



ENGENHARIA CIVIL

CONCRETO PERMEÁVEL COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO: VIABILIDADE E BENEFÍCIOS AMBIENTAIS.

GEOVANE ROCHA DE CARVALHO

Rio Verde, GO

2025

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO – CAMPUS RIO VERDE**

ENGENHARIA CIVIL

CONCRETO PERMEÁVEL COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO: VIABILIDADE E BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

GEOVANE ROCHA DE CARVALHO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em

Orientador: Prof. Dr. Hugo Leonardo Souza Lara Leão

Rio Verde – GO

Novembro, 2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

C331c Carvalho, Geovane Rocha de
 Concreto Permeável com Resíduo de Construção: Viabilidade e
 Benefícios Ambientais. / Geovane Rocha de Carvalho. Rio
 Verde 2025.
 38f. il.
 Orientador: Prof. Dr. Hugo Leonardo Souza Lara Leão.
 Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220084 -
 Bacharelado em Engenharia Civil - Integral - Rio Verde
 (Campus Rio Verde).
 1. Resíduos de Construção Civil. 2. Concreto Permeável. 3.
 Drenagem. 4. Sustentabilidade. I. Título.

GEOVANE ROCHA DE CARVALHO

**CONCRETO PERMEÁVEL COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO:
VIABILIDADE E BENEFÍCIOS.**

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 18 de Novembro de 2025, pela
Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Hugo Leonardo Souza Lara Leão

IF Goiano - Campus Rio Verde

Rio Verde – GO

Novembro, 2025



Documentos 154/2025 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ANEXO VI - FICHA DE AVALIAÇÃO FINAL DE TRABALHO DE CURSO

Aluno: **Geovane Rocha de Carvalho**

Título: Concreto Permeável com Resíduo de Construção: Viabilidade e Benefícios Ambientais

Membro 1 da Banca Examinadora: Prof. Dr. Hugo Leonardo Souza Lara Leão

Membro 2 da Banca Examinadora: Prof. Dr. Michell Macedo Alves

Membro 3 da Banca Examinadora: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Items avaliados	Membro 1	Membro 2	Membro 3	Nota Final*
Nota	9	8	9,5	8,8

*NOTA FINAL: A nota final será obtida a partir da média aritmética simples das notas dos membros da banca [(Nota do Examinador 1 + Nota do Examinador 2 + Nota do Examinador 3)/3].

Observações:

Hugo Leonardo Souza Lara Leão
Membro 1 da Banca Examinadora

Michell Macedo Alves
Membro 2 da Banca Examinadora

Marconi Batista Teixeira
Membro 3 da Banca Examinadora

Rio Verde, 18 de novembro de 2025.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Hugo Leonardo Souza Lara Leao, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 25/11/2025 07:58:29.
- **Marconi Batista Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 25/11/2025 08:56:04.
- **Michell Macedo Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 26/11/2025 22:29:20.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 17/11/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 764388

Código de Autenticação: 4f7e0f680d



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem resarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Tese (doutorado) Artigo científico
 Dissertação (mestrado) Capítulo de livro
 Monografia (especialização) Livro
 TCC (graduação) Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo: _____

Nome completo do autor:

Geovane Rocha de Carvalho

Matrícula:

2015102200840258

Título do trabalho:

CONCRETO PERMEÁVEL COM RESÍDUO DE
CONSTRUÇÃO: VIABILIDADE E BENEFÍCIOS
AMBIENTAIS

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 08 /12 /2025

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
gov.br
GEOVANE ROCHA DE CARVALHO
Data: 05/12/2025 15:10:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rio Verde 05 /12 /2025
Local Data

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
gov.br
HUGO LEONARDO SOUZA LARA LEAO
Data: 08/12/2025 15:20:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

A Cristo,

A Deus,

DEDICO e OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

Quaisquer nomes que aqui constassem, haveria injustiça para com muitos outros que também deveriam constar. Portanto, agradeço, de coração, de alguma forma, as pessoas que contribuíram para a consecução deste trabalho. De forma especial, agradeço:

Aos meus pais, que possibilitaram a minha existência e realização do curso.

Ao Campus Rio Verde do IF Goiano, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao meu orientador, Professor Dr. Hugo Leão, pela preciosa orientação.

Aos professores do Campus Rio Verde do IF Goiano, pelo conhecimento compartilhado.

Aos amigos que fiz ao longo do curso, que possibilitaram, ser uma jornada melhor.

Ao Prof. Dr. Michell que além de um grande Professor, é um bom amigo.

Ao meu pai Prof. Dr. David que me ensinou a ser um homem melhor.

À minha mãe Sra. Claudia que sempre me apoiou e me educou de maneira muito cuidadosa.

As amizades que iniciei antes do curso, e ao longo dele foram mais solidificadas, em especial às de Gabriel, Gilmar, Guilherme, Henrique e Lauro.

Enfim, a todas as pessoas me auxiliaram de forma na consecução do curso, meus profundos e sinceros agradecimentos.

RESUMO

CARVALHO, Geovane Rocha CONCRETO PERMEÁVEL COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO: VIABILIDADE E BENEFÍCIOS. 2025. 33p. Trabalho de Curso (Curso de Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2025.

Atualmente, observa-se um processo acelerado de urbanização acompanhado pelo aumento expressivo da demanda por edificações, o que resulta na geração significativa de resíduos sólidos provenientes da construção civil. Observa-se uma tendência à impermeabilização dos espaços urbanos, reduzindo a capacidade de infiltração das águas pluviais, o que tem agravado a ocorrência de eventos hidrológicos extremos, como alagamentos e enchente, trazendo um desafio a cadeia da construção civil. Nesse contexto, torna-se essencial desenvolver tecnologias e processos capazes de mitigar tais problemas. O uso de concreto permeável produzido com agregados reciclados provenientes de resíduos de concreto (RCD) apresenta-se como uma alternativa promissora. Sua adoção, contudo, requer uma análise rigorosa de parâmetros técnicos, normativos e econômicos, contemplando aspectos de desempenho estrutural, durabilidade, permeabilidade e atendimento às normas técnicas brasileiras. Este trabalho, objetiva-se apresentar uma abordagem geral, fundamentada em uma revisão bibliográfica e análise normativa brasileira, a viabilidade técnica e econômica da utilização de RCD na produção de concreto permeável, visando à mitigação dos impactos ambientais na construção civil. A metodologia empregada baseia-se numa análise orientada por hipóteses e conclusões lógicas, juntamente com pesquisa documental em bases científicas, legislação e normas técnicas pertinentes ao tema. Os resultados indicam que o uso de RCD na obtenção do concreto permeável apresenta ser uma solução viável e ambientalmente sustentável, capaz de contribuir para a melhoria da drenagem urbana e a redução dos passivos ambientais do setor da construção civil.

Palavras-chaves: Resíduos de Construção Civil, Concreto Permeável, Drenagem, Sustentabilidade.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	6
SUMÁRIO	7
1 INTRODUÇÃO	8
2 IMPACTOS AMBIENTAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	9
2.1 Situação atual e perspectivas da indústria da Construção Civil	9
2.2 Impacto Ambiental da Indústria da Construção Civil	9
2.3 Resíduos de Construção Civil (RCC) e Resíduos de Concreto Demolido (RCD)	
.....	11
3 DRENAGEM URBANA E PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.....	13
3.1 Sistemas de Drenagem Urbana e as interfaces entre as responsabilidades do Poder Público e do cidadão	13
3.2 Tipos de Sistema de Drenagem	19
3.3 Concreto permeável para pavimentação	22
4 CONCRETO PERMEÁVEL COM RCD.....	23
4.1 A normativa do Pavimento Permeável	23
4.2 Parâmetros Técnicos do Material	24
5 VIABILIDADE ECONÔMICA	29
5.1 Avaliação da viabilidade econômica do emprego de concreto permeável de RCD	29
5.2 Cálculo do custo aproximado do concreto convencional com agregado natural	
.....	30
5.3 Cálculo do custo aproximado do concreto permeável com emprego de RCD	31
5.4 Comparação com Métodos Tradicionais	32
6 CONCLUSÕES	33

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o aumento da urbanização intensificou as atividades da construção civil, resultando em um aumento expressivo na geração de resíduos provenientes de obras e demolições. Esses resíduos correspondem a aproximadamente 41% e 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (RSU) nas cidades brasileiras, conforme apontado por Brasileiro e Matos (2015), constituindo um desafio para a gestão ambiental e a sustentabilidade do setor. Observa-se também uma intensificação da impermeabilização dos espaços urbanos, o que reduz a capacidade de infiltração das águas pluviais, potencializando o risco de alagamentos e enchentes. Esses fenômenos comprometem a dinâmica urbana e ambiental, exigindo da gestão pública a adoção de soluções inovadoras e sustentáveis no setor da construção civil. Neste contexto, destaca-se o desenvolvimento de tecnologias e processos voltados para mitigação destes impactos especialmente por meio de políticas de reciclagem e reuso dos resíduos sólidos gerados pela construção civil. A produção de concreto permeável utilizando resíduos de concreto demolido (RCD) destaca-se como uma alternativa técnica viável e sustentável favorecendo a infiltração das águas pluviais e reduzindo a necessidade de obras de macrodrenagem na região ou área afetada. É importante ressaltar que a produção do concreto permeável com RCD trata-se de um tema multidisciplinar e multivariável, envolvendo aspectos tecnológicos e normativos complexos que demandam análise criteriosa e abordagem científica rigorosa.

