

**UNIGUAÇU – UNIÃO DE ENSINO SUPERIOR DO IGUAÇU LTDA.**

**FACULDADE UNIGUAÇU**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Projeto Final de Curso II

DANIEL DA CRUZ MACIEL

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA  
PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO FLUXO**

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU - PR

2025

DANIEL DA CRUZ MACIEL

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA  
PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO FLUXO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil da Faculdade  
Uniguaçu.

Orientador: Prof. Me. Fauston Pastre

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU - PR  
2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

DANIEL DA CRUZ MACIEL

### **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO FLUXO**

**Trabalho de Conclusão de Curso** em Engenharia Civil apresentado, sob a orientação do professor Fauston Pastre, aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel no curso de Engenharia Civil da Faculdade UNIGUAÇU, pela seguinte banca examinadora:

---

Prof. Me. Fauston Pastre  
Faculdade UNIGUAÇU

---

Prof. Me. Meire C. Barbosa  
Faculdade UNIGUAÇU

---

Prof. Me. Melissa Proença  
Faculdade UNIGUAÇU

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU, 16 DE JUNHO DE 2025

## RESUMO

O crescimento acelerado das áreas urbanas tem gerado desafios, como a alta impermeabilização do solo e a grande geração de resíduos de construção e demolição (RCD). No Brasil, em 2018, estimou-se a coleta de cerca de 122.012 toneladas/dia de RCD. Buscando soluções para esses problemas, esta pesquisa investigou a viabilidade do uso de RCD em concreto permeável para pavimentação de baixo fluxo. A solução visa minimizar a extração de matéria-prima natural e problemas de destinação incorreta do RCD. Para o estudo, foram realizados ensaios de caracterização dos materiais e preparados corpos de prova com substituições de 0%, 25% e 50% de agregado graúdo natural por RCD, com o objetivo de avaliar os efeitos nos ensaios de resistência à compressão e abrasão, eflorescência e permeabilidade em idades de 7, 14 e 28 dias. Os resultados mostraram que o concreto permeável com RCD apresentou resistências à compressão satisfatórias aos 28 dias, atingindo 5,64 MPa e 4,08 MPa para os traços T25 e T50, respectivamente, dentro dos parâmetros normativos de 2,8 MPa a 28 MPa. Nos ensaios de permeabilidade, observou-se melhoria com o aumento do percentual de RCD, alcançando um coeficiente de 0,75 no traço T25 e 0,90 cm/s no traço T50. Os valores de resistência à abrasão não mostraram grandes variações. O fenômeno de eflorescência foi observado em todos os corpos de prova expostos a água destilada, enquanto os expostos às condições ambientais não apresentaram eflorescência. No geral, os resultados foram satisfatórios, atendendo aos parâmetros exigidos para este tipo de concreto, viabilizando sua aplicação em locais de baixo fluxo.

**Palavras-chave:** Permeabilidade. RCD. Drenagem Urbana.

## ABSTRACT

The rapid growth of urban areas has generated challenges such as increased soil impermeability and the substantial generation of construction and demolition waste (RCD). In Brazil, it was estimated that in 2018 about 122,012 tons/day of RCD were collected. Seeking solutions to these problems, this research investigated the feasibility of using RCD in permeable concrete for low-traffic paving. The solution aims to minimize the extraction of natural raw materials and the issues related to the incorrect disposal of RCD. For this study, material characterization tests were conducted, and test specimens were prepared with 0%, 25%, and 50% substitutions of natural coarse aggregate by RCD, to evaluate the effects on compression and abrasion resistance, efflorescence, and permeability at 7, 14, and 28 days. The results showed that permeable concrete with RCD presented satisfactory compressive strengths at 28 days, reaching 5,64 MPa and 4.08 MPa for the T25 and T50 mixes, respectively, within the normative parameters of 2,8 MPa to 28 MPa. In permeability tests, improvement was observed with an increase in RCD percentage, achieving a coefficient of 0.75 cm/s in the T25 and 0.90 cm/s in the T50 mix. Abrasion resistance values showed little variation. The phenomenon of efflorescence was observed in all specimens exposed to distilled water, while those exposed to environmental conditions did not show efflorescence. Overall, the results were satisfactory, meeting the required parameters for this type of concrete, allowing its application in low-traffic areas.

**Keywords:** Permeability. RCD. Urban Drainage.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>15</b>
3.1. DRENAGEM URBANA	15
3.2. INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO SOBRE O CICLO HIDROLÓGICO	15
3.3. CONCRETO PERMEÁVEL	16
3.3.1. Pavimento de baixa circulação	17
3.3.2. Propriedades do Estado Fresco	18
3.3.3. Abatimento de Tronco do Cone (Slump-Test)	18
3.3.4. Propriedades no Estado Endurecido	18
3.3.4.1. Resistência à Abrasão	19
3.3.4.2. Resistência a Compressão	19
3.3.4.3. Permeabilidade	20
3.3.5. Concreto permeável com resíduos reciclados	20
3.3.6. Eflorescência	21
3.4. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	22
3.4.1. Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil	22
3.4.2. Classificação de Resíduos de Construção e Demolição	23
3.4.3. Pavimentos permeáveis com RCD	24
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>28</b>
4.1. MATERIAIS	29
4.1.1. Cimento	29
4.1.2. Agregado graúdo: Brita	30
4.1.3. Agregado graúdo: Resíduos de Construção e Demolição	31
4.1.4. Água potável	32
4.2. MÉTODOS	32
4.2.1. Tratamento mecânico do RCD	32
4.2.2. Dosagem do concreto	33
4.2.3. Produção de concreto	33
4.2.4. Ensaio no estado fresco	34

4.2.5.	Moldagem dos corpos de prova .....	35
4.2.6.	Projeto experimental .....	36
4.2.7.	Ensaio no estado endurecido .....	36
4.2.7.1.	Eflorescência .....	36
4.2.7.2.	Resistência à Abrasão .....	37
4.2.7.3.	Resistência à Compressão para concreto permeável.....	39
4.2.7.4.	Permeabilidade .....	39
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
5.1	ABATIMENTO DO TRONCO DO CONE ( <i>SLUMP TEST</i> ).....	41
5.2	RESISTÊNCIA ABRASÃO.....	41
5.3	EFLORESCÊNCIA.....	43
5.4	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	44
5.5	PERMEABILIDADE.....	46
5.6	ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS.....	47
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Concreto Permeável .....	17
Figura 2 - Porosidade média (%).....	26
Figura 3 - Fluxograma da estratégia de pesquisa .....	28
Figura 4 - Processo do RCD. a) Local da coleta de RCD. b) Material Triturado e peneirado.....	33
Figura 5 - Procedimento do Slump test. a) Preenchimento do molde com concreto. b) Adensamento de cada camada. c) Removido o troncônico e o excesso de concreto. d) Retirada do molde.....	35
Figura 6 - Realização do ensaio de eflorescência. a) Corpos de prova referência. b) Corpos de prova submetidos ao ensaio.....	37
Figura 7 – Ensaio de resistência à abrasão. a) Pesagem do corpo de prova após a deformação. b) Pesagem do corpo de prova após o preenchimento da cavidade.....	38
Figura 8 - Procedimentos para o ensaio. a) Envolvimento do corpo de prova ao papel filme. b) Cobrimento do mesmo com fita adesiva. c) Aplicação de silicone entre o corpo de prova e o tubo de PVC. d) Aplicação da fita silver tape e saturação do corpo de prova.....	39
Figura 9 - Resultado do abatimento do tronco do cone. a) T0. b) T25. c) T50.....	41
Figura 10 - Corpo de prova exposto a condições ambientes.....	43
Figura 11 - Resultado do ensaio de Eflorescência.....	44

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva Granulométrica do agregado natural.....	30
Gráfico 2 - Curva granulométrica RCD.....	31
Gráfico 3 - Resultados obtidos para o ensaio de resistência à Abrasão.....	43
Gráfico 4 - Variações dos resultados obtidos para o ensaio de resistência a compressão.....	45
Gráfico 5 – Resultado do ensaio de resistência à compressão.....	46
Gráfico 6 - Médias obtidas no ensaio de permeabilidade.....	47
Gráfico 7 - Variações de resultados entre os traços.....	48

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estudos realizados com a utilização de RCD em concreto permeável ...	25
Quadro 2 - Composições químicas e físicas do concreto .....	29
Quadro 3 - Processo de confecção do concreto.....	34
Quadro 4 - Quantidade de corpos de prova e ensaios a serem realizados.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ensaios de caracterização realizados no agregado graúdo natural.....	31
Tabela 2 - Ensaios de caracterização realizados no agregado graúdo RCD.....	32
Tabela 3 - Resultados do ensaio de Resistência à Abrasão.....	42
Tabela 4 - Valores de Resistência à Compressão.....	45
Tabela 5 - Médias do ensaio de Permeabilidade.....	46
Tabela 6 - Comparação de valores médios obtidos para os ensaios no estado endurecido.....	47

## 1. INTRODUÇÃO

Com o acelerado crescimento da urbanização, os problemas relacionados à impermeabilização do solo e à geração de resíduos se tornaram cada vez mais evidentes (JUNIOR CAMPOS, 2019).

A expansão das áreas urbanas tem resultado na construção de pavimentos e edificações compostos por materiais não permeáveis, o que contribui para a impermeabilização do solo. Com isso, as águas das chuvas e outras águas, que antes se infiltravam diretamente no solo, passam a escoar superficialmente sobre as pavimentações, sendo direcionadas para redes públicas de drenagem. Esse processo pode gerar sobrecarga no sistema de drenagem, e, como consequência, ocasionar problemas como alagamentos e até mesmo enchentes em determinadas áreas (HOLTZ, 2011).

O crescimento urbano acelerado resulta também em uma grande geração de resíduos de construção e demolição (RCD). No Brasil, estima-se que em 2018 foram coletadas aproximadamente 122.012 toneladas/dia de RCD, o que corresponde a 585 kg/habitante/ano, representando cerca de 55% dos 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos gerados no país durante o ano (ABRELPE, 2019).

O descarte inadequado desses resíduos gera uma série de impactos negativos, afetando a paisagem urbana, causando perturbações no tráfego de pedestres e veículos, além de contribuir para problemas na drenagem urbana. Em alguns casos, a obstrução das bocas de lobo pode gerar enchentes, desencadeando ainda o surgimento de doenças (CARDOSO; BORIM, 2018).

Uma das formas de facilitar o escoamento superficial da água é o uso do concreto permeável, que permite a infiltração direta da água no solo, com uma taxa de passagem de cerca de 1 mm/s. No entanto, esse tipo de concreto não é recomendado para áreas com tráfego pesado, pois tende a apresentar baixas resistências mecânicas à compressão, variando de 2,8 a 28 MPa.

Por isso, seu uso tem sido mais adequado para locais com menor demanda de carga, como ciclovias, estacionamentos e calçadas (ACI, 2010; HOLTZ, 2011; LAMB, 2014; ABNT, 2015).

Neste contexto, a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) na composição do concreto permeável se apresenta como uma opção sustentável que

pode contribuir não apenas para a permeabilidade, mas também para diversas vantagens ambientais. Segundo Safiuddin *et al.* (2011), a reutilização desse material no concreto ajuda a reduzir o espaço ocupado em aterros, diminui o uso de recursos naturais, reduz os custos de transporte para as empresas geradoras, minimiza a poluição ambiental e protege o equilíbrio ecológico.

O presente estudo busca apresentar uma possível solução para os problemas de escoamento urbano e a destinação inadequada dos RCD, além de avaliar a viabilidade técnica da reutilização sustentável dos RCD na produção de concreto permeável para pavimentação em áreas de baixa circulação. Dessa forma, o aproveitamento de RCD não apenas aborda questões de drenagem e impermeabilização do solo, mas também promove a sustentabilidade e a gestão eficiente dos resíduos gerados na construção civil.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal investigar as características físicas e mecânicas do concreto permeável para pavimentação de baixo fluxo, utilizando RCD como substituição parcial do agregado graúdo natural.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o concreto permeável nos estados fresco e endurecido com a substituição parcial do agregado graúdo por RCD;
- Verificar as características mecânicas, como resistência à compressão e resistência à abrasão, visando sua aplicação em pavimentos de baixa circulação, além das características de permeabilidade;
- Analisar a ocorrência de eflorescência no concreto permeável com o uso de RCD, devido aos sais presentes na matéria-prima utilizada.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. DRENAGEM URBANA

O crescimento acelerado das cidades, combinado com a falta de planejamento urbano adequado, tem gerado uma série de problemas nos centros urbanos, especialmente em relação à drenagem urbana. Entre os principais desafios estão as deficiências no saneamento básico, a ocorrência de enchentes e inundações, todos amplificados pela impermeabilização crescente do solo, poluição ambiental, entre outros (TUCCI, 2005; BATEZINI, 2013).

