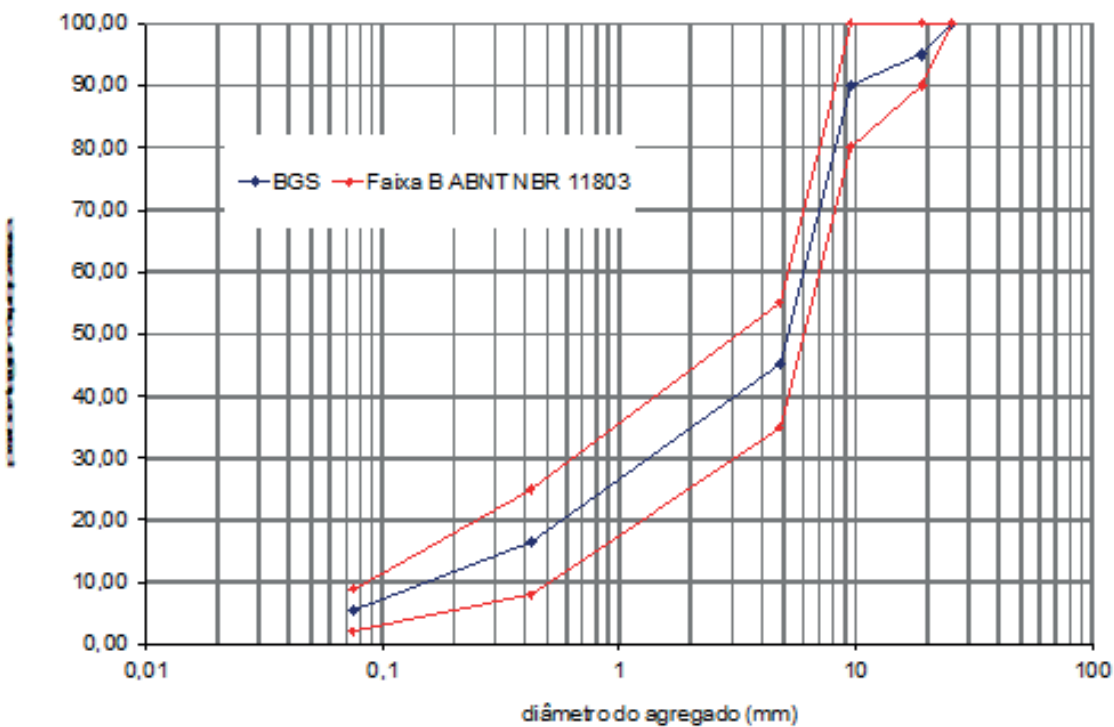


Figura 24 - Granulometria da brita graduada simples (BGS): intervalo. Fonte: IPT.

A Tabela 10 apresenta os requisitos técnicos exigidos para o reforço de subleito, sub-base e bases granulares.

Tabela 10 – Requisitos técnicos específicos do produto: reforço de subleito, sub-bases e bases granulares [30,33]

| Aplicação | Índice de Suporte Califórnia (CBR) NBR 9895 [31] | Expansibilidade ² | Energia de Compactação (NBR 7182[32]) |
|---------------------|--|------------------------------|---------------------------------------|
| Reforço de subleito | ≥ 12 % | ≤ 1,0 % | Normal |
| Sub-base | ≥ 20 % | ≤ 1,0 % | Intermediária |
| Base (3) | ≥ 60 % | ≤ 0,5 | Intermediária ou modificada |

Todos os tipos de ARs, em substituição total aos agregados naturais ou artificiais podem atender os usos no reforço de subleito, e camadas de sub-base e base (neste último caso aplicados em condição de tráfego leve) (Tabela 11). Para a camada de base o ARCO e ARCI (que geralmente são mais resistentes) atendem com mais facilidade as exigências técnicas. O consumo de agregados, naturais ou reciclados, por Km de via pode variar bastante. Uma estimativa inicial está apresentada na Tabela 12.

Tabela 11 – Tipos de AR e teor de substituição: camadas de pavimentação.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|---------------|---------------|
| Rachão reciclado (reforço de subleito) | RR CO 050-075 | RR CI 050-075 | RR MI 050-075 |
| Bica corrida (sub-bases e bases) | BC CO 000-050 | BC CI 000-050 | BC MI 000-050 |
| Brita graduada (sub-bases e bases) | BG CO 000-025 | BG CI 000-025 | BG MI 000-025 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 100% (kg/kg) | | |

Tabela 12 - Estimativa inicial de Consumo de agregados, naturais ou reciclados, por camadas de pavimentação.

| Consumo de materiais por Km de via | |
|------------------------------------|------------------------|
| Subbase | 115 m ³ /Km |
| Base | 154 m ³ /Km |

5.3 Bases tratadas com cimento e cal (BT)

A camada de base de graduada simples reciclada pode ser melhorada com cimento ou cal. Adiciona-se até 4% em massa à brita, compondo um material com propriedades similares a bases de solo cimento ou de brita graduada tratada com cimento (BGTC) (Figura 25).



Figura 25 – Brita reciclada mista, tratada com cimento. Finos do ARM podem ser usados para reciclar inclusive o próprio cimento. Fonte: IPT.

A base de brita graduada com cal ou cimento deve atender requisitos similares a base de solo cimento (Tabela 13) ou de base granular tratada com cimento (Tabela 14).

Tabela 13 – Critério para base de solo cimento. NBR 12254: 2013 [36]

| Consumo de materiais por Km de via | |
|-------------------------------------|------------------|
| Propriedade | Valor estipulado |
| Resistência à compressão aos 7 dias | > 2,1 MPa |

Tabela 14 – Critério para uso da brita graduada tratada com cimento. NBR 11803: 2013 [37]

| Consumo de materiais por Km de via | |
|-------------------------------------|---------------------|
| Propriedade | Valor estipulado |
| Resistência à compressão aos 7 dias | Entre 3,5 e 8,0 MPa |

Nota: estes valores são alcançáveis quando se usa cimento e AR, mas em idades de controle superiores a 7 dias

Na camada de base, adiciona-se cal ou cimento a brita graduada simples, natural ou reciclada (Tabela 15). A estimativa inicial relativa ao consumo do AR na base é a mesma apresentada no item 5.2.

Tabela 15 – Tipos de ARs e teor de substituição: pavimento rígido.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|---------------|---------------|
| Brita graduada tratada com cal ou cimento | BT CO 000-025 | BT CI 000-025 | BT MI 000-025 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 100% (kg/kg) | | |

5.4 Trabalhos acadêmicos, livros

Tabela 16 apresenta uma lista parcial de trabalhos acadêmicos e livros encontrados.

Tabela 16 – Lista parcial de trabalhos acadêmicos de pavimentos com ARs: mestrados e doutorados, e livros.

| Autor | Título | Universidade | Ano | Link de acesso | Ref |
|-------------------------|---|----------------|------|---|------|
| Cinconegui G. Fernandes | Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte para uso em pavimentação | Mestre, UFRJ | 2004 | http://www.coc.ufrj.br/pt/%20eosit%C3%B3rio%20-de-mestrado/104-msc-pt-2004/1915-cinconegui-da-graca-fernandes | [38] |
| João F. Dias | Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo | Doutorado, USP | 2004 | https://doi.org/10.11606/T.3.2004.tde-16122004-130717 | [39] |
| Rosângela Motta | Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego. | Mestrado, USP | 2005 | https://doi.org/10.11606/D.3.2005.tde-19072006-114729 | [9] |
| Fabiana Leite | Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos. | Mestrado, USP | 2007 | https://doi.org/10.11606/D.3.2007.tde-09012008-162141 | [10] |
| David Grubba | Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária | Mestrado, USP | 2009 | https://doi.org/10.11606/D.18.2009.tde-01122009-140152 | [40] |
| Alejandra M. G. Jiménez | Estudo experimental de um resíduo de construção e demolição (RCD) para utilização em pavimentação | Mestrado, UNB | 2011 | https://repositorio.unb.br/handle/10482/9514 | [41] |
| Livia Tiemi | Estudo de misturas de solo, RCD e cal virgem e hidratada para uso em obras rodoviárias | Mestrado, UNB | 2012 | https://repositorio.unb.br/handle/10482/12827 | [42] |
| Enio Amorim | Viabilidade técnica econômica de misturas de solo-RCD em camadas de base de pavimentos urbanos: estudo de caso: Município de Campo Verde – MT | Mestrado, UNB | 2013 | https://repositorio.unb.br/handle/10482/15206 | [43] |
| Patrícia B. Silva | Estabilização de misturas de resíduos sólidos de demolição e da indústria cerâmica para uso em camadas de pavimentos viários | Doutorado, USP | 2013 | https://doi.org/10.11606/T.3.2013.tde-03112014-113759 | [44] |
| Igor A. Beja | Agregado reciclado de construção e demolição com adição de aglomerantes hidráulicos como sub-base de pavimentos. | Mestrado, USP | 2013 | https://doi.org/10.11606/D.3.2013.tde-16102014-151237 | [45] |

| Autor | Título | Universidade | Ano | Link de acesso | Ref |
|--------------------|--|-----------------|------|---|------|
| Marcus Souza | Comportamento mecânico de um agregado reciclado como base de pavimento flexível a partir de um modelo físico | Doutorado, UNB | 2015 | https://repositorio.unb.br/handle/10482/19258 | [46] |
| Monigleicia Orioli | Estudo do uso de agregado reciclado de resíduos de construção e demolição em misturas solo-agregado | Mestrado, USP | 2018 | https://doi.org/10.11606/D.18.2018.tde-27092018-090352 | [47] |
| W. Teixeira | Comportamento mecânico de misturas solo, cal e RCD para uso em pavimentos | Mestrado, UTFPR | 2019 | https://portaldeinformacao.utfpr.edu.br/Record/riut-1-4201 | [48] |
| A. C. Barreto | Desempenho técnico de misturas de diferentes tipos de solos com RCD para uso em obras de pavimentação | Mestrado, UFRN | 2020 | https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/29499 | [49] |
| Valmir Bomfim | Pavimento Sustentável | | 2021 | ISBN 659913761X | [50] |



KOMPTECH



ENVIMAT

Enviroment & Material Handling

Tecnologia em Meio Ambiente

Somos especializados em fornecer soluções completas em projetos de Reciclagem, Tratamento de Resíduos e Movimentação de Materiais.

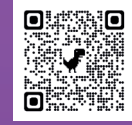


envimat.com.br
(16) 2121-0865

SIGA-NOS
NO INSTAGRAM



Escaneie ou clique
no QR Code



6. Argamassas (ARG)



Argamassas representam metade do mercado de cimento brasileiro [117], sendo um material muito difundido na construção convencional e autoconstrução.

Esses materiais compõem o sistema construtivo de um piso, a camada de assentamento de blocos e tijolos nas alvenarias e as diferentes camadas do revestimento de paredes, que recebem acabamento (de pintura ou de revestimento cerâmico). Argamassas colantes são ainda usadas para aderir o revestimento cerâmico, em pisos ou paredes.

Areias recicladas, principalmente as cimentícias, podem empregadas em argamassas não estruturais [118,119], como as usadas no assentamento de blocos em paredes de alvenaria, ou revestimentos internos (protegidas do meio externo). O uso das areias recicladas podem ser uma alternativa viável e comercialmente interessante, especialmente em cidades onde o custo da areia natural é muito elevado, devido às longas distâncias das jazidas.

Grautes, microconcretos ou determinados tipos de argamassas estruturais possuem controle rígido de resistência e retração, podendo ser incompatível com determinadas características do AR.

O uso de AR na argamassa pode alterar propriedades importantes deste material, implicando, por exemplo, em redução de resistência de aderência e aumento da fissuração do revestimento, aumento da permeabilidade, etc [118,119]. Cuidados devem ser tomados, para desenvolver produtos compatíveis com o desempenho esperado na edificação.

Assim, a areia reciclada tende a ser direcionada a serviços menos exigentes como argamassas de assentamento, ou revestimento interno das edificações. Nessas aplicações a areia destaca-se pelo menor custo e, quando otimizada, pode reduzir a adição de cimento ou cal, a depender da aplicação desejada, visto que seu teor de finos elevado pode conferir à massa coesão e retenção de água suficientes para baixas resistências. Teores de finos excessivos na argamassa pode elevar demasiadamente a demanda de água e causar fissuração na argamassa [118,119]. Por isso, seu controle e formas de corrigir com aditivos são cruciais para um bom desempenho técnico do produto.

A propriedade fundamental de uma argamassa não é sua resistência mecânica, e sim seu módulo de elasticidade reduzido [120], que torna o material capaz de absorver deformações das paredes durante ciclos térmicos, de molhagem e secagem (dias de chuva e secos). O controle de parâmetros reológicos da argamassa é fundamental para a aplicação [121], incluindo a energia de adensamento do material, que ocasiona defeitos de interface e prejudica a adesão da argamassa à parede [122].

Demonstrações práticas da operação de reciclagem e uso de areia reciclada em argamassas foi feito com sucesso em construtoras na cidade de São Paulo-SP, usando resíduos triados dentro da própria obra e dosando a argamassa dentro dessas obras, com teores de até 20% de substituição da areia natural pela reciclado [123]. No caso dessa construtora, a dosagem da areia era feita em sacos de agregado natural (em volume), e sacos de cimento e cal, em massa, e produzida dentro da própria obra. Nem todas as construtoras optam por produzir argamassas dentro do canteiro, sendo, assim uma particularidade (não uma regra para o setor).

O interessante foi reduzir em mais de 50% o volume de resíduo transportado e destinado a outros locais, para o aproveitamento. Pequenos recicladores entravam na obra, realizando serviços terceirizados de reciclagem (com britadores portáteis, de pequena dimensão) e fornecendo a areia reciclada já ensacada, no local de dosagem de argamassa da obra. A dosagem em massa e uso de argamassas de caráter mais industrializado (contendo vários aditivos) pode ser preferível em parte dos casos práticos, pois aumentou a produtividade da mão de obra, havendo outros ganhos e fatores usados na decisão por um determinado tipo de material.

6.1 Contrapiso (CP)

Contrapiso (Figura 26) é geralmente executado com uma argamassa de consistência seca, que, após processo de compactação, passa por processo de regularização da superfície, por meio de desempenadeira de madeira.



Figura 26 - Execução de argamassa de contrapiso, consistência seca. Fonte: google imagens, ABRECON.

A Tabela 17 apresenta os requisitos importantes para um contrapiso, que podem ser complementados por outros testes de avaliação de desempenho como os sugeridos no manual da CBIC [1].

Tabela 17 - Requisitos técnicos específicos do produto: argamassa de contrapiso [124].

| Propriedade | Parâmetros | |
|---|-------------|-----|
| Espessura mínima | ≥ 2cm | |
| Impacto a bola (1) | ≤ 26 ± 3 mm | |
| Resistência de aderência aos 7 dias (N/mm ²) (1) | À base | 0,3 |
| | Superficial | 0,7 |
| Resistência de aderência aos 14 dias (N/mm ²) (1) | À base | 0,5 |
| | Superficial | 1,0 |

Todos os tipos de areias recicladas podem atender o uso (Tabela 18), em teores de substituição da areia natural em até 100%. Atenção especial deve ser dada ao teor de finos (abaixo de 0,15 mm), devendo estar atento ao teor total de finos, controle de demanda de água, e compensação desta demanda por aditivos.

Tabela 18 – Tipos de AR e teor de substituição: argamassa de contrapiso.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|---------------|---------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 | AF CI 000-001 | AF MI 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 | AM CI 001-002 | AM MI 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 | AG CI 001-004 | AG MI 001-004 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 100% (kg/kg) | | |

Uma composição de contrapiso foi obtida dos cadernos do SINAPI [125], e adaptada visando o uso do AR, prevendo 50% de teor de substituição da areia natural pela reciclada (Tabela 19), que sabe-se ter menor retração e risco de fissuração.

Tabela 19 – Consumos de materiais para o produto: argamassa de contrapiso [125]. Consistência: ponto de farofa.

| Consumo de argamassa Referência: mercado Alternativamente pode ser a de SINAPI [125] | 0,030 / m ² piso |
|--|---|
| TRACO EM VOLUME 1: 2: 2,5 (CIMENTO: AREIA NAT SECA: AREIA REICLADA SECA) | Consumo dos materiais por m ³ de concreto |
| Cimento (kg) | 318 |
| Areia média reciclada natural (kg) | 955 |
| Areia média reciclada (kg) | 955 |
| Consumo de água - pré-saturação da areia reciclada (kg) | 47 (p/ ARCO e ARCI) 80 (p/ ARMI) |
| Água efetiva (kg) | 159 |

6.2 Argamassa de assentamento (AA)

Argamassa de assentamento (Figura 27) é usada para assentar e unir tijolos e blocos formando as paredes de alvenaria. É um elemento construtivo importante para conferir estanqueidade à água das paredes.



Figura 27 - Argamassa de assentamento em paredes de alvenaria. Fonte: ABRECON.

Não há requisitos técnicos específicos exigidos para a argamassas, apenas construtivos (Tabela 20). Todos os tipos de areias reciclada são aplicáveis (Tabela 21), em teores de substituição da areia natural pela reciclada em até 100%. Uma composição de argamassa de assentamento foi obtida dos cadernos do SINAPI [125], e adaptada prevendo o uso do AR (Tabela 22), com teor de substituição de 50% da massa, procurando evitar retração exagera por secagem ou fissuração.

Tabela 20 - Requisitos técnicos da argamassa de assentamento. NBR 13281: 2005 [126]

| Requisitos técnicos específicos do produto | |
|--|----------------------|
| Espessuras admissíveis de revestimento | |
| Superfície de revestimento | Espessura (e) mm |
| Espessura de junta de assentamento | $1 \leq e \leq 2$ cm |

Tabela 21 - Tipos de AR e teor de substituição: argamassa de assentamento.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|---------------|----------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 | AF CI 000-001 | AF MI 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 | AM CI 001-002 | AM MI 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 | AG CI 001-004 | AG MI- 001-004 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 100% (kg/kg) | | |

Tabela 22 – Consumos de materiais para o produto: argamassa de assentamento. [125]
Consistência de referência: 250 mm.

| Consumo de argamassa Referência: mercado Alternativamente use a de SINAPI [125] | | 0,030 / m ² piso |
|---|--|---|
| TRAÇO EM VOLUME – SINAPI adaptado 1: 1: 3: 3,8 (CIMENTO: CAL: AREIA MÉDIA SECA: AREIA MÉDIA RECICLADA SECA) | | Consumo dos materiais por m ³ de concreto |
| Cimento (kg) | | 186 |
| Cal CH-I (kg) | | 93 |
| Areia média natural (kg) | | 838 |
| Areia média reciclada (kg) | | 838 |
| Consumo de água – pré-saturação da areia reciclada (kg) | | 40 (p/ ARCO e ARCI) 62 (p/ ARMI) |
| Água efetiva (kg) | | 159 |

6.3 Revestimento de argamassa (RA)

O revestimento de argamassa tradicional (Figura 28) é composto por 3 camadas distintas: chapisco, emboço e reboco. Cada camada usa uma composição específica de argamassa. Cada camada tem uma função específica. O chapisco é usado para criar rugosidade sobre o substrato, e usa areia grossa. O emboço e reboco, às vezes, são constituídos de mesma argamassa, e é usada para regularizar e dar acabamento à superfície, usando, geralmente, areia média, e fina, nos casos que se pretende melhorar o acabamento superficial.

Sob esta superfície, pode ser feito acabamento em sistema de pintura, ou cerâmica, no caso de áreas impermeabilizadas.

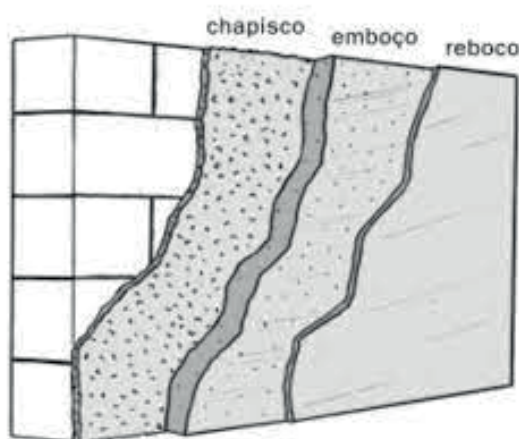


Figura 28 – Sistema de revestimento de argamassa tradicional. Fonte: google imagens, ABRECON.

Argamassas de revestimento devem atender os requisitos técnicos estabelecidos por algumas normas técnicas da ABNT, tanto o produto em si (Tabela 23), quanto o revestimento executado na parede (Tabela 24).

Tabela 23 – Especificações técnicas do produto: argamassas para revestimento. NBR 13281: 2005 [126]

| Características | Identificação ¹ | Limites | Método |
|--|----------------------------|-------------------------|-----------|
| Resistência à compressão aos 28 dias (Mpa) | I | $\geq 0,1$ e $< 4,0$ | NBR 13279 |
| | II | $\geq 4,0$ e $\leq 8,0$ | |
| | III | $> 8,0$ | |
| Capacidade de retenção de água (%) | Normal | ≥ 80 e ≤ 90 | NBR 13279 |
| | Alta | > 90 | |
| Teor de ar incorporado (%) | a | < 8 | NBR 13278 |
| | b | ≥ 8 e ≤ 18 | |
| | c | > 18 | |

Tabela 24 – Especificações técnicas do produto: revestimento de argamassa. NBR 13749: 2013 [127]

| Local | Acabamento | Resist ader (%) |
|--|-----------------------------|-----------------|
| Parede Interna | Pintura ou base para reboco | $\geq 0,20$ |
| | Cerâmica ou laminado | $\geq 0,30$ |
| Teto | - | $\geq 0,20$ |
| Espessuras admissíveis de revestimento | | |
| Espessura (e) mm | Espessura (e) mm | |
| Parede Interna | $5 \leq e \leq 20$ | |
| Teto | $e \leq 20$ | |

Todos os tipos de areias recicladas podem ser empregados (Tabela 25), sendo possível teores de substituição de até 100% da massa.

Uma composição de argamassa de revestimento foi obtida dos cadernos do SINAPI [125], e adaptada prevendo o uso das areias recicladas (Tabela 26), com teor de substituição de 50% da massa, procurando evitar retração exagerada por secagem ou fissuração.

Tabela 25 – Tipos de AR e teor de substituição: revestimento de argamassa.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|---------------|----------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 | AF CI 000-001 | AF MI 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 | AM CI 001-002 | AM MI 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 | AG CI 001-004 | AG MI- 001-004 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 100% (kg/kg) | | |

Tabela 26 – Consumos de materiais para o produto: argamassa de emboço interno. Consistência de referência: 250 mm.

| Consumo de argamassa Referência: mercado ou alternativamente usar a de SINAPI - cod 87287 | | 0,130 / m ² de área construída |
|---|--|---|
| TRAÇO EM VOLUME – SINAPI adaptado 1: 1: 3: 3,8 (CIMENTO: CAL: AREIA FINA SECA: AREIA FINA RECICLADA SECA) | | Consumo dos materiais por m ³ de concreto |
| Cimento (kg) | | 186 |
| Cal CH-I (kg) | | 93 |
| Areia média natural (kg) | | 838 |
| Areia média reciclada (kg) | | 838 |
| Consumo de água – pré-saturação da areia reciclada (kg) | | 40 (p/ ARCO e ARCI) 62 (p/ ARMI) |
| Água efetiva (kg) | | 159 |

6.4 Revestimento (massa única) (RU)

O revestimento de argamassa pode ser executado com camada única de argamassa (Figura 29), geralmente industrializada, cuja formulação não é totalmente declarada, e depende das matérias-primas (agregados e aditivos) disponíveis.

A Tabela 27 apresenta os requisitos técnicos que argamassa camada única deve atender.



Figura 29 – Revestimento de argamassa: camada única.
Fonte: ABRECON.