Este estudo apresenta uma revisão da literatura pragmática, com ênfase nos aspectos técnicos e na normativa brasileira referentes ao uso de resíduos de concreto demolido (RCD) para a confecção de concreto permeável. A pesquisa avalia a aplicabilidade dessa tecnologia como estratégia de mitigação dos impactos ambientais da construção civil, avaliando sua viabilidade técnica e econômica. O objetivo é fornecer fundamentos para a implementação segura e eficiente da tecnologia do concreto permeável com RCD, tanto sob uma perspectiva da engenharia de materiais quanto no que tange à segurança jurídica associada ao tema no Brasil.

2 IMPACTOS AMBIENTAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 Situação atual e perspectivas da indústria da Construção Civil no Brasil

O setor da Construção Civil representa um dos principais setores da economia brasileira. De acordo com os dados relativas ao ano de 2022 da última Pesquisa Anual da Indústria da Construção civil , o segmento contabilizava 174.690 empresas ativas, empregando 2.317.759 profissionais e alcançando uma receita bruta de R\$ 467.571.613.000,00. Esses indicadores corresponderam a aproximadamente 5% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, evidenciando a relevância econômica e a expressiva participação do setor na geração de emprego e renda no país. Em 2024, conforme dados do Cadastro Geral de Empregos (CAGED), o setor da Construção Civil registrou aproximadamente 3 milhões de empregos formais. Entretanto, um estudo realizado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2024) destaca o crescimento da informalidade no setor, com o índice de trabalhadores sem vínculo formal passando de 63,1% para 67% do total de ocupados, elevando o quantitativo de profissionais atuantes para 7,065 milhões.

Adicionalmente, de acordo com o dados do último senso do IBGE, embora o Brasil tenha 72.456.368 domicílios, o país apresenta um déficit habitacional significativo, de cerca de 6 milhões de moradias, o que representa um fator de pressão relevante sobre a indústria da construção civil no país e implica potenciais 5 impactos ambientais associados ao aumento de obras. Ressalta-se que, em consonância com as diretrizes do atual governo federal, há a previsão de viabilizar a entrega de 2 milhões de unidades habitacionais durante a atual gestão (Agênciagov, 2024), por meio do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV).

2.2 Impacto Ambiental da Indústria da Construção Civil

Para Silva et al (2021), de 50 a 70% de toda massa de resíduo sólido urbano gerado, provém da construção civil. Estima-se que 50% de todo recurso natural extraído está relacionado à atividade da construção.

É plausível a compreensão deste fato, haja vista que a geração de resíduos sólidos é um fenômeno às atividades da engenharia civil, ocorrendo de forma contínua ao longo de todas as etapas do processo construtivo. Os autores destacam que os resíduos originam-se de diversas fontes, incluindo obras viárias, material de escavação, demolição de edificações, construções,

reformas de edifícios, limpeza de terrenos e até mesmo de catástrofes naturais e artificiais, dentre outras fontes. Esta multiplicidade de origens evidencia a complexidade da gestão dos resíduos na construção civil, exigindo abordagens técnicas e científicas voltadas para a minimização e o reaproveitamento destes materiais.

Segundo o relatório “Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024”, da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA, 2024), entidade de relevância nos estudos estatístico relativos aos RSU e RCC no Brasil, cada brasileiro gerou, em média, 1,047 kg de RSU/dia em 2023 ou cerca de 382 kg de RSU por habitante durante o ano, totalizando 80.957.467 de toneladas de RSU geradas em 2023. Para a entidade, no ano de 2024 foram gerados aproximadamente 44 milhões de toneladas de RCD.

De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2023), o volume de resíduos é ainda superior atingindo uma massa total de resíduos da construção e demolição (entulhos) gerada no ano de 2022 de aproximadamente 120 milhões de toneladas, cuja maior parte, cerca de 70%, é descartada incorretamente, inclusive parte desse resíduo é descartado de forma irregular nos cursos d’água, nas ruas, em terrenos não edificados e até mesmo em vias públicas, evidenciando falhas significativas na gestão e destinação final dos resíduos sólidos da construção civil.

Tal realidade é observada no município de Rio Verde - GO, impulsionado pelo crescimento do setor de construção civil na cidade atualmente. Além disto, o município necessita de elevados reparos e reformas, decorrente da sua longevidade, atualmente com 176 anos, e o elevado poder aquisitivo da população, cujo PIB per capita se aproxima de R\$ 65.948,14 (IBGE, 2024), e o fato de ser o quinto município mais rico do agronegócio brasileiro e de apresentar o maior valor médio de aluguel do estado de Goiás corroboram para esse crescimento do setor.

Destaca-se que o dinamismo econômico local influencia diretamente na geração de resíduos sólidos, especialmente no setor da construção civil, pois o desenvolvimento socioeconômico de uma sociedade está correlacionado ao aumento da taxa de geração de resíduos sólidos *per capita*.

Diante desse cenário, torna-se imprescindível a busca de processos mitigatórios dos impactos ambientais, de cuja responsabilidade a cadeia da construção civil não pode se furtar. Neste escopo que se insere a presente pesquisa, como uma contribuição da Engenharia Civil para o desenvolvimento de soluções técnicas voltadas à minimização desses impactos.

2.3 Resíduos de Construção Civil (RCC) e Resíduos de Concreto Demolido (RCD)

Outro conceito importante é a compreensão do que sejam Resíduos de Construção Civil e de Concreto Demolido (RCD). A definição e a classificação de Resíduos da construção civil encontram sua disciplina normativa na Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), que assim dispõe:

Art. 2º Para efeito desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha; [...]

II - Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução; [...]

VI - Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;

Esta mesma resolução do CONAMA também classifica os resíduos da Construção Civil e normatiza sua destinação, que pode-se compreender sucintamente assim:

Art. 3º - Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações [...];

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação [...];

IV - Classe "D": são resíduos perigosos oriundos do processo de construção [...].

Depreende-se que no contexto deste trabalho a abordagem restringir-se-á aos resíduos de Classe A, cuja destinação é disciplinada pela Resolução CONAMA nº 448 de 18/01/2012, que deu nova redação ao Art. 10º da Resolução nº 307:

Art. 10º - Os resíduos da construção civil, após triagem, deverão ser destinados das seguintes formas:

I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros.

A reciclagem de resíduos de construção civil (RCC) supramencionada proporciona o insumo conhecido como RCD, em estudo.

É pertinente acrescentar que o Art. 4º da Resolução 448 dispõe que

Art. 4º - Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

"§ 1º Os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei.

Por fim, destaca-se que o Art. 11º da Resolução 448 estabelece um prazo de 12 meses “para que os municípios e o Distrito Federal elaborem seus Planos Municipais de Gestão de Resíduos de Construção Civil, que deverão ser implementados em até seis meses após a sua publicação.”

O Parágrafo único do Art. 11 estabelece que os Planos Municipais de Gestão de Resíduos de Construção Civil podem ser elaborados de forma consorciada entre municípios, conforme previsto no art. 14 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos). O descumprimento dessa exigência pode acarretar sanções penais e administrativas por práticas ou atividades que causem danos ambientais, conforme disposto na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Lei de Crimes Ambientais).

Conclui-se das normas acima que os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos comuns e necessariamente deverão passar por triagem e beneficiamento para que propiciem sua utilização na forma de RCD.

Também fica evidenciado que, a fim de cumprir o Arts. Art. 10º e 11º da Resolução CONAMA nº 448/2012, bem como o disposto no art. 14 da Lei nº 12.305/2010, deveriam os gestores públicos municipais providenciarem a devida triagem e beneficiamento dos RCC e a reciclagem pertinente em RCD a fim de disponibilizar este insumo sem custos ao cidadão, processo em que toda a sociedade se beneficiaria, conforme será discutido a seguir.