Com a expansão das áreas urbanas, o volume de águas pluviais aumentou significativamente, exigindo sistemas de escoamento e drenagem cada vez mais extensos e complexos. Esse cenário tem levado, em muitas situações, à necessidade de bombear a água para atender à demanda dos canais naturais de drenagem, que não são mais capazes de absorver o volume de água gerado (HOLTZ, 2011).

Superfícies impermeáveis como telhados, ruas, calçadas e pátios alteram drasticamente o ciclo da água que antes era em grande parte absorvida pelo solo, infiltrava-se gradualmente, ou era interceptada pelas plantas para evaporar ou escoar lentamente pelo caule até o solo. No entanto, com a impermeabilização, essa água escoar rapidamente pelas superfícies pavimentadas, através de condutos e canais (TUCCI, 2005).

Para enfrentar o desafio da drenagem urbana, é essencial que os estudos de macrodrenagem adotem uma perspectiva ampla de gestão das águas, levando em conta toda a bacia hidrográfica envolvida. Isso inclui buscar um equilíbrio entre a quantidade de água que escoar e a que infiltra, promovendo assim uma abordagem mais sustentável para a drenagem urbana (TUCCI, 2005).

#### 3.2. INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO SOBRE O CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico natural, envolve uma série de processos físicos, químicos e biológicos. No entanto, a ação humana no ambiente, especialmente quando concentrada em áreas urbanizadas, provoca mudanças significativas nesse ciclo, gerando um impacto profundo tanto na natureza quanto nas próprias populações

urbanas (TUCCI, 2005).

A urbanização, ao promover a impermeabilização das superfícies, altera diretamente a fase terrestre do ciclo hidrológico. As áreas naturais ou seminaturais são substituídas por estruturas construídas, o que faz com que a água da chuva e os resíduos líquidos sejam rapidamente direcionados para canais de drenagem, ao invés de infiltrar-se no solo como ocorreria em ambientes não urbanizados (BOTELHO E SILVA, 2010).

A água é encontrada na natureza em três estados físicos: sólido, como nas geleiras; líquido, presente em rios e oceanos; e gasoso, na forma de vapor d'água na atmosfera (ROCHA, 2014). O ciclo da água envolve diversos processos hidrológicos fundamentais, tais como evaporação, precipitação, interceptação, infiltração, percolação e escoamento superficial (LIMA, 2008).

Esse ciclo é amplamente influenciado pela energia solar, que permite a transformação da água do estado líquido para o gasoso. Quando o vapor d'água sobe à atmosfera, ocorre a condensação, formando nuvens que resultam em precipitações sendo elas em forma de chuva, neve, granizo ou orvalho, que devolvem a água para a superfície. Durante esse processo, é possível que uma parte da água evapore novamente antes de atingir o solo (HOLTZ, 2011).

No ciclo hidrológico natural, a água que atinge a superfície deveria infiltrar-se para reabastecer os lençóis freáticos e aquíferos. Contudo, a impermeabilização crescente do solo urbano dificulta essa infiltração, alterando o ciclo hidrológico e limitando o reabastecimento dos recursos hídricos subterrâneos (BOTELHO; SILVA, 2010).

### 3.3. CONCRETO PERMEÁVEL

O concreto permeável é uma solução inovadora para a pavimentação, sendo elaborado com agregado graúdo, cimento e água, com a adição de pouco ou nenhum agregado miúdo. Essa composição resulta na formação de vazios, tornando a estrutura permeável e permitindo a infiltração da água (MAYORGA *et al.*, 2018).

Esse tipo de concreto apresenta uma textura rugosa, que oferece diversos benefícios aos usuários da pavimentação, especialmente em dias de chuva. A rugosidade da superfície proporciona um maior coeficiente de atrito, reduzindo, assim,

os riscos de aquaplanagem nas vias (BATEZINI, 2013).

### 3.3.1. Pavimento de baixa circulação

Uma das soluções eficazes para permitir a infiltração da água no solo é a utilização do concreto permeável. Este material pode ser aplicado em pavimentações, servindo como vias para pedestres, estacionamentos e tráfego leve, enquanto possibilita a percolação da água através de sua estrutura porosa e a posterior infiltração no solo (FAGUNDES *et al.*, 2016).

O concreto permeável é composto principalmente por agregado graúdo e material de ligação, apresentando uma estrutura vazia e contínua. Essa característica resulta em grandes vazios que permitem a penetração tanto do ar quanto da água (HATANAKA; KAMALOVA; HARADA, 2019).

Um exemplo de concreto permeável pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 - Concreto Permeável



Fonte: JUNIOR, 2019

Em algumas situações, a permeabilidade do concreto permeável pode ser uma desvantagem. Isso ocorre em casos que há presença de material mais denso na água, como lama, por exemplo, ocasionando colmatação no material (THORPE; ZHUGE, 2010). Essa questão da colmatação, demanda de uma manutenção anual desse pavimento permeável (SCHWETZ *et al.*, 2015).

A expressão pavimento permeável refere-se a três tipos de pavimentos: asfalto poroso, concreto poroso e blocos de concretos, ambos com uma única função, de

diminuir o escoamento superficial (CASTRO *et al.*, 2013).

### 3.3.2. Propriedades do Estado Fresco

A relação de água-cimento (a/c) do concreto permeável é baixa, sendo possível gerar uma menor trabalhabilidade devido à alta consistência deste tipo de concreto comparado ao convencional (TENNIS; LEMING; AKERS, 2004). Segundo Batezini (2013), ainda comparando ao convencional o tempo de trabalhabilidade do concreto permeável é de no máximo uma hora após a adição da água e com o uso de aditivos este tempo passa a ser de aproximadamente uma hora e meia.

### 3.3.3. Abatimento de Tronco do Cone (*Slump-Test*)

O ensaio realizado no estado fresco para analisar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico é o *slump test*, regido pela ABNT NBR NM 67 1998, que tem por objetivo medir a consistência do concreto e avaliar se o mesmo se encontra adequado para o uso que se destina. A trabalhabilidade é uma característica que determina os esforços necessários para alterar a quantidade de concreto fresco com uma perda mínima de homogeneidade, além de alterar a operação como lançamento, adensamento e acabamento do concreto (ESO, 2012; MARIANO, 2014).

O concreto permeável apresenta geralmente um *slump* abaixo de 20mm, na maioria dos seus casos de zero (TENNIS; LEMING; AKERS, 2004).

### 3.3.4. Propriedades no Estado Endurecido

Uma das características do concreto permeável em relação ao concreto convencional em seu estado endurecido é sua textura superficial diferenciada, isto se dá pelo fato do concreto permeável possuir uma pequena ou nula dose de agregados miúdos em sua composição gerando uma superfície mais rugosa e elevado coeficiente de atrito (BATEZINI, 2013).

#### 3.3.4.1. Resistência à Abrasão

De acordo com BRASIL (2006) entende-se a abrasão como o atrito seco e é considerada como a perda gradativa e constante de argamassa da superfície e dos agregados em uma área restrita, e é bastante comum em pavimentos.

Este desgaste causado na superfície dos pavimentos ou pisos, pode gerar danos e alteração do desempenho da estrutura ao longo do tempo, ocasionando custos com reparos (SILVA, 2011).

Uma resistência a abrasão inadequada, pode ser ocasionada de um volume grande de água na mistura, ou um elevado abatimento, de condições impróprias de cura entre outras condições (ACI, 2004).

#### 3.3.4.2. Resistência a Compressão

Considerada como uma das propriedades mais importantes do concreto, a resistência à compressão fornece dados do desempenho e qualidade do material, características estas que estão ligadas a dimensão e distribuição do agregado, a porosidade e a quantidade de aditivos usados (HIDAYAH, NOR; RAMADHANSYAI, 2014; SALES; 2008).

O concreto permeável, por não conter agregados finos, apresenta alta permeabilidade, mas essa mesma característica reduz sua resistência à compressão em comparação com o concreto convencional (HUANG *et al.*, 2009; SALES, 2008).

As composições do concreto permeável desenvolvem resistência de compressão de 2,8 MPa a 28 Mpa, podendo ser considerada uma resistência admissível para pavimentos de baixo fluxo, já a resistência à compressão considerada moderada do concreto convencional está na faixa de 20MPa a 40MPa (ACI, 2010; PEREIRA; PRIN, 2014).

As propriedades e combinações de materiais específicos, bem como os métodos de colocação e as condições ambientais, são agentes que influenciam na resistência à compressão final do material (SCHWETZ *et al.*, 2015).

### 3.3.4.3. Permeabilidade

A condutividade hidráulica ou permeabilidade do concreto permeável pode ser definida como a velocidade de infiltração da água nas camadas porosas (TENNIS, LEMING e AKERS, 2004).

Segundo ACI (2010) o percentual de drenagem varia de acordo com a dimensão do agregado e da densidade da mistura, já a NBR 16416 descreve que este material deve atender os valores mínimos de 1 mm/s de permeabilidade.

### 3.3.5. Concreto permeável com resíduos reciclados

O que rege as regras do pavimento permeável no Brasil é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 16416 (ABNT, 2015) – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos (FERREIRA, 2019). O emprego do concreto permeável se apresenta bastante atrativo, principalmente em locais de tráfego leve, calçadas, ciclovias, ruas residenciais de movimentação baixa, dentre outros.

Associado a isso, temos a grande preocupação nos dias de hoje com a sustentabilidade e a impermeabilização das águas provenientes de chuvas em centros urbanos (BATEZINI, 2013).

Com o passar dos anos, surgiram estudos para o desenvolvimento de novos produtos, como por exemplo o estudo de Ribeiro (2014) que substituiu 50 e 100% do agregado graúdo do concreto permeável por resíduos de isoladores elétricos de porcelana (RIP) que foram quebrados em dimensões menores, e os comparados ao corpo de prova de referência, (com 0% de substituição).

Os resultados obtidos para os ensaios de resistência mecânicas comparados ao concreto referência foram inferiores, nas proporções de 21% e 24% de resistência a compressão e 38 e 46,5% de tração na flexão, respectivamente, para as substituições de 50% e 100%. Já os resultados de módulo de elasticidade foram inferiores em 6,4% para substituições de 50% e superiores em 3,13% para substituição de 100% comparadas ao traço referência.

Os resultados de coeficiente de permeabilidade dos traços com substituição do agregado natural, ficaram na faixa de 0,05 cm/s a 0,2cm/s na condição amostra seca

e 0,14 a 0,15cm/s na condição de amostra saturada. Apesar dos resultados de resistência mecânica serem inferiores, é possível a utilização deste material com até 100% da substituição do agregado natural por RIP.

Silva e Fernandes (2018) desenvolveram um estudo onde utilizaram borracha de pneu (triturado em partículas graúdas) para substituir agregado graúdo nas porções de 5, 10, 15, 17,5 e 20% para confecção de concreto permeável.

Os resultados apontaram que houve uma redução de resistência a compressão na medida em que a quantidade de substituição aumentava, passando de 3,92 tf/cm<sup>2</sup> no traço referência para 3,83 tf/cm<sup>2</sup> com a substituição de 5% do agregado graúdo por borracha, chegando a 0,62 tf/cm<sup>2</sup> no traço de 20% de substituição.

Já Hassan, Kianmehr e Zouaoui (2019) realizaram ensaios substituindo o agregado natural nas proporções de 0, 10, 20, 40, 70, e 100% por agregado reciclado e aponta que com uma maior porosidade e maior substituição do agregado graúdo por RCD, o teor de vazios aumenta, relatou também que a resistência a compressão aos 28 dias diminui de forma significativa conforme aumentava a porcentagem de resíduo reciclado, sendo indicada a utilização deste concreto em locais de baixas forças abrasivas.

### 3.3.6. Eflorescência

A eflorescência é um fenômeno que ocorre quando o material cerâmico entra em contato com ambientes que ocasionam a geração de um estoque salino nas suas superfícies, podendo gerar constantemente manifestações patológicas, sendo possível ainda evoluir para problemas mais graves. Estas manifestações são caracterizadas por apresentar cor esbranquiçada e variando o tipo de eflorescência por apresentar baixa, ou alta solubilidade em água. (ELISII, 2011; BAPTISTA; CARNEIRO; PARSEKIAN, 2017).

Conforme artigo 3º da Resolução nº 307 (BRASIL, 2002), descrito no item 2.3.2, enquadram-se nos RCD do tipo “A” componentes cerâmicos, que possuem 0,025% de sais solúveis (ELISII, 2011).