Tabela 27 – Requisitos técnicos específicos do produto: argamassa de revestimento camada única (NBR 13749: 2013 [127])

| Características | Identificação ⁴ | Limites |
|--|---|---------------|
| Resistência à compressão aos 28 dias (MPa) (NBR 13279[128]) | I | ≥ 0,1 e < 4,0 |
| | II | ≥ 4,0 e ≤ 8,0 |
| | III | > 8,0 |
| Capacidade de retenção de água (%) (NBR 13277 [129]) | Normal | ≥ 80 e ≤ 90 |
| | Alta | > 90 |
| Teor de ar incorporado (%) (NBR 13278[130]) | a | < 8 |
| | b | ≥ 8 e ≤ 18 |
| | c | > 18 |
| Resistência de aderência à tração (MPa) (NBR 15258[131]) | Parede interna: Pintura ou base para reboco | ≥ 0,20 |
| | Parede interna: Cerâmica ou laminado | ≥ 0,30 |
| | Teto | ≥ 0,20 |
| Espessuras admissíveis de revestimento | | |
| Superfície de revestimento | Espessura (e) mm | |
| Parede Interna | 5 ≤ e ≤ 20 | |
| Teto | e ≤ 20 | |

⁴ Exemplo de identificação de argamassa: I-Normal-a.

Todas as areias recicladas podem ser usadas, de forma similar às usadas nos itens 8.1 a 8.3. Não se tem formulação para indicar. Recomenda-se tentar adaptar algumas das composições apresentadas na tese de Alonso [121], para se encontrar uma condição que atenda aos requisitos técnicos. O uso do aditivo incorporador de ar é fundamental, e realiza função similar a dos finos. Ajustes tecnológicos são necessários, dependendo das matérias-primas disponíveis no contexto.

6.5 Trabalhos acadêmicos, livros

A Tabela 28 apresenta uma lista parcial de trabalhos acadêmicos e livros encontrados.

Tabela 28 – Lista parcial de trabalhos acadêmicos e livros encontrados.

| Autor | Título | Universidade | Ano | Link de acesso | Referência |
|---------------------|--|--------------------|------|---|------------|
| L. F. R. Miranda | Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado | USP, Mestrado | 2000 | https://ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Dissert_Leonardo_Miranda_-_Fissuracao_Argamassa_de_RCD_Reciclado.pdf | [118] |
| L. F. R. Miranda | Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos Classe A da construção civil | USP, Doutorado | 2005 | https://repositorio.usp.br/item/001488651 | [119] |
| M. Oliveira | Agregado reciclado de construção e demolição: influência em propriedades de argamassas para revestimento | UEFS, Mestrado | 2012 | http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/982 | [132] |
| L. F. Jochem | Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD: características físicas e propriedades da microestrutura | UFSC, Mestrado | 2013 | http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/99239 | [133] |
| G. Hawlitscheck | Caracterização das propriedades de agregados miúdos reciclados e a influência no comportamento reológico de argamassas | USP, Mestrado | 2014 | https://doi.org/10.11606/D.3.2014.tde-22052015-150106 | [134] |
| S. Heineck | Desempenho de argamassas de revestimento com incorporação da fração miúda da britagem de concreto | Unisinos, Mestrado | 2018 | http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/4351 | [135] |
| H. Carasek e outros | Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento | Revista Cerâmica | 2018 | https://doi.org/10.1590/0366-69132018643702244 | [136] |

Escaneie ou clique
no QR Code



7. Concretos não estruturais (CNE)



Foram incluídos nesta sessão todos os produtos cimentícios confeccionados com concretos de classes de resistência característica (f_{ck}) inferior a 20 MPa (menor que C20). Apenas o concreto do item 7.1 é de consistência seca (com abatimento abaixo de 40 mm, de uma família especial de concreto). Os demais concretos são plásticos, convencionais, ou seja, com abatimento usual acima de 80 mm.

ALTO DESEMPENHO PARA AS USINAS DE RECICLAGEM

SOLUÇÕES E EQUIPAMENTOS
CUSTOMIZADOS CAT®

**OS MELHORES RESULTADOS
PARA OS SEUS NEGÓCIOS.**

Só a Caterpillar® oferece a solução completa para sua usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição: máquinas e acessórios com tecnologias exclusivas, financiamento pela Cat® Financial, peças de reposição e o suporte do seu revendedor Cat.

Para fazer mais em menos tempo e aumentar a sua lucratividade, conte sempre com a qualidade e a confiabilidade Cat.



Como sugestão inicial, foram adaptados traços de base de dados como o SINAPI, TCPO e traços encontrados na literatura, considerando os dados da Tabela 1 para conversões de massa/volume e cálculo de água para pré-saturação.

Nestas bases de dados não há informação sobre relação água/cimento ou consumo de água recomendado. Assim, para definição da água efetiva em concretos plásticos, foi adotado o modelo de previsão de resistência do concreto reciclado proposto por Leonardo Machado (procurar seu trabalho em www.teses.usp.br, a partir de 2023), considerando cimento com classe de resistência 32MPa, e desvio padrão de 5,5 MPa para encontrar a resistência média à compressão, para determinado fck.

Estas sugestões são referenciais iniciais, os traços poderão ser otimizados conforme condições locais, inclusive podendo reduzir o consumo de cimento em alguns casos.

7.1 Blocos de vedação (BV)

Blocos de vedação (Figura 30) são elementos construtivos pré-moldados que compõem a alvenaria, com função apenas portante, sem função estrutural. São produzidos usando vibroprensas em fábricas de artefatos pré-fabricados de concreto, com variações dimensionais de produto para a mesma família de bloco (Figura 31). São usados concretos de consistência seca, abatimento inferior a 40 mm.

As especificações normativas que os blocos de vedação de concreto precisam atender estão apresentadas na Tabela 29. Vale ressaltar que segundo a NBR 12118:2013 [51], a resistência à compressão dos blocos considera a relação entre a carga de ruptura e a área bruta do corpo de prova submetido ao ensaio de compressão axial. Portanto, a resistência à compressão característica do bloco (fbk) é determinada a partir da seção do elemento, e não somente da resistência do concreto que o compõe.



Figura 30 – Bloco de vedação de concreto. Fonte: google imagens.

Concretos não estruturais

| Produto | Dimensões | Peso médio | Peças/m ² | Peças/paleta |
|---------------|----------------|------------|----------------------|--------------|
| Bloco | 14x19x39 cm | 10,9 kg | 12,5 | 120 |
| Meio bloco | 14x19x19 cm | 6,5 kg | 25,0 | 240 |
| Canaleta | 14x19x39 cm | 12,5 kg | 2,5* | 120 |
| Meia canaleta | 14x19x19 cm | 6,3 kg | 5,0* | 240 |
| Bloco 54 | 14x19x54 cm | 17,1 kg | 9,1 | 90 |
| Bloco 34 | 14x19x34 cm | 11,1 kg | 14,3 | 150 |
| Bloco Jota | 14x19x19x29 cm | 7,9 kg | 5,0* | 175 |

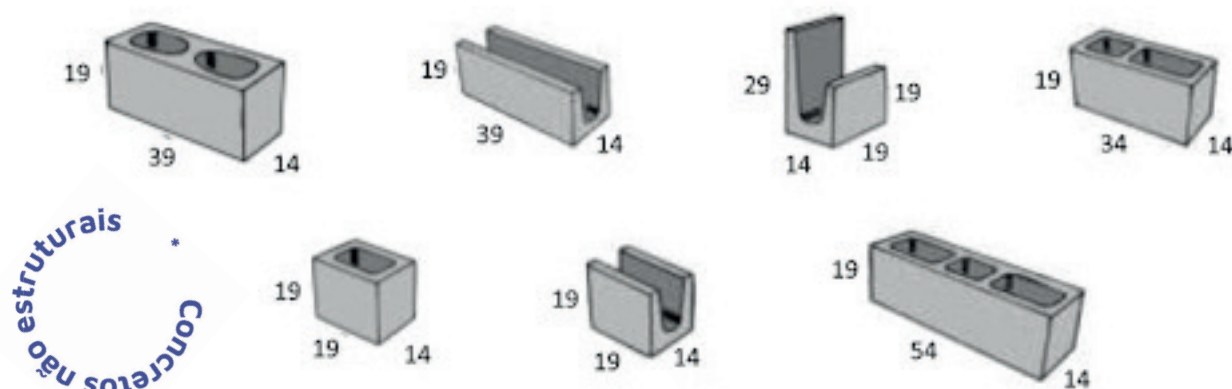


Figura 31 – Variações dimensionais de produtos para a família de bloco 14 cm. Fonte: google imagens.

Tabela 29 – Especificação de produto: blocos de vedação (NBR 6136: 2016 [52] e NBR 12118: 2013 [51])

| Propriedades de controle ¹¹ | Valores limites |
|--|--|
| Resistência mínima à compressão | Classe C ≥ 3 MPa |
| Padrão modular mais usado, mas existem variantes | 14 x 19 x 39 mm |
| Tolerâncias dimensionais | Largura: ± 2 mm Altura ± 3 mm Comprimento ± 3 mm |
| Absorção de água | Média ≤ 13% individual ≤ 16% |
| Retração | ≤ 0,065% |

Todos os tipos de ARs (areias, pedrisco e pó de pedra reciclados) são aplicáveis (Tabela 30), por não se tratar de concreto com função estrutural, e pode substituir integralmente o pedrisco (Tabela 31), fração mais usada na formulação deste tipo de produto.

Tabela 30 – Tipos de ARs e teor de substituição: blocos de vedação.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|---------------|---------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 | AF CI 000-001 | AF MI 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 | AM CI 001-002 | AM MI 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 | AG CI 001-004 | AG MI 001-004 |
| Pedrisco | PE CO 000-012 | PE CI 000-012 | PE MI 000-012 |
| Pó de pedra | PP CO 000-006 | PP CI 000-006 | PP MI 000--06 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 100% (kg/kg) | | |

Tabela 31 – Consumos de materiais para o produto: blocos de vedação de concreto. Abatimento do concreto sugerido (consistência seca): < 40 mm.

| Consumo de concreto Referência: MERCADO | 0,004 m ³ / bloco 14 x 19 x 39 mm |
|--|---|
| TRACO 1:0,65:1,30: 4,55 (CIMENTO/ AREIA FINA/ PÓ DE PEDRA: PEDRISCO FINO) Referência: [53] | Consumo dos materiais por m ³ de concreto |
| Cimento (kg) | 236 |
| Areia fina natural (kg) | 255 |
| Pó de pedra reciclado (kg) | 377 |
| Pedrisco reciclado (kg) (*) | 1.000 (p/ ARM) 1.100 (p/ ARCO e ARCI) |
| Consumo de água – pré-saturação do pedrisco reciclado (kg) | 84 (p/ ARM) 54 (p/ ARCO e ARCI) |
| Consumo de água efetiva (kg) | 148 |

7.2 Guias e Canaletas (GC)

A função das guias e sarjetas de concreto (Figura 32) é conduzir água de chuva em passeios e pavimentos. São moldadas in loco usando máquinas extrusoras, ou pré-fabricadas.



Figura 32 – (esquerda) sarjeta com concreto extrudado in loco. (direita) guia pré-fabricada.
Fonte: google imagens.

Concretos Não estruturais

Canaletas servem para coletar (drenar) a água de chuva até as galerias (Figura 33). São tampadas com grelhas, para evitar acidentes em pavimentos e passeios, e evitar obstrução do sistema de drenagem por objetos.

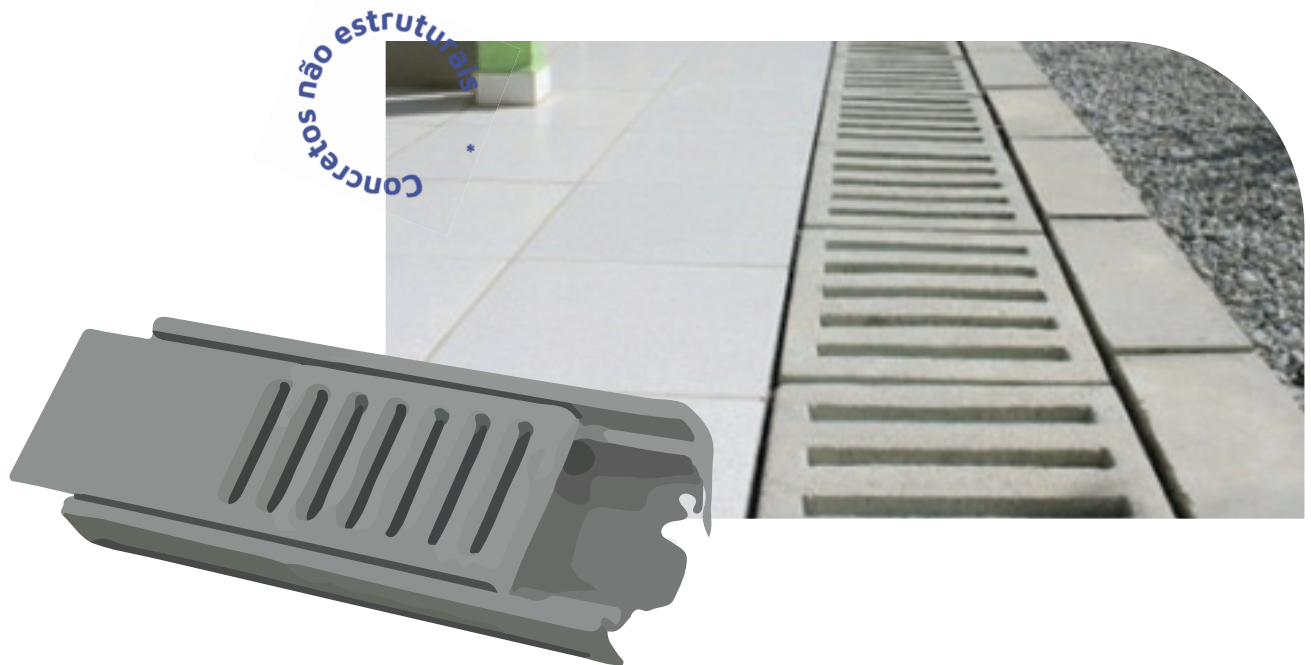


Figura 33 – Canaletas e grelha de concreto para coletar água de chuva.

Nesta aplicação é especificado o concreto não estrutural, de resistência à compressão do concreto mínima de 15 MPa, controle dimensional do produto e uma dimensão máxima do agregado, natural ou reciclado, compatível, ou seja, $\frac{1}{4}$ da menor dimensão da peça (Tabela 32). Se contiver armadura, passa a se usar concreto estrutural, classe mínima de resistência de 20 MPa.

Uma grande variedade de tipos de ARs (nomenclaturas MARE) pode ser viável na aplicação (Tabela 33), quando se trata de um concreto sem função estrutural. Quesitos específicos relacionados à exposição e classe de agressividade do concreto não são aplicáveis, pois não se usa armadura de aço nas peças de concreto, ou uso em ambientes industriais agressivos, ou sujeitos ao ataque por sulfato presente no solo.

Uma referência de traço misto de concreto (dosando o cimento em massa, e os agregados naturais, em volume aparente) foi fornecida (Tabela 34), a partir da tabela SINAPI [54], para confeccionar essas peças pré-fabricadas, com abatimento do concreto sugerido em 100 mm. Adaptações foram indicadas para uso dos ARs no traço de concreto de referência.

Para moldar as peças in loco usando máquina extrusora, atentar que o abatimento do concreto deve inferior a 40 mm; portanto deve ser usado outro traço de concreto.

Tabela 32 – Requisitos técnicos: guias e canaletas. NORMA DNIT 018/2006 [55]

| Propriedades do produto | Parâmetros |
|---|-------------------------------------|
| Tolerância dimensional transversal | 10% no total; 1% em pontos isolados |
| Especificação do concreto | Parâmetros |
| Resistência mínima à compressão simples (não armado) (armado) | 15 MPa 20 MPa (*) |
| Fator água/cimento (NBR 6118: 2014 [56]) (*) | ≤ 0,65 |
| Consumo de Cimento (NBR12655: 2015 [57]) (*) | ≥ 260 kg/m ³ |

(*) Valores exigidos para concretos estruturais (armados), classe 20 MPa. Usar somente ARCO.

Tabela 33 – Tipos de ARs e teor de substituição: guias e canaletas.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|---------------|---------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 | AF CI 000-001 | AF MI 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 | AM CI 001-002 | AM MI 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 | AG CI 001-004 | AG MI 001-004 |
| Brita zero | BZ CO 004-012 | BZ CI 004-012 | BZ MI 004-012 |
| Brita um | BU CO 009-025 | BU CI 009-025 | BU MI 009-025 |
| Brita dois | BD CO 019-031 | BD CI 019-031 | BD MI 019-031 |
| Brita três | BT CO 025-050 | BT CI 025-050 | BT MI 025-050 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 100% (kg/kg) | | |

Tabela 34 – Consumos de materiais para o produto: guias e canaletas, caixas de passagem, rufos, mobiliários ou calçadas. Classe de resistência 15 MPa. Abatimento do concreto sugerido: 100 ± 10 mm

| Consumo de concreto Referência: SINAPI (94963) [54] | 0,030 m ³ / metro de guia |
|---|---|
| Consumo dos materiais – Referência: SINAPI adaptado (para 400 L de concreto, produzido em betoneira) | TRAÇO 1:3,4:3,5 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) |
| Cimento (kg) | 273 |
| Areia média (kg) (*) | 928 |
| Brita 1 reciclada (kg) (*) | 743 |
| Consumo de água – pré-saturação da brita reciclada (kg) | 36 (p/ ARCI, ARCO) 62 (p/ ARMI) |
| Relação água/cimento efetiva | <0,50 (p/ AR-MI) <0,65 (p/ ARCI, ARCO) |
| Consumo de água efetiva (kg) | <137 (p/ AR-MI) <177 (p/ARCI, ARCO) |

7.3 Caixas de passagem (ou de inspeção) (CI)

Caixas de passagem (ou de inspeção) (Figura 34) são confeccionadas in loco ou pré-fabricadas usam concretos com classes de resistência de 15 MPa (não armado) ou com concreto estrutural (classe de resistência de 20 MPa), e tem por finalidade permitir a inspeção, a limpeza, e mudanças de declividade e direção de tubulações de água e esgoto.

Não possui requisitos específicos de produto, apenas requisitos técnicos relacionados à qualidade do concreto (Tabela 35). A dimensão máxima do agregado, natural ou AR deve ser inferior a $\frac{1}{4}$ da menor dimensão da peça.

Uma variedade de tipos de ARs (nomenclaturas MARE) atendem a essa aplicação (Tabela 36), podendo variar granulometria das areias ou das britas, ou combiná-las, conforme disponibilidade ou interesse.

Uma referência de traço misto de concreto não estrutural (dosando o cimento em massa, e os ARs, em volume aparente) foi fornecida (Tabela 34, item 6.2), a partir de adaptação da tabela SINAPI [54], para confeccionar tais peças, admitindo concreto classe C15 e abatimento do concreto de 100 mm. Para concreto estrutural, use a referência de traço apresentada no item 8.4.



Figura 34 – caixas de inspeção e tampas pré-fabricadas de água e esgoto. Fonte: google imagens.

Tabela 35 – Requisitos técnicos específicos do produto: caixas de inspeção ou canaletas

| Especificação do concreto | Parâmetros |
|--|-------------------------|
| Resistência a compressão simples (não armado) (armado) | 15 MPa 20 MPa |
| Fator água/cimento (NBR 6118: 2014 [56]) (*) | ≤ 0,65 |
| Consumo de Cimento (NBR12655: 2015 [57]) (*) | ≥ 260 kg/m ³ |

¹ DNIT. Norma 026/2004: ES. Drenagem - Caixas Coletoras - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2004

(*) Valores exigidos para concretos estruturais (armados), classe 20 MPa. Usar somente ARCO.

Tabela 36 – Tipos de ARs e teor de substituição: caixas de inspeção.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|---------------|---------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 | AF CI 000-001 | AF MI 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 | AM CI 001-002 | AM MI 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 | AG CI 001-004 | AG MI 001-004 |
| Brita zero | BZ CO 004-012 | BZ CI 004-012 | BZ MI 004-012 |
| Brita um | BU CO 009-025 | BU CI 009-025 | BU MI 009-025 |
| Brita dois | BD CO 019-031 | BD CI 019-031 | BD MI 019-031 |
| Brita três | BT CO 025-050 | BT CI 025-050 | BT MI 025-050 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 100% (kg/kg) | | |

7.4 Rufo de concreto (RU)

Rufo de concreto (Figura 35) é um elemento usado para proteção e desvio da água de chuvas, empregado como acabamento em muros, próximo aos telhados. São usados geralmente concretos não estruturais, tipicamente classe mínima de resistência de 15 MPa. Por isso, especificações similares a do item 7.2 e 7.3 com relação aos tipos de agregados reciclados e formulação-exemplo de concreto podem ser adotadas. O volume de concreto é cerca 0,003-0,005 m³/ m de peça confeccionada [58].

Figura 35 – Rufo de concreto sobre muro.
Fonte: ABRECON.



7.5 Mobiliário Urbanos (MU)

Bancos e mesas de concreto (Figura 36) são usados frequentemente como mobiliário urbano em praças. São usados geralmente concretos não estruturais, tipicamente classe mínima de resistência de 15 MPa, para peças não armadas. Para peças armadas, utiliza-se concreto estrutural, classe de resistência mínima de 20 MPa. Por isso, especificações similares a do item 7.2 e 7.3 com relação aos tipos de agregados reciclados e formulação-exemplo de concreto não estrutural podem ser adotadas. Para concreto estrutural, adotar formulação similar a apresentada no item 8.4. Existem muitos modelos; os mais convencionais e regulares (com dois apoios e uma laje plana). Estima-se o consumo de volume de concreto de cerca de 0,100 m³ para um banco de até 2 metros de comprimento.



Figura 36 – Bancos e mesas de concreto usados como mobiliário urbano em praças. Fonte: google imagens.

7.6 Calçadas, ciclovias (CC)

Calçadas e ciclovias de concreto (Figura 37) são executadas sobre um subleito compactado e uma sub-base de brita graduada (ou lastro de brita; CBR < 30%, expansão < 1%, energia intermediária), e tem um concreto de no mínimo 11 MPa como base e revestimento adicional (Tabela 37).

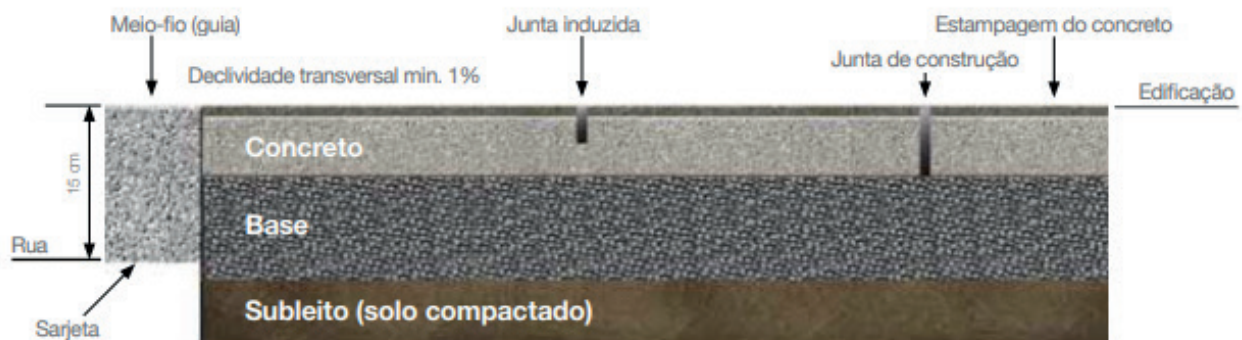


Figura 37 – Calçadas e ciclovias. Figura acima foi extraída de manual da ABCP [59], abaixo as imagens são da ABRECON.