Conforme enfatizam Santos e Ferreira Júnior (2021), diversas são as possibilidades de aproveitamento do reciclado de RCD, especialmente na pavimentação, concretos para fins não-estruturais, argamassa de assentamento e revestimento, dentre outras.

Estes processos seguem uma série de normas técnicas que estabelecem os requisitos para sua aplicação, os quais serão discutidos adiante.

3 DRENAGEM URBANA E PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

3.1 Sistemas de Drenagem Urbana e as interfaces entre as responsabilidades do Poder Público e do cidadão

A primeira base conceitual importante é a compreensão do sistema de drenagem urbana, a legislação pertinente e as atribuições das devidas responsabilidades.

Os conceitos relativos à drenagem urbana foram buscados, no perímetro deste trabalho, no marco legal do saneamento básico, a partir da atualização dada pela nova Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que atualizou a lei nº 11.445/2007, conhecida como Lei do Saneamento, que é responsável pela definição do manejo das águas pluviais.

No âmbito legal, a drenagem urbana é definida na Lei 14.026/2020 em seu Art. 3º, I, d:

d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes;

Neste contexto, a Lei nº 14.026/2020 atribui status de serviço público todo o ciclo da drenagem urbana, que abarca várias atividades, conforme dispõe o Art. 3-D:

“ Art. 3º-D. Consideram-se serviços públicos de manejo das águas pluviais urbanas aqueles constituídos por 1 (uma) ou mais das seguintes atividades:
I - drenagem urbana;
II - transporte de águas pluviais urbanas;
III - detenção ou retenção de águas pluviais urbanas para amortecimento de vazões de cheias; e
IV - tratamento e disposição final de águas pluviais urbanas.”

Para sua consecução, a Lei atribui responsabilidade solidária dos entes Estaduais e Municipais sobre a drenagem urbana, que comprehende todo o ciclo, conforme dispõe o Art. 8º:

Exercem a titularidade dos serviços públicos de saneamento básico:
I - os Municípios e o Distrito Federal, no caso de interesse local;
II - o Estado, em conjunto com os Municípios que compartilham efetivamente instalações operacionais integrantes de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões, instituídas por lei complementar estadual, no caso de interesse comum.

§ 1º O exercício da titularidade dos serviços de saneamento poderá ser realizado também por gestão associada, mediante consórcio público ou convênio de cooperação, nos termos do art. 241 da Constituição Federal, observadas as seguintes disposições:

I - fica admitida a formalização de consórcios intermunicipais de saneamento básico, exclusivamente composto de Municípios, que poderão prestar o serviço aos seus consorciados diretamente, pela instituição de autarquia intermunicipal;

II - os consórcios intermunicipais de saneamento básico terão como objetivo [...].

De forma abrangente, a drenagem urbana refere-se, portanto, ao gerenciamento das águas da chuva que escoam no ambiente urbano, compreendendo todo o ciclo, desde a sua captação até o seu lançamento no local adequado, empregando soluções de micro e macro drenagem. Embora façam parte do mesmo sistema, a macro e micro drenagem têm conceitos e destinações distintas.

Tecnicamente, Tucci (2000) apresenta a seguinte distinção entre a micro e macrodrenagem:

As medidas de micro e macro drenagem são as de detenções e retenções. As detenções são reservatórios urbanos mantidos secos com uso do espaço integrado à paisagem urbana, enquanto que as retenções, são reservatórios com lâmina de água utilizadas não somente para controle do pico e volume do escoamento, como também da qualidade da água.

Observa-se que a macrodrenagem urbana corresponde à implementação de soluções estruturais voltadas à condução eficiente das águas pluviais em áreas urbanizadas. Abrange intervenções de grande porte, tais como galerias e canalizações de corpos d'água naturais ou artificiais, inserindo-se no âmbito da gestão pública municipal.

Já a micro drenagem é definida pelo sistema de condutores pluviais a nível de loteamento ou de rede primária urbana (GUEDES, 2022).

Do ponto de vista funcional, a principal função da micro drenagem é apresentada por Guedes (2022):

A principal função do sistema de micro drenagem é coletar e conduzir a água pluvial apenas de redes primárias de drenagem municipal, como ruas e loteamentos que envolvem a parte da drenagem urbana, até o sistema de macrodrenagem, além de retirar a água pluvial dos pavimentos das vias públicas, evitar alagamentos, oferecer segurança aos pedestres e motoristas, e reduzir danos.

Desta forma, a micro drenagem adotada em centros urbanos tem se tornado um dos desafios para as prefeituras locais, uma vez que, segundo assevera Tucci (2000), a quantidade de lixo transportado pela drenagem é responsável pela obstrução das entradas dos reservatórios. O alerta para a observância do volume necessário para amortecer essa obstrução, é dada por Tucci (2000):

Os volumes necessários para o amortecimento devido a urbanização (alta impermeabilização) são da ordem de 420 a 470 m³/ha. Considerando uma profundidade média de 1,5m, a área necessariamente é da ordem de 3% da área total da bacia de drenagem urbanizada.

No aspecto prático, com as inúmeras alterações nas superfícies urbanas, o ciclo hidrológico tornou-se um problema para os moradores das grandes áreas urbanas. Há graves impactos do intenso processo de impermeabilização dos solos urbanos nos países em desenvolvimento, onde a urbanização e as obras de drenagem são realizadas de forma totalmente insustentável, acarretando a cada dia maior escoamento superficial de águas pluviais (em detrimento da sua infiltração) e, por conseguinte, maiores problemas de alagamento. Estes impactos são apresentados, de forma sumarizada, por Tucci (2008, p. 01):

(a) poluição existente no ar que se precipita junto com a água; (b) lavagem das superfícies urbanas contaminadas com diferentes componentes orgânicos e metais; (c) resíduos sólidos representados por sedimentos erodidos pelo aumento da vazão (velocidade do escoamento) e lixo urbano depositado ou transportado para a drenagem; (d) esgoto cloacal que não é coletado e escoa através da drenagem.

A partir de tais constatações, têm se intensificado as discussões no sentido de se encontrar métodos para mitigar os problemas inerentes à drenagem urbana.

Tanto a geração dos problemas quanto sua mitigação apresentam interfaces entre as responsabilidades do Poder público e do cidadão, de modo particular.

Conforme tratado anteriormente, a drenagem urbana trata-se de uma responsabilidade do Poder Público municipal, cuja sistemática deve constar no plano diretor das cidades, obviamente de responsabilidade do poder público, capaz de coletar a água acumulada pelas chuvas conduzindo-a para galerias de águas pluviais, esgoto pluvial e para reservas hídricas com potencial de recebimento, conforme dispõe a Lei do saneamento. Desta forma, ao serem analisadas as áreas com maior predisposição de retenção de água, essas regiões deveriam receber maior atenção dos órgãos responsáveis pelo plano diretor daquela cidade ou região, para projeção de um sistema capaz de drenar essas águas e conduzi-las para o seu destino certo.

No plano diretor de cada cidade, o projeto de drenagem urbana consiste na composição de alguns elementos conforme é explicado por Pereira (2021, p. 1): “[...] pavimento de ruas, guias e sarjetas, boca de lobo, galerias de drenagens, sistemas de detenção e infiltração nos lotes, pavimentos, trincheiras, valas, entre outras.”

É importante destacar que o Plano Diretor das Cidades não é novidade. Foi criado em 1988, pela Constituição Federal do Brasil (Brasil, 1988), como um instrumento para formulação e aplicação de políticas de urbanização do Brasil. É definida pela CF/88 como: “[...] instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana”. Portanto, tem amplo suporte no

ordenamento jurídico brasileiro, tendo, além da tutela constitucional, sua regulamentação infraconstitucional disposta na Lei Federal nº 10.257/01, também chamada de Estatuto da Cidade, a qual estabelece diretrizes gerais da política urbana; pelo Código Florestal (Lei n. 4.771/65) e pela Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei n. 6.766/79). Segundo a própria CF, é de responsabilidade dos municípios a definição, via Plano Diretor, da função social da propriedade e delimitar, fiscalizar áreas subutilizadas sujeitas ao parcelamento ou construções compulsórias e de desapropriações.

Através do Plano Diretor, mais precisamente da Lei de Parcelamento do Solo Urbano, os municípios precisam obedecer aos índices urbanísticos inerentes a dimensões de lotes, definições das zonas urbanas de expansão e de urbanização.