### 3.4. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Questões ambientais vêm ocupando cada vez mais lugar nas legislações do país, devido à grande geração de resíduos e a má disposição dos mesmos, provenientes principalmente do ramo da construção civil. Para o crescimento de qualquer país este ramo é de extrema importância, por outro lado o crescimento vem gerando também grandes impactos ambientais, desde a extração de recursos naturais, até produção de resíduos que em muitos casos são dispostos ao meio ambiente sem nenhum controle ou gerenciamento para a destinação correta dos mesmos (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

#### 3.4.1. Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil

Um dos maiores responsáveis pela produção de lixo no mundo são os resíduos de construção civil (CONSTRUÇÃO, 2018). Um exemplo é no Reino Unido onde 20 milhões de toneladas a cada ano de resíduos são depositados no solo, deste material, cerca de 30% a 50% é de alvenaria. Devido a rápida urbanização, crescimento econômico e aumento da população, mais de 30 milhões de toneladas RCD são dispostos nos Emirados Árabes a cada ano (HASSAN; KIANMEHR; ZOUAOU, 2019).

O não gerenciamento desses resíduos influencia e gera problemas sociais, econômicos e ambientais. No Brasil, em julho de 2002, entrou em vigor a Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) (alterada pelas Resoluções nº 348/2004, 431/2011, 448/2012 e 469/2015) que “estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil” (BRASIL, 2002) em busca de gerar benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

Por meio da Lei federal nº 12.305 de 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual “dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências” (BRASIL, 2010).

Esta lei determina também que cada agente envolvido desde a fabricação, distribuição, venda e consumo dos resíduos são responsáveis pelo mesmo, além do fechamento dos populares “lixões” (local onde são depositados lixos sem nenhum tipo de separação ou tratamento) e que os aterros sanitários se destinam rejeitos, na

maioria compostos por matéria orgânica (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Ainda segundo a lei federal nº 12.305/2010 a destinação ambiental correta para os resíduos está na reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e no aproveitamento energético ou outras destinações aceitas pelos órgãos eficazes. Já a disposição correta dos resíduos é a distribuição em ordem de rejeitos em aterros, ambas sempre buscando evitar danos ou riscos para com a saúde pública, e diminuir impactos ambientais (BRASIL, 2010).

Deste modo a definição de um planejamento é importante para a destinação/disposição correta dos resíduos, principalmente os da construção civil, o planejamento desta área está relacionado à economia de recursos financeiros, melhor aproveitamento do tempo, menores gastos com material e mão de obra e, à sustentabilidade do empreendimento.

O planejamento deve ser executado para diminuir custos, evitar retrabalhos e mudanças do projeto que já está sendo executado, isso gera redução no tempo de execução e melhor qualidade do produto. O processo de gestão de resíduos engloba todas as etapas da obra, utilização correta dos materiais, até a reciclagem e classificação para a correta destinação dos resíduos (JUNIOR, 2019).

### 3.4.2. Classificação de Resíduos de Construção e Demolição

Os resíduos da construção civil, são classificados segundo a sua utilização, destino, fator econômico ou periculosidade (Vasconcelos *et al.*, 2016). O artigo 3º da Resolução nº 307 (BRASIL, 2002) que subdivide os Resíduos de Construção Civil (RCC) por classes, sofreu alteração em 16 de agosto de 2004 com o surgimento da Resolução 348 que altera o inciso IV do art. 3º (BRASIL, 2004) acrescentando o amianto como material perigoso (classe D) e em, 24 de maio de 2011 publicou-se a Resolução 431 que altera também a classificação da Resolução 307 (BRASIL, 2011), onde o gesso que até o momento fazia parte da Classe C, passa a ser da Classe B. Portanto a classificação ficou 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 infraestrutura, 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, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;

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, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (BRASIL, 2002, p.03).

De acordo com a NBR 15114 (ABNT, 2004), embora o gesso tenha sido reclassificado para Classe B, é preciso ainda que este seja disposto em locais próprios e separados, impossibilitando sua mistura com demais resíduos da classe B, nem das demais classes.

Realizar a caracterização de resíduos gerados pela construção civil é importante para estudar e identificar quais os tipos de resíduos mais gerados no canteiro de obra, também auxilia na hora de dosar resíduos para reutilização (SILVA; SANTOS; DE ARAÚJO, 2017).

O ciclo dos resíduos de construção se fecha dentro do setor com a reciclagem, sendo assim de suma importância, pois traz equilíbrio entre a demanda e a disponibilidade do subproduto (BIGOLIN, 2013), além de diminuir os impactos ambientais gerados pela má destinação dos resíduos, isso acontece, pois, os geradores em muitos casos se deparam com os resíduos em suas construções e não sabem o que fazer com os mesmos.

### 3.4.3. Pavimentos permeáveis com RCD

De forma sustentável e englobando os problemas com o crescimento acelerado dos centros urbanos que geram conseqüentemente resíduos, o concreto permeável com RCD, se apresenta como um recurso regular para os problemas e com o passar

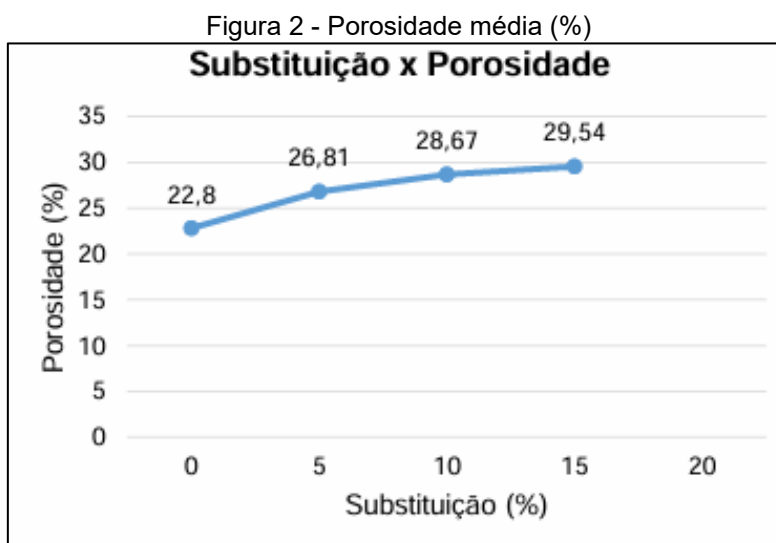
dos anos, surgiram vários estudos com o objetivo de analisar as características do concreto permeável com a adição de RCD, no Quadro 1, são apresentados alguns destes estudos.

**Quadro 1 - Estudos realizados com a utilização de RCD em concreto permeável**

<b>Título da Pesquisa</b>	<b>Autores</b>
<i>Properties of Pervious Concrete Incorporating Recycled Concrete Aggregate</i>	BERRY <i>et al</i> , 2012
Desenvolvimento de composição de concreto permeável com agregados oriundos de resíduos de construção da região de Campinas	PEREIRA, BARBOSA, 2015
<i>Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate</i>	ZAETANG <i>et al</i> , 2016
Concreto permeável para pavimentação urbana com uso de Resíduos de Construção e Demolição produzidos na usina de reciclagem de São José do Rio Preto	ALVES, 2016
Estudo da influência dos agregados de concreto reciclado em concretos permeáveis	TAVARES, KAZMIERCZAK, 2016
<i>Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates</i>	MAYORGA <i>et al</i> , 2018
<i>Properties of pervious concrete incorporating recycled concrete aggregates and slag</i>	HASSAN KIANMEHR; ZOUAOUI, 2019

**Fonte:** Autor, 2024

Alves (2016) estudou o comportamento do concreto permeável com substituição parcial do agregado graúdo por RCD nas porcentagens de 0, 5, 10 e 15% e destaca que na medida em que a quantidade de RCD aumenta, reduz a resistência do material, e tem um aumento do percentual de porosidade comparadas as amostras produzidas com agregado natural conforme apresentado na Figura 2.



Fonte: ALVES, 2016

Segundo o autor, a maior porosidade se dá pela maior permeabilidade relacionada ao agregado reciclado, onde a superior taxa de absorção apontada pelos resíduos, aumenta a porosidade do concreto. Isso acontece também pelo acomodamento diferenciado dos resíduos reciclados comparado ao agregado natural, proporcionando a geração de maior quantidade de vazios e em consequência maior porosidade.

Para estudos da composição de concreto permeável para pavimentação urbana de tráfego leve, Pereira e Barbosa (2015) realizaram a substituição do agregado natural por resíduos de construção. Estes estudos apontaram que a mistura contendo 20% de agregado reciclado demonstrou melhor desempenho em relação aos parâmetros de resistência à compressão e condutividade hidráulica, tornando o método em estudo uma alternativa viável.

Relacionando a reutilização de concretos e a permeabilidade de pavimentos Tavares e Kazmierczak (2016), em suas análises verificaram uma redução na resistência à compressão nos corpos de prova onde foi realizada a substituição do agregado natural por agregado reciclado de concreto. De acordo com os autores, isso acontece, pois, no agregado reciclado a matriz cimentícia restante, é conservada na zona de transição do agregado gerando uma ligação fraca, mais porosa e com fissuras, interferindo negativamente na resistência final do agregado reciclado.

O estudo realizado por Zaetang *et al.* (2016) incorpora agregados de blocos de concreto reciclado em concreto permeável, realizando substituições de 0%, 20%,

40%, 60%, 80% e 100% do agregado graúdo natural pelo reciclado. Foram avaliadas a resistência à compressão, densidade, vazio total, permeabilidade, condutividade térmica e abrasão da superfície dos traços. Com os resultados pode-se destacar que as substituições de 60% e 40%, respectivamente, apresentaram para resistência a compressão 15,0 MPa e 17,0 MPa em comparação com 13,4 MPa dos corpos de prova de referência.

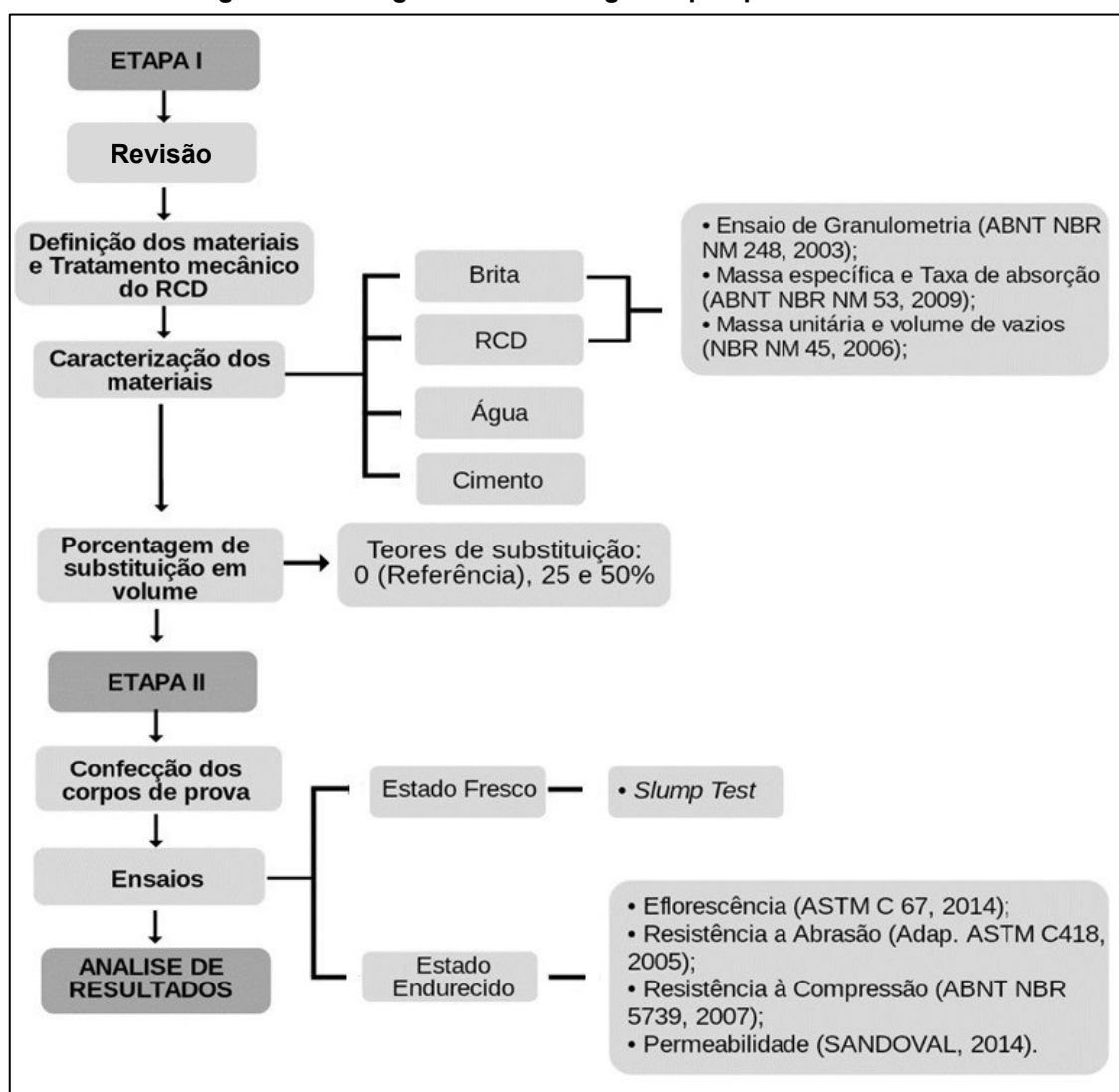
Na substituição de 100% do agregado graúdo por resíduos de construção realizada por Berry *et al.*, (2012), o mesmo apresenta resistência à compressão superior a 10 Mpa, e queda a uma faixa considerável da resistência hidráulica, considerando assim um concreto permeável aceitável para uso. Seguindo a norma americana ACI 522R-10 (ACI, 2010), o concreto permeável tende a desenvolver resistências mecânicas de compressão na faixa de 2,8 MPa a 28 MPa para pavimentos.