Tabela 37 – Requisitos para passeios públicos. NBR 12255: 1990 [60]

| Camadas | Requisitos |
|----------------------------|---|
| Subleito | Solo compactado em três camadas |
| Sub-base | Brita com espessura de 5 cm |
| Base | Concreto com resistência mínima de 11 MPa, com 10 cm de espessura Juntas secas com, no máximo, 1 metro |
| Revestimento | 5 cm de espessura |
| Meio-fio (guia) e sarjetas | Guia com espessura mínima de 12 cm, altura mínima de 30 cm, cantos livres arredondados |

Para confeccionar a sub-base granular, podem ser utilizados integralmente bica corrida reciclada, brita graduada reciclada, uma ampla faixa granulométrica pode atender [61]. Geralmente se usa a especificação técnica do DER-SP ET-DE-P00/014 [62] (Tabela 38).

Tabela 38 – Especificações granulométricas das sub-bases granulares. Fonte: DER-SP ET-DE-P00/014 [62]

| Peneira de Malha Quadrada | | % em Massa, Passando | | | | | | Tolerância |
|---------------------------|-------|----------------------|-------|-------|--------|--------|--------|------------|
| ASTM | mm | I | II | III | IV | V | VI | |
| 2" | 50,8 | 100 | 100 | | | | | - |
| 1" | 25,4 | - | 75-95 | 100 | 100 | 100 | 100 | ±7% |
| 3/8" | 9,5 | 30-65 | 40-75 | 55-85 | 60-100 | - | - | ±7% |
| n° 4 | 4,8 | 25-55 | 30-60 | 35-65 | 50-85 | 55-100 | 70-100 | ±5% |
| n° 10 | 2,0 | 15-40 | 20-45 | 25-50 | 40-70 | 40-100 | 55-100 | ±5% |
| n° 40 | 0,42 | 8-20 | 15-30 | 15-30 | 20-50 | 20-55 | 30-70 | ±5% |
| n° 200 | 0,075 | 2-8 | 5-15 | 5-20 | 5-20 | 8-25 | 10-25 | ±2% |

Para as sub-bases granulares, bica corrida e brita graduada reciclada podem ser usadas em até 100% de substituição em relação ao agregado natural, incluindo todos os tipos de areias e britas recicladas para confeccionar o concreto (Tabela 39).

Tabela 39 - Tipos de ARs e teor de substituição: calçadas e ciclovias.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|--|--------------------------------|---------------|---------------|
| Bica corrida reciclada (sub-base) | BC CO 000-050 | BC CI 000-050 | BC MI 000-050 |
| Brita graduada reciclada (base) | BG CO 000-025 | BG-CI 000-025 | |
| Areia fina reciclada | AF CO 000-001 | AF CI 000-001 | AF MI 000-001 |
| Areia média reciclada | AM CO 001-002 | AM CI 001-002 | AM MI 001-002 |
| Areia grossa reciclada | AG CO 001-004 | AG CI 001-004 | AG MI 001-004 |
| Brita zero reciclada | BZ CO 004-012 | BZ CI 004-012 | BZ MI 004-012 |
| Brita um reciclada | BU CO 009-025 | BU CI 009-025 | BU MI 009-025 |
| Brita dois reciclada | BD CO 019-031 | BD CI 019-031 | BD MI 019-031 |
| Teor de substituição - agregado natural por AR | Até 100% (kg/kg) | | |

Para dosar o concreto não estrutural C15, utilize a tabela de consumo de materiais do item 7.3 (Tabela 34). Em alguns casos, se usa a denominação de concreto magro, aquele usado na confecção da calçada. Existem outras recomendações que podem ser usadas, como a da ABCP [59,63]. A especificação do SINAPI indica concretos estruturais com resistência mínima de 20 MPa [64], cuja composição é similar a apresentada no item 8.4. Estima-se o uso de 0,120 m³ de concreto para executar um m² de passeio com 10 cm de espessura, armado com tela.

7.7 Concreto de enchimento (EN)

Concretos de enchimento (Figura 38) são concretos que usam agregados leves artificiais (argila expandida) similares aos ARs mais porosos, e/ou aditivos incorporadores de ar, para nivelar pisos de áreas externas. Esse tipo de concreto tem densidade reduzida, e é de fácil manuseio para dar acabamento.



Figura 38 – Concreto de enchimento usado para nivelar áreas externas de edifícios. Fonte: google imagens.

Areia média e brita dois recicladas são sugeridas para uso, a partir da especificação de concreto obtida no TCPO [65]. Recomendamos o uso do agregado reciclado misto, com teor elevado de cerâmica vermelha que são os menos densos (Tabela 40).

Tabela 40 – Tipos de agregados reciclados e teor de substituição: concreto de enchimento.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados |
|--|--------------------------------|
| Areia média | AM MI 001-002 |
| Brita dois | BD MI 019-031 |
| Teor de substituição - agregado natural por AR | Até 100% (kg/kg) |

Tabela 41 – Formulações-exemplo de concretos de enchimento. [65]

| CÓD. TCPO | | | | | |
|--|---|-----------------------------|---------|-------|------|
| 3340.8.1 [65] | CONCRETO leve, com agregado de argila expandida, controle A, consistência para vibração, diâmetro do agregado 1- mm - unidade: m ³ | RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO | | | |
| | | 10MPa | 13,5MPa | 15MPa | |
| | | 10MPa | 13,5MPa | 15MPa | |
| | Brita 2 mista reciclada | kg | 1091 | 1091 | 1091 |
| | Areia média mista reciclada | kg | 832 | 804 | 792 |
| 02065.3.5.1 | Cimento Portland CP II-E32 (resistência mínima aos 28 dias: 32 MPa) | kg | 241 | 273 | 287 |
| | Relação água/cimento efetiva | | <0,6 | <0,55 | <0,5 |
| | Consumo de água efetiva | kg | <145 | <150 | <144 |
| CÓD. TCPO | | | | | |
| 3340.8.1 | CONCRETO leve, com agregado de argila expandida, controle A, consistência para vibração, diâmetro do agregado 1- mm - unidade: m ³ | RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO | | | |
| | | 18MPa | | | |
| | Brita 2 mista reciclada | kg | 1091 | | |
| 02060.3.2.2 | Areia média mista reciclada | kg | 766 | | |
| 02065.3.5.1 | Cimento Portland CP II-E32 (resistência mínima aos 28 dias: 32 MPa) | kg | 316 | | |
| | Relação água/cimento efetiva | | <0,45 | | |
| | Consumo de água efetiva | kg | <142 | | |
| Consumo de água – pré-saturação da areia ou brita mista reciclada (m3) (*) | | Variável conforme traço (*) | | | |

(*) exemplo 10 MPa (areia média mista reciclada); $832\text{kg} \times 0,7 * 0,12 = 70\text{kg}$

7.8 Trabalhos acadêmicos, livros

Ver no item 8.

PESQUISA SETORIAL ABRECON 2019/20



São produzidos no país

290.556 toneladas
de RCD, que em peso significa:



1.050
aviões Airbus A380

Poderiam ter sido utilizados como
AGREGADO PARA A PRODUÇÃO
DE concreto suficiente
para a construção de:



2.134
Estádios do Maracanã

Fonte: Relatório Pesquisa Setorial 2017/2018

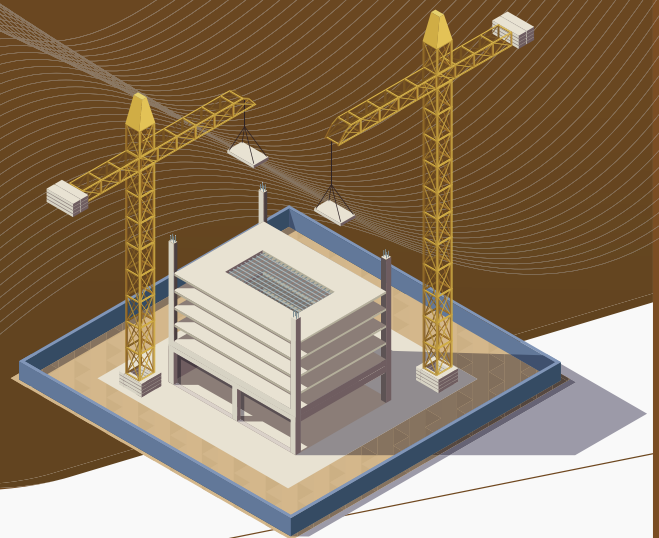
abrecon

Associação Brasileira para Reciclagem de
Resíduos da Construção Civil e Demolição

Escaneie ou clique
no QR Code



8. Concretos estruturais (CE)



Foram incluídos nesta sessão todos os produtos cimentícios confeccionados com concretos de classes de resistência característica (f_{ck}) superior a 20 MPa (C20 ou acima). Os itens 8.1 a 8.3 são concretos de consistência seca (com abatimento inferior a 40 mm). Os demais são concretos convencionais, de consistência plástica, que possui valor de abatimento superior a 40 mm.

Para uso em concreto estrutural, os ARs devem atender os requisitos específicos estabelecidos pela norma brasileira ABNT NBR 15.116/2021 [8] (Tabela 6). ARCO é o único tipo de AR aceito para uso no concreto estrutural, limitado a 20% de teor de substituição do agregado natural pelo reciclado. A ABNT NBR 15116/2021 sugere 20% de substituição em massa de agregados totais, mas entendemos que essa substituição deveria se limitar à 20% da massa de agregados naturais ou artificiais, por tipo de agregado. Neste manual, sugerimos posição conservadora limitando a substituição de apenas 20% dos agregados graúdos naturais por AR.

Essa abordagem é muito similar à adotada por normas estrangeiras. Citam-se, como exemplo, a norma holandesa, alemã (DIN 4226, parte 100), inglesa (BS 8500:2), recomendação espanhola dos engenheiros estruturais (EHE-08), e portuguesa (LNEC E 471) [13].

Nestas bases de dados não há informação sobre relação água/cimento ou consumo de água recomendado. Assim, para definição da água efetiva em concretos plásticos, foi adotado o modelo de previsão de resistência do concreto reciclado proposto por Leonardo Machado (consultar a base www.teses.usp.br a partir de 2023), considerando cimento com classe de resistência 32MPa, e desvio padrão de 5,5 MPa para encontrar a resistência média à compressão, para determinado f_{ck} .

Estas sugestões são referenciais iniciais, os traços poderão ser otimizados conforme condições locais, inclusive podendo reduzir o consumo de cimento em alguns casos.

De maneira similar, não existe obrigação de seguir necessariamente as faixas granulométricas estabelecidas (Tabela 42) para se confeccionar um concreto. Estas são indicativos técnicos, baseado nas práticas usuais de comercialização de agregados naturais ou artificiais.

Tabela 42 - Faixas granulométricas de referência da NBR 7211: 2005 [18].

| Ensaio | | Limite sugerido | Requisito | |
|--|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Granulometria | Agregado graúdo, natural, artificial ou reciclado | 4,75/12,5 mm | NBR 7211 [66] | NBR NM 248 [23] |
| | | 9,5/25 mm | | |
| | | 19/31,5 mm | | |
| | | 37,5/75 mm | | |
| | | 25/50 mm | | |
| Agregado miúdo, natural, artificial ou reciclado | Zona utilizável | NBR 7211 [66] | NBR NM 248 [23] | |
| | Zona ótima | | | |

A norma NBR15116: 2021 permite uma livre negociação entre produtor de AR e fabricante de materiais cimentícios, para estabelecer tamanhos de lotes e fornecimento de laudos de qualidade, que especificam a qualidade mínima do AR, tornando mais flexível o entendimento entre as partes, com a possibilidade de reduzir custos daqueles que conseguem controlar bem a qualidade e variação desta nas usinas de reciclagem.

A mesma norma dá diretrizes de formação de lote mínimo, 300 m³, o que numa usina de reciclagem pequena, seria inferior a 1 mês de produção de AR. É preciso um controle mínimo, ou espaçar, dando flexibilidade, quando se tem qualidade na produção.

Como sugestão inicial, foram adaptados traços de base de dados como o SINAPI, TCPO e traços encontrados na literatura, considerando os dados da Tabela 1 para conversões de massa/volume e cálculo de água para pré-saturação.

8.1 Bloco estrutural de concreto (BE)

Blocos estruturais de concreto (Figura 39) possuem furos ou abertura na vertical, possuem paredes (espessuras internas e septos) mais espessos e reforçados, para garantir uma boa distribuição de esforços, podendo ser projeto e comercializado em diferentes famílias que mudam seus padrões modulares e dimensionais.

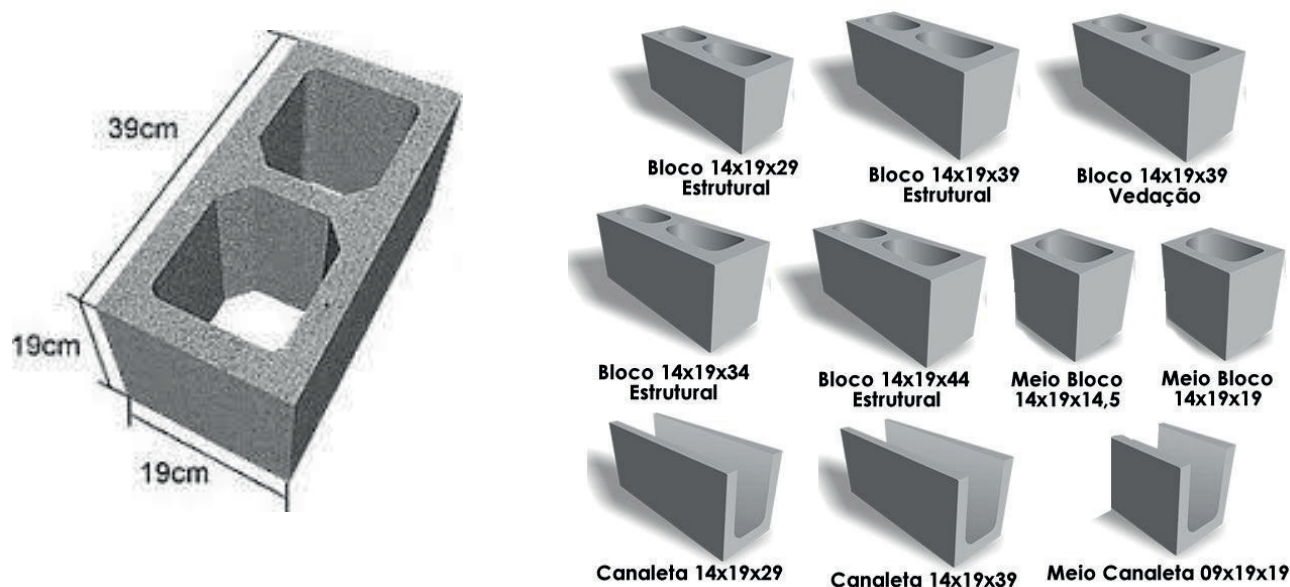


Figura 39 – Blocos estruturais de concreto, algumas famílias, geometria reforçada nos septos. Fonte: google imagens.

A Tabela 43 apresenta o conjunto de especificações técnicas que este produto precisa atender.

Tabela 43 - Especificação de produto: blocos estruturais (NBR 6136: 2016 [52])

| Propriedades de controle | Valores limites |
|--|--|
| Classe de resistência à compressão, valor característico | Classe A: entre 4 e 8 MPa Classe B \geq 8MPa |
| Tolerâncias dimensionais | Largura: \pm 2 mm Altura \pm 3 mm Comprimento \pm 3 mm |
| Absorção de água | Média \leq 13% Individual \leq 16% |
| Retração | \leq 0,065% |

Podem ser usados todos os tipos de areias recicladas de concreto, pedrisco e pó de pedra reciclado de concreto (Tabela 44), limitando o teor de substituição do agregado natural pelo AR em 20% da massa.

Tabela 44 - Tipos de ARs e teor de substituição: bloco estrutural de concreto.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados |
|---|--------------------------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 |
| Pedrisco | PE CO 000-012 |
| Pó de pedra | PP CO 000-006 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 20% (kg/kg) |

A Tabela 45 apresenta uma sugestão inicial de formulação de bloco estrutural de concreto. Esse tipo de concreto é de consistência seca.

Tabela 45 - Consumos de materiais para o produto: Bloco Estrutural
Abatimento do concreto sugerido: < 40 mm (concreto de consistência seca)

| Consumo de concreto Referência: [67] | Peça 10x 20 x 6 cm Volume de 0.001 m ³ fbk=4 MPa |
|---|---|
| Formulação para confeccionar 1 m ³ de concreto | |
| Cimento (kg) | 270 |
| Areia Natural (kg) | 530 |
| Pedrisco, pó de pedra (kg) | 1272 |
| Pedrisco de concreto reciclado (kg) (*) | 318 |
| Consumo de água total (kg) | 167 |

(*) absorção de água=7%, valor de pré-saturação= 70%

8.2 Piso intertravado (PI)

O pavimento intertravado é executado com peças pré-moldadas de concreto (sextavado, 16 faces, ou retangular, são os mais comuns) (Figura 40), diferenciando os requisitos técnicos do produto (Tabela 46 e Tabela 47), em função do tipo de circulação: tráfego leve e pedestres, ou veículos especiais (tráfego pesado).

A camada de assentamento é executada com areia natural. Veja maiores detalhes no manual do pavimento intertravado elaborado pela ABCP [68]. Na camada de assentamento, pode ser usada a areia reciclada, especialmente quando o teor de argila e de contaminantes leves (madeira etc.) é baixo; ou seja, a areia reciclada precisa atender os mesmos requisitos estabelecidos para uso no concreto, apesar de se tratar de uma camada de pavimentação.

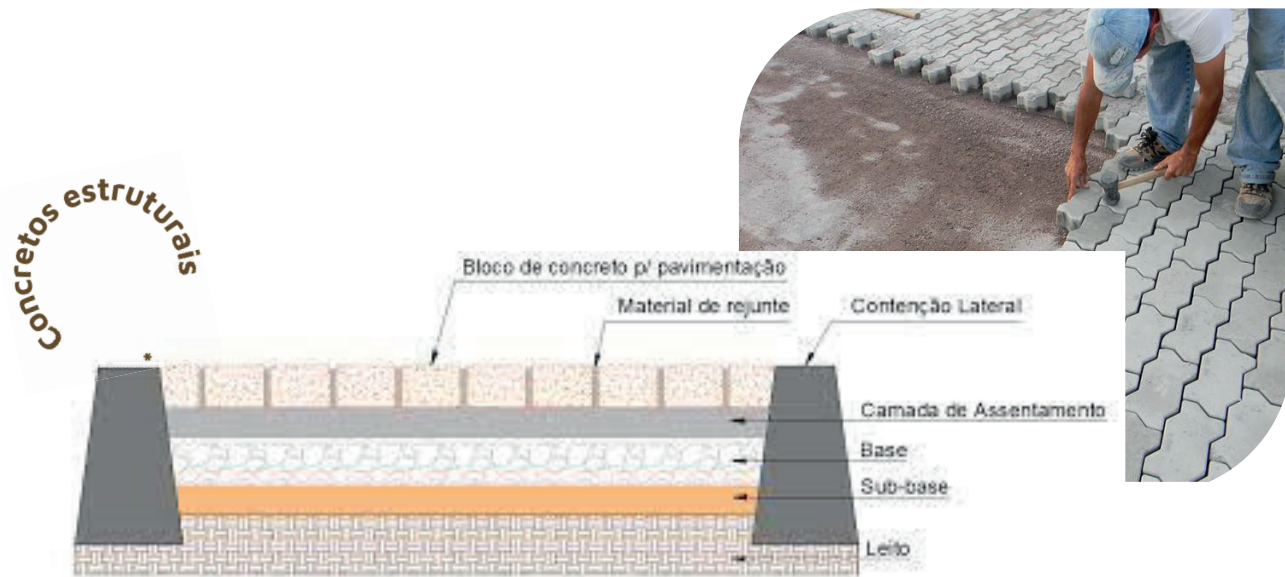


Figura 40 – Piso intertravado de concreto (16 faces). Fonte: ABCP, google imagens.

Tabela 46 – Requisitos técnicos específicos do produto: assentamento do piso com areia (NBR 15953: 2011 [69])

| Propriedade | Parâmetros |
|---------------------------------|---|
| Umidade no momento de aplicação | 3 a 7 % |
| Dimensão máxima característica | <5 vezes a espessura da camada de assentamento já compactada. |
| Camada de assentamento | Uniforme e com espessura constante de 5 cm (+2 cm) |

Tabela 47 – Requisitos técnicos específicos do piso intertravado de concreto (NBR 9781: 2013 [70])

| Propriedade | Tráfego de pedestres e veículos leves | Tráfego de pedestres e veículos leves |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Absorção de água | Médio | ≤ 6 % |
| | Individual | ≤ 7 % |
| Resistência característica à compressão aos 28 dias | ≥ 35 MPa | ≥ 50 MPa |
| Resistência a abrasão mínima (cavidade) | 23 mm | 30 mm |
| Tolerância dimensional | 3 mm | |

Todos os tipos de areias recicladas de concreto podem ser usados para a camada de assentamento (Tabela 48), assim como a produção do bloco intertravado; neste último caso, podendo ainda incluir pedrisco e pó de pedra reciclado de concreto.

Tabela 48 – Tipos de ARs e teor de substituição: piso intertravado.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados |
|---|--------------------------------|
| Areia fina reciclada | AF CO 000-001 |
| Areia média reciclada | AM CO 001-002 |
| Areia grossa reciclada | AG CO 001-004 |
| Pedrisco reciclado | PE CO 000-012 |
| Pó de pedra reciclado | PP CO 000-006 |
| Teor de substituição - agregado natural por reciclado | Até 20% (kg/kg) |

A Tabela 49 sugere o traço comercial usado por uma empresa que fabrica blocos intertravados.

Tabela 49 – Consumos de materiais para o produto: Bloco Intertravado
Abatimento do concreto sugerido: < 40 mm (concreto de consistência seca)

| Consumo de concreto Referência: MERCADO | Peça 10x 20 x 6 cm Volume de 0.001 m ³ |
|---|--|
| Formulação para confeccionar 1 m ³ de concreto | |
| Cimento (kg) | 389 |
| Areia Natural (kg) | 737 |
| Pedrisco, pó de pedra (kg) | 962 |
| Pedrisco de concreto reciclado (kg) (*) | 240 |
| Consumo de água - pré-saturação da areia reciclada (kg) (*) | 163 |

(*) absorção de água=7%, densidade do agregado reciclado de concreto=2.200 kg/m³.

8.3 Telhas de concreto (TC)

Telhas de concreto (Figura 41) podem ser utilizadas para compor os sistemas de cobertura ou telhados. Existem várias geometrias disponíveis⁴ e cores. Devido a critérios relativos à estanqueidade dos elementos ou necessidade de resistir a impacto (granizo), geralmente se usa concretos com classes de resistência que se enquadram como concreto estrutural. Devem atender requisitos técnicos descritos na Tabela 50. Os tipos de ARs bem como formulação-exemplo sugerida são os mesmos do item 8.2.