No entanto, de um modo geral, as cidades foram construídas em áreas sem projeções de permeabilidade. Sistemas de pavimentações não permitem que a infiltração de águas das chuvas alcance o solo, ocasionando graves problemas de diversas ordens, sobretudo ambientais, a começar pela própria acumulação superficial da água, como ilustra a Figura 1, o que propicia a proliferação de vetores de doença, a exemplo do *Aedes aegypti*, além do fato de que, juntamente com o carreamento superficial das águas pluviais, impede sua percolação, culminando com o rebaixamento do lençol freático, que pode levar a graves problemas ambientais no escopo do manejo e conservação do solo e da água, conforme detalhou Lima (1998).



Figura 1: Sistema de pavimentação impedindo a infiltração de água pluvial na Rua G, Rio Verde - GO
Fonte: Arquivo pessoal do autor (2025)

A cidade de Rio Verde – GO é um bom exemplo desse descompasso. O Município possui oficialmente um Plano Diretor regido pela Lei complementar nº 5.318/2007, que

contempla uma incipiente política de manejo da água pluvial; contudo, além de apresentar baixa efetividade, o plano mostra-se defasado e carece de atualizações que atendam às demandas urbanas atuais. Essa ineficiência se evidencia nos frequentes alagamentos registrados durante episódios de chuvas intensas, conforme se ilustram as Figuras 2 e 3.



Figura 2: Alagamento em Rio Verde-GO em novembro de 2023

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024)



Figura 3: Escoamento superficial de águas pluviais em Rio Verde-GO

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024)

Percebe-se que o sistema de drenagem existente não consolida satisfatoriamente seus propósitos que, além de solucionar o problema de escoamento de águas, conforme mencionado por Rodrigues (2020): “[...] tem a função principal de realimentar o lençol freático”.

Verificou-se que, de fato, consta no Plano Diretor toda a estrutura documental para a adequação da drenagem urbana, contudo, para as futuras construções, uma vez que segundo a administração municipal, as construções foram feitas anteriormente à normatização constitucional. Com relação às projeções para implantação do Sistema de Drenagem Urbana no

município de Rio Verde, Goiás, Rodrigues (2022, p. 38) afirma que: “[...] o Código de Obras está sendo reformulado, com o novo Código, espera-se um grande progresso, visto que a lei está bastante defasada, como também o Plano Diretor.”

Resta aguardar as mudanças para melhor análise, contudo, as experiências com a questão dos resíduos da construção civil e sua utilização visando diminuição dos custos para a implantação do Sistema de Drenagem no município de Rio Verde, requer vasto conhecimento e realização de experimentos com o aproveitamento desses resíduos, conforme se discutirá a seguir.

Outro significativo problema da drenagem urbana são as obstruções dos canais e as galerias de lixos provenientes dos resíduos jogados pela própria população (PEREIRA, 2021), conforme ilustra a Figura 4. Este comportamento fomenta os alagamentos, acarreta gastos de recursos materiais e principalmente, coloca em risco a própria vida das pessoas que residem naquela determinada área comprometida, conforme se observou na Figura 3, que ilustra um alagamento ocorrido em Rio Verde - GO, durante uma chuva ocorrida em novembro de 2023.



Figura 4. Bueiro entupido de lixo impedindo a infiltração da água.

Fonte: Marcos Sandes/Ascom (2022)

Assim, as questões da poluição dos rios, eventuais proliferações de doenças, erosão dos solos, rebaixamento do lençol freático e outros problemas congêneres, evidenciam a necessidade de maior conscientização dos cidadãos e também de os órgãos públicos criarem o Sistema de Drenagem adequado àquela cidade ou região, com foco nos benefícios que causará não somente para a população, mas principalmente aos cofres públicos.

Entre os benefícios, alguns são destacados por Pereira (2021) como os mais importantes:

1. Redução de custos em manutenção de vias públicas;
2. A possibilidade de circulação de veículos e pedestres em áreas urbanas após chuvas intensas;
3. Escoamento rápido das águas superficiais, facilitando o tráfego por ocasião das chuvas;
4. Valorização das propriedades nas áreas em que possuem sistema de drenagem;
5. Redução de doenças de veiculação hídrica;
6. Eliminação de águas estagnadas e lamaçais, foco de doenças;
7. Redução de erosões e poluição de rios e lagos.

Sabe-se que os benefícios acima elencados só serão possíveis com o projeto realizado pelas prefeituras municipais, cuja responsabilidade legal é delegada aos seus gestores, assunto já tratado no item sobre as normas pertinentes.

Diante do exposto, fica clara a importância da drenagem urbana não somente para a comunidade como também para a preservação do meio ambiente. As chuvas são necessárias, contudo, com o crescimento dos centros urbanos, há a necessidade também de se projetar o recebimento dessas chuvas. É nesse instante que a drenagem se torna importante, pois, ameniza os efeitos negativos causados pelo grande volume de chuva, sobretudo nos grandes centros que até então, cresceram de maneira desordenada. Sublinha-se também a importância das ações de cidadania pertinentes aos cidadãos, bem como da elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana consistente, que considere a proteção do meio ambiente, a sustentabilidade baseada nos princípios inerentes a urbanização, ou seja, a construção das cidades e a gestão das águas. O uso de pavimento permeável se encaixa nestas premissas.

3.2 Tipos de Sistema de Drenagem

Embora existam na literatura distintas classificações dos tipos de concretos permeáveis e de pavimentos permeáveis, ao se fazer comparação com os demais tipos de concretos, é notório o destaque do elevado teor de porosidade, resultante da redução dos agregados finos, como areia e o aumento da proporcionalidade daqueles agregados maiores, a exemplo da brita. As classificações geralmente consideram como parâmetros a permeabilidade e a resistência, decorrentes da interação de vários fatores.

Batezini (2013) adota a subdivisão apresentada por Dellate e Clearly (2006), segundo os quais existem três tipos de concretos permeáveis, caracterizados pelo nível de resistência e drenagem:

- a) O concreto permeável hidráulico, um material com baixa resistência mecânica e elevada permeabilidade, utilizado para aplicações não estruturais;
- b) O concreto permeável convencional, que possui resistência e permeabilidade intermediárias, obtido por uma mistura sem adição de agregado miúdo, indicado para estacionamentos e calçadas;
- c) O concreto permeável estrutural, que possui aditivos e/ou adições minerais na mistura gerando maior resistência.

Conforme Pinheiro e Salomão (2020), o pavimento permeável é, em geral, composto por três camadas distintas: o concreto permeável como camada superficial e sub-base de agregado permeável e sob estes o solo intocado. Segundo os autores, o pavimento permeável funciona como um sistema: o concreto permeável permite que a água pluvial seja drenada da superfície para camadas subterrâneas, que têm a capacidade de atuar como reservatórios durante períodos de pluviosidade intensa, auxiliando na correta descarga da água superficial em cursos de água ou sistemas de drenagem reduzindo o risco de falhas e inundações repentinas e minimizando a contaminação deles.

Assim, de acordo com os autores supracitados, existem três tipos de sistemas práticos que podem ser implementados na construção de uma solução de permeabilidade e podem ser facilmente adaptados para criar uma base de concreto permeável:

- a) Sistema A (Infiltração Total) – Permite que toda a água pluvial na superfície se infiltre para as camadas subterrâneas possibilitando e auxiliando o fluxo de drenagem natural, o que requer que a permeabilidade natural do solo subjacente seja adequada;
- b) Sistema B (Infiltração Parcial) – Utilizado em locais com subsolo de permeabilidade moderada, que não suporta o fluxo esperado da área drenada. Requer a instalação de tubos de PVC a meio da camada da sub-base para drenar eventuais excessos de água não percolada;
- c) Sistema C (Atenuação Total) – Utilizado em locais onde o solo existente não permite infiltração. Requer a instalação de uma membrana ou manta impermeável acima do subsolo e de tubos PVC entre a camada da sub-base para remover toda a água para local apropriado.

Quanto aos pavimentos permeáveis, segundo Tavares e Kazmierczak (2016) há três tipos de pavimentos:

[...] pavimento de asfalto poroso, pavimento de concreto poroso (monolítico) e pavimento de bloco de concreto. O pavimento de concreto deve apresentar uma elevada porosidade obtida por elevado volume de vazio, fortemente interligado com agregados graúdos. Tipicamente concreto permeável tem pouco ou nenhum agregado fino [...].