Portanto, o uso de pavimento permeável constituído de resíduos de construção e demolição em áreas urbanas, mesmo sendo utilizado apenas para pavimentação de baixo fluxo, é um material com ótimo potencial para contribuir com a resolução de problemas como enchentes e dar destinação adequada aos resíduos provenientes da construção civil (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

#### 4. METODOLOGIA

Neste capítulo, são descritos os materiais e os métodos empregados para alcançar os objetivos desta pesquisa. A estratégia adotada para o desenvolvimento do estudo encontra-se ilustrada na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma da estratégia de pesquisa



Fonte: Autor, 2024

#### 4.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados para realização dos ensaios estão descritos neste capítulo, os quais são:

- Cimento Portland CP II Z 32;
- Agregado graúdo: pedra brita 0 (pedrisco);
- Agregado graúdo: resíduos de construção e demolição;
- Água potável.

##### 4.1.1. Cimento

O cimento utilizado neste estudo foi o tipo Portland CP II Z-32, composto por 6% a 14% de pozolana. Suas características o tornam adequado para diversas aplicações, como estruturas de concreto armado, argamassas de assentamento e revestimento, concreto massa e concreto utilizado em pavimentação. Este cimento segue as especificações estabelecidas pela norma ABNT NBR 11578 – Cimento Portland Composto – Especificação (DE OLIVEIRA, 2018).

Suas composições químicas e físicas estão descritas conforme apresentado no Quadro 2.

**Quadro 2 - Composições químicas e físicas do cimento**

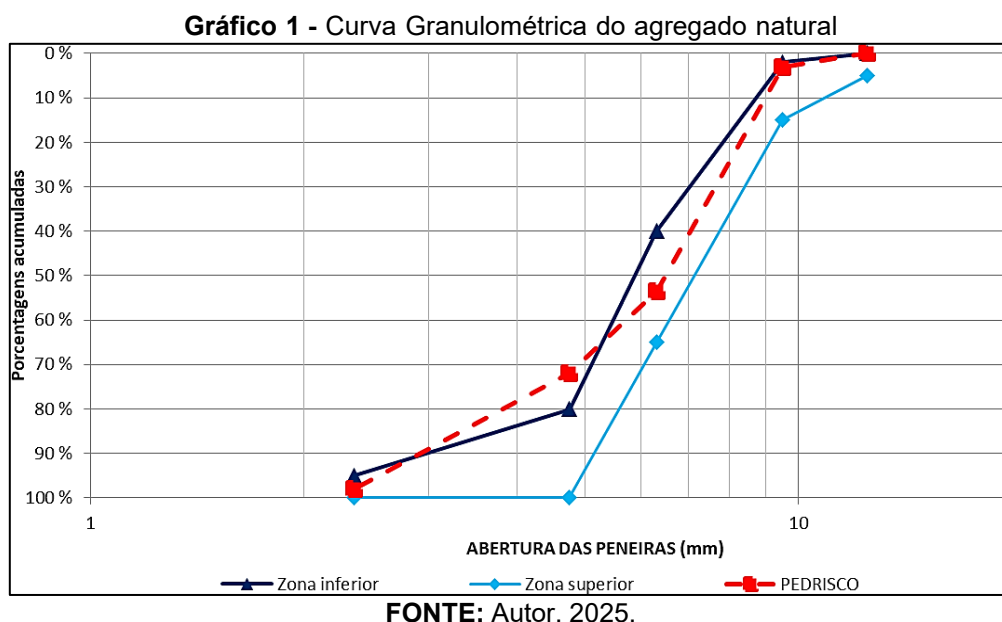
QUÍMICAS							
Data		PF	MgO	SO3	RI		
		%	%	%	%		
Média		7,36	5,78	2,52	11,46		
Sd		0,31	0,17	0,18	1,65		
FÍSICAS							
Data	Exp. Quente	Tempo de pega		Cons. Normal	Blaine		
		Início	Fim				
		mm	Min.	%	cm <sup>2</sup> /g		
Média		0,26	288,1	28,4	3646,67		
Sd		0,41	19,01	0,41	144,06		
Data	#200	#325	Resistência à Compressão				
			1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	
		%	MPa	MPa	MPa	MPa	
Média		0,72	10,25	12,52	22,97	27,6	34,9
Sd		0,31	1,21	1,02	1,34	1,14	0,96

**FONTE:** Departamento de qualidade da votorantim cimentos, 2024

#### 4.1.2. Agregado graúdo: Brita

O material retido nas peneiras com aberturas de 9,5 mm, 6,3 mm e 4,75 mm é classificado como agregado graúdo, proveniente de rochas como granito, basalto e gnaiss, que são trituradas mecanicamente para reduzir seus tamanhos. A classificação da brita é determinada pelo tamanho de seus grãos (MARIANO, 2014).

O agregado graúdo utilizado para confecção dos corpos de prova foi o pedrisco, conhecido também como brita 0, o Gráfico 1 ilustra a curva granulométrica do agregado graúdo, os limites inferiores e superiores para a zona granulométrica 4,75/12,5 de acordo com ABNT NBR 7211:2009.



Os resultados dos demais ensaios de caracterização do agregado graúdo estão apresentados na Tabela 1.

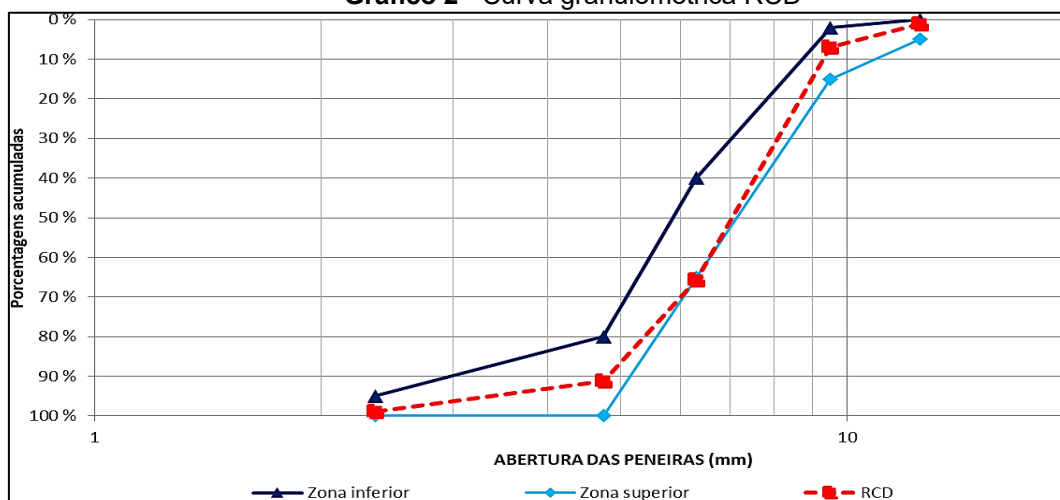
**Tabela 1** - Ensaio de caracterização realizados no agregado graúdo natural

Ensaio	Valor	Unidade	Norma
Massa Específica do agregado seco	3,13	g/cm <sup>3</sup>	NBR NM 53/2009
Massa Específica Saturado Superfície Seca	2,92	g/cm <sup>3</sup>	NBR NM 53/2009
Massa específica aparente	2,82	g/cm <sup>3</sup>	ABNT NBR NM 53/2009
Taxa de absorção de água	3,45	%	NBR NM 53/2009
Massa Unitária Solta	1,49	g/cm <sup>3</sup>	NBR NM 45/2006
Massa Unitária Compactada	1,63	g/cm <sup>3</sup>	NBR NM 45/2006

FONTE: AUTOR, 2025.

#### 4.1.3. Agregado graúdo: Resíduos de Construção e Demolição

O resíduo que será utilizado neste trabalho é classificado como sendo do tipo “A”, como sendo de forma sólida e irregular. Após passar pelo processo de trituração e peneiramento o material utilizado para realização do trabalho apresentou a seguinte granulometria (Gráfico 2).

**Gráfico 2** - Curva granulométrica RCD

FONTE: AUTOR, 2025.

Apresentou ainda as características descritas na Tabela 2, obtidas através dos ensaios de caracterização do material.

**Tabela 2** - Ensaios de caracterização realizados no agregado graúdo RCD

Ensaio	Valor	Unidade	Norma
Massa Específica do agregado seco	2,45	g/cm <sup>3</sup>	NBR NM 53/2009
Massa Específica Saturado Superfície Seca	2,25	g/cm <sup>3</sup>	NBR NM 53/2009
Massa específica aparente	2,11	g/cm <sup>3</sup>	ABNT NBR NM 53/2009
Taxa de absorção de água	6,43	%	NBR NM 53/2009
Massa Unitária Solta	1,28	g/cm <sup>3</sup>	NBR NM 45/2006
Massa Unitária Compactada	1,37	g/cm <sup>3</sup>	NBR NM 45/2006

FONTES: AUTOR, 2025.

#### 4.1.4. Água potável

Água potável proveniente da rede de abastecimento público – SANEPAR.

## 4.2. MÉTODOS

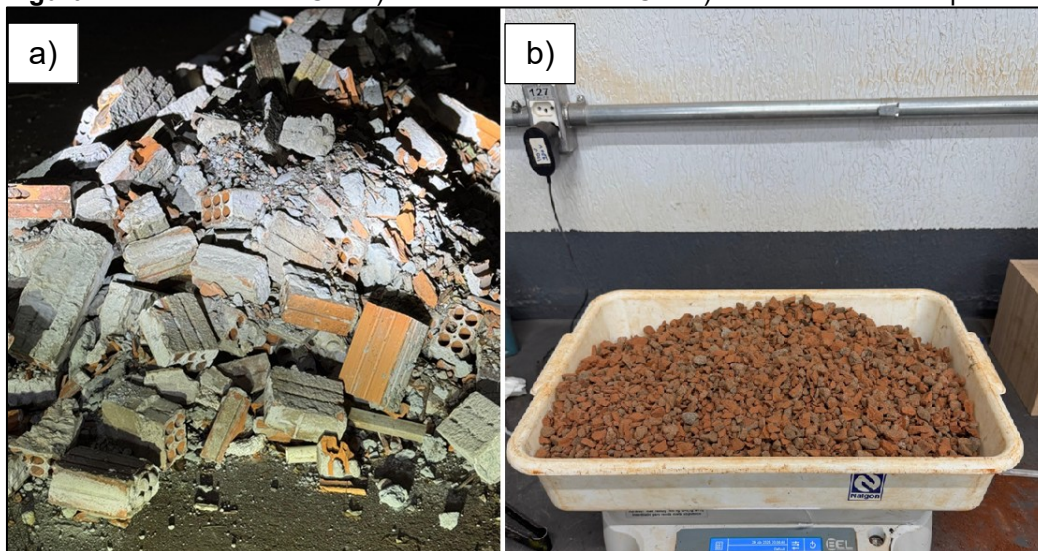
O trabalho se subdividiu em duas etapas, onde na etapa I foi realizada a coleta do material, tratamento mecânico do resíduo de construção e demolição (RCD), caracterização dos mesmos, e definição do traço e das porcentagens de substituições de agregado graúdo por RCD. Na etapa II foram confeccionados os corpos de provas e realizados os ensaios do concreto no estado fresco (*slump test*) e endurecido (eflorescência, resistência à abrasão, resistência à compressão e permeabilidade).