⁴ https://www.tegula.com.br/categoria_produto/telhas-de-concreto/

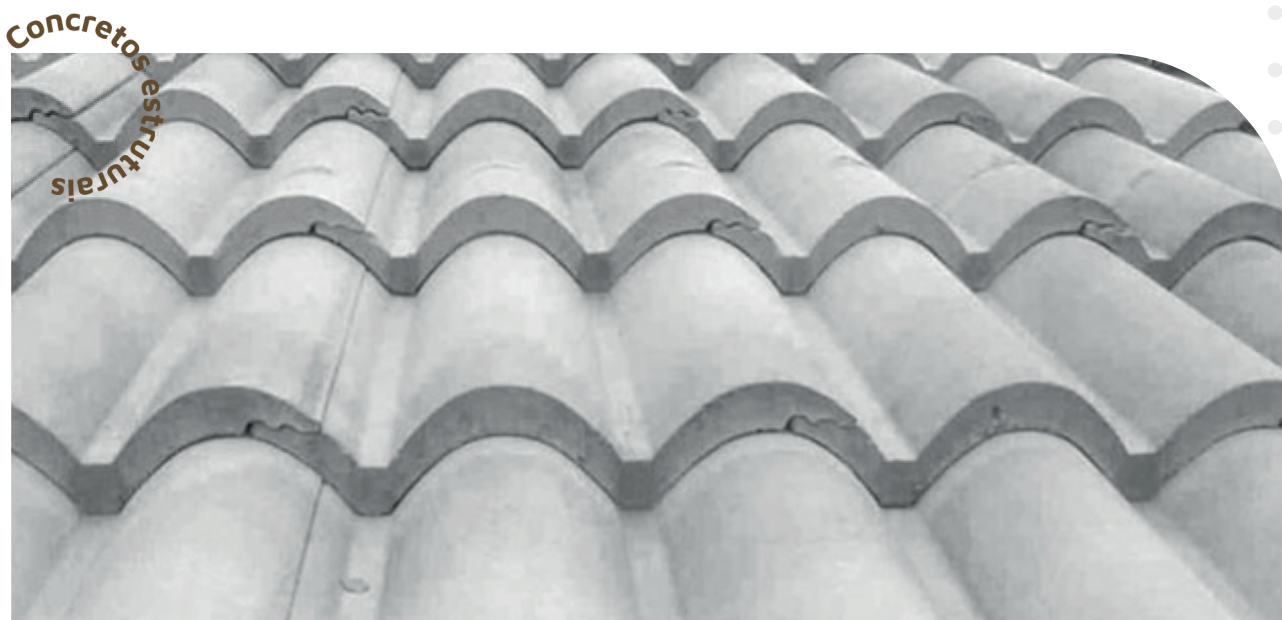


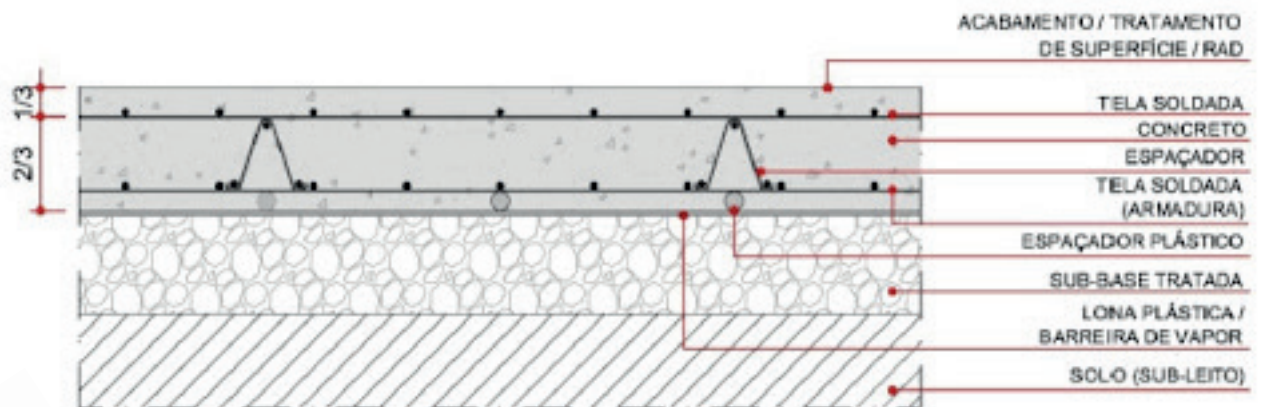
Figura 41 – Telha de concreto. Fonte: ABRECON.

Tabela 50 – Requisitos técnicos específicos das telhas de concreto (NBR 13858: 2009 [71])

| Classe | CLASSE A | CLASSE B | CLASSE C | CLASSE D | PLANA |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Peso | 52 dN/m ² | 50 dN/m ² | 48 dN/m ² | 45 dN/m ² | 55 dN/m ² |
| Absorção de água | ≤ 10% | | | | |
| Tolerância dimensional (mm) | ≤ 420 ± 2; | > 420 ± 0.5% | | | |
| Carga de ruptura à flexão (N) | 2400 | | 1200 | | 1000 |
| Empenamento | ≤ 1,5 mm | | | | |

8.4 Pisos ou placas pré-moldadas de concreto (PS)

Pisos de concreto (Figura 42) são construídos sobre diversas camadas, de maneira similar a um pavimento de concreto. Costuma-se lançar um lastro de concreto como base (ou um concreto magro, com baixo consumo de cimento, ou seja, uma base tratada com cimento), uma camada de lona plástica e uma camada de piso de concreto armado. São usados em obras industriais [61,72] onde há trânsito intenso de máquinas pesadas.



Concretos estruturais

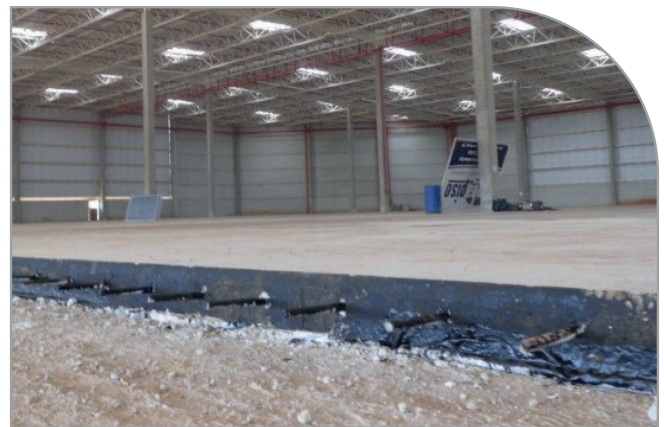


Figura 42- Camadas do piso de concreto para fins industriais. Fonte: google imagens.

Este tipo de material é dimensionado estruturalmente, ou seja, projetado para resistir esforços, exigindo escritório e calculista estrutural especializado. Recomenda-se a consulta aos manuais brasileiros disponíveis [61,72], ou internacionais. Em linhas gerais, o projetista procurar prever o comportamento do solo (através do sistema unificado de solos), e são realizados ensaios que descrevam sua granulometria (argila, silte, areias, pedregulhos), índices de consistência (limites de Atterberg, que indicam comportamento coesivo ou não), resistência do solo (coeficiente de recalque), ou alternativamente o CBR (capacidade de suporte).

Da mesma forma, parâmetros da base granular são usados [61], levando-se em conta uma diversidade de possibilidades, como a apresentada no item 7.6, calçadas (Tabela 38). Sub-bases tratadas com cimento podem ser usadas [61], como a brita graduada tratada com cimento (BGTC), aumentando o módulo de resiliência do material, chegando a 3.500 a 7.000 MPa. Essa prática tem boa aceitação para dimensionar pisos industriais [61].

Alguns requisitos técnicos gerais estão apresentados na Tabela 51.

Tabela 51 - Alguns requisitos técnicos gerais para pisos de concreto. [61,73] [74]

| Camada | Requisitos |
|---------------|--|
| BGTC [61,73] | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Espessuras entre 10 e 20 cm ✓ Resistência à compressão aos 7 dias superior a 3,5 MPa ✓ Granulometria inferior a 25 mm |
| Concreto [61] | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Teor mínimo de finos abaixo de 0,15 mm (não apenas o cimento), 300 kg/m³ ✓ Resistência mínima acima de 20 MPa ✓ Dimensão característica máxima do agregado graúdo: 1/3 da espessura da placa do pavimento ✓ Usar revestimento de alta resistência ao desgaste (dry-shake). |

Podem ser utilizadas todas as faixas granulométricas de areias recicladas de concreto e britas recicladas de concreto do tipo 1 e 0, inferiores a 25 mm (Tabela 52).

Tabela 52 - Tipos de AR e teor de substituição: pisos de concreto.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados |
|---|--------------------------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 |
| Areia média | A-CO 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 |
| Brita zero | B0 CO 004-012 |
| Brita um | B1 CO 009-025 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 20% (kg/kg) |

Um exemplo de formulação de concreto de fck igual a 20 MPa foi adaptada (Tabela 53) prevendo-se a substituição da brita natural pela reciclada em 20% da massa. A confecção do traço é mista, dosando-se cimento em massa e agregados naturais por volume aparente (em caixas), porque considera que muitos destes concretos são executados na própria obra. Porém, há também diversos casos em que o concreto é fornecido por usinas de concreto.

Tabela 53– Consumos de materiais para o produto: Piso de concreto Abatimento do concreto sugerido: 80 mm. [75]

| Consumo de concreto para confeccionar o produto | | Depende da espessura, 15 cm de espessura é geralmente usado em garagens, 0,015 m ³ /m ² de piso |
|---|--|---|
| Consumo dos materiais – Referência: SINAPI adaptado (para 400 L de concreto, produzido em betoneira) Referência: SINAPI (94964– Concreto genérico fck 20 [75]) | | TRAÇO 1:2,7:3 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) |
| Formulação para confeccionar 1 m ³ de concreto | | |
| Cimento (kg) | | 322,98 |
| Areia Média Natural (kg) | | 872 |
| PEDRA BRITADA N. 1 (9,5 a 19 MM) (kg) | | 726,7 |
| Brita 1 reciclada (kg) (*) | | 193,8 |
| Consumo de água – pré-saturação da brita reciclada (kg) | | 9,5 |
| Relação água/cimento efetiva | | <0,55 |
| Consumo de água efetiva (kg) | | <177 |

8.5 Pavimento de Concreto Armado (PC), Concreto Compactado com Rolo (CR)

No caso de pavimentos rígidos, como estradas com grande fluxo de veículos e presença de veículos pesados e corredores de ônibus se dimensiona e utiliza pavimentos de concreto armado (Figura 43). Há diversas configurações possíveis, e existem livros específicos que detalham o uso da tecnologia [76]. As propriedades das sub-bases e bases são usadas para dimensionar as espessuras das camadas, feito por projetistas e calculistas especializados.

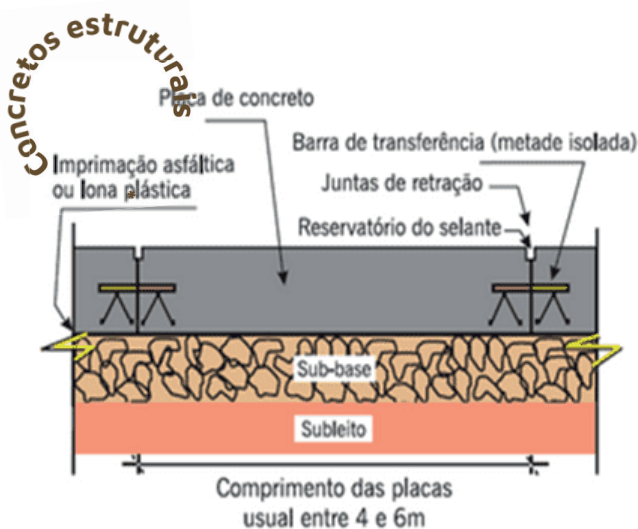


Figura 43 – Piso de concreto armado. Fonte das imagens: google imagens, <https://www.concrepav.com.br/concreto-pavimento-rigido>

O pavimento de concreto é uma estrutura composta por diversas camadas. A sub-base quando contém solo pode ser melhorada com cal, procurando-se obter resistência mínima à compressão aos 7 dias de 2,1 MPa, NBR 12025: 2012 [77].

Quando a base é tratada com cimento (BGTC), a resistência à compressão mínima exigida aos 7 dias é por volta de 3,5 MPa [78]. Esta base pode ser substituída por uma base de concreto compactado com rolo (CCR), que possui módulo de resiliência superior, a partir de 7.000 MPa [61], permitindo reduzir as espessuras das camadas, o dimensionamento em si do pavimento, gerando economia com desempenho técnico.

A camada de base com CCR pode ser executada com perfeição com agregados reciclados de concreto [79]. Teores de substituição de agregado natural por reciclado de concreto limitado a 20% da massa é compatível com a faixa de resistência do concreto usado, geralmente f_{tk} (resistência à tração na flexão característica) até 4 MPa. É produzido com o concreto de consistência seca, porque este material é compactado na obra com os rolos.

A granulometria do agregado, natural ou reciclado deve ser contínua [80], porque o material passa por compactação (Figura 44); dimensão máxima abaixo de 25 mm (Figura 45). Deve-se usar na umidade ótima de compactação [80], entre 6-10%, usando o ensaio de compactação Proctor modificado (energia modificada), similar ao que se faz com o material granular (ver item 5, Figura 18).

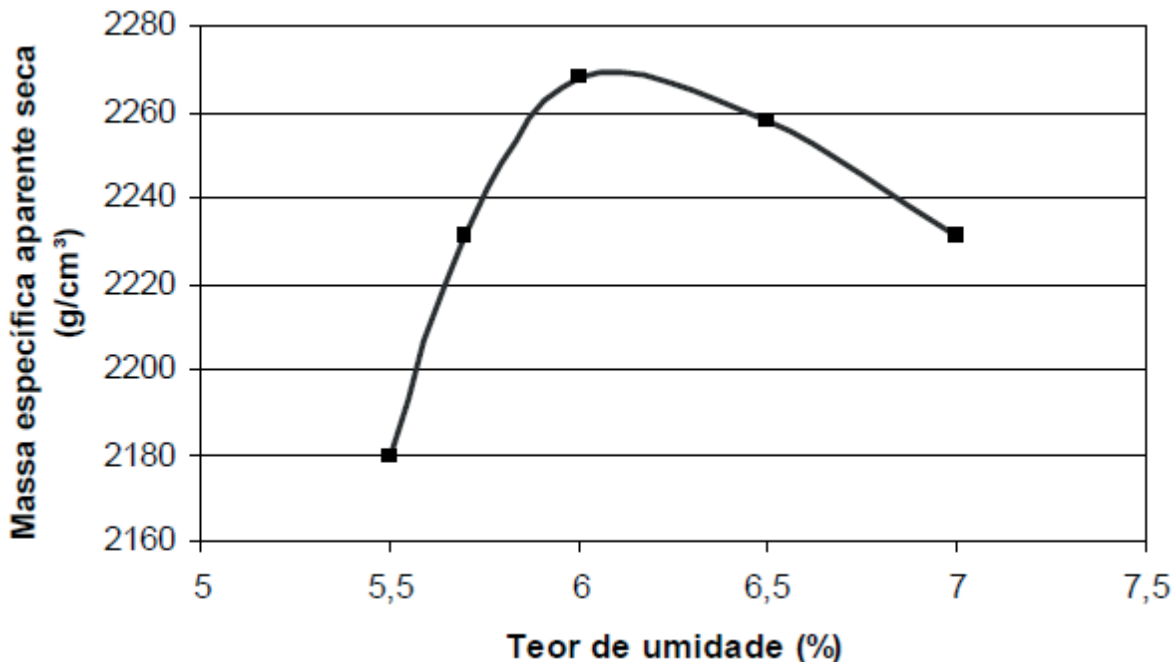


Figura 44 - Curva de compactação do CCR, consumo de cimento 110 kg/m³. Extraído de Ricci [79].

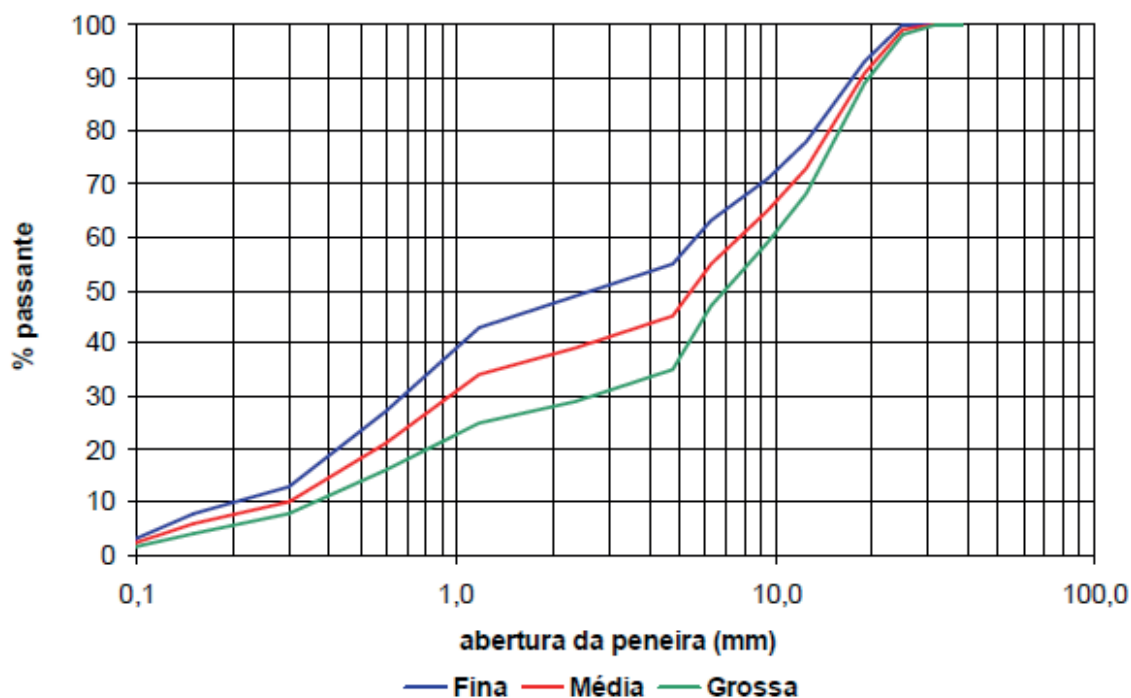


Figura 45 – Intervalo granulométrico para uso do agregado, natural ou reciclado, no CCR. De acordo com Pittman et al. (1998), apresentado em Ricci [79] e [76]

Tabela 54 – Requisitos gerais de um CCR. [61,76]

| Propriedades do CCR | Requisitos |
|--|--------------------|
| Resistência à tração na flexão aos 28 dias | 2,0 -4,0 MPa |
| Módulo de resiliência | 7.000 a 14.000 MPa |

Requisitos para a execução de placas de concreto simples podem ser obtidos das práticas recomendadas pela ABCP. Placas de concreto armado ou com fibras se faz necessário para garantir resistência à tração na flexão superior a 4 MPa, implicando em concretos de resistência mais elevada. Pode ser produzido in loco ou em placas pré-moldadas.

Dependendo do caso, não apenas resistência estática é relevante, mas também pode ocorrer fadiga das placas de concreto, onde o AR pode contribuir para maior perda deste tipo de resistência, mais fissuração progressiva, e perda de desempenho, podendo não atingir vida útil e durabilidade adequada [76]. Neste caso, não se recomenda o uso de placas de concreto armados ou com fibras de elevada resistência sem estudos acadêmicos mais representativos.

Podem ser utilizados todas as faixas granulométricas de areias recicladas de concreto e britas recicladas de concreto do tipo 1 e 0, inferiores a 25 mm (Tabela 55).

Tabela 55 - Tipos de ARs e teor de substituição: pavimento de concreto.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados |
|---|--------------------------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 |
| Brita zero | BO CO 004-012 |
| Brita um | B1 CO 009-025 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 20% (kg/kg) |

A composição de CCR contendo agregado reciclado de concreto é apresentada, como uma referência, na Tabela 56.

Tabela 56 - Sugestão inicial para uma formulação de um CCR com agregado reciclado de concreto. Adaptado de Ricci [79]

| Consumo de concreto para confeccionar o produto | ftk = 2 MPa Depende da espessura, 15 cm de espessura é geralmente usado em garagens, 0,015 m ³ /m ² de piso |
|--|--|
| Formulação para 1 m ³ de concreto. Referência: Ricci [79] | |
| Cimento (kg) | 110 |
| Areia Média Natural (kg) | 907 |
| Composição de Britas (de 25 a 4,8 mm) (kg) | 998 |
| Brita 2 ou 1, ou 0 reciclada (kg) | 250 |
| Água (m ³) | 136 |
| Consumo de água - pré-saturação da areia reciclada (m ³) | 12 |

8.6 Placas de concreto (PL)

Placas de concreto (Figura 46) são usadas em projetos de passeio. Podem ser sistemas aderidos [81], contendo argamassa de assentamento, ou flutuante (apoiado sob material granular, areia), ou construído como piso elevado externo (com apoio de vigotas de concreto). As placas possuem modulação de 40 x 40 cm a 100 x 100 cm, com espessuras variando de 25 a 30 mm (para fixa, e para placa removível, respectivamente).

Concretos estruturais

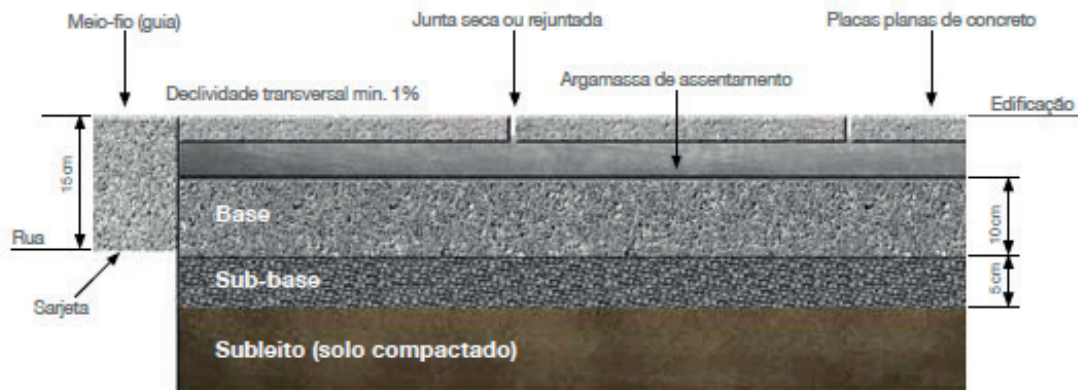


Figura 46 – Projeto de passeio usando placas planas de concreto. Fonte: [81]

Como requisitos devem possuir resistência característica à flexão superior a 3,5 MPa para pisos assentados de placas de concreto NBR 16790: 2022 [82], portanto concreto estrutural. Para pisos elevados, a carga mínima de ruptura à flexão deve ser igual ou superior a 5 kN, quando envolve uso privativo da área por pessoas, limitando a altura do sistema de piso a 20 cm, conforme a norma NBR 15805: 2010 [83].

São indicados uso de areia reciclada de concreto, limitando a substituição da areia natural pela reciclada em até 20% da massa. O concreto usa fôrmas plásticas e se emprega um microconcreto de consistência fluída.

É mais difícil encontrar formulações exemplo disponíveis na literatura acadêmica, ou na internet, sem um tipo de produto desenvolvido com base nas experiências de cada empresa. Assim, não foi recomendado uma formulação exemplo. Recomenda-se adaptar um traço de microconcreto autoadensável, prevendo o uso de areia reciclada de concreto, e ajuste no teor de aditivo superplastificante.

Tabela 57 – Tipos de ARs e teor de substituição: placa de concreto.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados |
|---|--------------------------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 |
| Teor de substituição - agregado natural por reciclado | Até 20% (kg/kg) |

8.7 Pavimento permeável (PP)

Existem dois tipos de projetos de pavimentos permeáveis (Figura 47), com ou sem infiltração da água no solo, de acordo com a descrições de projeto sugeridas pela ABCP [84]. São usados para reduzir problemas de acúmulo de água que podem resultar em enchentes, e podem aumentar a segurança viária. Por outro lado, a passagem de água pode ocasionar entupimento dos poros dos blocos (colmatação), soluções devem ser pensadas nas juntas, e o cimento pode lixiviar compostos de cálcio ao solo (maior controle no caso do solo para fins agrícola) e ao lençol freático (afetar a potabilidade da água próximo a locais de nascente e de abastecimento de água).