Analizando o desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável, Lamb (2014) afirma que os concretos permeáveis podem ser utilizados para diversas finalidades, notadamente calçadas, estacionamentos, ruas de baixo tráfego, parques, praças, pátios residenciais, quadras de tênis, campos de golfe, painéis de enchimento, decks de piscinas, estabilização de encostas, forros, estruturas hidráulicas, estufas de plantas, bases permeáveis abaixo de pavimentos de alta resistência (camadas-base), isolamento térmico de paredes (alta porosidade), como barreiras acústicas (possui boas propriedades acústicas) e em muros de arrimo.

No entanto, conforme discutido anteriormente, o concreto permeável permite a passagem de água da superfície para as camadas subterrâneas, contudo, não poderá ser utilizado em lugares onde há fluxos de tráfego considerado pesado, já que o material não atinge elevados valores de resistência mecânica.

Costa *et al.* (2019) verificaram que a granulometria uniforme faz com que a resistência mecânica do concreto seja reduzida. Em contrapartida, contribui para aumentar o coeficiente de permeabilidade.

Pinheiro e Salomão (2020) elencaram, diversas desvantagens do concreto permeável, especialmente sua limitação em zonas de alto volume de tráfego, o que leva a ser aplicado, geralmente, em pavimentos com baixo volume de tráfego.

Conforme Botteon (2017), a resistência é inversamente proporcional à permeabilidade; o aumento da porosidade do concreto diminui a sua resistência. Dessa forma, há limitações no uso do concreto permeável, sendo este indicado para locais onde a resistência é menos relevante.

Diante de todo o exposto, observa-se que as características e propriedades dos concretos porosos, sobretudo os que aqui se aborda, com agregados de RCD, influenciam diretamente parâmetros como permeabilidade, resistência e possíveis aplicações. Essa influência resulta da interação de diversos fatores físico-químicos e estruturais. Portanto, torna-

se essencial a análise criteriosa dos principais parâmetros e fatores envolvidos na concepção e utilização desse tipo de concreto para pavimentação, conforme o objetivo deste estudo.

3.3 Concreto permeável para pavimentação

Não existe uma definição padrão do que é um concreto permeável. De forma geral, usa-se o termo para designar concretos caracterizados por uma grande presença de vazios interligados entre si, que permitem a fácil passagem de fluidos, resultando em elevada permeabilidade (LAMB, 2014). Segundo a autora, basicamente, pode dizer-se que este é um tipo de concreto com elevado percentual de vazios (na faixa que varia de 15 a 25 %) que são intencionalmente incorporados a fim de aumentar a porosidade e permitir a infiltração de água para o subsolo, sendo esta uma das principais vantagens, já que diminui os impactos das enxurradas urbanas. Nestes aspectos, o concreto permeável se difere dos concretos convencionais, cujo objetivo é o alcance da maior densidade possível.

A autora esclarece que, normalmente, para se obter essa configuração, não é empregada em sua moldagem o agregado miúdo, sendo o material produzido apenas com água, cimento e agregado graúdo, numa relação agregado/pasta elevada, o que proporciona economia de cimento e contato grão-grão, além de garantir-se que o material obtido tenha uma capacidade de percolação na ordem de 200 l/m²/min, devido à sua elevada porosidade.

Analogamente, para Pinheiro e Salomão (2020) concreto permeável é aquele cuja mistura contém nenhum ou pouco agregado fino (areia) e quantidade específica de água e aglomerante. O cimento reveste e liga as partículas de agregado graúdo, e cria um material altamente permeável, com vãos que promovem a rápida drenagem da água.

Batezini (2013) conceitua o concreto permeável como caracterizado por elevada porosidade e maior facilidade de drenagem.

Botteon (2017) define o concreto permeável, poroso ou concreto drenante como um tipo de concreto com alto índice de vazios interligados, sendo uma mistura de aglomerante, agregado graúdo e água preparada com pouco ou nenhum agregado miúdo, o que permite a passagem desobstruída de grande volume de água.

Conforme a autora,

diferente dos outros concretos, a qualidade do concreto drenante é definida pela sua porosidade, pela taxa de infiltração de água e seu peso, não sendo a resistência fator de grande importância. A alta porosidade é garantida pela utilização de agregado com a mesma granulometria, proporcionando volume de vazios, normalmente situado entre 15% e 30% do volume total. A quantidade de cada material é variável de acordo com a resistência pretendida e com a finalidade de utilização.

4 CONCRETO PERMEÁVEL COM RCD

Neste tópico, essencial à pesquisa, quando se avalia a viabilidade técnica do emprego de concreto permeável, é imprescindível a observância do conteúdo normativo pertinente, que é principalmente a NBR 16416:2015 (ABNT, 2015).

Para Lamb (2014), na análise do desempenho dos elementos de drenagem confeccionados em concreto permeável, deve-se considerar especialmente os ensaios de flexão, de permeabilidade e de resistência à compressão axial. Além destes, a autora adita a importância do estabelecimento de um traço padrão de concreto permeável e da sistematização dos procedimentos de execução (compactação e cura), dentre os seus objetivos principais na análise de desempenho deste tipo de concreto.

4.1 A normativa do Pavimento Permeável

Conforme supramencionado, a normativa do Pavimento Permeável no Brasil atende ao disposto na NBR 16416:2015 (ABNT, 2015), que formaliza os Requisitos e procedimentos relativos aos Pavimentos permeáveis de concreto. Esta norma estabelece os requisitos mínimos para especificar, executar e para a manutenção de cada tipo de pavimentos permeáveis de concreto. Está em vigor desde setembro de 2015, apresenta as tipologias de pavimentos permeáveis e todo o sistema de infiltração.

Consta ainda na referida norma, as especificações e os métodos de ensaios a serem adotados para diferentes camadas (base, sub-base e assentamentos) para projeção do tipo de pavimentação e quais materiais devem ser usados nos revestimentos. Não somente a forma para pavimentação permeável, como também a execução, a limpeza e a manutenção adequada das pavimentações permeável (ABNT, 2015). A referida norma aponta todos os requisitos e diretrizes a serem cumpridas para a adequação dos procedimentos. As definições para os pavimentos permeáveis, segundo a NBR 16416:2015, devem permitir a percolação de 100% de

todo o volume de água que incide sobre a área, assim como também a totalidade da precipitação sobre as áreas.

A utilização do pavimento permeável, segundo a NBR 16416:2015, orienta os projetistas, considerar o tipo de carregamento o pavimento será submetido, a capacidade de o solo suportar o fluxo de tráfego, o coeficiente de permeabilidade, do nível do lençol freático e a condição de saturação do solo (sistema de infiltração total ou parcial). Com relação a execução e manutenção, a NBR 16416:2015 delega que o pavimento permeável de concreto deve observar qual o tipo de revestimento adotado para as áreas que serão pavimentadas, e que deve ser feita antes da liberação do tráfego, objetivando identificar a existência de peças quebradas ou algumas falhas que comprometam o resultado da pavimentação. Com relação a manutenção, a inspeção para identificar o desempenho hidráulico e mecânico e a devida limpeza, caso o coeficiente de permeabilidade seja menor ou igual a 10^{-5} m/s, para que seja restaurada a permeabilidade.

Sendo assim, a norma vem de encontro a necessidade de utilização do concreto permeável como meio padronizado e de qualificação, auxiliando na questão econômica quanto aos gastos e principalmente estimular a fabricação e venda dos materiais permeáveis. Portanto, é de extrema importância que os construtores tenham amplo conhecimento da NBR 16416:2015, pois por meio dela é possível se evitar a utilização de materiais de má qualidade.

Conforme asseveraram Santos e Ferreira Júnior (2021), para aplicação de concretos permeáveis, sejam eles em placas, pavers ou moldados in loco, a NBR 16416:2015 preconiza que o projeto de um pavimento deve considerar o uso e o local de implementação do pavimento, atendendo concomitantemente aos dimensionamentos mecânicos e hidráulicos, e então apresenta parâmetros mínimos exigíveis conforme a finalidade do elemento.

Dentre estes parâmetros, destacam-se alguns que é relevante examinar.