### 4.2.1. Tratamento mecânico do RCD

O resíduo de construção e demolição (RCD) foi coletado a céu aberto e armazenado em sacos de ráfia para transporte até o Laboratório de Materiais da Faculdade Uniguaçu, para realização do processamento do resíduo e a execução dos ensaios. Realizou-se manualmente a remoção das impurezas, como solo, plásticos, vegetação, entre outros, antes da britagem. Após esse processo, o material foi peneirado, até a obtenção da fração granulométrica na peneira passante 9,75 mm e retida na peneira de 4,75 mm.

A Figura 4 apresenta o processo descrito.

**Figura 4** - Processo do RCD. a) Local da coleta de RCD. b) Material triturado e peneirado



FONTE: AUTOR, 2025.

O material passante e o retido não foram utilizados para realização dos ensaios deste trabalho.

#### 4.2.2. Dosagem do concreto

Para a definição do traço do concreto foram seguidos os procedimentos descritos por Berry (2012) e Zaetang *et al.* (2016). Quanto aos teores de dosagem, eles serão baseados no trabalho de Botteon (2017), que utilizou um traço de 1:4:0,35.

#### 4.2.3. Produção de concreto

Para a confecção dos concretos, foram seguidos os procedimentos estabelecidos pela NBR 5738 (ABNT, 2015), utilizando uma betoneira, moldes metálicos cilíndricos com dimensões de 10x20 cm e moldes de madeira prismáticos com dimensões de 06x10x20 cm.

Uma lavagem inicial será realizada na betoneira para evitar a aderência de material às bordas. Em seguida, será empregada a metodologia proposta por SCHAEFER *et al.* (2006) para a produção dos concretos.

Diversos foram os estudos no que se diz respeito a processos de mistura de

concreto permeável para a moldagem de corpos de prova; no entanto, o processo descrito no Quadro 3 foi o que apresentou os melhores resultados e, será utilizado.

**Quadro 3 - Processo de confecção do concreto**

Item	Descrição
1)	Adicionar todo o agregado graúdo na betoneira e acrescentar 5% do peso total do cimento, misturando por 1 minuto.
2)	Adicionar o restante do cimento e água e misturar por 3 minutos.
3)	Deixar o concreto fresco em repouso por 3 minutos.
4)	Agitar por mais 2 minutos.

**FONTE:** BATEZINI, 2013.

Para cada mistura, foi analisado conforme sugerem os autores Tennis, Leming e Akers (2004), que recomendam o uso de um teste tátil visual para o controle da produção do concreto permeável. Esse teste consiste em apertar uma quantidade da mistura com a mão e observar se há o desenvolvimento de uma pequena aglomeração de partículas, mostrando um aspecto brilhante.

#### 4.2.4. Ensaio no estado fresco

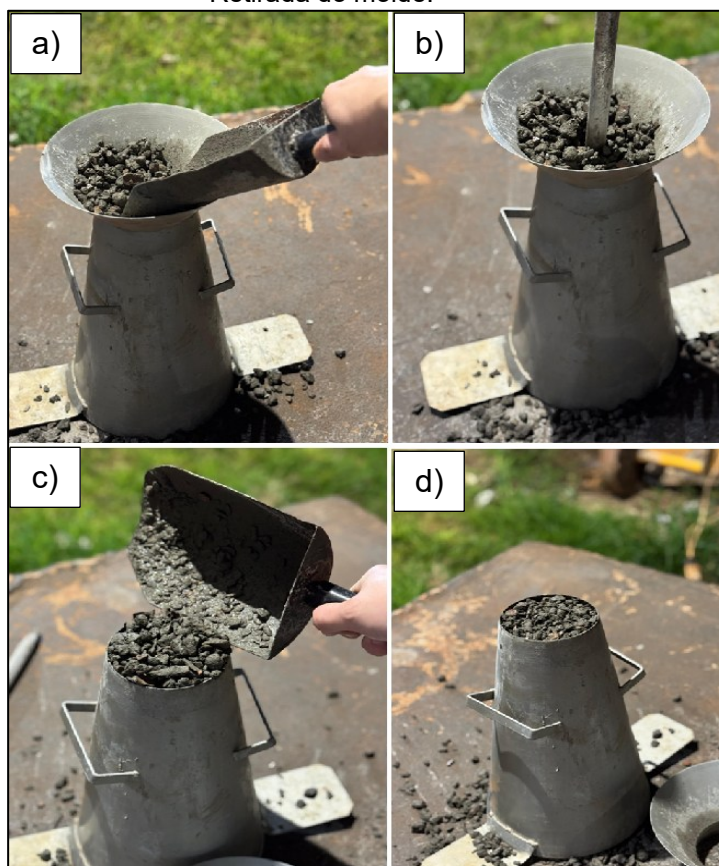
A consistência é um dos fatores mais relevantes que afetam diretamente a trabalhabilidade do concreto. Ela está relacionada aos resultados do ensaio do tronco de cone, também conhecido como *slump test*, que apresenta os resultados em milímetros.

De acordo com as recomendações da norma NBR NM 67 (1998), uma placa metálica será colocada, sobre a qual será posicionado um molde limpo e úmido. Essa placa será fixada com os pés, e o molde será preenchido com três camadas de concreto em volumes iguais, utilizando o complemento troncocônico. Cada camada será adensada com 25 golpes, distribuídos uniformemente, utilizando uma haste de socamento.

Em seguida, o complemento troncocônico e o excesso de concreto serão removidos, e o molde será retirado em posição vertical, com velocidade constante.

O abatimento do tronco do cone é dado pela distância da base superior do molde ao centro da base da amostra, medida com auxílio de um instrumento graduado. A Figura 5 demonstra o procedimento adotado.

**Figura 5** - Procedimento do *Slump test*. a) Preenchimento do molde com concreto. b) Adensamento de cada camada. c) Removido o tronco cônico e o excesso de concreto. d) Retirada do molde.



FONTE: AUTOR, 2025.

O abatimento do tronco do cone é dado pela distância da base superior do molde ao centro da base da amostra, medida com auxílio de uma régua metálica.

#### 4.2.5. Moldagem dos corpos de prova

Para os ensaios no estado endurecido, o concreto fresco foi vertido, com auxílio de colher para concreto, dentro dos moldes cilíndricos com dimensões 10x20cm e prismáticos com dimensões de 6x10x20cm, já lubrificadas com desmoldante.

Para o procedimento de moldagem foi-se necessário colocar o corpo de prova sobre uma balança, para que a massa da fôrma e do extensor pudesse ser descontada (tara). Optou-se pela prática do adensamento através do soquete denominado Proctor com peso de 2,5 kg. Para os corpos de prova cilíndricos o molde é preenchido em duas camadas onde foram aplicados 12 golpes em cada uma. Para os prismáticos foi empregada a compactação de 4 golpes distribuídos em quatro quadrantes de fôrma

retangular.

Posteriormente, realizado o arrasamento e a colocação de filme plástico na superfície exposta para evitar a perda de água para o meio. Sequencialmente, as amostras serão submetidas à cura submersa saturada até que atinjam as idades apropriadas para cada ensaio.

#### 4.2.6. Projeto experimental

Antes da execução de cada um dos ensaios, as medidas dos corpos de prova foram verificadas, e os corpos cilíndricos terão suas faces superiores retificadas para a realização do ensaio de resistência à compressão.

Para a execução dos ensaios do concreto permeável em estudo, o quadro 4 apresentará os ensaios a serem realizados e a quantidade de corpos de prova necessários para cada ensaio.

**Quadro 4 - Quantidade de corpos de prova e ensaios a serem realizados.**

Ensaio	Métodos	Amostras	Formato	Dimensões (mm)
Eflorescência	ASTM C 67:2014	27	Prismático	60x100x200
Resistência à Abrasão	Adap. ASTM C418-05:2005		Prismático	60x100x200
Resistência à Compressão	ABNT NBR 5739:2007	27	Cilíndrico	100x200
Permeabilidade	SANDOVAL (2014)		Cilíndrico	100x200

FONTE: AUTOR, 2025

#### 4.2.7. Ensaio no estado endurecido

O estado endurecido do concreto provoca coesão entre os cristais formados na pasta de cimento (MONTEIRO, 2020). No presente trabalho todos os ensaios serão executados com os corpos de prova com idade de 7, 14 e 28 dias.

##### 4.2.7.1. Eflorescência

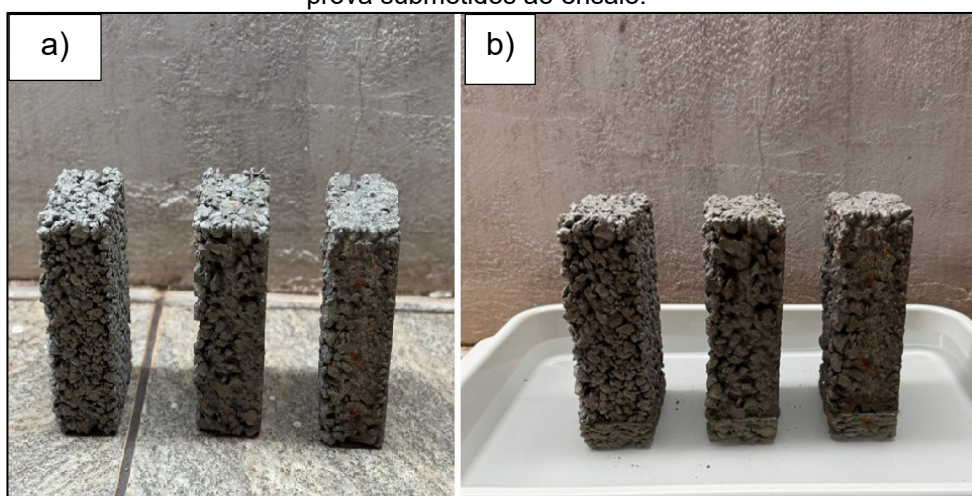
O ensaio de eflorescência foi realizado seguindo os parâmetros da norma ASTM

C 67 (2014). Inicialmente serão confeccionados 3 corpos de provas prismáticos para cada traço, com medidas de 6x10x20cm, e após o tempo de cura dos mesmos, serão submetidos dois corpos de provas ao ensaio e um as condições ambientes (referência) para futura comparação, conforme Figura 6.

Os corpos de provas submetidos ao ensaio passaram pelo processo de secagem em estufa na temperatura de 100°C por 24hrs, e logo após colocados em um recipiente com lâmina de 2,54cm de água destilada, separados com uma distância de 2 pegadas (50,8mm) permanecendo ali por 7 dias. O nível da água será verificado diariamente para manter o mesmo durante todo o ensaio.

Após o processo de submersão a água, os corpos de provas serão secados novamente em estufa na temperatura de 100°C por 24 horas e depois comparados com o corpo de prova referência.

**Figura 6** - Realização do ensaio de eflorescência. a) Corpos de prova referência. b) Corpos de prova submetidos ao ensaio.



FONTE: AUTOR, 2025.

#### 4.2.7.2. Resistência à Abrasão

Para realizar o ensaio proposto, foi realizada uma adaptação de acordo norma americana ASTM C418 (2005) pelo autor. Esta norma visa submeter a superfície da amostra a um jato de areia de sílica impulsionada a ar, simulando a ação de partículas abrasivas à base de água, assim como o desgaste provocado pelo tráfego na superfície do concreto.