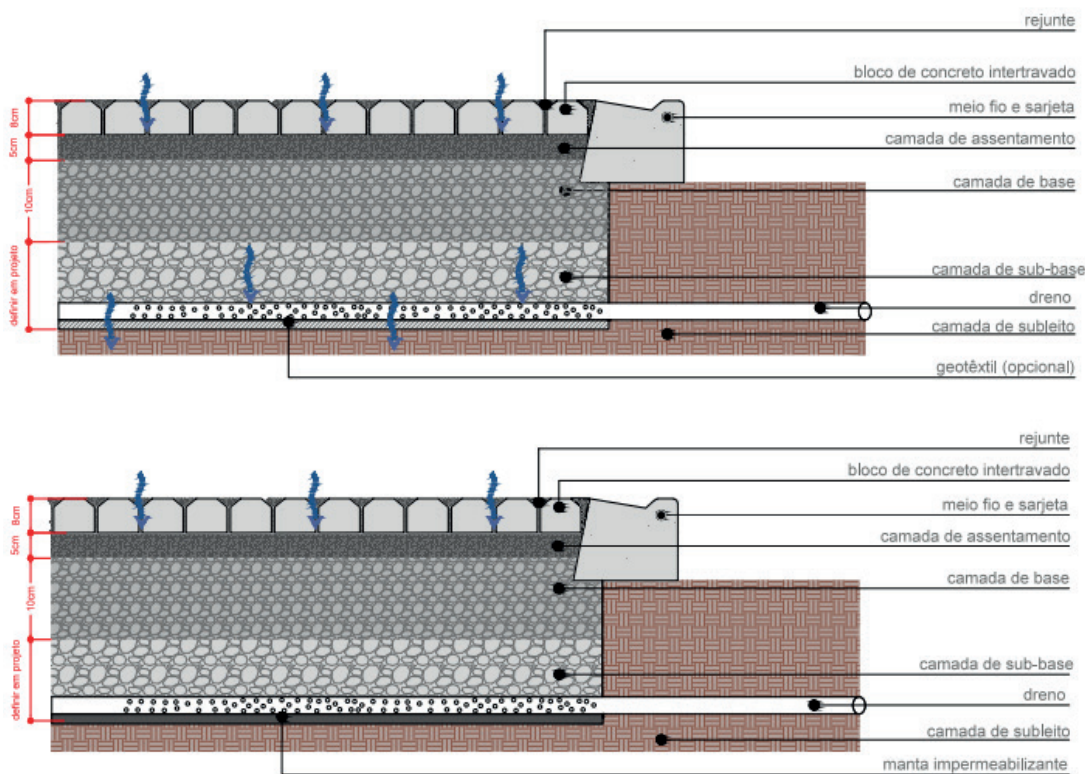


Figura 41 – Projetos de pisos drenantes e tipos de blocos intertravados permeáveis. Fonte: [82]; google imagens

Dada às exigências de tráfego, a resistência requerida das peças de concreto costuma ser acima de 20 MPa (Tabela 58); ou seja, um concreto estrutural, além de ter que atender outros requisitos específicos, como o de permeabilidade à água. Esse tipo de concreto não possui fração volumétrica elevada de agregados, naturais ou reciclados; é comum a remoção da fração areia da composição do concreto, procurando aumentar os coeficientes de permeabilidade requeridos na aplicação. Assim, recomenda-se o uso do pedrisco ou britas de concreto recicladas (Tabela 59), substituindo até 20% da massa da brita natural.

Tabela 58 – Requisitos técnicos específicos do produto (NBR 16416: 2015 [85])

| Tipo de Revestimento | Tipo de solicitação | Espessura Mínima | Resistência Mecânica | Coefficiente de Permeabilidade |
|-----------------------------|---------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Peça de concreto permeável | Tráfego pedestres | 60 mm | Compressão \geq 20 MPa (NBR 9781) | > 10 ⁻³ m/s |
| | Tráfego leve | 80 mm | | |
| Placa de concreto permeável | Tráfego pedestres | 60 mm | Flexão \geq 2 MPa (NBR 15805) | |
| | Tráfego leve | 80 mm | | |

Tabela 59 – Tipos de ARs e teor de substituição: piso drenante de concreto.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados |
|---|--------------------------------|
| Pedrisco | PE CO 000-012 |
| Brita zero | B0 CO 004-012 |
| Brita um | B1 CO 009-025 |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 20% (kg/kg) |

Uma composição é sugerida na Tabela 60, a partir do trabalho acadêmico de Gentil [86].

Tabela 60 – Sugestão inicial para uma formulação de um concreto permeável com agregado reciclado de concreto. Fonte: Gentil [86]

| Concreto permeável | Placa 40 cm x 40 cm x 25 mm, Volume de concreto 0.004 m ³ |
|--|--|
| Formulação para confeccionar 1 m ³ de concreto | |
| Cimento (kg) | 700 |
| Brita 0 Natural (kg) | 1680 |
| Brita 0 reciclada de concreto (kg) | 420 |
| Água (m ³) | 210 |
| Consumo de água - pré-saturação da areia reciclada (m ³) | 21 |
| Aditivo policarboxilato (kg) | 2,48 |

8.8 Concregrama, grelha perforada (CG)

O piso permeável de concreto pode ser confeccionado com peças pré-moldadas de concreto vazadas (Figura 48) (possibilitando a drenagem de água para o solo), usando concreto com função estrutural. Neste caso, a dimensão do agregado, natural ou AR fica restrita a $\frac{1}{2}$ da dimensão da peça; sendo compatível neste tipo de aplicação britas com dimensões inferiores a 9,5 mm (brita 0).

Por serem peças sujeitas à flexão e tensões de tração no concreto, recomenda-se uso do concreto estrutural (C25 ou superior) para garantir de 1 a 2 MPa de resistência à tração. Da mesma forma, algumas placas de concreto perfuradas podem ser confeccionadas para aumentar o escoamento de água de chuva em sistemas de drenagem de concreto cobertos (Figura 49).



Figura 48 – Concregrama: elemento de concreto pré-fabricado vazado, para aumentar a infiltração de água de chuva pelo solo, através de um piso drenante. Fonte: ABRECON.



Figura 49 – Grelha perforada, para proteger galeria e aumentar a infiltração de água de chuva pelo solo, através de um piso drenante. Fonte: ABRECON.

Concretos estruturais

Não há requisitos técnicos específicos normalizados para estes tipos de produtos; recomenda-se uso de concreto estrutural classe de resistência à compressão superior a 25 MPa, procurando garantir resistência à flexão entre 1,0 e 2,0 MPa.

Para peças de concreto estrutural, britas e areias recicladas de concreto podem ser usados, limitando o teor de substituição do agregado natural pelo AR em 20% da massa (Tabela 61). Recomenda-se o uso de traço genérico de concreto estrutural, C 25 MPa, adaptando-se este para uso do agregado reciclado de concreto (Tabela 62).

Tabela 61 - Tipos de agregados reciclados e teor de substituição: peças pré-fabricadas de concreto.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados |
|--|--------------------------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 |
| Brita zero | BO CO 004-012 |
| Teor de substituição - agregado natural por AR | Até 20% (kg/kg) |

Tabela 62 - Consumos de materiais para o produto: peças estruturais pré-fabricadas de concreto estrutural. Abatimento do concreto sugerido: 80 e 100 mm, \pm 10 mm. $f_{ck}=25$ MPa.

| Consumo de concreto Referência: SINAPI (94965) [75] | CONCRETO GENÉRICO $f_{ck} = 25$ MPA TRAÇO 1:2,3:2,7 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) |
|---|---|
| Consumo dos materiais – Referência: SINAPI adaptado (para 400 L de concreto, produzido em betoneira) | TRAÇO 1:2,3:2,7 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) |
| Cimento (kg) | 362,66 |
| Areia Natural (kg) | 834,1 |
| Pedrisco, pó de pedra (kg) | 734,4 |
| Pedrisco de concreto reciclado (kg) (*) | 195,8 |
| Consumo de água – pré-saturação da areia reciclada (kg) (*) | 9,6 |
| Relação água/cimento efetiva | <0,5 |
| Consumo de água efetiva (kg) | <181 |

8.9 Mourões de Concreto (MO)

Mourões de concreto (Figura 50) são usados para construir muros de divisa dando sustentação à cerca. De acordo com os requisitos técnicos exigidos para o produto (Tabela 63), esses entram na classe de concreto com função estrutural (classes de resistência característica superior a 20MPa).



Figura 50 – Mourões de concreto. Fonte: ABRECON.

Tabela 63 – Requisitos técnicos específicos do produto: mourões de concreto (NBR 7176: 2013 [87])

| Propriedade | Parâmetros |
|---|---|
| Resistência característica à compressão aos 28 dias (DER/SO. ET-DE-B00/005 [88]) | 25 MPa |
| Resistência à flexão | 60 kg (mourão, suporte e escora) |
| Absorção máxima de água | Média de 5%; < 7% individual |
| Cobrimento mínimo da armadura (NBR 6118 [54]) | 25 mm (classe de agressividade I) 30 mm (classe de agressividade II) |
| Classe de agressividade ambiental permitida | Classe I (rural, locais com UR < 65%) Classe II (moderada, urbana) |
| Tolerância de retilineidade | 0,4% |

Como se trata de concreto com função estrutural, são admitidos apenas areias e britas em diferentes faixas granulométricas (Tabela 64), limitada a uma dimensão máxima de agregado (natural ou reciclado), que equivale a ¼ da menor dimensão do mourão.

Recomenda-se o uso de concreto comum, de consistência plástica (abatimento entre 80 e 100 mm, com tolerância de ± 10 mm). Traço e consumo de materiais sugeridos estão apresentados na Tabela 65.

Tabela 64 - Tipos de ARs e teor de substituição: mourões de concreto.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados |
|--|--------------------------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 |
| Brita zero | B0 CO 004-012 |
| Brita um | B1 CO 009-025 |
| Teor de substituição - agregado natural por AR | Até 20% (kg/kg) |

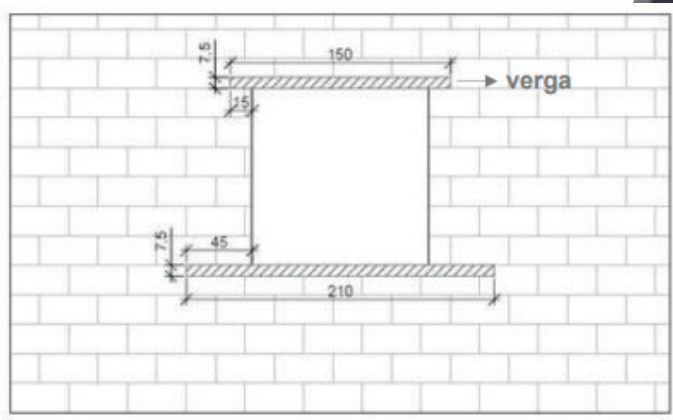
Tabela 65 – Consumos de materiais para o produto: mourões de concreto. Abatimento do concreto sugerido: 80 e 100 mm, ± 10 mm. fck=25 MPa.

| Consumo de concreto Referência: SINAPI (94965) | CONCRETO GENÉRICO FCK = 25MPA TRAÇO 1:2,3:2,7 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) |
|---|---|
| Consumo dos materiais – Referência: SINAPI adaptado (para 400 L de concreto, produzido em betoneira) | TRAÇO 1:2,3:2,7 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) |
| Cimento (kg) | 362,66 |
| Areia média natural (kg) | 834,1 |
| Brita 1 natural (kg) | 734,4 |
| Brita 1 reciclada (kg) (*) | 195,8 |

| Consumo de concreto Referência: SINAPI (94965) | | CONCRETO GENÉRICO FCK = 25MPa TRAÇO 1:2,3:2,7 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) |
|--|--|---|
| Consumo dos materiais – Referência: SINAPI adaptado (para 400 L de concreto, produzido em betoneira) | | TRAÇO 1:2,3:2,7 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) |
| Consumo de água – pré-saturação da brita reciclada (kg) | | 9,6 |
| Relação água/cimento efetiva | | <0,5 |
| Consumo de água efetiva (kg) | | <181 |

8.10 Vergas e Contravergas (VC)

Vergas e contravergas (Figura 51) são componentes de concreto estruturais (moldados in loco ou pré-fabricados) que servem para dissipar tensões na alvenaria, próximo às aberturas de janelas e portas, evitando a fissuração do sistema construtivo. Os requisitos técnicos são relacionados às dimensões mínimas dos elementos.



concretos estruturais

Figura 51 – Execução de vergas e contravergas em alvenarias. Fonte: google imagens.

Por ser um componente de concreto submetido à esforços de flexão, sugere-se o uso do concreto estrutural, em função da necessidade de possuir resistência à tração na flexão mínima entre 1 e 2 MPa.

Assim, recomenda-se o uso de areias e britas de concreto reciclado para confeccionar o concreto estrutural, limitando a substituição do agregado natural pelo AR em até 20% da massa (Tabela 66).

Uma formulação genérica de concreto fck 20 MPa fornecida pelo SINAPI foi adaptada, prevendo o uso da brita reciclada de concreto (Tabela 67).

Tabela 66 - Tipos de ARs e teor de substituição: vergas e contravergas.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados |
|--|--------------------------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 |
| Brita zero | BO CO 004-012 |
| Brita um | B1 CO 009-025 |
| Teor de substituição - agregado natural por AR | Até 20% (kg/kg) |

**Tabela 67- Consumos de materiais para o produto: Vergas e contravergas
Abatimento do concreto sugerido: 80-100 mm. fck=20 MPa [75]**

| Consumo de concreto para confeccionar o produto | 0,024 m ³ / m |
|---|--|
| Consumo dos materiais - Referência: SINAPI adaptado (para 400 L de concreto, produzido em betoneira) Referência: SINAPI (94964- Concreto genérico fck 20) [75] | TRAÇO 1:2,3:2,7 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) |
| Cimento (kg) | 322,98 |
| Areia media natural (kg) | 872,0 |
| Brita 1 natural (kg) | 726,7 |
| Brita 1 reciclada (kg) (*) | 193,8 |
| Consumo de água - pré-saturação da brita reciclada (kg) | 9,5 |
| Relação água/cimento efetiva | <0,55 |
| Consumo de água efetiva (kg) | <177 |

8.11 Guarda-corpo (pré-fabricado de concreto, ou de concreto armado) (GC)

Guarda-corpo (Figura 52) são elementos estruturais de concreto, que visam proteger as pessoas contra quedas. Devem resistir a esforços de flexão, sendo solicitado à tração. Requerem concretos estruturais, geralmente peças armadas com aço.

O dimensionamento deve obedecer a NBR 6118: 2014 [56], que trata do projeto de estruturas de concreto armado, e as diretrizes de normas como a da NBR 14718: 2019 [89]. Existem muitas configurações possíveis e não é possível estipular características mínimas para o material, a não ser que este deve ser um concreto estrutural.

Critérios de desempenho são também usados para avaliar os sistemas construtivos usados, onde devem ser realizados ensaios de corpo duro e corpo mole, representando esforços de impacto durante o uso feito pelas pessoas dentro das edificações. Para maiores detalhes e critérios técnicos, deve-se utilizar o guia CBIC para avaliação de desempenho [1], que procura esclarecer partes da norma NBR 15575: 2021 [90].

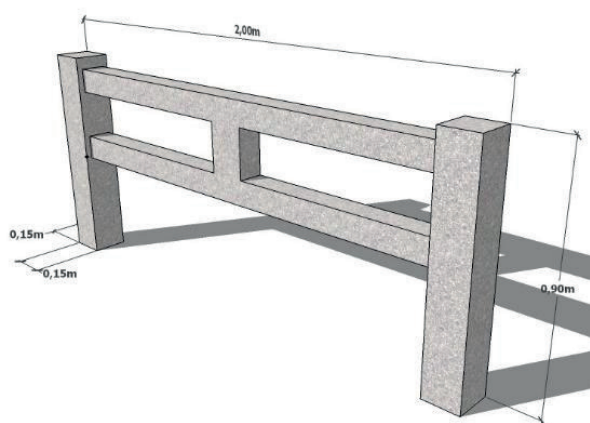


Figura 52 – Guarda corpo pré-fabricado de concreto. Fonte: google imagens.

Para um concreto estrutural, é permitido o uso dos agregados reciclados de concreto, como os especificados no item 8.10, assim como a formulação exemplo que contém o agregado reciclado de concreto especificada.

8.12 Blocos de fundação, e postes (FP)

Blocos de fundação de concreto estrutural, postes ou torres (Figura 53), e tótems podem ser executados com agregados reciclados de concreto, com até 20% de substituição do agregado natural por AR. Recomenda-se especificações similares a feitas no item 8.10.



Figura 53 – Fundações de concreto armado de postes e torres. Fonte: ABRECON.

8.13 Barreiras de Concreto (New Jersey) (BC)

Barreiras de concreto (New Jersey) - Figura 54 - são elementos de proteção usados em rodovias para evitar que carros atravessem vias cujo fluxo é contrário. Os requisitos técnicos estão descritos na Tabela 68.



Figura 54 - Barreiras de concreto (New Jersey). Podem ser pré-fabricadas ou extrudadas in loco. Fonte: ABRECON.

Tabela 68 - Requisitos técnicos específicos do produto: barreiras de concreto (NBR 14885: 2016 [91])

| Propriedade | Parâmetros |
|---|------------------------------|
| Resistência característica à compressão aos 28 dias (NBR 5739 [92]) | ≥ 25 MPa |
| Fator água/cimento (NBR 6118 [56]) | $\leq 0,60$ |
| Consumo de Cimento (NBR 12655 [56]) | ≥ 280 kg/m ³ |
| Dimensão característica dos agregados (NBR 7211[66]) | $50 < 0,15$ mm |

Como se trata de um concreto estrutural, apenas britas e areias recicladas de concreto podem ser usadas para confeccionar o concreto, limitando o teor de substituição do agregado natural pelo reciclado em 20% da massa. Uma composição de concreto obtida pelo mercado foi adaptada para considerar a substituição do agregado natural pelo reciclado (Tabela 70).

Tabela 69 - Tipos de ARs e teor de substituição: barreiras de concreto (New Jersey).

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados |
|--|--------------------------------|
| Areia fina | AF CO 000-001 |
| Areia média | AM CO 001-002 |
| Areia grossa | AG CO 001-004 |
| Brita zero | BZ CO 004-012 |
| Brita um | BU CO 009-025 |
| Brita dois | BD CO 019-031 |
| Brita três | BT CO 025-050 |
| Teor de substituição - agregado natural por AR | Até 20% (kg/kg) |

Tabela 70 – Consumos de materiais para o produto: Barreira de concreto (New Jersey). Abatimento do concreto: < 40 mm (extrusão)

| Consumo de concreto dados de MERCADO | | 0,321 m ³ / metro |
|--|--|---|
| Consumo dos materiais – Referência: SINAPI adaptado (para 400 L de concreto, produzido em betoneira) | | TRAÇO 1:2,3:2,7 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) |
| Referência: SINAPI (94965 – Concreto genérico fck 25) [73] | | |
| Cimento (kg) | | 362,66 |
| Areia média (kg) | | 834,1 |
| Brita 1 natural (kg) | | 734,4 |
| Brita 1 de concreto reciclada (kg) (*) | | 195,8 |
| Consumo de água – pré-saturação da areia reciclada (kg) | | 9,5 |
| Relação água/cimento efetiva | | <0,5 |
| Consumo de água efetiva (kg) | | <181 |

8.14 Trabalhos acadêmicos, livros

Existem muitos trabalhos acadêmicos sobre uso de agregados reciclados em concretos (Tabela 71). Incluímos nesta lista alguns que consideramos importantes, não todos. A lista de bibliografia pode (e deve) ser expandida.

Tabela 71 – Trabalhos acadêmicos e livros sobre o uso de agregados reciclados em concretos.

| Autor | Título | Universidade | Ano | Link de acesso | Referência |
|-----------------|--|-------------------|------|---|------------|
| T. C. Hansen | Recycling of Demolished Concrete and Masonry | Livro | 1992 | https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781482267075/recycling-demolished-concrete-masonry-hansen | [93] |
| S. E. Zordan, | A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto | Mestrado, UNICAMP | 1997 | https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.1997.115276 | [94] |
| L. M. Latterza, | Concreto com agregados graúdos proveniente a reciclagem de resíduos de construção e demolição. Um novo Material para fabricação de painéis leves de vedação. | Mestrado, USP | 1998 | https://doi.org/10.11606/D.18.2017.tde-21122017-120645 | [95] |
| R. S. Bazuco | Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos | Mestrado, UFSC | 1999 | http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/80789 | [96] |
| M. B. Leite | Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição | Doutorado, UFRGS | 2001 | http://hdl.handle.net/10183/21839 | [97] |

| Autor | Título | Universidade | Ano | Link de acesso | Referência |
|---------------------|--|----------------|------|---|------------|
| S. M. Levy | Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e de alvenaria | Doutorado, USP | 2001 | https://repositorio.usp.br/item/001231349 | [98] |
| J. G. G. Sousa | Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso do entulho como agregado reciclado | Mestrado, USP | 2001 | https://repositorio.unb.br/handle/10482/37376 | [99] |
| A. M. Buttler | Concretos com agregados graúdos reciclados de concreto: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados | Mestrado, USP | 2003 | https://doi.org/10.11606/D.18.2003.tde-06082003-172935 | [100] |
| P. M. Carrijo | Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto | Mestrado, USP | 2005 | https://doi.org/10.11606/D.3.2005.tde-11052006-143829 | [101] |
| S. C. Angulo | Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos | Doutorado, USP | 2005 | https://doi.org/10.11606/T.3.2005.tde-18112005-155825 | [24] |
| S. M. Albuquerque | Estudo para uso de agregado de resíduos de construção e demolição em blocos de concreto para alvenaria | Mestrado, IPT | 2005 | http://cassiopea.ipt.br/teses/2005_HAB_Sergio_Medeiros_Albuquerque.pdf | [102] |
| D. M. Prado | Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto | Mestrado, USP | 2006 | https://doi.org/10.11606/D.18.2006.tde-22062006-103918 | [103] |
| A. E. B. Cabral | Modelagem das propriedades mecânicas e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD | Doutorado, USP | 2007 | https://doi.org/10.11606/T.18.2007.tde-21102007-164548 | [104] |
| A. M. Buttlet | Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural | Doutorado, USP | 2007 | https://doi.org/10.11606/T.18.2007.tde-16102007-111106 | [67] |
| J. J. L. Tenório | Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de re | Mestrado, UFAL | 2007 | http://repositorio.ufal.br/handle/riufal/385 | [105] |
| P. S. Lovato | Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto | Mestrado, USP | 2007 | http://hdl.handle.net/10183/10609 | [106] |
| E. Tseng | Reciclagem total de pavimentos de concreto como agregados para construção de novos pavimentos de concreto: o caso do Rodoanel Metropolitano Mário Covas | Mestrado, USP | 2010 | https://doi.org/10.11606/D.3.2010.tde-20102010-164010 | [107] |
| P. Torgal; J. Brito | Handbook of recycled concrete and demolition waste | Livro | 2013 | https://www.sciencedirect.com/book/9780857096821/handbook-of-recycled-concrete-and-demolition-waste | [108] |

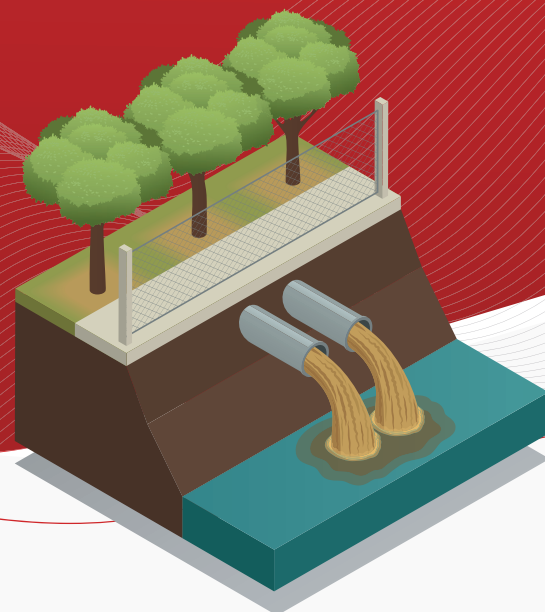
| Autor | Título | Universidade | Ano | Link de acesso | Referência |
|-----------------------|---|-----------------------------|------|---|------------|
| J. Brito; N. Saikia | Recycled aggregate in concrete: use of industrial, construction and demolition waste | Livro | 2013 | https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4471-4540-0 | [109] |
| M. Pepe | A Conceptual Model for Designing Recycled Aggregate Concrete for Structural Applications | Livro, Tese (em coop. UFRJ) | 2015 | https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-26473-8 | [110] |
| A. Hermann | Empacotamento de agregados reciclados para concretos vibrocompactados | Mestrado, UTFPR | 2016 | http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1846 | [111] |
| L. C. B. Oliveira | Análise da permeabilidade e da colmatação em concretos permeáveis com agregado reciclado de concreto | Mestrado, PUC Campinas | 2017 | http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/1009 | [112] |
| G. T. S. Lima | Influência da substituição total e parcial do agregado graúdo natural por agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável | Mestrado, UFSC | 2018 | https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/193493 | [113] |
| J. Brito; F. Agrela | New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete | Livro | 2019 | https://www.elsevier.com/books/new-trends-in-eco-efficient-and-recycled-concrete/brito/978-0-08-102480-5 | [114] |
| F. Larrard; H. Colina | Concrete Recycling: Research and Practice | Livro | 2019 | https://www.routledge.com/Concrete-Recycling-Research-and-Practice/Larrard-Colina/p/book/9780367731496 | [115] |
| F. Gentil | Estudos de parâmetros de dosagem que influenciam as propriedades de concretos permeáveis com agregados reciclados | Mestrado, UNISINOS | 2020 | http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/9258 | [86] |
| D. Niza | Concretos secos com agregados de RCD: a influência da otimização granulométrica e efeitos na compactação | Mestrado, USP | 2020 | https://doi.org/10.11606/D.3.2020.tde-30062021-163604 | [116] |



Escaneie ou clique
no QR Code



9. Obras Geotécnicas (GEO) e de Saneamento (SAN)



Não existe norma brasileira específica para especificar as características que os agregados reciclados devem atender para uso diverso em obras de geotecnia, ou de saneamento. Isso pode ser explicado pela diversidade de funções que os diferentes materiais granulares que compõem uma dada obra podem desempenhar. Os materiais usados nas obras geotécnicas, em alguns casos, dependem muito dos projetistas [11], que caracterizam os materiais disponíveis localmente, e estabelecem os parâmetros de projeto (espessuras de camadas, condições de compactação dos materiais, dimensões do reforço, por exemplo). São exemplos de obras geotécnicas: barragens de terra e enrocamento, estruturas de contenção, aterros, reaterro de valas, valas de drenagem e fundações.