4.2 Parâmetros Técnicos do Material

Conforme elucidam Santos e Ferreira Júnior (2021), alguns aspectos físicos, sobretudo mecânicos e hidráulicos, inerentes à aplicação de concretos permeáveis para pavimentos são exigíveis conforme a finalidade do elemento. Os autores summarizaram os principais parâmetros mecânicos, a partir das respectivas Normas Técnicas (Tabela 1):

Tabela 1 - Parâmetros mecânicos para concretos permeáveis

Tipo de revestimento	Tipo de Solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência Mecânica característica (MPa)	Método de Ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou área vazadas)	Tráfego de pedestres	60	$\geq 35,0^{\text{a}}$	NBR 9781
	Tráfego leve	80		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60	$\geq 20,0^{\text{a}}$	NBR 15805
	Tráfego leve	80		
Placa de concreto Permeável	Tráfego de pedestres	60	$\geq 2,0^{\text{b}}$	NBR 12142
	Tráfego leve	80		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60	$\geq 1,0^{\text{c}}$	NBR 12142
	Tráfego leve	100	$\geq 2,0^{\text{c}}$	

a – Determinação da resistência à compressão, conforme ABNT NBR 9781
b – Determinação da resistência à flexão, conforme ABNT NBR 15805
c – Determinação da resistência à tração na flexão, conforme ABNT NBR 12142

Fonte: Santos e Ferreira Júnior (2021).

4.2.1 Resistência Mecânica à compressão

Os testes de resistência mecânica são importantes porque o concreto é geralmente submetido a esforços que transmitem tensões de compressão.

Dessa forma, torna-se preponderante para a segurança e para a estabilidade estrutural a realização de ensaios que comprovem e que validem seus parâmetros de aceitação. Os ensaios de resistência à compressão têm como objetivo assinalar eventuais divergências na qualidade do concreto desde sua dosagem até a sua composição (FAVARATO *et al.*, 2019).

Neste processo, a resistência à compressão axial é a propriedade mais avaliada para verificação da qualidade de um concreto. A resistência à compressão do concreto é determinada através de ensaios padronizado, seguindo a NBR 5739:2007: Concreto – Ensaio de compressão

de corpos-de-prova cilíndricos, utilizando-se corpos de prova de concreto, moldados conforme a NBR 5738:2015 e extraídos conforme a NBR 7680:2015.

Embora a NBR 16416:2015 não apresente exigências quanto a resistência à compressão em placas de concreto permeável, Santos e Ferreira Júnior (2021) avaliaram este parâmetro e observaram que a resistência à compressão reduz à medida que se acrescenta agregado de RCD ao concreto, variando na avaliação aos 28 dias de 8,50 MPa (no concreto convencional sem RCD) a 7,39 MPa (na mistura com 50% RCD e 50% de agregado natural) até 5,26 MPa no concreto em que se usou 100% RCD.

Para os autores, o decréscimo de resistência é tanto maior, quanto maior o índice de substituição do agregado natural pelo agregado de RCD e esse fato era o esperado, e se deve a natureza da composição granulométrica do agregado de RCD, que nestes teores de substituição estudados (50% e 100%) tornam a mistura seca, e pouco coesa. Os autores registram que os valores obtidos corroboram os do trabalho de Fernandes e Melo (2020), que apontou que uma das características que o concreto permeável pode apresentar é uma resistência à compressão menor quando comparada ao um concreto tradicional.

Os valores apresentados situaram-se abaixo da resistência à compressão axial das amostras de placas de concretos permeáveis obtidos por Lamb (2014), cuja média foi de 12,75 MPa. Registra-se que esta diferença se deve às condições experimentais distintas.

Mais recentemente, Oliveira *et al.* (2024), avaliando a resistência mecânica do concreto permeável por meio dos ensaios de resistência à compressão simples, tração na flexão e tração por compressão diametral, obtiveram uma resistência média à compressão em corpos cilíndricos de 4,27 Mpa.

Conforme os autores retromencionados, os valores obtidos de resistência média à compressão encontram-se situados dentro da faixa estabelecida pelo American Concrete Institute (ACI), que vai de 2,8 a 28 MPa.

Tais resultados corroboram as afirmações de que o concreto permeável é adequado para confecção de pavimento permeável com aplicação em tráfego leve, no que concerne à resistência mecânica à compressão.

4.2.2 Resistência Mecânica à tração por flexão

A Resistência Mecânica à tração por flexão é uma propriedade muito importante para se determinar a carga máxima que o concreto pode suportar sem sofrer falhas estruturais. Sua

avaliação pode ser feita por método indireto, realizado conforme a norma NBR 12142:1991 da ABNT, conforme detalharam Santos e Ferreira Júnior (2021) e Oliveira *et al.* (2024).

No ensaio para avaliação de resistência à tração na flexão, Santos e Ferreira Júnior (2021) moldaram 4 vigas de 100mm x 100mm x 400 mm, conforme NBR 12142:2019, e observaram que da mesma forma como relatado para a resistência à compressão, a resistência à tração por flexão também reduz à medida que se acrescenta agregado de RCD ao concreto, bem como reduz no decurso do tempo (avaliadas aos 7 e 28 dias), conforme se vê na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios a tração na flexão.

Mistura	Tensão Média (MPa) x idade	
	7 dias	28 dias
I (AGN) – com agregado natural	4,76	3,45
II (ARDC100) – com 100% RCD	2,87	2,31
III (ARDC50) - com 50% RCD + 50% agregado natural	3,44	2,99

Fonte: Santos e Ferreira Júnior (2021).

Da mesma forma que ocorreu com a resistência à compressão, os valores apresentados de resistência à flexão situaram-se abaixo dos obtidos por Lamb (2014), cuja média com 3 diferentes traços de concreto permeável foi de 15 MPa. Da mesma forma, há que se admitir que esta diferença se deve às condições experimentais distintas.

Mesmo assim, todos os valores de resistência à tração por flexão obtidos pelos autores citados são superiores a 2,0 MPa, valor estabelecido pela NBR 16416:2015 como parâmetro mínimo para concreto permeável moldado no local com tipo de solicitação para tráfego leve, bem como para tráfego de pedestres, que é de apenas 1,0 MPa, o que permite depreender que o concreto permeável é adequado para confecção de pavimento permeável nestes tipos de aplicação, no que concerne à resistência mecânica à tração por flexão.

4.2.3 Permeabilidade

Tecnicamente, o Coeficiente de Permeabilidade (K), exprime a capacidade de percolação do meio, que é determinado medindo-se a vazão, volume de água que atravessa o meio poroso e dividindo-a pela seção transversal do meio (FRANÇA e CARROCCI, 2002). Para concreto que se utiliza composição granulométrica mais uniforme, há pouca fração fina de agregado preenchendo os vazios, portanto a sua permeabilidade é maior.

A permeabilidade trata-se de um dos principais parâmetros quanto à viabilidade técnica do concreto permeável, haja vista que é um elemento conceitual do mesmo, conforme

destacado no item 2.3.3. Os autores citados destacaram sempre que a alta porosidade intencionalmente incorporada ao concreto permeável tem por finalidade aumentar a porosidade e por conseguinte a permeabilidade do concreto.

Em última instância, é o objetivo principal que se almeja quando do emprego do tipo de material abordado na presente pesquisa.

Conforme anteriormente mencionado, a NBR 16416:2015 determina que o pavimento permeável deve apresentar, quando recém-construído, um coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-3} m/s (0,003 m/s), avaliado em campo após a execução do pavimento pelo método descrito na norma.

Quando bem conduzido, o emprego de concreto permeável propicia a obtenção desta permeabilidade. A exemplo, citam-se os resultados obtidos por Santos e Ferreira Júnior (2021) em que todas as misturas utilizadas (com agregado natural, com 100% RCD e com 50% RCD + agregado natural), apresentaram resultados de permeabilidade maiores que o mínimo exigido por norma: 0,00302 m/s; 0,0163 m/s; 0,00926 m/s, respectivamente. Note-se que a permeabilidade do concreto permeável em que se empregou 100% de RCD foi 5, vezes maior do que com emprego de 100% de agregado natural.

Para os autores, as maiores permeabilidades obtidas nas amostras com substituição de agregado de RCD é um fato consistente, dada a maior porosidade dessas misturas aliada à forma com que esses poros se estruturaram, facilitando a passagem da água através deles.

4.2.4 Traço e relação água/cimento do concreto

O traço (proporção cimento/ agregado) tem sido objeto de inúmeras pesquisas. Diversos autores, como Batezini (2013), Lamb (2014), Costa *et al.* (2019), Oliveira *et al.* (2024), se dedicaram à pesquisa acerca da eficiência do traço do concreto e na literatura encontra-se que este deve se situar entre 1:3 e 1:6, com relação água/cimento situando-se entre 0,26 a 0,45.

A ênfase nestas pesquisas se justifica, porque o traço do concreto é determinante para se obter praticamente todos os parâmetros de viabilidade técnica supracitados.