O procedimento segundo a norma consiste na exposição do material por um

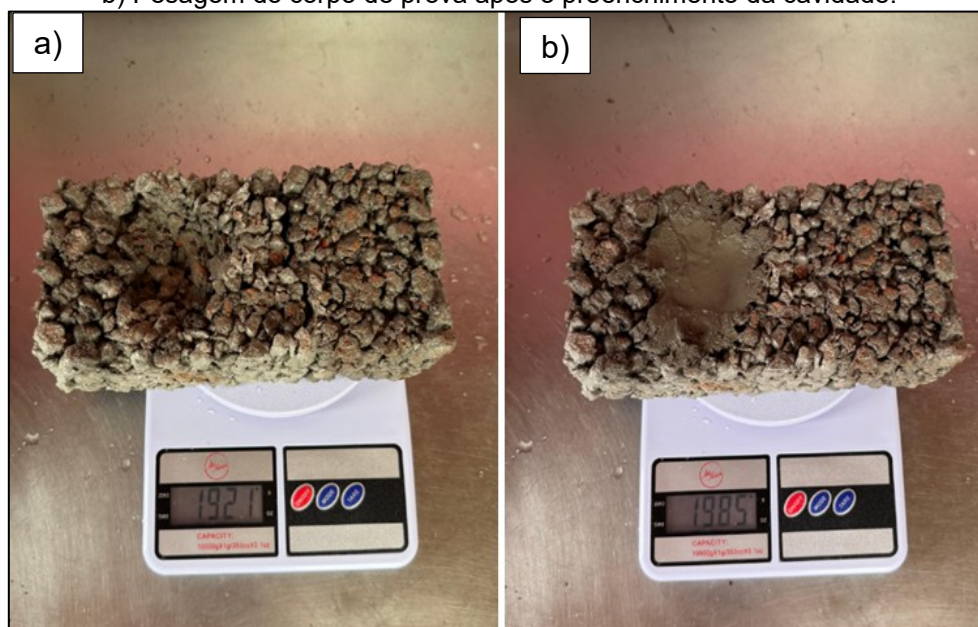
tempo determinado ao jato de areia a uma distância de  $75 \pm 2.5$  mm do bico do mesmo realizando o procedimento movendo de maneira uniforme para garantir abrasão controlada, e após para determinação dos resultados obter o volume inicialmente do material desgastado e em seguida encher as cavidades com argila à base de óleo e realizar a pesagem novamente.

Já o método utilizado para determinar os resultados, consiste em executar em um ponto específico da amostra, com uma duração de 10 segundos, mantendo o bico do jato inclinado a  $90^\circ$  em relação ao corpo de prova, devido ao tamanho da amostra.

Para determinação de resultados foi realizada a pesagem do corpo de prova após a aplicação do jato de areia. Em seguida, a cavidade resultante da deformação será preenchida com uma mistura de água e cimento ( $a/c = 1:0,37$ ), e uma nova pesagem do corpo de prova será realizada.

O jateamento foi realizado com o auxílio de uma máquina industrial de alta pressão, garantindo toda a segurança necessária para o uso do equipamento. A pressão aplicada foi de aproximadamente  $5 \text{ Kgf/cm}^2$ . A figura 7 apresenta o ensaio realizado.

**Figura 7** - Ensaio de resistência à abrasão. a) Pesagem do corpo de prova após a deformação. b) Pesagem do corpo de prova após o preenchimento da cavidade.



FONTE: AUTOR, 2025.

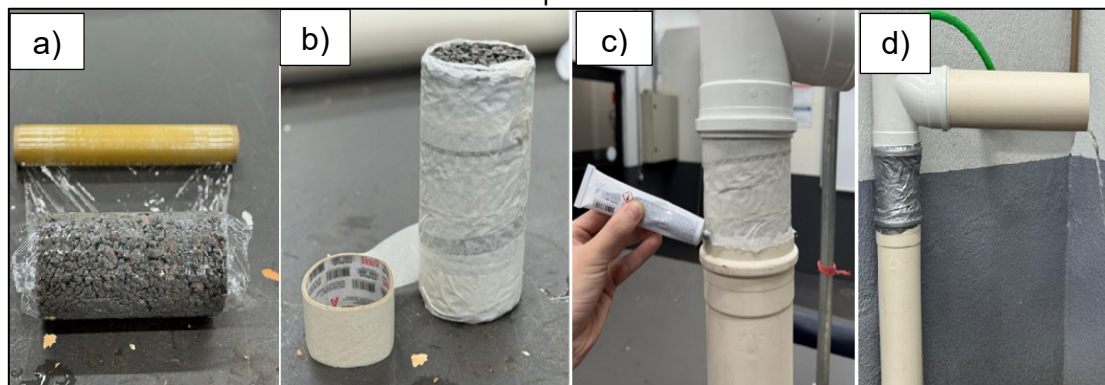
#### 4.2.7.3. Resistência à Compressão para concreto permeável

Para determinar a influência do uso de resíduos de construção e demolição (RCD) como substituto do agregado graúdo na resistência à compressão axial dos concretos destinados a pavimentos permeáveis, será realizada uma avaliação utilizando os procedimentos de ensaio descritos na norma NBR 5739 (ABNT, 2007).

#### 4.2.7.4. Permeabilidade

Seguindo a metodologia de Sandoval (2014) para o ensaio de permeabilidade, será utilizado um permeâmetro de carga constante. Para realização do ensaio Figura 8.

**Figura 8** – Procedimento para o ensaio. a) Envolvimento do corpo de prova ao papel filme. b) Cobrimento do mesmo com fita adesiva. c) Aplicação de silicone entre o corpo de prova e o tubo de PVC. d) Aplicação da fita *silver tape* e saturação do corpo de prova.



FONTE: AUTOR, 2025.

Inicialmente, o corpo de prova foi envolvido com papel filme e coberto com fita adesiva. Em seguida, será aplicado selante de silicone nas extremidades entre a conexão do tubo e o corpo de prova, aguardando a secagem do selante antes de envolver o corpo de prova com fita tipo *silver tape*.

Após esses preparativos, o corpo de prova foi inserido entre tubos de PVC com diâmetros iguais, sendo que o tubo superior terá um extravasor para garantir o nível constante de água.

O ensaio se iniciou quando o corpo de prova estava completamente saturado. A partir desse momento, a água foi coletada em um recipiente durante intervalos de 15 a

30 segundos. Para a determinação da vazão, a coleta foi realizada com a ajuda de um balde e um cronômetro, armazenando a água no recipiente durante esse período de tempo.

A partir da fórmula apresentada na Equação 1, é possível determinar o coeficiente de permeabilidade.

**Equação 1** - Fórmula de cálculo do coeficiente de permeabilidade de carga constante.

$$K = \frac{q * L}{A * h * t}$$

Onde,

- k* é o coeficiente de Permeabilidade (cm/s)
- q* é o volume de água que passa pelo corpo de prova (cm<sup>3</sup>)
- L* é a altura do corpo de prova (cm)
- A* é a área do corpo de prova (cm<sup>2</sup>)
- h* é a altura da lâmina de água (cm)
- t* é o tempo para coletar o volume de água (s)

Conforme a NBR 16416 (ABNT, 2015) o coeficiente de permeabilidade para pavimento de concreto permeável recém construído deve ser maior que 1 mm/s.

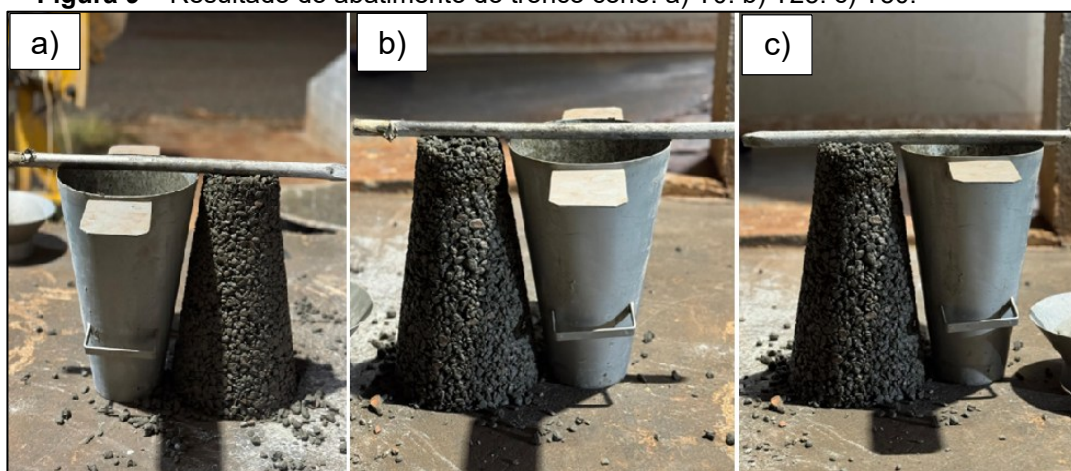
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados dos testes e análises realizados. No estado fresco, a consistência foi determinada pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*). Posteriormente, no estado endurecido, foram avaliadas a resistência à abrasão e compressão, além da permeabilidade e eflorescência do concreto.

### 5.1. ABATIMENTO DO TRONCO DO CONE (*SLUMP TEST*)

Conforme destacado por Rizvi *et al.* (2010), o concreto permeável é frequentemente referido como concreto sem abatimento. Essa denominação decorre do fato de que, nos ensaios realizados, o resultado esperado é zero. Esse comportamento é atribuído à baixa relação água/cimento, que permite que os vazios no concreto permaneçam abertos. Resultado do abatimento é apresentado na Figura 9.

**Figura 9** – Resultado do abatimento do tronco cone. a) T0. b) T25. c) T50.



FONTE: AUTOR, 2025.

Conforme o esperado, o concreto em estudo apresentou abatimento zero, apesar dos materiais empregados serem diferentes, a relação “água/cimento” permaneceu a mesma para todos os traços.

### 5.2. RESISTÊNCIA ABRASÃO

Para este ensaio, 27 corpos de prova foram analisados. A Tabela 3 apresenta os

valores médios em porcentagens para cada traço e suas respectivas idades. Conforme descrito, as porcentagens foram calculadas pela diferença entre o peso inicial dos corpos de prova, após a abertura da fissura causada pelo jato, e o peso final, após o fechamento com a massa de cimento.

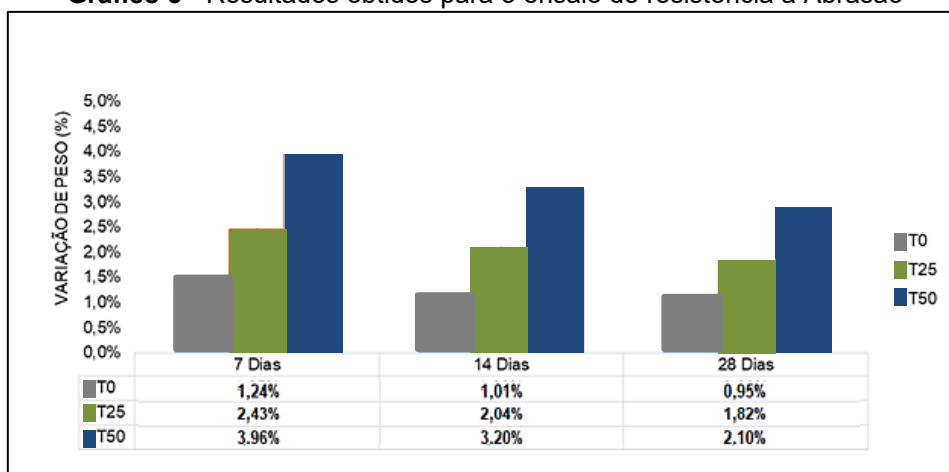
**Tabela 3** - Resultados do ensaio de Resistência à Abrasão.

		T0	T25	T50
<b>7 Dias</b>	Variação de peso (%)	1,24%	2,43%	3,96%
	Desvio Padrão	0,5	0	2
	Coeficiente de variação	1,58%	0,00%	2,77%
<b>14 Dias</b>	Variação de peso (%)	1,01%	2,04%	3,20%
	Desvio Padrão	0,82	0,82	1,24
	Coeficiente de variação	3,70%	1,90%	2,11%
<b>28 Dias</b>	Variação de peso (%)	0,95%	1,82%	2,10%
	Desvio Padrão	0,5	0,81	0,5
	Coeficiente de variação	2,35%	2,05%	0,95%

FONTE: AUTOR, 2025.

Observa-se que a massa necessária para fechar a abertura diminui com a idade dos corpos de prova. Isso se deve ao aumento da resistência do concreto ao longo do tempo de cura. Além disso, foi notada uma perda de resistência em comparação ao traço de referência (T0) à medida que a porcentagem de substituição aumentou.

Conforme ilustrado no Gráfico 3, cada traço e sua respectiva idade mostram variações distintas. O traço T50 apresentou a maior variação de deformação ao longo dos dias e demonstrou ser o menos resistente.

**Gráfico 3 - Resultados obtidos para o ensaio de resistência à Abrasão**

FONTE: AUTOR, 2025.

### 5.3. EFLORESCÊNCIA

Após a análise, concluiu-se que os corpos de prova, que não foram submetidos ao procedimento do ensaio e ficaram expostos às condições ambientais, não apresentaram eflorescência, conforme observado na figura 10.