CURSO DE GESTÃO INTEGRADA

RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL
e operação de usina de reciclagem de entulho

**VENHA PARTICIPAR
DO ÚNICO CURSO
COM VISITA TÉCNICA
DO BRASIL!**

Descontos especiais para
usinas de reciclagem.

EVENTO PRESENCIAL

inscreva-se no site →

abrecon.org.br



— Realização —

abrecon

Associação Brasileira para Reciclagem de
Resíduos da Construção Civil e Demolição

Diante do número ainda restrito de normas e recomendações técnicas, o emprego de RCD em obras geotécnicas e de saneamento, são normalmente limitados a alguns materiais específicos. Em tais obras, são utilizados os ARs de grandes dimensões como o rachão reciclado (de tamanho acima de 50 mm), uma vez que não se enquadra nos demais usos (exceto no reforço de subleito de pavimentos), mas também a bica corrida reciclada (de tamanho abaixo de 50 mm), usada geralmente como sub-bases de pavimentos, até areia reciclada, que serve como uma camada onde são assentados tubos das redes de água e de esgoto.

Na Grã-Bretanha, serviços de manutenção das redes de água e gás geraram cerca de 4,8 milhões de toneladas de resíduos em 2005, a maioria solos de escavação [137,138]. Dependendo do país, este material pode ou não se enquadrar na categoria de resíduos da construção [139]. No Brasil, no entanto, observa-se que é comum receber resíduos de construção e demolição em usinas de reciclagem com grande quantidade de finos naturais [11,123,140]. Geralmente a presença de solos de escavação, que se encontram misturados com os demais tipos de RCD, ocorre por falta de cuidado com triagem, fazendo com que o processo de mistura possa ocorrer nas próprias obras. Contudo, a presença de solo no RCD pode ser também decorrente de desastres naturais e guerras [141].

Existem esforços no sentido de incluir o aproveitamento do RCD por meio da adaptação de especificações técnicas de obras caracterizadas por envolverem baixos risco de acidentes e custos de intervenções. Um exemplo disso é o uso de rachão reciclado e demais tipos de ARs nas obras, adaptando-se especificações técnicas para construção de valas. Especificam-se 5 tipos de valas [142] e são definidas 5 categorias de materiais distinguindo-os entre os coesivos (como os solos), os não-coesivos (como os agregados, naturais ou reciclados), diferentes camadas (subleito, suporte, camada de aterramento).

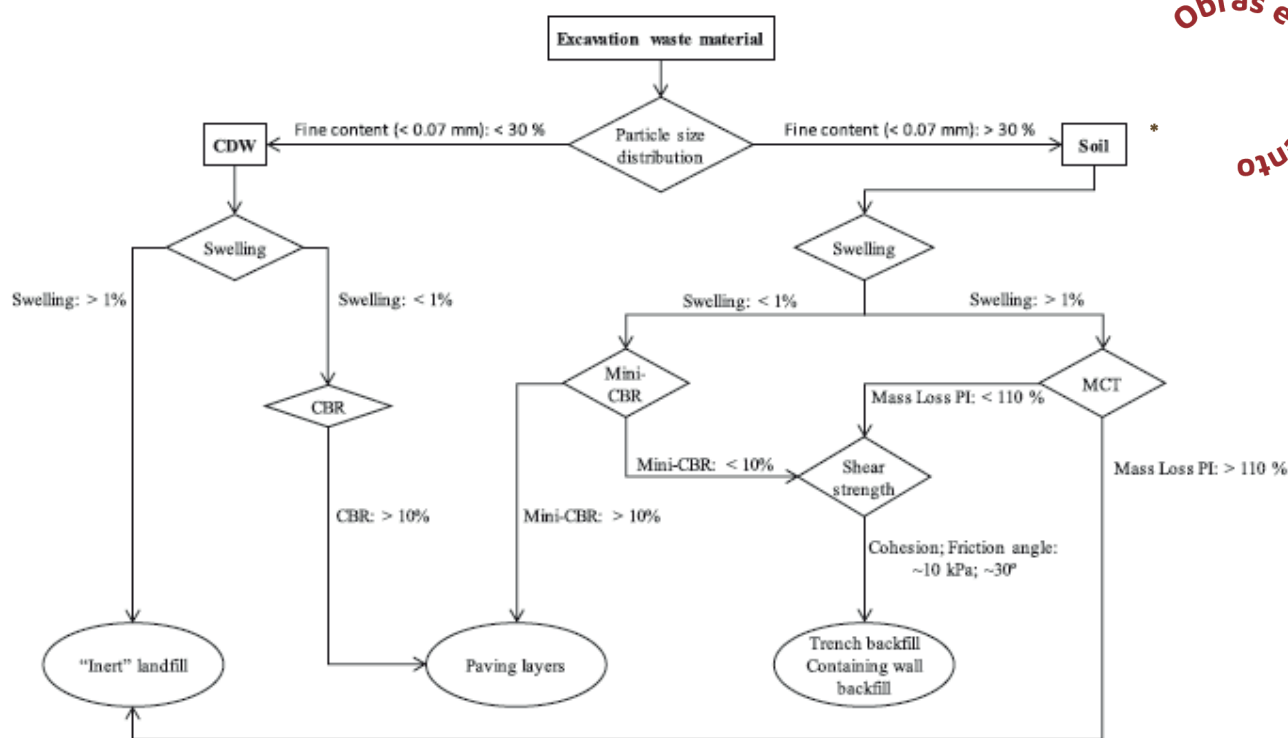
O solo e o material granular devem atender diversos parâmetros especificados em cada projeto (Tabela 72), como distribuição granulométrica, resistência ao cisalhamento, densidade seca, teor de umidade, limites de consistência, CBR, potenciais de expansão ou de contração, erodibilidade, compressibilidade, colapsividade, e permeabilidade [11]. Para cada tipo de obra, existem critérios técnicos específicos que precisam ser considerados para reuso dos finos naturais obtidos em usinas de reciclagem de RCD. Esse finos naturais são geralmente obtidos por escalpe, sem britagem, podendo conter apenas material granular, ou apenas solo de escavação, ou misturas entre estes, a depender da planta de reciclagem.

Levando-se em consideração os diversos critérios técnicos usados para aproveitamento de solos nas diferentes aplicações, os solos de escavação podem ser reutilizados (sem beneficiamento), tendo determinados valores limites sugeridos e mais indicados, a depender do uso geotécnico [11,143] (Figura 55). Dessa forma, o planejamento das atividades da obra e a triagem ainda dentro do canteiro de obra poderia viabilizar um emprego do RCD composto de solo implicando em baixo custo.

Os ensaios guardam relação com certas propriedades físicas cujo controle evita defeitos e problemas de natureza geotécnico [11] (Tabela 73). Porém vale ressaltar a possibilidade dos RCD terem as suas propriedades alteradas com técnicas de melhoria (química e/ou mecânica) ou de reforço (inclusão de elementos sintéticos ou naturais). Já há no país uma série de estudos que demonstram os efeitos positivos de tais técnicas (Tabela 77).

Tabela 72 – Relação dos principais critérios técnicos para reuso de solos em obras de terra. Extraído de [11]

| | |
|---------------------------------------|--|
| Obra de terra | <ul style="list-style-type: none"> ✔ Critérios técnicos a serem avaliados (parâmetros de referência) |
| Reaterro de vala | <ul style="list-style-type: none"> ✔ Resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) ✔ Expansão e perda de resistência por molhagem ✔ Grau de compactação (densidade seca e umidade ótima) ✔ Distribuição granulométrica |
| Muros de solo reforçado | <ul style="list-style-type: none"> ✔ Resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) ✔ Expansão e perda de resistência por molhagem ✔ Deformabilidade |
| Barragens de terra | <ul style="list-style-type: none"> ✔ Compressibilidade (adensamento) ✔ Resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) ✔ Grau de compactação (densidade seca e umidade ótima) ✔ Expansão e perda de resistência por molhagem ✔ Coeficiente de permeabilidade ✔ Erodibilidade |
| Pavimentos | <ul style="list-style-type: none"> ✔ Expansão ✔ CBR (resistência à penetração e expansão) ✔ Distribuição granulométrica |
| Reposição de cobertura vegetal | <ul style="list-style-type: none"> ✔ Teor de alumínio ✔ Teor de matéria orgânica ✔ Teor de argila ✔ Capacidade de troca catiônica ✔ Coeficiente de permeabilidade ✔ Teor de umidade ✔ pH |
| Drenagem | <ul style="list-style-type: none"> ✔ Distribuição granulométrica ✔ Perda de resistência por molhagem |



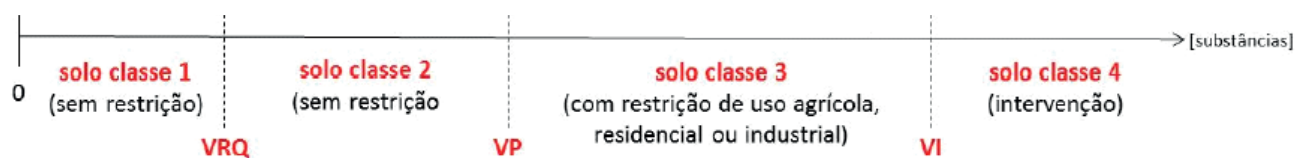
Obras e saneamento

Figura 55 – Critérios técnicos para reuso potencial de solos presentes no RCD. CBR: California Bearing Ratio; MCT: miniature, compacted, tropical classification. Mass Loss PI: mass loss after immersion, relative to the dry mass of 20-cm³ compacted soil. Fonte: [11]

Tabela 73 – Ensaios, propriedades físicas e o controle de prováveis defeitos geotécnicos. Fonte: [11]

| Ensaio e determinações | Propriedades físicas associadas | Prováveis defeitos |
|--|--|---|
| Mini-CBR | Capacidade de Suporte (Previsão) | - Deformação Excessiva - Ruptura do Pavimento |
| Expansão | Aumento de Volume com Teor de Umidade | - Deformação da Base - Trincas da Capa |
| Coefficiente de Sucção Capilar D'água | Velocidade de Penetração da Frente de Umidade e Quantidade de Água Associada a Penetração dessa Frente | - Amolecimento da Parte Superior da Base na Época de Construção devido às Chuvas - Amolecimento da Borda - Drenabilidade Lenta e Problemas Construtivos Associados - Crescimento das Panelas |
| Permeabilidade | Percolação da Água | - Não Drenante |
| Contração | Contração da Base | - Desagregação pelo Trânsito de Serviço - Trincas de Reflexão na Capa - Entrada Excessiva D'água na Base e Subleito |
| Compactação | Grau de Compactação do Material em Relação a Umidade Ótima | - Deformação excessiva - Lamelas - Ruptura do Pavimento - Trincamentos Excessivos |
| Penetração da Imprimadura | Espessura e Quantidade de Material Betuminoso Penetrado | - Escorregamento da Camada de Rolamento - Exsudação de Asfalto na Superfície do Pavimento |
| Mini-CBR in situ | Capacidade (Real) de Suporte | - Deformação Excessiva - Ruptura do Pavimento |
| Razão: Mini-CBR na Umidade de Moldagem/ Mini-CBR Após Imersão | Diminuição da Capacidade com Aumento da Umidade | - Deformação da Base na Época de Construção devida às Chuvas - Deformação Excessiva na Borda do Pavimento devida a Penetração Lateral da Água - Ruptura do Pavimento em Capas Permeáveis |

Com relação ao uso dos solos de escavação, atenção especial deve ser dada para a compatibilidade ambiental do material ao meio no qual é inserido, e considerar seu potencial de contaminação do solo e de corpos de água. Países como Holanda, Alemanha e Suíça levam em conta o potencial de contaminação do solo. No Brasil, na resolução CONAMA 420: 2009 [144] são estabelecidos valores orientadores da qualidade solo e reuso em diferentes contextos (uso agrícola, residencial ou industrial, e solo que necessita de descontaminação), com base nas espécies químicas solúveis presentes no solo (Figura 54).



VRQ = Valor de Referência de Qualidade de solo / VP = Valor de Prevenção / VI = Valor de Investigação

Obras e saneamento



Figura 56 – (acima) Qualidade do solo levando em conta cenários de uso. Figura adaptada da resolução 420: 2009 do CONAMA [144]. (abaixo) exemplo de solo escarpado (ao fundo) em usina de reciclagem de RCD.

Segundo a resolução CONAMA 420, os termos Valor de Referência de Qualidade (VRQ), Valor de Prevenção (VP) e Valor de Investigação (VI) são definidos da seguinte forma [11]:
Valor de Referência de Qualidade (VRQ): são solos que possuem espécies químicas, sem interferência antrópica (ou seja, do ser humano). Os valores são baseados em análises físico-químicas das classes de solos, por conhecimento prévio, geológico.

Valor de Prevenção (VP): existe uma alteração prejudicial da qualidade do solo, envolvendo certo risco ecológico, de fitotoxicidade

Valor de Investigação (VI): envolve um limite de concentração de espécies químicas no qual existe risco à saúde humana, precisando de intervenção na área. Solos contaminados se enquadram aqui.

9.1 Elevação de greide, ou nivelamento topográfico (EG)

Em serviços de movimentação de terra, faz-se necessário elevar cotas (Figura 57), implicando na necessidade de lançar mão de materiais locais, como solos. Quando possuem características incompatíveis com as camadas de pavimento ou requeridas num aterro, ARs ou até mesmo rachão reciclado podem ser adicionados, procurando corrigir os parâmetros técnicos, tais como capacidade de suporte, e reduzir expansibilidade.



Figura 57 – Exemplo de elevação de greide (cota), para viabilizar aterros ou camadas de pavimento.
Fonte: ABRECON.

A Tabela 74 apresenta alguns requisitos técnicos empregados pelo DNIT. Todos os tipos de rachão reciclados, bica corridas e brita graduadas podem atender o uso (Tabela 75), em teores de substituição de 100% do agregado natural pelo AR.

Tabela 74 – Requisitos técnicos específicos do produto (Norma DNIT 108 [145])

| Aplicação | Índice de Suporte Califórnia (CBR) (%) | Expansibilidade (%) |
|-------------------------|--|----------------------|
| | Norma DNIT 172 [146] | Norma DNIT 164 [147] |
| Camada Final de aterros | “melhor capacidade de suporte disponibilidades e em consonância com os preceitos de ordem técnico-econômica” | ≤ 2 |
| Corpo de aterros | ≥ 2 | ≤ 2 |

Tabela 75- Tipos de ARs e teor de substituição: elevação de greide.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|---------------|---------------|
| Solos (escalpe) | SOLO 000-010 | | |
| Rachão | RR CO 050-075 | RR CI 050-075 | RR MI 050-075 |
| Bica corrida | BC CO 000-050 | BC CI 000-050 | BC MI 000-050 |
| Teor de substituição - agregado natural por reciclado | Até 100% (kg/kg) | | |

Solos locais ou de escavação podem ser classificados usando o método MCT (Miniatura, Compactada, Tropical) que auxilia na escolha de solos compactados para uso em pavimentos, e outros tipos de obras (incluindo aterros), com base no comportamento de contração, consistência, expansão e permeabilidade do acesso (Tabela 76).

Tabela 73 – Classificação MCT, e propriedades avaliadas para aplicação de solos em pavimentação.

| Granulometrias típicas | | argilas siltos (q-s) | areias siltosas | siltos (k, m) siltos arenosos | argilas arenosas argilas siltosas siltos argilosos | areias siltosas | areias argilosas | argilas arenosas argilas siltosas siltos argilosos |
|--|----------------------------------|---|-----------------|----------------------------------|--|-----------------|--|--|
| Designações do T1-71 do DER-SP (equivalentes da Mississippi River Commission, USA) | | | | | | | | |
| k=caolinitico s=sericitico | m=mi cáceo q= quartzo | | | | | | | |
| COMPORTAMENTO | | N = Não Laterítico | | | | L = Laterítico | | |
| GRUPO MCT | | NA | NA ¹ | NS ¹ | NG ¹ | LA | LA ¹ | LG ¹ |
| Propriedades | Mini-CBR(%) | M, E B, M | E B | M, E E | E E | E B | E, EE B | E B |
| | sem imersão perda por imersão | | | | | | | |
| | Expansão | B | B | E | M, E | B | B | B |
| | Contração | B | B, M | M | M, E | B | B, M | M, E |
| | Coef. de Permeabilidade (k) | M, E | B | B, M | B, M | B, M | B | B |
| | Coeficiente de sorção (s) | E | B, M | E | M, E | B | B | B |
| Corpos de prova compactados na massa específica aparente seca máxima da energia normal | | EE = Muito Elevado (a) E = Elevado (a) | | | M = Médio (a) B = Baixo (a) | | Vide Tabela III, 3 para equivalente numérico | |
| Utilização | Base de pavimento | n | 4° | n | n | 2° | 1° | 3° |
| | Reforço do subleito compactado | 4° | 5° | n | n | 2° | 1° | 3° |
| | Subleito compactado | 4° | 5° | 7° | 6° | 2° | 1° | 3° |
| | Aterro (corpo) compactado | 4° | 5° | 6° | 7° | 2° | 1° | 3° |
| | Proteção à erosão | n | 3° | n | n | n | 2° | 1° |
| | Revestimento primário | 5° | 3° | n | n | 4° | 1° | 2° |
| Propriedade de utilização do tipo de solo: 1° a 4°, não recomendado (n). | | | | | | | | |

9.2 Aterro e reaterro de valas (VA)

Aterro e reaterro de valas (Figura 58) são atividades geotécnicas que envolvem desde o preparo da base onde se apoia as tubulações de água e esgoto, até execução e compactação das camadas de reaterro até o nível da superfície, podendo inclusive envolver a etapa de recomposição da camada asfáltica quando inserida no pavimento.

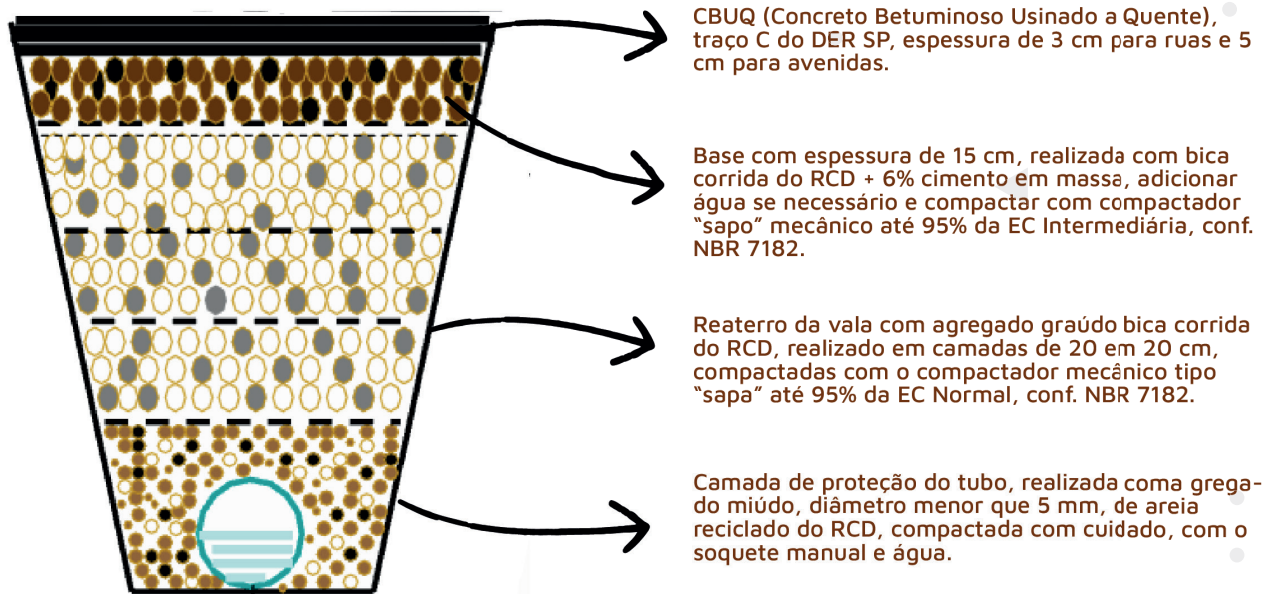


Figura 58 – Reaterro de valas, prevendo o uso do AR. Extraído de Vedroni [148]

A Tabela 77 apresenta os critérios técnicos usados na NBR 12266:1992 sobre aterro e reaterro de valas, e a do Departamento de Estrada de Rodagem (DER-SP). Grandes concessionárias possuem especificações próprias para os materiais, devendo ser consultado, caso a caso. Abaixo são apresentadas as adotadas na cidade de São Paulo, pela SABESP (Tabela 78), baseada em pesquisa experimental com bica corrida reciclada. Há relatos de sucesso de uso de AR em obras dessa concessionária, inclusive de outras como CONGÁS, e em prefeituras [148].

Tabela 77 – Requisitos técnicos específicos do produto segundo a NBR 12266: 1992 e o DER: 2006 [26,149]

| Propriedade | Parâmetros |
|---|------------|
| Índice de Suporte Califórnia (CBR) | ≥ 2% |
| Expansibilidade | < 4% |
| Teor de umidade | -2 a +1% |
| Grau de compactação mínima em relação à massa específica aparente seca máxima | 95% |

Tabela 78- Recomendações técnicas de acordo com a PMSP e SABESP.

| Especificação | Camadas | Recomendações técnicas |
|---------------------------|-----------------|---|
| NST (SABESP, 2006) | Entorno do tubo | Areia - sem mat. Orgânica. - sem torrões de argila. - espessura > 5 cm |

| Especificação | Camadas | Recomendações técnicas |
|-------------------------------------|--------------|---|
| NST (SABESP, 2006) | Reaterro | Solo - CBR > 9 - Expansão < 2 % - 95 % EC normal [28,140]1 - ± 2 % da umidade ótima. Areia - CR > 75 % 2 Brita graduada - 100% EC intermediária[141] Espessura compactada da camada < 15 cm |
| | Assentamento | Areia - espessura 5 cm |
| IR-01 (PMSP, 2004) | Reaterro | Solo - não usar solos expansivos Areia - compactação mecânica |
| | Assentamento | Brita graduada |

Todos os tipos de areias recicladas e de britas recicladas usadas em pavimentação podem ser usadas (Tabela 79).