Para Batezini (2013),

A composição do traço do concreto permeável exige rigor, pois possui vários itens que necessitam de um cuidado especial. [...] como o concreto permeável tem uma pega rápida, aditivos como retardadores de pega são largamente utilizados para se obter um concreto com trabalhabilidade adequada.

A relevância do traço no emprego do concreto permeável em estudo é detectável na pesquisa realizada por Oliveira *et al.* (2024), na qual a mistura de concreto permeável foi realizada com proporção cimento/ agregado de 1:4, proporção água/cimento de 0,26 e proporção aditivo/cimento de 0,007, almejando uma porosidade-alvo de 25 %. Os próprios autores salientaram que a resistência média à tração por flexão relativamente baixa (1,66 MPa) sugere que se deve aprimorar o traço:

verificou-se que o concreto proposto atende as normativas para utilização em passeios e, com um razoável aperfeiçoamento do traço, poderá ser empregado em situações de circulação de veículos leves.

A relação água/cimento varia mais, porque, conforme explicam Santos e Ferreira Júnior (2021), o RCD, devido a sua grande porosidade, apresenta quase 12 vezes maior absorção de água que o agregado natural, o que, por vezes acarreta a necessidade de se ajustar a quantidade de água para dar maior trabalhabilidade ao concreto.

Para concreto permeável, os resultados encontrados nesta revisão sugerem que os melhores resultados têm sido obtidos quanto se emprega traços entre 1:3 e 1:5 e relação água/cimento na casa de 0,33.

5 VIABILIDADE ECONÔMICA

5.1 Avaliação da viabilidade econômica do emprego de concreto permeável de RCD

Para esta análise, os principais parâmetros a serem considerados na atualidade são os custos dos insumos, posto que os custos variáveis, como serviços, são similares.

No presente trabalho, tomando-se como base os preços médios praticados no mercado varejista de Rio Verde-GO¹ em dezembro de 2024, pode-se referenciar os seguintes custos.

5.2 Cálculo do custo aproximado do concreto convencional com agregado natural

Para calcular os materiais necessários para 1 metro cúbico de cerca de 15 Mpa, para serem empregados em áreas de tráfego leve, normalmente se usa uma proporção de 1:3 (cimento:brita), com uma relação água/cimento adequada. Desta forma, tem-se o cálculo aproximado:

- a) Proporção do concreto (1:3) = 1 parte de cimento e 3 partes de brita. Isso dá um total de 4 partes (1 + 3). Para cada metro cúbico de concreto, cada parte corresponde a 1/4 de 1 m³, ou seja, 0,25 m³.

b) Materiais necessários

- 1) 7,0 sacos de 50 kg – custo de R\$ 35,00/cada (valor total de R\$ 245,00);
- 2) Brita 0: 0,75 m³ (1125 kg) - custo de R\$ 185,00/ m³ (valor total de R\$ 138,75);
- 3) Água: 0,08 m³ - custo de R\$ 13,00/ m³ (valor aproximado de R\$ 1,04);
- 4) Valor total aproximado dos insumos (exceto aditivos): R\$ 384,79

Esses valores podem variar dependendo do tipo de brita e das condições locais. É sempre bom realizar ajustes conforme a necessidade prática.

Os valores estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Custos dos materiais para concreto Fck15 com agregado natural.

Material	Custo unit.	Consumo	Custo Total	%
Cimento (saco 50 kg)	R\$ 35,00	7,00	R\$ 245,00	63,7%
Brita Zero (m ³)	R\$ 185,00	0,75	R\$ 138,75	36,1%
Água (m ³)	R\$ 13,00	0,08	R\$ 1,04	0,3%
Total			R\$ 384,79	

Fonte: Próprio autor (2025)

¹ Preços pagos pelo autor na loja Construshop de Rio Verde-GO, após pesquisa de mercado na concorrência.

Na cidade de Rio Verde-GO, o preço médio do concreto usinado pronto é de¹

- concreto FCK 20: R\$ 510,00 a vista;
- concreto FCK 25: R\$ 530,00 a vista.

5.3 Cálculo do custo aproximado do concreto permeável com emprego de RCD

Neste cálculo, considerou-se a possibilidade de obtenção do RCD sem custos adicionais, manteve-se os demais elementos do cálculo do concreto convencional e as proporções de substituições foram 25,50 e 100% do agregado natural pelo RCD, os valores de custo resultantes estão expressos na tabela 4,5 e6.

Tabela 4: Custo do concreto convencional com substituição de 25% para RCD.

Concreto com subst. RCD 25%				
Material	Custo unit.	Consumo	Custo Total	%
Cimento (saco 50 kg)	R\$ 35,00	7,00	R\$ 245,00	70,0%
Brita Zero (m ³)	R\$ 185,00	0,56	R\$ 104,06	29,7%
RCD (m ³)	R\$ -	0,19	R\$ -	0,0%
Água (m ³)	R\$ 13,00	0,08	R\$ 1,04	0,3%
Total				R\$ 350,10

Fonte: Próprio autor (2025)

Tabela 5: Custo do concreto convencional com substituição de 50% para RCD.

Concreto com subst. RCD 50%				
Material	Custo unit.	Consumo	Custo Total	%
Cimento (saco 50 kg)	R\$ 35,00	7,00	R\$ 245,00	77,7%
Brita Zero (m ³)	R\$ 185,00	0,38	R\$ 69,38	19,8%
RCD (m ³)	R\$ -	0,38	R\$ -	0,0%
Água (m ³)	R\$ 13,00	0,08	R\$ 1,04	0,3%
Total				R\$ 315,42

Fonte: Próprio autor (2025)

¹ Verc Concretos – Comunicação pessoal via WhatsApp em 19/12/2024.

Tabela 6: Custo do concreto convencional com substituição de 100% para RCD.

Concreto com subst. RCD 100%				
Material	Custo unit.	Consumo	Custo Total	%
Cimento (saco 50 kg)	R\$ 35,00	7,00	R\$ 245,00	99,6%
Brita Zero (m ³)	R\$ 185,00	0,00	R\$ -	0,0%
RCD (m ³)	R\$ -	0,75	R\$ -	0,0%
Água (m ³)	R\$ 13,00	0,08	R\$ 1,04	0,4%
Total			R\$ 246,04	

Fonte: Próprio autor (2025)

5.4 Comparação com Métodos Tradicionais

Na Tabela 7, estão os comparativos de todos os concretos citados, houve-se uma economia significativa em relação ao concreto com substituição de 100% e 50% de agregado natural por RCD em relação ao concreto convencional e usinado. Na substituição de 25% a economia não foi tão significativa. Todos apresentaram economia muito alta em relação ao concreto usinado.

Tabela 7: Economia dos concretos com substituição de RCD com concreto convencional e usinado.

Tipo do Concreto	Custo Unit.	Valor	Economia em relação aos outros concretos		
			Concreto Convencional Fck15	Concreto Usinado Fck20	% economia
Concreto com subst. 25% de RCD	R\$ 350,10	34,69	9,01%	159,90	31,35%
Concreto com subst. 50% de RCD	R\$ 315,42	69,38	18,03%	194,59	38,15%
Concreto com subst. 100% de RCD	R\$ 246,04	138,75	36,06%	263,96	51,76%

Fonte: Próprio autor (2025)

Os cálculos apresentados comprovam que o concreto permeável, além de tecnicamente adequado para confecção de pavimento permeável com aplicação em tráfego leve, é também viável do ponto de vista econômico, por ser o de menor custo dentre as 3 opções analisadas.

Outro fator que deve ser levado em consideração em relação a viabilidade econômica, é o custo de frete e o volume de concreto que será executado. O custo do frete dependendo do volume de material e da localidade da obra, pode viabilizar ou não a sua utilização.

6 CONCLUSÕES

Diante de todo o exposto, pode-se concluir que os resíduos da construção civil no Brasil tem sido um desafio para o setor, mas, conforme destacado por Szigethy e Antenor (2020): “Se cumpridas as determinações previstas na Política de Resíduos Sólidos, o país poderá transformar os problemas representados pelos materiais descartados em solução econômica e social, mas são necessários investimentos em todos os níveis.”

Os resultados dos parâmetros avaliados nesta pesquisa demostram que o material avaliado atende a todos os parâmetros técnicos para ser utilizados para o fim proposto: pavimento permeável e solicitação mecânicas reduzidas como tráfego leve.

O material residual (RCD) avaliado pode ser empregado em quaisquer pavimentações em que se tenha baixa carga de compressão (baixo tráfego), como calçadas, passeios etc.