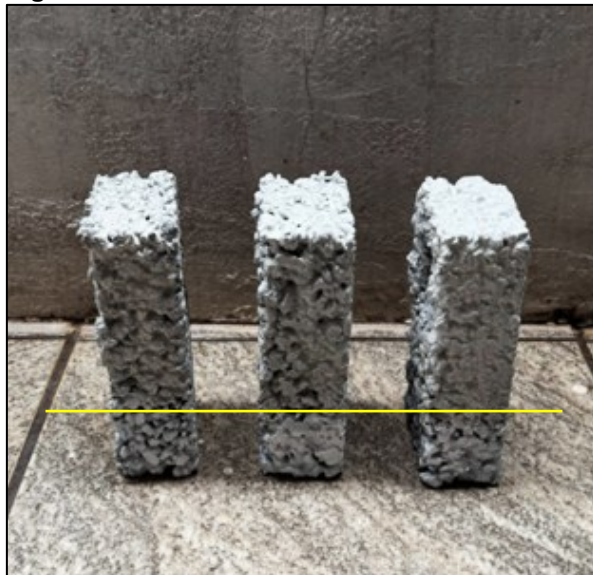
**Figura 10 – Corpo de prova exposto a condições ambientes**

FONTE: AUTOR, 2025.

Por outro lado, os corpos de prova que passaram pelo procedimento do ensaio, conforme descrito no item 4.2.7.1, apresentaram sinais de eflorescência no nível de água

destilada, conforme mostra a figura 11.

**Figura 11** – Resultado do ensaio de Eflorescência



FONTE: AUTOR, 2025.

A eflorescência, que se caracteriza por uma coloração esbranquiçada, esse fenômeno ocorre quando materiais cerâmicos entram em contato com ambientes úmidos, ou em contato direto com água, que essa água acaba carregado os sais de dentro do elemento e se deposita na superfície, frequentemente resultando em manifestações patológicas (BAPTISTA; CARNEIRO; PARSEKIAN, 2017). Por isso, este tipo de ensaio é geralmente aplicado em blocos cerâmicos.

Bezerra *et al.* (2012), conduziram tais ensaios em blocos cerâmicos e concluíram que os corpos de prova que apresentaram eflorescência não exibiam manchas antes do ensaio; ambos tinham uma aparência limpa de sais e, após o procedimento, surgiu a eflorescência, como observado também no presente trabalho.

#### 5.4. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

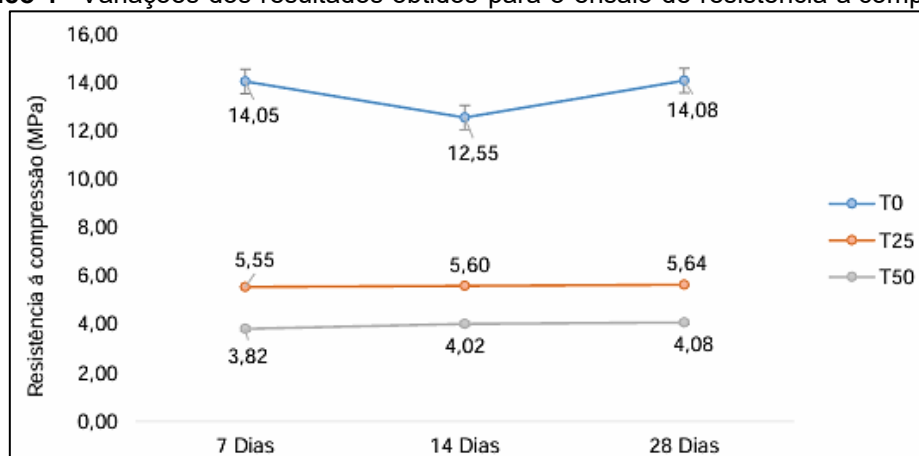
Na Tabela 4, são apresentados os valores de resistência à compressão média aos 07, 14 e 28 dias, o desvio padrão e o coeficiente de variação de cada ensaio.

**Tabela 4** - Valores de Resistência à Compressão

		7 Dias	14 Dias	28 Dias
<b>T0</b>	Média de Resistência (MPa)	14,05	12,55	14,08
	Desvio Padrão	0,5	0,3	0,1
	C.V	3,5%	2,4%	1,05%
<b>T25</b>	Média de Resistência (MPa)	5,55	5,6	5,64
	Desvio Padrão	0,2	0,1	0,2
	C.V	2,9%	3,35%	4,8%
<b>T50</b>	Média de Resistência (MPa)	3,82	4,02	4,08
	Desvio Padrão	0,4	0,1	0,1
	C.V	10,4%	3,4%	3,2%

FONTE: AUTOR, 2025.

Verifica-se que a resistência à compressão dos corpos de prova confeccionados para o traço de referência, conforme já esperado, obtiveram valores superiores comparados aos traços com a utilização de RCD. Gráfico abaixo apresenta as variações das médias obtidas.

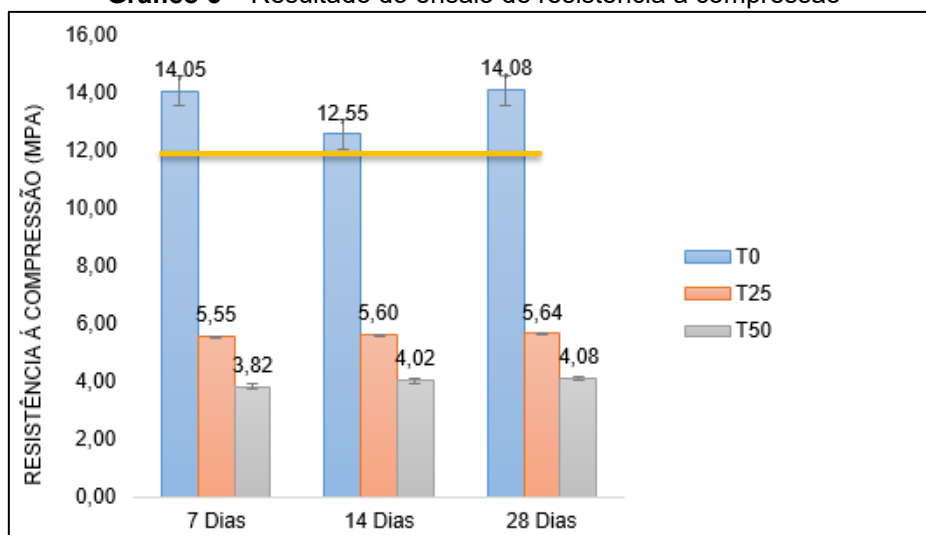
**Gráfico 4** - Variações dos resultados obtidos para o ensaio de resistência a compressão

FONTE: AUTOR, 2025.

Para a amostra com RCD em substituição parcial ao agregado graúdo natural, o menor valor observado foi de 3,82 MPa aos 7 dias para o traço T50. O maior valor de resistência com o uso de RCD foi de 5,64 MPa aos 28 dias para o traço T25. As médias de resistência à compressão das amostras de referência alcançaram aproximadamente 14,08 MPa aos 28 dias, conforme ilustrado no Gráfico 5. Ambos os traços atingiram os valores mínimos de resistência recomendados pelo ACI (2010), que variam entre 2,8 e

28 MPa.

**Gráfico 5 – Resultado do ensaio de resistência à compressão**



FONTE: AUTOR, 2025.

Valores reduzidos de resistência à compressão são observados em vários estudos, como o de Batezini (2013), que registrou resistências entre 6 e 10,2 MPa, e o de Huang *et al.* (2010), com valores variando de 4,5 a 14,5 MPa aos 28 dias. Segundo Batezini (2013), essa redução na resistência está associada à alta porcentagem de vazios gerada pelas misturas, o que indica que quanto mais porosos forem os materiais, menor será sua resistência.

## 5.5. PERMEABILIDADE

Os valores médios de permeabilidade, bem como o desvio padrão e o coeficiente de variação, são apresentados na Tabela 5 deste ensaio.

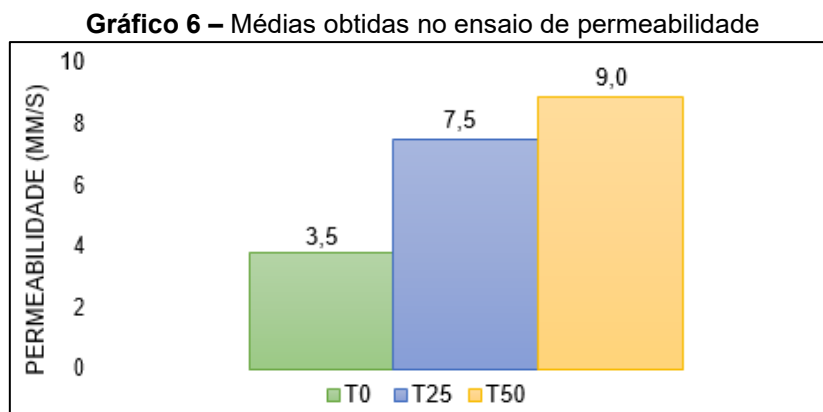
**Tabela 5 - Médias do ensaio de Permeabilidade**

	T0	T25	T50
Permeabilidade (cm/s)	0,35	0,75	0,90
Desvio Padrão	0,11	2,38	1,35
Coeficiente de Variação	0,31%	3,17%	1,50%

FONTE: AUTOR, 2025.

Observa-se que os valores do coeficiente de permeabilidade dos concretos

permeáveis variam entre 0,35 e 0,90 cm/s, demonstrado no Gráfico 6, atingindo valores superiores aos prescritos pela ABNT NBR 16416:2015.



FONTE: AUTOR, 2025.

Alves (2016) reportou em seu experimento variações de permeabilidade entre 0,0131 m/s (referência) e 0,0183 m/s (com 15% de substituição do agregado graúdo natural por RCD). Já Berry *et al.* (2012) observaram uma permeabilidade de 0,88 cm/s ao utilizarem 30% de substituição por resíduo reciclado. Com base na análise dos dados e em revisões bibliográficas, percebe-se que, conforme o percentual de substituição do agregado graúdo natural por RCD aumenta, a permeabilidade do concreto também tende a aumentar.

## 5.6. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

Com base nos resultados apresentados, observa-se que o uso de RCD no concreto permeável leva a um aumento na permeabilidade e a uma diminuição na resistência. A Tabela 6 apresenta um comparativo entre os valores de resistência à abrasão, resistência à compressão aos 28 dias e permeabilidade.

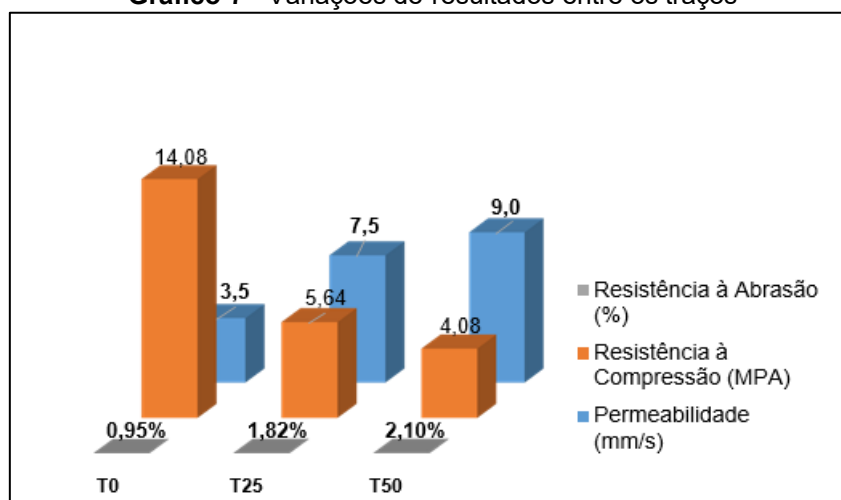
**Tabela 6** - Comparação de valores médios obtidos para os ensaios no estado endurecido

Porcentagem de substituição	Resistência a Compressão (MPa)	Resistência à Abrasão (%)	Permeabilidade (cm/s)
Referência T0	14,08	0,95	0,35
T25	5,64	1,82	0,75
T50	4,08	2,10	0,90

FONTE: AUTOR, 2025.

No Gráfico 7 é possível observar as variações obtidas nos ensaios, onde a permeabilidade aumenta do traço de referência T0 para o traço T50, e observado ainda a redução da resistência a compressão do traço T25 e do traço T50 em relação ao traço de referência.

**Gráfico 7** - Variações de resultados entre os traços



FONTE: AUTOR, 2025.

Nos ensaios de resistência à abrasão, observa-se uma maior deformação com o aumento do percentual de RCD no material, porém sem grandes variações. Como já destacado, o concreto com RCD alcança resultados satisfatórios de resistência à compressão, apesar de inferiores aos de referência, atendendo às exigências mínimas e sendo viável para aplicação como concreto não estrutural.