Tabela 79- Tipos de ARs e teor de substituição: elevação de greide.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|---------------|---------------|
| Solo (escalpe) | SOLO 000-010 | | |
| Areia fina reciclada | AF CO 000-001 | AF CI 000-001 | AF MI 000-001 |
| Areia média reciclada | AM CO 001-002 | AM CI 001-002 | AM MI 001-002 |
| Areia grossa reciclada | AG CO 001-004 | AG CI 001-004 | AG MI 001-004 |
| Rachão reciclado | RR CO 050-075 | RR CI 050-075 | RR MI 050-075 |
| Bica corrida reciclada | BC CO 000-050 | BC CI 000-050 | BC MI 000-050 |
| Teor de substituição – agregado natural por reciclado | Até 100% (kg/kg) | | |

9.3 Estrutura de contenção: Gabiões (GAB), muros com pedra argamassada (PA), murros de arrimo com blocos, tijolos de solo cimento (MA).

O gabião (GAB) depende do projeto básico da engenharia geotécnica (um exemplo é apresentado na Figura 59). Praticamente 100 % do volume do gabião é composto por rachão reciclado. Considera-se viável a substituição total do agregado natural por reciclado de concreto (Tabela 82), atendendo-se os quesitos técnicos apresentados na Tabela 81. Há relatos de uso bem-sucedido de gabião com rachão reciclado para recuperação de áreas degradadas ou que envolveram acidente geotécnico, ou relatos de testes experimentais em grandes empresas do setor. Ressalta-se a necessidade de estudos que levem em consideração o aspecto de durabilidade do material, e verificar se existem riscos de segurança não previstos ou avaliados, que possam colocar a obra em risco de deformações excessivas ou acidente.

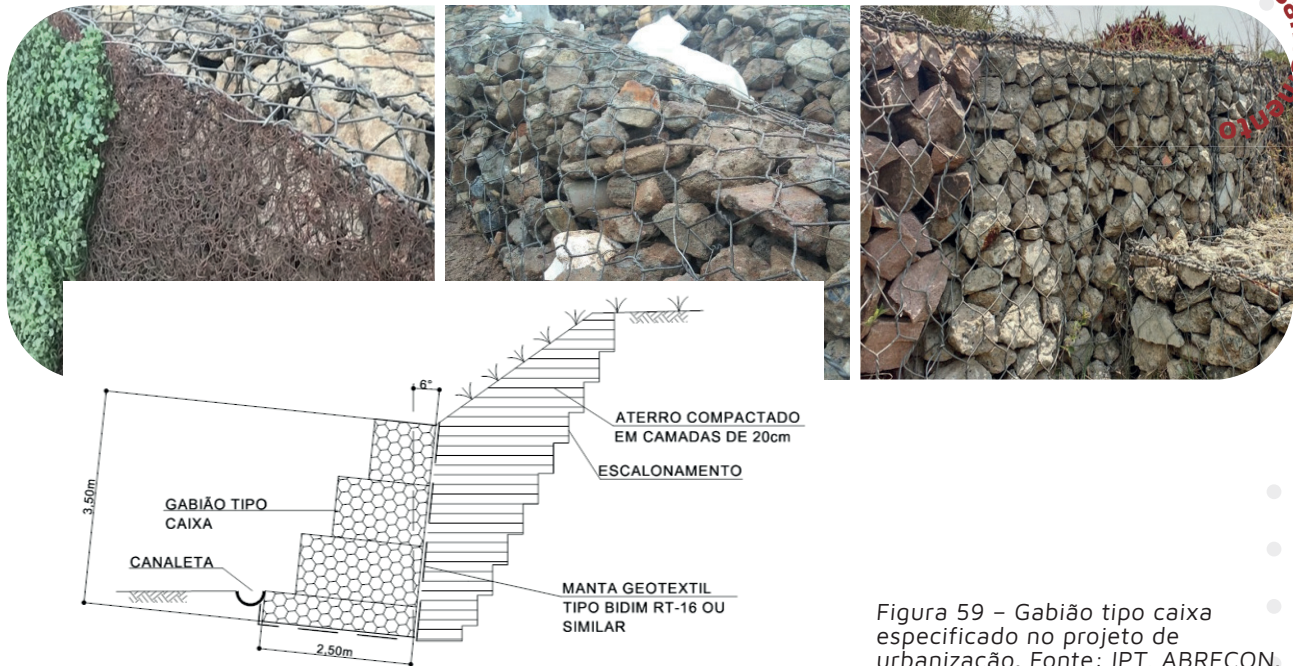


Figura 59 – Gabião tipo caixa especificado no projeto de urbanização. Fonte: IPT, ABRECON.

Tabela 80- Tipos de ARs e teor de substituição: estrutura de contenção (gabião - *, muro de pedra argamassada - +).

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|---|--------------------------------|----------------------|-------------------|
| Rachão | RR CO 050-075 (*) | RR CI 050-075 (*, +) | RR MI 050-075 (+) |
| Bica corrida | BC CO 000-050 (*) | BC CI 000-050 (*, +) | BC MI 000-050 (+) |
| Brita graduada | BG CO 000-025 (*) | BG CI 000-025 (*, +) | BG MI 000-025 (+) |
| Teor de substituição - agregado reciclado por natural | Até 100% (kg/kg) | | |

Tabela 81 – Recomendações técnicas para uso de rachão reciclado ou brita 3 em obras de gabião (Norma DNIT 103 [152]; DER/SP. ET-DE-H00/012 [153])

| Especificação | Quanto a | Recomendações técnicas |
|---------------|----------|---|
| IPT | Projeto | <ul style="list-style-type: none"> ✔ Considerar a redução do peso próprio do agregado reciclado no dimensionamento. Valores usuais de massa unitária são 1,2 t/m³. ✔ Considerar a redução na resistência ao cisalhamento devido ao ângulo de atrito interno do agregado reciclado. ✔ Avaliar se há degradação das partículas dos agregados por passagem de água, exposição a intempérie local. O agregado reciclado é mais friável e solúvel que o agregado natural, e degradação pode implicar em mudança de granulometria, aumento de vazios, de deformação, redução do peso próprio. |

| Especificação | Quanto a | Recomendações técnicas |
|-------------------------|--|--|
| MACAFERRI (2010) | Execução | <p>Comprimento/Largura/Altura</p> <ul style="list-style-type: none"> ✔ Padrão modular usual de 1 m <p>Enchimento de forma a minimizar o índice de vazios (30-40%) a cada 1/3 do volume, alocando-se corretamente os tirantes.</p> |
| | Especificação dos materiais | <p>Brita</p> <ul style="list-style-type: none"> ✔ Dimensão Máxima > menor dimensão da malha hexagonal. ✔ Ângulo de atrito interno entre 25 e 50°. |
| DER | Peso específico médio | 18 kN/m ³ |
| | Diferença de localização e dimensões do muro em relação ao projeto | ≤ 10 % |

Muros de arrimos podem ser construídos também com alvenaria estrutural (Figura 60), armada ou não, usando elementos pré-fabricados de concreto, em formato de blocos vazados, sextavados. Neste caso, devem ser seguidas recomendações do item 8.1.



Figura 60 – Muro de arrimo com bloco de concreto, convencional (acima) e sextavado (abaixo).
Fonte: ABRECON.

Os muros podem ainda ser executados com solo-cimento em si, fornecendo maior resistência mecânica (~2,1 MPa de resistência), estabilidade química, ou executadas com tijolos de solo cimento (Figura 61) (Tabela 82). Podem ser usar todos os tipos de areias e pedriscos reciclados (Tabela 83), com o teor de substituição da areia natural em até 100%.



Figura 61 -Tijolos de solo cimento podem conter agregados reciclados. Fonte: ABRECON.

Tabela 82- Requisitos técnicos específicos do produto: tijolo de solo cimento (NBR 8491:2012 [154])

| Propriedade | Parâmetros |
|---|---|
| Resistência à compressão com idade mínima de 7 dias | Média $\geq 2,0$ MPa Individual $\geq 1,7$ MPa |
| Absorção de água | Média $\leq 20\%$ Individual $\leq 22\%$ |
| Dimensões tipo A | Comprimento = 200 mm Largura: = 100 mm Altura = 50 mm |
| Dimensões tipo B | Comprimento = 240 mm Largura: = 120 mm Altura = 70 mm |
| Tolerância dimensional | ± 1 mm |

Tabela 83 – Tipos de ARs e teor de substituição: tijolos de solo cimento.

| Faixa granulométrica | Tipos dos agregados reciclados | | |
|--|--------------------------------|---------------|---------------|
| Solo (escalpe) (*) | SOLO 000-010 | | |
| Areia fina reciclada | AF CO 000-001 | AF CI 000-001 | AF MI 000-001 |
| Areia média reciclada | AM CO 001-002 | AM CI 001-002 | AM MI 001-002 |
| Areia grossa reciclada | AG CO 001-004 | AG CI 001-004 | AG MI 001-004 |
| Pedrisco reciclado | PE CO 000-012 | PE CI 000-012 | PE MI 000-012 |
| Pó de pedra reciclado | PP CO 000-006 | PP CI 000-006 | PP-M 000-006 |
| Teor de substituição - agregado natural por AR | Até 100% (kg/kg) | | |

(*) apenas para confeccionar tijolos de solo cimento, e usos em alvenaria, muros de arrimo.

9.4 Drenos, trincheiras drenantes (DR)

AR desde que atendam as faixas granulométricas específicas podem atender especificações para uso como elemento drenante. Uma vantagem seria a porosidade presente no AR, que pode aumentar a permeabilidade e atender condicionantes de projeto. Por outro lado, o AR pode lixiviar espécies químicas para o meio, como o cálcio, a partir da lixiviação do cimento. O controle da composição do AR é fundamental; ou seja, não deve conter constituintes solúveis como gesso, que irão solubilizar, com potencial de poluição da água e do solo.

A Figura 62 ilustra a trincheira drenante especificada no projeto de urbanização. Usualmente, tem-se que 70 % do volume da trincheira é composto por brita. Com base na análise dos critérios técnicos apresentados na Tabela 84 e Tabela 81, considera-se viável a substituição total do agregado natural por AR, uma vez que as restrições técnicas impostas podem ser perfeitamente atendidas.

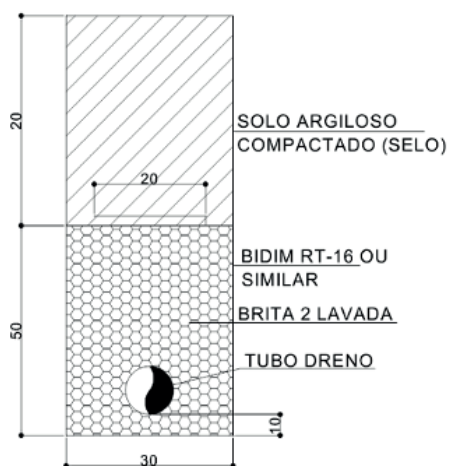


Figura 62 - Trincheira drenante especificada no projeto de urbanização. Fonte: IPT, ABRECON.

Tabela 84 - Recomendações técnicas para trincheiras drenantes.

| Especificação | Quanto a | Recomendações técnicas |
|-------------------|-----------------------------|---|
| IPT | Projeto | <ul style="list-style-type: none"> ✔ Considerar a permeabilidade do AR no dimensionamento. |
| NBR 15.224 | Execução | <ul style="list-style-type: none"> ✔ Abrir de jusante para montante. ✔ Declividade de fundo > 1%. ✔ Escoramento, quando profundidade da vala for superior a 1,5 m. ✔ Solo argiloso compactado nos últimos 20 cm da vala. ✔ Conter fita plástica não degradável (10 cm de largura) numa profundidade aproximada de 50 cm para sinalização. ✔ Conter caixa de dissipação na saída de água, evitando-se processos erosivos. |
| | Especificação dos materiais | <p>Brita</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensão máxima de 25,4 mm. - Material lavado. |

Tabela 85 - Requisitos técnicos específicos do produto - Material drenante (Norma DNIT 015 [155]; SANEPAR [156])

| Condições | | Peneiras (mm) | %, em massa, passando |
|--|--|---------------|-----------------------|
| Solos com mais de 35% passando pela peneira de 0,075mm (nº 200) | de envolvimento do tubo | 19,0 | 85 max. |
| | | 9,5 | 60 min. |
| | | 2,0 | 15 min. |
| | | 0,42 | 15 max. |
| | | 19,0 | 60 min. |
| Solos com menos de 35% passando pela peneira de 0,075mm (nº 200) | Material de enchimento de vala de drenagem | 2,0 | 15 min. |
| | | 0,42 | 15 max. |
| | | 38,0 | 60 min. |
| | Material de envolvimento do tubo | 19,0 | 85 max. |
| | | 9,5 | 15 min. |
| | | 2,00 | 15 max. |
| | Material de enchimento de vala de drenagem | 38,0 | 60 min. |
| | | 9,5 | 15 min. |
| | | 2,00 | 15 max. |
| O material filtrante para envolvimento e o material de enchimento para os drenos subterrâneos construídos com tubos porosos de concreto deverão consistir de partículas limpas, resistentes e duráveis de areia, pedregulho ou pedra britada, isentos de matéria orgânica, torrões de argila ou outros materiais deletérios. | | 9,5 | 100 |
| | | 4,8 | 95 - 100 |
| | | 1,2 | 45 - 80 |
| | | 0,30 | 10 - 30 |
| | | 0,2 | 2 - 10 |

Considera-se viável a substituição total do agregado natural por AR (Tabela 86), desde que atenda as especificações granulométricas particulares como brita graduada simples ou pedrisco reciclado.

Tabela 86- Tipos de AR e teor de substituição: drenos, trincheiras drenantes.

| Faixa granulométrica | Tipos dos ARs | | |
|--|------------------|---------------|---------------|
| Brita graduada | BG CO 000-025 | BG CI 000-025 | BG MI 000-025 |
| Pedrisco reciclado | PE CO 000-012 | PE CI 000-012 | PE MI 000-012 |
| Teor de substituição - agregado natural por AR | Até 100% (kg/kg) | | |

9.5 Trabalhos acadêmicos, livros

A Tabela 87 apresenta a lista parcial de trabalhos acadêmicos e alguns artigos científicos importantes encontrados no tema.

Tabela 87 – Lista parcial de trabalhos acadêmicos e livros encontrados.

| Autor | Título | Universidade | Ano | Link de acesso | Referência |
|---|--|--------------------|------|---|------------|
| W. Vedroni | Estudo de caso sobre a utilização do RCD (resíduos de construção e demolição) em reaterros de valas nos pavimentos de Piracicaba SP: | Mestrado, UNICAMP | 2007 | http://acervus.unicamp.br/index.asp?codigo_sophia=403800 | [148] |
| E. C. G. Santos | Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado | Mestrado, USP | 2007 | https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-10042007-110106/pt-br.php | [141] |
| Waste & Resources Action Programme (WRAP) | WAS005-002: Final Report Recycled and stabilised materials in trench reinstatement | Report, Inglaterra | 2007 | https://www.yumpu.com/en/document/read/26935042/technical-report-templates-sustainable-aggregates | [138] |
| E. C. G. Santos | Avaliação experimental de muros reforçados executados com resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) e solo fino | Doutorado, UNB | 2011 | https://repositorio.unb.br/handle/10482/22110 | [157] |
| I. A. G. Górgora | Utilização de geossintéticos como reforço de estradas não pavimentadas: influência do tipo de reforço e do material de aterro | Mestrado, UnB | 2011 | https://repositorio.unb.br/handle/10482/8418 | [158] |
| F. F. Brandão | Caracterização de resíduos sólidos da construção civil para sua utilização em camadas drenantes de aterros sanitários | Mestrado, UFV | 2011 | https://locus.ufv.br/handle/123456789/3768 | [159] |
| E. C. A. Fonseca | Análise numérica do comportamento de muros reforçados com geossintéticos construídos com material de aterro não convencional | Mestrado, UnB | 2012 | https://repositorio.unb.br/handle/10482/10845 | [160] |
| J. R. O. Ante | Geossintéticos como reforço de revestimentos em pavimentação | Mestrado, UnB | 2012 | https://repositorio.unb.br/handle/10482/11549 | [161] |
| G. M. S. Rodrigues | Reciclagem do ASIC e de RCD na camada de drenagem dos aterros de resíduos. Avaliação da suscetibilidade à degradação | Mestrado, UNL | 2012 | http://hdl.handle.net/10362/8852 | [162] |

| Autor | Título | Universidade | Ano | Link de acesso | Referência |
|--------------------|--|-----------------|------|---|------------|
| F. C. S. Neto | Uso de resíduos da construção civil para melhoramento de solos colapsíveis | Mestrado, UPE | 2015 | https://w2files.solucaoatrio.net.br/atrio/upe-ecivil_upl//THESIS/176/francisco_cardoso_dos_santos_netto_20210614123739701.pdf | [163] |
| D. C. Rios | Aplicação de dois modelos de balanço hídrico para estudo de camada de cobertura de aterro sanitário utilizando solo e resíduo da construção civil (RCC) | Mestrado, UEFS | 2016 | http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/473 | [164] |
| K. Kataguri | Proposição de critérios técnicos e ambientais para criação de banco de solos para a região metropolitana de São Paulo. | Mestrado, USP | 2017 | http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-23062017-161732/ | [143] |
| M. P. Fleury | Resistência de geogrelhas após danos mecânicos causados por resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R). | Mestrado, UFG | 2018 | http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8736 | [165] |
| G. R. Silvestre | Redução da resistência de geogrelhas devido a danos químicos causados por resíduos de construção e demolição reciclados | Mestrado, UFG | 2019 | http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/10082 | [166] |
| A. F. S. Britto | Permeabilidade de sistemas compostos de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) e geotêxteis não tecidos | Mestrado, UFG | 2020 | http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/10476 | [167] |
| M. S. Z. J. Arruda | Caracterização do material proveniente de usinas de beneficiamento de materiais de construção para análise de sua influência na estabilização de solos lateríticos | Mestrado, UNESP | 2020 | http://hdl.handle.net/11449/202492 | [168] |



KOMPTECH

ENVIMAT

Environment & Material Handling

Tecnologia em Meio Ambiente

Somos especializados em fornecer soluções completas em projetos de Reciclagem, Tratamento de Resíduos e Movimentação de Materiais.



ENVIMAT

Environment & Material Handling

envimat.com.br
(16) 2121-0865

SIGA-NOS
NO INSTAGRAM



Escaneie ou clique
no QR Code



10. Jardinagem e Paisagismo (JPA), Corretivo de Solo (AGR)



Diversos elementos decorativos podem ser executados usando os agregados reciclados com vasos de concreto, outros, jardins (Figura 63). Não há especificação técnica detalhada sobre isso. A presença de cálcio solúvel pode ter potencial para corretivo de solo.



Figura 63 – Uso de Britas recicladas em jardim.
Fonte: ABRECON.

10.1 Solo orgânico (top-soil)

A espessura da camada de solo orgânico é de apenas de alguns centímetros e contém alto teor de matéria orgânica, oxigênio, nutrientes, útil para aplicações de recomposição vegetal e paisagismo. Só é possível de ser obtido quando a atividade de escavação na obra é realizada com cuidado, e o material segregado [123,169], para posterior reaproveitamento. O pH do solo deve estar entre 6 e 6,5, levemente ácido. Como o solo brasileiro tende a ser ácido, corretivo de solo pode ser necessário. O AR (< 2 mm) pode se qualificar como corretivo de solo para uso agrícola.

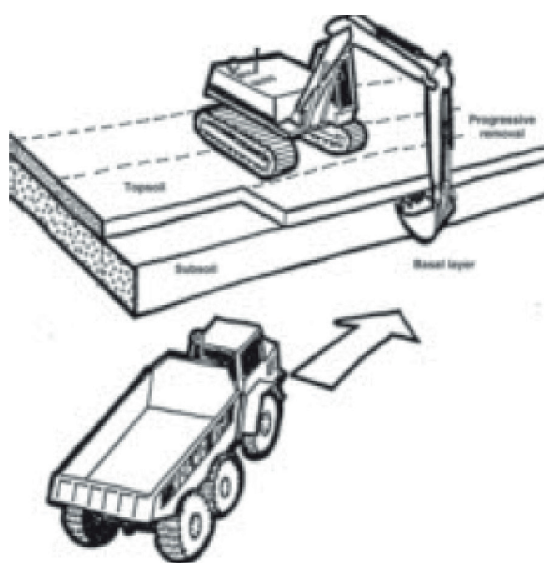


Figura 64 - (à esquerda) Método para remoção do solo orgânico (topsoil) em obras. (à direita) aspecto escuro do solo orgânico.

10.2 Corretivo de solo, uso agrícola (AGR)

O agregado reciclado cimentício, para se qualificar como corretivo de solo, precisa estar abaixo de 2 mm, e seguir demais instruções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), IN 35/2006, como soma de CaO e MgO acima de 38%, e poder de neutralização acima de 67% (% E CaCO₃) [170-173].

Referências bibliográficas

- [1] CBIC, Desempenho das edificações: guia orientado para atendimento à norma ABNT NBR 15575, (2013).
- [2] M. de M.L. Gennesseaux, Avaliação da durabilidade de misturas asfálticas a quente e mornas contendo material asfáltico fresado., text, Universidade de São Paulo, 2015. <https://doi.org/10.11606/T.3.2016.tde-14072016-145634>.
- [3] F.V. Guatimosim, Comportamento mecânico e desempenho estrutural de materiais reciclados e estabilizados com espuma de asfalto., text, Universidade de São Paulo, 2015. <https://doi.org/10.11606/D.3.2016.tde-07072016-153231>.
- [4] V.- Bonfim, Pavimento Sustentável, 1a edição, Exceção Editorial, 2021.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos, 2004.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR7181: Solo - Análise granulométrica, (2016). <https://www.gedweb.com.br/> (accessed April 29, 2022).
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR5564: Via férrea - Lastro ferroviário - Requisitos e métodos de ensaio, (2021). <https://www.gedweb.com.br> (accessed April 29, 2022).
- [8] NBR15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios, (n.d.).
- [9] R. dos S. Motta, Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego., Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, 2005. <https://doi.org/10.11606/D.3.2005.tde-19072006-114729>.
- [10] F. da C. Leite, Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos., Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, 2007. <https://doi.org/10.11606/D.3.2007.tde-09012008-162141>.
- [11] K. Kataguirí, Proposição de critérios técnicos e ambientais para criação de banco de solos para a região metropolitana de São Paulo., Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, 2017. <https://doi.org/10.11606/D.3.2017.tde-23062017-161732>.
- [12] Angulo, S. C., Agregados, in: Materiais de Construção, 6a ed., Oficina dos textos, 2019.
- [13] P. Gonçalves, J. de Brito, Recycled aggregate concrete (RAC) - comparative analysis of existing specifications, Magazine of Concrete Research. 62 (2010) 339-346. <https://doi.org/10.1680/mac.2008.62.5.339>.