Os dados apresentados comprovam que o concreto permeável, além de tecnicamente adequado para confecção de pavimento permeável com aplicação em tráfego leve, é também viável do ponto de vista econômico.

Para sua utilização deve ser levado em consideração o valor do frete do material e a sua necessidade constante de manutenção do pavimento em si, uma vez que para continuar com a sua capacidade plena de permeabilidade ele deverá sofrer manutenção.

Portanto, pode-se afirmar como asserção final que o emprego do RCD dissecado neste trabalho pode contribuir sobremaneira, de forma sinérgica, tanto para a redução de custos na construção civil quanto, especialmente, para com a sustentabilidade ambiental porquanto se mostra uma opção viável de reutilização, contribuindo para mitigar o grave problema ambiental do acúmulo de resíduos sólidos de construção civil, com todas as consequências plausíveis e se coaduna com o moderno conceito de economia circular, tão em voga na atualidade e contemplados inclusive nos ODS (objetivos de desenvolvimento sustentável) para 2016-2030 da ONU, dos quais o Brasil é signatário.

6 REFERÊNCIAS

Agencia Gov. Compromisso é fazer 2 milhões de casas neste meu terceiro mandato', diz Lula. Portal de notícias Agenciagov. Disponível em <<https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202407/compromisso-fazer-2-milhoes-de-casas-terceiro-mandato-lula>>. Acesso em 18/12/2024.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 16416:2015 - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Disponível em: <<https://abnt.org.br/normalizacao/normas-publicadas/>>. Acesso em 16/10/2024.

Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente – ABREMA. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024. Portal da Abrema. Disponível em: <file:///C:/Users/USER/Downloads/Panorama_2024_v4.pdf>. Acesso em: 20/12/2024.

Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON). 70% do entulho no Brasil é descartado incorretamente. Portal da ABRECON, 03/06/2023. Disponível em <<https://abrecon.org.br/artigos/70-do-entulho-no-brasil-e-descartado-incorretamente>>. Acesso em 18/12/2024.

BATEZINI, Rafael. Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves. 2013. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2013.

Botteon, Letícia Machado Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos. Niterói, RJ, 2017. 92 p.

BRASIL. Nova Constituição brasileira. Rio de Janeiro: Gráfica Jornal do Brasil, 1988. 119p.

BRASILEIRO, L.L.; MATOS, J.M.E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Revista Cerâmica*, n. 61, p.178-189, 2015. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/ce/a/8v5cGYtby3Xm3Snd6NjNdtQ/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 14/12/2024.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). Estudo mostra perfil do trabalhador da construção civil. Portal CBIC, 2024. Disponível em <Estudo mostra perfil do trabalhador da construção civil - CBIC – Câmara Brasileira da Industria da Construção>. Acesso em 18/12/2024.

Cimento Itambé – Sarjeta permeável é alternativa para bocas de lobo. Portal Cimento Itambé, 22/01/2020. Disponível em <<https://www.cimentoitambe.com.br/sarjeta-permeavel-e-alternativa-para-bocas-de-lobo/g>>. Acesso em 16/10/2024.

Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução n. 307/2002.** CONAMA, Brasília, 2002. Disponível em <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305>. Acesso em 08/10/2024.

Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução n. 448/2012.** CONAMA, Brasília, 2012. Disponível em <Resolução CONAMA nº 448 de 18/01/2012 - Federal - LegisWeb>. Acesso em 10/12/2024.

COSTA, Marília Cristina Barata da, et. al. Estudo da viabilidade técnica do uso de concreto permeável em pavimentos urbanos de baixo tráfego utilizando agregado graúdo regional. **RCT – Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 5, n.8, 17p. 01/07/2019. Disponível em: <<https://revista.ufrr.br/rct/article/view/5217/2649>>. Acesso em 16/10/2024.

FAVARATO, L.F.; ROSÁRIO, C.V.S.; ALZUGUIR, J.P.C., et al., Avaliação teórico-experimental da resistência à compressão de concretos através de ensaios não destrutivos. Rio de Janeiro: **revista Matéria**, v.24, n.4, 2019. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/SFkDBC9m6Y5nXwkKsywVmxQ/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 21/12/2024.

FRANÇA, Antonio Carlos; CARROCI, Luiz Roberto. Escoamento em meios porosos; uma análise teórica e experimental dos efeitos dos esforços capilares provocados por percolação de água em elementos de alvenaria. IN: II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. João Pessoa, PB, 12-16 de agosto de 2002 p.1-10. **Anais...** Disponível em <<https://abcm.org.br/anais/conem/2002/trabalhos/tema06/CPB0338.pdf>>. Acesso em 18/10/2024.

GUEDES, H. **Microdrenagem. Curso de Engenharia Civil.** São Paulo. Disponível em: wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/. Acesso em 09/10/2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção, 2022.** Portal do IBGE. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html>>. Acesso em 18/12/2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE/CIDADES – **Rio Verde - Goiás.** Portal IBGE. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/panorama>>. Acesso em 16/10/2024.

Laboratório de Geotécnica da Universidade Federal do Ceará – LAGETEC/UFC. Determinação da permeabilidade do solo. Disponível em <<http://www.lagetec.ufc.br/wp-content/uploads/2017/07/Ensaios-para-determina%C3%A7%C3%A3o-da-permeabilidade-de-material-granular1.pdf>>. Acesso em 14/11/2024.

LIMA, David Vieira *et al.* Avaliação da viabilidade de um modelo hidropônico artesanal de baixo custo para agricultura urbana sustentável. **Global Science and Technoly**, Rio Verde, v.11, n.02, p.274-290, mai/ago. 2018. Acesso em 20/09/2024.

LIMA, David Vieira. **Conservação do solo e da água**. Rio Verde: gráfica e editora IAM, 1998. 72p.

O POPULAR. Carros são arrastados por enchente durante forte temporal em Rio Verde. **Jornal o popular, 17/11/2023, caderno Cidades**. Disponível em <<https://opopular.com.br/cidades/carros-s-o-arrastados-por-enchente-durante-forte-temporal-em-rio-verde-video-1.3084313>>. Acesso em 18/10/2024.

OLIVEIRA, Jonathan Duarte *et al.* Avaliação da resistência mecânica do concreto permeável por meio dos ensaios de resistência à compressão simples, tração na flexão e tração por compressão diametral. **Contribuciones a las ciencias sociales**, v. 17, n. 10, p. 1-24, 2024. Disponível em: <<https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/11161>>. Acesso em: 22/12/2024.

PEREIRA. A. **Gestão das águas e a Drenagem urbana**: entenda o que é e a sua importância. RGS, engenharia. Rio Grande do Sul, 2021. Disponível em: rgsengenharia.com.br. Acesso em: 9/10/2024.

PINHEIRO, Alexandre Victor Silva; SALOMÃO, Pedro Emílio Amador. Concreto permeável: solução no manejo de águas pluviais. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 1. 13p. Disponível em <https://revistas.unipacto.com.br/storage/publicacoes/2020/492_concreto_permeavel_solucao_no_manejo_de_aguas_pluviais.pdf> . Acesso em 16/10/2024.

RODRIGUES, G. A. S. **Manual técnico para auxílio a aprovação de projetos de habitações unifamiliares e germinadas na prefeitura de Rio Verde**. Rio Verde – GO. 2022.

SZIGETHY, L., ANTENOR, S. **Resíduos Sólidos urbanos no Brasil**: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/en/topics/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 07/10/2024.

SILVA, E. A.; SANTOS, J. P.; OLIVEIRA, M. R. **Gestão e sustentabilidade dos resíduos da construção civil no contexto urbano brasileiro**. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 8, n. 19, p. 495–507, 2021. Disponível em: <<https://revista.ecogestaobrasil.net/v8n19/v08n19a30.pdf>> Acesso em: 14/10/2025. 2025.

TAVARES, L. M., KAZMIERCZAK, C. S. Estudos da influência dos agregados de concreto reciclado em concretos permeáveis. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**. V. 9. Fev. RS, 2016. Disponível em

<<https://www.scielo.br/j/riem/a/B7RCKqvYtFcRY36jmF3cZWd/?lang=pt>> . Acesso em 16/10/2024.

TAVARES, L. M., KAZMIERCZAK, C. S. Estudos da influência dos agregados de concreto reciclado em concretos permeáveis. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**. V. 9. Fev. RS, 2016. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/riem/a/B7RCKqvYtFcRY36jmF3cZWd/?lang=pt>>. Acesso em 16/10/2024.

TUCCI., C. E. M. **Planejamento Urbano**. São Paulo, 2003. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020 Acesso em: 07/10/2024.