A permeabilidade à água melhora com o aumento do percentual de substituição, o que é positivo para a drenagem ao solo. Assim, os traços com substituição do agregado graúdo natural por RCD são bastante atrativos, especialmente o traço T50, que

apresenta o melhor coeficiente de permeabilidade e atende à resistência à compressão mínima.

## 6. CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos demonstra que, com o aumento do percentual de substituição, há uma diminuição na resistência à compressão. No entanto, todos os traços atenderam as exigências mínimas. No ensaio de resistência à abrasão, verificou-se que a abertura nos corpos de prova T0 é ligeiramente menor em comparação aos traços com RCD.

Com relação ao ensaio de permeabilidade, observou-se que o aumento do teor de agregado reciclado resulta em um aumento do coeficiente de permeabilidade. Todos os traços apresentaram valores compatíveis com a norma ABNT NBR 16416:2015, que exige um coeficiente de permeabilidade igual ou superior a 1 mm/s para esse tipo de concreto.

Durante o ensaio para avaliar a eflorescência no concreto, foi visível o aparecimento desse fenômeno na área submersa em água destilada de todos os corpos de prova, sendo mais intenso no traço T50. Por outro lado, os corpos de prova expostos a condições ambientais não mostraram sinais de eflorescência.

O estudo confirma que os traços com agregado reciclado, especificamente o traço T50, apresentam resistências satisfatórias, garantindo maior permeabilidade em comparação ao traço de referência, o que é crucial para o escoamento da água para o solo. Além disso, o traço T25, embora tenha uma menor porcentagem de RCD na mistura, também evidenciou resultados satisfatórios.

No entanto, devido à maior quantidade de RCD presente, o traço T50 superou T25 em eficácia, destacando-se por sua capacidade de promover não apenas a resistência e permeabilidade, mas também a sustentabilidade ambiental ao incorporar mais materiais reciclados na composição.

## 7. REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – PROGRAMA SOLUÇÕES PARA CIDADES. **Projeto técnico: pavimento permeável**. Disponível em: <[http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF\\_Pav% 20Permeavel\\_web.pdf](http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf) >. Acesso em 01 de nov. de 2024.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, 2019.

ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI522R-10: Pervious concrete**. Farmington Hills, 2010.

ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 302.1R-04 - Guide to Concrete Floor and Slab Construction**. American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan, 2004.

ALVES, Priscila Borges. **Concreto Permeável para Pavimentação Urbana com uso de Resíduos de Construção e Demolição produzidos na usina de reciclagem de São José do Rio Preto**. Dissertação (Mestrado) – Curso Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia – UNESP. Campus de Ilha Solteira, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C67 – Standart Methods for Sampling And Testing Brick and Structural Clay Tile**. West Conshohocken, 2014.

\_\_\_\_\_. **ASTM C 418 - Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting**. West Conshohocken, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova** – Rio de Janeiro, 2015. 9p.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos** – Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificações**. – Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7389-1: Agregados - Análise petrográfica de agregado para concreto – Parte 1: Agregado miúdo**. Rio de Janeiro, 2009. 5p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7809: Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2019. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica – Rio de Janeiro, 1987. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 9939**: Agregado graúdo - Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 12142**: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15114**: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001. 7p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45**: Agregados - determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46**: Agregados - determinação do material fino que passa na peneira de 75 micrometros por lavagem. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009. 8p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67**: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

BAPTISTA, Adriana; CARNEIRO, Aryane; PARSEKIAN, Guilherme Aris. **Estudo sobre metodologias para ensaio de potencial de eflorescência**. 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos (TECSIC – 2017). São Carlos, 2017.

BASTOS, Juceline Batista dos Santos, *et al.* **Avaliação em laboratório e em**

**campo da deformação permanente de pavimentos asfálticos do Ceará e de São Paulo.** TRANSPORTES. 2015.

BATEZINI, Rafael. **Estudo Preliminar De Concretos Permeáveis Como Revestimento De Pavimentos Para Áreas De Veículos Leves.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BERRY, B. M. *et al.* **Properties of Pervious Concrete Incorporating Recycled Concrete Aggregate.** Rosemont: TRB 2012 Annual Meeting-Using Recycled Concrete in Pervious Concrete Pavements, 2012.

BIGOLIN, Morgane. **Indicadores de desempenho para blocos de concreto: uma análise de requisitos mais sustentáveis para a produção a partir de RCD.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF, 2002.

BOTTEON, Letícia Machado. **Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos.** Conclusão de curso - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2017.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004.** Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Brasília, DF, 2004.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011.** Altera o artigo 3º da Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, estabelecendo nova classificação para o gesso. Brasília, DF, 2011.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimento Rígido.** 2ed. Rio de Janeiro, 2005.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Patologias do concreto – Especificação de Serviço.** 1ed. Rio de Janeiro, 2006.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Cerâmica, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

BOTELHO, R. G. M; SILVA, A. S da. **Bacia hidrográfica e qualidade**

**ambiental**. In: VITTE, A. C; GUERRA, A. J. T (Org.). Reflexões sobre a geografia física no Brasil. 3º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

CARDOSO, Lucas; BORIM, Matheus. **Estudo de Concreto Permeável com a utilização de Resíduos de Construção e Demolição**. Universidade São Francisco. São Francisco, 2018.

CASTRO, Andréa Souza, *et al.* **Avaliação da evolução do comportamento quantitativo de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2013, 11p.

MOURA, Edson. **Estudo de deformação permanente em trilha de roda de misturas asfálticas em pista e em laboratório**. Tese (Doutorado) – em Engenharia de Transportes - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, José Cesar. **Cimento CP II-Z-32 – Votorantim**. AEC Web, 2018 Disponível em <[https://www.aecweb.com.br/prod/e/cimento-cp-ii-z-32-votorantim-\\_10576\\_9783](https://www.aecweb.com.br/prod/e/cimento-cp-ii-z-32-votorantim-_10576_9783)>. Acesso em 05 de nov. de 2024.

ELISII, Jeanine Machado. **Análise de viabilidade e implementação de especificação padrão para blocos cerâmicos e materiais estruturais - unidades sólidas de alvenaria confeccionadas em argila ou xisto**. Engenheira de Materiais, Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2011.

ESO - Estágio Supervisionado em Obra. **Concreto: Ensaio de abatimento (Slump Test)**. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/eso/content/?p=956>>. Acesso em 02 de nov. de 2024.

FAGUNDES, Caroline Kormann *et al.* **Avaliação da resistência mecânica e permeabilidade de concretos permeáveis com adição de agregado miúdo**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Foz do Iguaçu, 2016.

FERREIRA, Joel Garcia. **Concreto Permeável com adição de Resíduos Provenientes da Construção Civil**. Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, 2019.

HASSAN, Hilal El; KIANMEHR, Peiman; ZOUAOUI, Souhail. **Properties of pervious concrete incorporating recycled concrete aggregates and slag**. Construction and Building Materials, Dubai, 2019.

HATANAKA, Shigemitsu; KAMALOVA, Zilola; HARADA, Morihito. **Construction of a nonlinear permeability model of pervious concrete and drainage simulation of heavy rain in a residential área**. Division of Architecture, Graduate School of Engineering, Mie University, Department of Civil Engineering, Faculty of Science and Technology, Meijo University. Japan,

2019.

HIDAYAH, Nur; NOR, Hasanan Md., RAMADHANSYAH, P. J. **Effect of Coarse Aggregate Sizes on Properties of Porous Concrete Paving Blocks**. Faculty of Civil Engineering, Department of Geotechnical and Transportation, Universiti Teknologi. Malaysia, 2014.

HOLTZ, Fabiano da Costa. **Uso do concreto permeável na drenagem urbana: Análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

HUANG, B. WU, H. SHU, X. BURDETTE E.G. **Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete**. Elsevier Journal. Construction and Building Materials, 2009.

ITAMBÉ. **Relatório de ensaios de cimento**. 2015. Disponível em <[https://www.cimentoitambe.com.br/wpcontent/themes/itambe/\\_assets/pdf/relatorios/2013-13/CP-II-Z-32.pdf](https://www.cimentoitambe.com.br/wpcontent/themes/itambe/_assets/pdf/relatorios/2013-13/CP-II-Z-32.pdf)>. Acesso em 01 de nov. de 2024.

JUNIOR, Adilson Campos de Paula. **Estudo do potencial de aplicação de Resíduo de Concreto em substituição ao agregado graúdo para concretos permeáveis**. Universidade Federal de Juiz de Fora Faculdade de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Juiz de Fora, 2019.

LAMB, Gisele Santoro. **Desenvolvimento e análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LIMA, Walter de Paula. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2.ed. 2008.

MARIANO, R. H. **Influência do teor de argamassa e da granulometria da brita na permeabilidade e nas resistências à compressão e à abrasão de concretos permeáveis**. Universidade Federal de Goiás Escola de Engenharia Civil, Goiânia, 2014.

MAYORGA, Vivian A. Ulloa, *et al.* **Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates**. Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, 2018.

MONTEIRO, Anna Carolina Neves. **Concreto poroso: dosagem e Desempenho**. Universidade Federal de Goiás Escola de Engenharia Civil curso de graduação em engenharia civil. Goiânia, 2010.

OLIVEIRA, Tarcisio Dorn De *et al.* **Prevenção de enchentes urbanas: uma alternativa sustentável através do uso do concreto permeável**. XXII Jornada de Pesquisa, Rio Grande do Sul, 2017.

PEREIRA, K. K.; BARBOSA, M. P. **Desenvolvimento de composição de**

**concreto permeável com agregados oriundos de resíduos de construção civil da região de Campinas.** V encontro de iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Campinas, 2015.

PEREIRA, Helena Rovache; PRIM, Sônia Richartz. **Caracterização da Resistência à Compressão do concreto convencional com Cinza de Casca de Arroz (CCA) em Substituição Parcial ao Cimento.** Centro Universitário Católica de Santa Catarina. Joinville, 2014.

Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010.** Brasília, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em 06 de nov. de 2024.

RIBEIRO, Aline. **Concreto permeável com agregados reciclados de resíduos de isoladores elétricos de porcelana.** Dissertação de Pós Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul. 2014.

RIZVI, Rabiah *et al.* **Evaluating the Use of Recycled Concrete Aggregate in Pervious Concrete Pavement.** Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, v. 2164, n. 1, p. 132–140, 2010.

ROCHA, Adriana. **Água: as responsabilidades do estado com o diamante azul do século XXI.** SYNTHESIS| Revista Digital FAPAM, 2014.

SAFIUDDIN, Md. *et al.* **Properties of High-Workability Concrete with Recycled Concrete Aggregate.** Materials Research, Amsterdam, 2011.

SANDOVAL, Gerson Fernando Barreto Rodrigues. **Desempenho do concreto permeável com agregados sustentáveis.** (Pós-graduação)-UEL, Londrina-PR. Nov. 2014.

SALES, T. L. **Pavimento permeável com superfície em blocos de concreto de alta porosidade,** dissertação de mestrado do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2008.

SCHWETZ, *et al.* **Concreto permeável: Otimização do traço para pavimentação de fluxo leve.** Congresso Internacional em Reabilitação de Construções - CONPAT 2015. Lisboa, 2015.

SILVA, Cristina Vitorino da. **Contribuição ao estudo do desgaste superficial por abrasão em concretos empregados em pisos.** Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

SILVA, FERNANDES. **Produção de concreto poroso com adição de borracha de pneu reciclado.** 73º Congresso Anual da ABM. Palmas, 2018.

SILVA, Welighda Christia da; SANTOS, Gilmar Oliveira; DE ARAÚJO, Weliton Eduardo Lima. **Resíduos Sólidos de Construção Civil: caracterização, alternativas de reuso e retorno econômico.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, 2017.

TAVARES, L. M.; KAZMIERCZAK, C. S. **Estudo da influência dos agregados de concreto reciclado em concretos permeáveis.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, 2016.

TENNIS, P. D.; LEMING, M.L.; AKERS, D.J. **Pervious concrete pavements.** EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 36 p. 2004.

THORPE, ZHUGE, Yan Z. **Advantages and disadvantages in using permeable concrete pavement as a pavement construction material.** In: Egbu, C. (Ed) Procs 26th Annual ARCOM Conference, 6-8. Set, 2010.

TUCCI. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas.** Ministério das Cidades – Global Water Partnership, Wolrd Bank, Unesco. Rio Grande do Sul, 2005.

VASCONCELOS, *et al.* **Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD): Um estudo de caso na usina de beneficiamento de Resíduos de Petrolina-PE.** Revista de Gestão Social e Ambiental, 2016.

ZAETANG. **Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate.** Construction and Building Materials. Vol. 111, Thailand, 2016.