- [14] G. de Aguiar, Estudo de argamassas com agregados reciclados contaminados por gesso de construção., Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, 2004. <https://doi.org/10.11606/D.3.2004.tde-13122004-135010>.
- [15] Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., Concrete: microstructure, properties and materials, 3rd edition, McGraw-Hill, New York, 2006.
- [16] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 9917: Agregados para concreto- Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis, 2009.
- [17] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR15577-1: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto, (2018).
- [18] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR7211: Agregados para concreto - Especificação, 2009.
- [19] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR7218: Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis, (2010).
- [20] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBRNM53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, (2021).
- [21] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR16916: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água, (n.d.).
- [22] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR16973: Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem, (2021).
- [23] NBRNM248: Agregados - Determinação da composição granulométrica, (n.d.).
- [24] S.C. Angulo, Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos, Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo (Escola Politécnica), 2005.
- [25] S.C. Angulo, Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados., Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, 2000. <https://doi.org/10.11606/D.3.2000.tde-05102005-112833>.
- [26] NBR12266:1992 Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água esgoto ou drenagem urbana - Procedimento, (n.d.).
- [27] NBR11682:2009 Estabilidade de encostas, (n.d.).
- [28] Bernucci, L. Motta, L.; Ceratti, J.A.P., Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros | Portal TCU, 2010. <https://portal.tcu.gov.br/biblioteca-digital/proasfalto-petrobras.htm> (accessed April 29, 2022).
- [29] Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Manual de pavimentação, DNIT, Rio de Janeiro, 2006.
- [30] Prefeitura Municipal de São Paulo, ETS – 001/2003: Camadas de reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil. Prefeitura Municipal de Secretaria de Infraestrutura Urbana do estado de São Paulo. São Paulo, 2003, (2003).
- [31] NBR9895: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio, (n.d.).
- [32] NBR7182: Solo - Ensaio de compactação, (n.d.).
- [33] NBR15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos, (n.d.).
- [34] C.S. Poon, D. Chan, Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base, Construction and Building Materials. 20 (2006) 578–585. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.045>.
- [35] Gonzaga, C. M. G.; Bezerra, F. S. C.; Oliveira, F. H. L., USO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA REFORÇO DE SUBLEITO EM REGIÕES DE SOLO COM ELEVADO TEOR DE UMIDADE, in: ANPET, 2020, n.d. http://www.anpet.org.br/anais34/documentos/2020/Infraestrutura/Materiais%20e%20Tecnologias%20Sustent%C3%A1veis%20II/5_327_CT.pdf.

- [36] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR12254: Solo-cimento — Execução de base de solo-cimento — Procedimento, (2013).
- [37] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR11803: Materiais para base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento — Requisitos, (2013).
- [38] Fernandes, C. G., CARACTERIZAÇÃO MECANÍSTICA DE AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO RIO DE JANEIRO E DE BELO HORIZONTE PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO, Mestrado, UFRJ, 2004.
- [39] J.F. Dias, Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo., Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, 2004. <https://doi.org/10.11606/T.3.2004.tde-16122004-130717>.
- [40] D.C.R.P. Grubba, Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária, text, Universidade de São Paulo, 2009. <https://doi.org/10.11606/D.18.2009.tde-01122009-140152>.
- [41] G. Jiménez, A. María, Estudo experimental de um resíduo de construção e demolição (RCD) para utilização em pavimentação, (2011). <https://repositorio.unb.br/handle/10482/9514> (accessed April 29, 2022).
- [42] L.M.T. Fujii, Estudo de misturas de solo, RCD e cal virgem e hidratada para uso em obras rodoviárias, (2012). <https://repositorio.unb.br/handle/10482/12827> (accessed April 29, 2022).
- [43] E.F. Amorim, Viabilidade técnica econômica de misturas de solo-RCD em camadas de base de pavimentos urbanos : estudo de caso : Município de Campo Verde - MT, (2013). <https://repositorio.unb.br/handle/10482/15206> (accessed April 29, 2022).
- [44] P.B. da Silva, Estabilização de misturas de resíduos sólidos de demolição e da indústria cerâmica para uso em camadas de pavimentos viários., Doutorado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, 2013. <https://doi.org/10.11606/T.3.2013.tde-03112014-113759>.
- [45] I.A. Beja, Agregado reciclado de construção e demolição com adição de aglomerantes hidráulicos como sub-base de pavimentos., Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, 2013. <https://doi.org/10.11606/D.3.2013.tde-16102014-151237>.
- [46] M.V.R. e Souza, Comportamento mecânico de um agregado reciclado como base de pavimento flexível a partir de um modelo físico, Mechanical behavior of a recycled aggregate as base of a flexible pavement from a physical model. (2015). <https://doi.org/10.26512/2015.06.T.19258>.
- [47] M.A. Orioli, Estudo do uso de agregado reciclado de resíduos de construção e demolição em misturas solo-agregado, text, Universidade de São Paulo, 2018. <https://doi.org/10.11606/D.18.2018.tde-27092018-090352>.
- [48] W. Teixeira, Comportamento mecânico de misturas solo, cal e RCD para uso em pavimentos, (2019).
- [49] A.C. Barreto, Desempenho técnico de misturas de diferentes tipos de solos com RCD para uso em obras de pavimentação, (2020). <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/29499> (accessed July 18, 2022).
- [50] BONFIM, V., Pavimento Sustentável, 1a edição, Execução editorial, São Paulo, 2021.
- [51] NBR12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio, (n.d.).
- [52] NBR6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos, (n.d.).
- [53] R.B. da Silva, S.C. Angulo, R.G. Pileggi, C.O. Silva, Concretos secos produzidos com agregados reciclados de RCD separados por densidade, Ambiente Construído. 15 (2015) 335–349. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000400054>.

- [54] SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI), Caixas Enterradas, (2021). https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-afetadas-lote3-saneamento-infraestrutura-urbana/SINAPI_CT_CAIXAS_ENTERRADAS_07_2021.pdf.
- [55] Departamento de Estradas de Rodagem, MEIO-FIO, SARJETAS E SARJETÕES, 2006.
- [56] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, 2014.
- [57] Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento, (2015).
- [58] SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI), Peitoris e Chapins, (2021). https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-afetadas-lote1-habitacao-fundacoes-estruturas/SINAPI_CT_PEITORIS_E_CHAPINS.pdf.
- [59] Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Manual de Concreto Estampado e Concreto Convencional Moldados in loco: Passeio Público, (2016). https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Manual_Concreto_Estampado_Convencional_Moldado_InLoco.pdf.
- [60] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR12255: Execução e utilização de passeios públicos - Procedimento, (2009).
- [61] P.P.F. Rodrigues, S.M. Botacini, W.E. Gasparetto, Manual Gerdau de pisos industriais, Pini, São Paulo, 2006.
- [62] DER-SP, ET-DE-P00/014 SUB-BASE OU BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE, (2006). <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/Tecnicas.aspx#>.
- [63] Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Calçadas: respondendo as dúvidas, (2016). <https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Calçadas.pdf>.
- [64] SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI), Passeios de Concreto: cadernos técnicos, (2016). https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-afetadas-lote3-saneamento-infraestrutura-urbana/SINAPI_CT_LOTE3_PASSEIOS_v002.pdf.
- [65] Pini, TCPO: Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos, 13a, Editora PINI Ltda., São Paulo, 2010.
- [66] NBR7211: Agregados para concreto - Especificação, (n.d.).
- [67] A.M. Buttler, Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural, Doutorado em Estruturas, Universidade de São Paulo, 2007. <https://doi.org/10.11606/T.18.2007.tde-16102007-111106>.
- [68] Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Manual do Pavimento intertravado, (2016). https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Manual_Pavimento_Intertravado-1.pdf.
- [69] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR15953: Pavimento intertravado com peças de concreto — Execução, 2011.
- [70] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR9781: Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio, 2013.
- [71] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR13858-2: Telhas de concreto - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio, 2009.
- [72] P.P.F. Rodrigues, Manual de Pisos Industriais Fibras de Aço e Protendido, 1a edição, Pini, 2010.

- [73] J.T. Balbo, J.P. Cintra, Estudo das propriedades mecânicas das misturas de brita e cimento e sua aplicação aos pavimentos semi-rígidos, (1993). <https://repositorio.usp.br/item/000738919> (accessed April 30, 2022).
- [74] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte - Especificação de serviço, 2004.
- [75] SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI), Produção de Concreto: cadernos técnicos, (2016). https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-afetadas-lote1-habitacao-fundacoes-estruturas/SINAPI_CT_PRODUCAO_CONCRETO_05_2021.pdf.
- [76] J.T. Balbo, Pavimentos de concreto, Oficina de Textos, São Paulo, 2009.
- [77] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR12025: Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio, (2012).
- [78] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR12262: Execução de base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento – Procedimento, 2013.
- [79] G. Ricci, Estudo de características mecânicas do concreto compactado com rolo com agregados reciclados de construção e de demolição para pavimentação., Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, 2007. <https://doi.org/10.11606/D.3.2007.tde-09012008-162125>.
- [80] Pavimentos de Concreto : Balbo, José Tadeu: Livros – Amazon, (n.d.). <https://www.amazon.com.br/Pavimentos-Concreto-Jos%C3%A9-Tadeu-Balbo/dp/8586238902> (accessed April 30, 2022).
- [81] Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Manual de placas de concreto, (2016). https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Manual_Placas_Concreto.pdf.
- [82] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR16790: Pisos assentados de placas de concreto – Requisitos e procedimentos, (2022).
- [83] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR15805: Pisos elevados de placas de concreto - Requisitos e procedimentos, (2010).
- [84] Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Projeto Técnico: Pavimento Permeável, (2016). https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Proj_tec_pav_permeavel.pdf.
- [85] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR16416: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos, 2015.
- [86] F. dos S. Gentil, Estudos de parâmetros de dosagem que influenciam as propriedades de concretos permeáveis com agregados reciclados, Mestrado, UniSinus, 2020. <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/9258> (accessed May 6, 2022).
- [87] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR7176: Mourões de concreto armado para cercas de arame – Requisitos, (n.d.).
- [88] Departamento de Estradas de Rodagem, Cercas de arame farpado, 2006.
- [89] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR14718: Esquadrias – Guarda-corpos para edificação – Requisitos, procedimentos e métodos de ensaio, (2019).
- [90] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais, (2021).
- [91] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR14885: Segurança no tráfego - Barreiras de concreto, 2016.
- [92] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, 2018.
- [93] T.C. Hansen, ed., Recycling of demolished concrete and masonry: report of Technical Committee 37-DRC, Demolition and Reuse of Concrete, 1st ed, E & FN Spon, London ; New York, 1992.

- [94] ZORDAN, S., A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto, Universidade Estadual de Campinas, 1997. <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/258458>.
- [95] L. de M. Latterza, Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição: um novo material para fabricação de painéis leves de vedação, Mestrado em Estruturas, Universidade de São Paulo, 2017. <https://doi.org/10.11606/D.18.2017.tde-21122017-120645>.
- [96] Bazuco, R. S., Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/80789>.
- [97] Leite, M. B., Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição, Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. <http://hdl.handle.net/10183/21839>.
- [98] LEVY, S. M., Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria, Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo (Escola Politécnica), 2001. <https://repositorio.usp.br/item/001231349>.
- [99] J.G.G. de Sousa, Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto : aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado, (2001). <https://repositorio.unb.br/handle/10482/37376> (accessed May 13, 2022).
- [100] A.M. Buttler, Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto : influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados., Mestrado em Estruturas, Universidade de São Paulo, 2003. <https://doi.org/10.11606/D.18.2003.tde-06082003-172935>.
- [101] P.M. Carrijo, Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto., Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, 2005. <https://doi.org/10.11606/D.3.2005.tde-11052006-143829>.
- [102] S. M. Albuquerque, Estudo para uso de agregado de resíduos de construção e demolição em blocos de concreto para alvenaria., Mestrado (Profissional), Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2005. https://www.ipt.br/pos_graduacao_ipt/solucoes/dissertacoes/353-estudo_para_uso_de_agregado_de_residuos_de_construcao_e_demolicao_em_blocos_de_concreto_para_alvenarias.htm.
- [103] D.M. Prado, Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto, text, Universidade de São Paulo, 2006. <https://doi.org/10.11606/D.18.2006.tde-22062006-103918>.
- [104] A.E.B. Cabral, Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD, text, Universidade de São Paulo, 2007. <https://doi.org/10.11606/T.18.2007.tde-21102007-164548>.
- [105] J. Tenório, Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais, Mestrado, Universidade Federal de Alagoas, 2007. <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/385> (accessed May 13, 2022).
- [106] P.S. Lovato, Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto, Parameters control verification of recycled aggregates from construction and demolition waste to concrete use. (2007). <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/10609> (accessed May 13, 2022).

- [107] E. Tseng, Reciclagem total de pavimentos de concreto como agregados para construção de novos pavimentos de concreto: o caso do Rodoanel Metropolitano Mário Covas., text, Universidade de São Paulo, 2010. <https://doi.org/10.11606/D.3.2010.tde-20102010-164010>.
- [108] Pacheco-Torgal, F., Tam, V. W. Y, Labrincha, J. A., Ding, Y., Brito, J., Handbook of recycled concrete and demolition waste, WP Woodhead Publishing, Oxford, 2013.
- [109] J. de Brito, N. Saikia, Use of Construction and Demolition Waste as Aggregate: Properties of Concrete, in: Recycled Aggregate in Concrete, Springer London, London, 2013: pp. 229–337. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4540-0_5.
- [110] M. Pepe, A Conceptual Model for Designing Recycled Aggregate Concrete for Structural Applications, 1st ed. 2015, Springer International Publishing : Imprint: Springer, Cham, 2015. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26473-8>.
- [111] A. Hermann, Empacotamento de agregados reciclados para concretos vibrocompactados, Particle packing of recycled aggregate to vibro-compression concretes. (2016). <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/1846> (accessed May 13, 2022).
- [112] L.C.B. Oliveira, Análise da Permeabilidade e da Colmatação em Concretos Permeáveis produzidos com Agregado Reciclado de Concreto, Permeability and Clogging in Pervious Concrete with Construction residues aggregate. (2017). <http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/1009> (accessed May 13, 2022).
- [113] G. T. S. Lima, Influência da substituição total ou parcial do agregado natural por agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável, Mestrado, UFSC, 2018. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/193493>.
- [114] J. de Brito, F. Agrela, eds., New trends in eco-efficient and recycled concrete, Woodhead Publishing, Kidlington, UK ; Cambridge, MA, 2019.
- [115] F. de Larrard, Colina, Horacio, CONCRETE RECYCLING: research and practice., CRC PRESS, S.I., 2020.
- [116] D.A. Niza, Concretos secos com agregados de RCD: a influência da otimização granulométrica e efeitos na compactação., Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, 2020. <https://doi.org/10.11606/D.3.2020.tde-30062021-163604>.
- [117] D. da C. Reis, Fluxo de materiais e eficiência no uso de recursos na indústria da construção., Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, 2020. <https://doi.org/10.11606/T.3.2020.tde-26052021-100321>.
- [118] L.F.R. Miranda, Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado, Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, 2000. <https://bdpi.usp.br/item/001122877>.
- [119] L.F.R. Miranda, Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos Classe A da construção civil, Tese (doutorado), Universidade de São Paulo, 2005. <https://bdpi.usp.br/item/001488651>.
- [120] T. Esquivel, J. Francisco, Avaliação da influência do choque térmico na aderência dos revestimentos de argamassa., text, Universidade de São Paulo, 2009. <https://doi.org/10.11606/T.3.2009.tde-03092009-162624>.
- [121] F.A. Cardoso, Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico., Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, 2009. <https://doi.org/10.11606/T.3.2009.tde-21122009-125012>.

- [122] R.P. do N. Antunes, V.M. John, Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa, (2005). <https://repositorio.usp.br/item/001488734> (accessed May 14, 2022).
- [123] Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP), Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: avanços institucionais e melhorias técnicas, São Paulo, 2015. <https://www.sindusconsp.com.br/wp-content/uploads/2015/09/MANUAL-DE-RES%28C3%84DUOS-2015.pdf>.
- [124] Barros, M.; Sabatini, F., Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais, 1991.
- [125] SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI), Argamassas, (2019). https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-lote1-habitacao-fundacoes-estruturas/SINAPI_CT_MT1_ARGAMASSAS_v001.pdf.
- [126] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos, (2005).
- [127] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação, 2013.
- [128] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, 2005.
- [129] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água, n.d.
- [130] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, 2005.
- [131] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR15258: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração, 2021.
- [132] M.E.D. de Oliveira, Agregado reciclado de construção e demolição: influência em propriedades de argamassas para revestimento, Universidade Federal de Feira de Santana, 2012. <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/982> (accessed May 13, 2022).
- [133] L. F. Jochem, Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD: características físicas e propriedades da microestrutura, UFSC, 2013. <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/99239>.
- [134] G. Hawlitschek, Caracterização das propriedades de agregados miúdos reciclados e a influência no comportamento reológico de argamassas., Mestrado em Engenharia Mineral, Universidade de São Paulo, 2014. <https://doi.org/10.11606/D.3.2014.tde-22052015-150106>.
- [135] S. Heineck, Desempenho de argamassas de revestimento com incorporação da fração miúda da britagem de concreto, (2018). <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/4351> (accessed May 13, 2022).
- [136] H. Carasek, A.C.C. Girardi, R.C. Araújo, R. Angelim, O. Cascudo, Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento, Cerâmica. 64 (2018) 288–300. <https://doi.org/10.1590/0366-69132018643702244>.

- [137] The Waste & Resources Action Programme (WRAP), Identifying opportunities for recycling of excavated spoil from utility works within local authority areas, and promoting the use of recycled materials through good practice in procurement, United Kingdom, 2005.
- [138] Waste & Resources Action Programme (WRAP), WAS005-002: Final Report Recycled and stabilised materials in trench reinstatement, United Kingdom, 2007.
- [139] V. Monier, S. Mugdal, M. Hestin, M. Trarieux, S. Mimid, Service contract on management of construction and demolition waste, Bio Intelligence Service S.A.S., Paris, 2011.
- [140] Angulo, S.C et al, CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM ÁREA DE TRIAGEM E RECICLAGEM NA CIDADE DE MACAÉ, in: XXII ENTMME I VII MSHMT, Ouro Preto, MG, 2007: pp. 657-664.
- [141] E.C.G. dos Santos, Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado, text, Universidade de São Paulo, 2007. <https://doi.org/10.11606/D.18.2007.tde-10042007-110106>.
- [142] A. Howard, The Five Types of Pipeline Trenches, (2012) 1104-1114. [https://doi.org/10.1061/41202\(423\)118](https://doi.org/10.1061/41202(423)118).
- [143] K. Kataguirri, M.E.G. Boscov, C.E. Teixeira, S.C. Angulo, Characterization flowchart for assessing the potential reuse of excavation soils in Sao Paulo city, Journal of Cleaner Production. 240 (2019) 118215. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118215>.
- [144] Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução CONAMA No 420/2009 “Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.,” MMA, Brasília, 2009.
- [145] Norma DNIT 108: Terraplenagem - Aterros - Especificação de Serviço, 2008.
- [146] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT 172: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio, 2016.
- [147] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT 164: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio, 2013.
- [148] J. Wilson Vedroni, Estudo de caso sobre a utilização do RCD (resíduos de construção e demolição) em reaterros de valas nos pavimentos de Piracicaba SP:, Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2007. <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2007.403800>.
- [149] Departamento de Estradas de Rodagem, Reaterros, 2006.
- [150] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 9813: Solo — Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação, 2016.
- [151] NBR16843: Solo — Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos, (n.d.).
- [152] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Norma DNIT 103: Proteção do corpo estradal – Estruturas de arrimo com gabião - Especificação de serviço, 2009.
- [153] Departamento de Estradas de Rodagem, ET-DE-H00/012: Gabiões, 2006.
- [154] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR8491: Tijolo de solo-cimento — Requisitos, 2012.
- [155] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, Norma DNIT 015 - ES: Drenagem - Drenos subterrâneos - Especificação de serviço, 2006.

[156] Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), MOS - Manual de Obras de Saneamento, (2012).

[157] E.C.G. dos Santos, Avaliação experimental de muros reforçados executados com resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) e solo fino, Experimental assessment of reinforced walls built with recycled construction and demolition wastes (RCDW) and fine soil. (2011). <https://repositorio.unb.br/handle/10482/22110> (accessed May 17, 2022).

[158] I.A.G. Góngora, Utilização de geossintéticos como reforço de estradas não pavimentadas : influência do tipo de reforço e do material de aterro, (2011). <https://repositorio.unb.br/handle/10482/8418> (accessed July 18, 2022).

[159] F.F. Brandão, Caracterização de resíduos sólidos da construção civil para sua utilização em camadas drenantes de aterros sanitários, Characterization of construction waste for use as drainage materials in sanitary landfills. (2011). <https://locus.ufv.br/handle/123456789/3768> (accessed July 18, 2022).

[160] E.C.A. da Fonseca, Análise numérica do comportamento de muros reforçados com geossintéticos construídos com material de aterro não convencional, (2012). <https://repositorio.unb.br/handle/10482/10845> (accessed July 18, 2022).

[161] J.R.O. Ante, Geossintéticos como reforço de revestimentos em pavimentação, (2012). <https://repositorio.unb.br/handle/10482/11549> (accessed July 18, 2022).

[162] G.M. de S. Rodrigues, Reciclagem do ASIC e de RCD na camada de drenagem dos aterros de resíduos. Avaliação da suscetibilidade à degradação, masterThesis, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012. <https://run.unl.pt/handle/10362/8852> (accessed July 18, 2022).

[163] F. C. S. Neto, USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA MELHORAMENTO DE SOLOS COLAPSÍVEIS, Universidade de Pernambuco, 2015. https://w2files.solucaoatrio.net.br/atrio/upe-ecivil_upl//THESIS/176/francisco_cardoso_dos_santos_netto_20210614123739701.pdf.

[164] D. do C. Rios, Aplicação de dois modelos de balanço hídrico para estudo de Camada de cobertura de aterro sanitário utilizando solo e Resíduo da construção civil (RCC), (2016). <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/473> (accessed July 18, 2022).

[165] M.P. Fleury, Resistência de geogrelhas após danos mecânicos causados por resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R), Geogrids strength after mechanical damages caused by construction and demolition wastes (RCDW). (2018). <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8736> (accessed July 18, 2022).

[166] G.R. Silvestre, Redução da resistência de geogrelhas devido a danos químicos causados por resíduos de construção e demolição reciclados, Strength reduction of geogrid due to chemical damage caused by recycled construction and demolition waste. (2019). <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/10082> (accessed July 18, 2022).

[167] A.F.S. de Britto, Permeabilidade de sistemas compostos de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) e geotêxteis não tecidos, Permeability of systems composed of recycled construction and demolition waste (RCDW) and nonwoven geotextiles. (2020). <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/10476> (accessed July 18, 2022).

[168] M.S.Z.J. Arruda, Caracterização do material proveniente de usinas de beneficiamento de materiais de construção para análise de sua influência na estabilização de solos lateríticos, Characterization of construction material from processing plants for analysis of its influence on stabilization of laterite soils. (2020). <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/202492> (accessed January 4, 2023).

[169] Construction Code of Practice for the Sustainable Use of Soils on Construction Sites, (n.d.).

[170] MAPA, Instrução Normativa 35, MAPA, 2006. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf/@@download/file/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf>.

[171] Lasso, P. R. O. et al, Utilização de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivos de acidez de solo, in: I Workshop Da Rede Agrorecicla Caracterização, Aproveitamento e Geração de Novos Produtos de Resíduos Agrícolas, Agroindustriais e Urbanos, Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, 2010. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/23977/1/Paulo-Lasso-Resumo-1-2.pdf>.

[172] P.R.O. Lasso, C.M.P. Vaz, A.C. de C. Bernardi, C.R. de Oliveira, O.O.S. Bacchi, Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo, Rev. Bras. Ciênc. Solo. 37 (2013) 1659–1668. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600022>.

[173] P.R.O. Lasso, Avaliação da utilização de resíduos de construção civil e de demolição reciclados (RCD-R) como corretivos de acidez e condicionadores de solo, text, Universidade de São Paulo, 2011. <https://doi.org/10.11606/T.64.2011.tde-01022012-151224>.

ALTO DESEMPENHO PARA AS USINAS DE RECICLAGEM

SOLUÇÕES E EQUIPAMENTOS
CUSTOMIZADOS CAT®

**OS MELHORES RESULTADOS
PARA OS SEUS NEGÓCIOS.**

Só a Caterpillar® oferece a solução completa para sua usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição: máquinas e acessórios com tecnologias exclusivas, financiamento pela Cat® Financial, peças de reposição e o suporte do seu revendedor Cat.

Para fazer mais em menos tempo e aumentar a sua lucratividade, conte sempre com a qualidade e a confiabilidade Cat.



MARE

MANUAL DE APLICAÇÃO
DO AGREGADO RECICLADO

abrecon

Associação Brasileira para Reciclagem de
Resíduos da Construção Civil e Demolição

www.abrecon.org.br