




Gabrieli Crislen da SILVA*

 <https://orcid.org/0009-0000-6783-7073>

Rodrigo Delarovere DIAS**

 <https://orcid.org/0009-0008-2593-4869>

Claudia Scoton Antonio MARQUES***

 <https://orcid.org/0000-0002-9812-150X>

Recebido em: 10 de maio de 2024.

Aprovado em: 17 de dezembro de 2024.

USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM PAVIMENTO PERMEÁVEL

RESUMO

O desenvolvimento urbano nas grandes cidades pode criar uma gama de problemas ambientais, entre eles enchentes e inundações, o que, na maioria das vezes, causa danos na infraestrutura como degradação além de desvalorizam o ambiente construído. O sistema da aplicação de pavimentos permeáveis em áreas urbanas apresenta-se como um sistema inovador no planejamento de centros urbanos, para redução de inundações e enchentes, pois permite uma maior rapidez no escoamento das águas superficiais. Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o uso de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na confecção do pavimento permeável, analisando seu coeficiente de permeabilidade e sua resistência à compressão. Para isso, foram confeccionados 3 traços de concreto poroso, um traço convencional (1:3), outro com 50% de brita e 50% de RCD (1:1,5:1,5) e outro com 100% de RCD, foram analisados os coeficientes de permeabilidade e resistência à compressão de cada traço a fim de verificar se é possível utilizá-los nas áreas urbanas com tráfego leve. Isso vem ao encontro da necessidade de gerenciar os resíduos de construção e demolição, além de estar em consonância com os 17 objetivos de um desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU. Os resultados atenderam as exigências da Norma NBR16416 (ABNT, 2015), obtendo resistência à compressão maior que 2MPa e coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-4} m/s. Concluiu-se o uso do RCD, como material alternativo, pode auxiliar em um dos maiores problemas ambientais existentes hoje, os resíduos sólidos, dando uma destinação adequada a esses materiais, além de auxiliar na redução de enchentes e inundações e atender ao objetivo 11 do ODS (ONU) em busca de ações para uma cidade sustentável.

Palavras-chave: urbanização; pavimento permeável; resíduos de construção e demolição (RCD); desenvolvimento sustentável.

THE USE OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE IN PERMEABLE PAVING

ABSTRACT

Urban development in large cities leads to a number of environmental problems, including flooding, which in most cases causes damage to infrastructure, degradation and devaluation of the built environment. The application of permeable pavement in urban areas is an innovative system in the planning of urban centers to reduce flooding, as it allows surface water to flow more quickly. In this context, this study aimed to evaluate the use of Construction and Demolition Waste (CDW) in the production of permeable pavement, analyzing its permeability coefficient and compressive strength. For this purpose, three types of porous concrete were produced: a conventional type (1:3), another with 50% gravel and 50% CDW (1:1.5:1.5), and another with 100% CDW. The permeability and resistance to compression coefficients of each type were analyzed to see if they could be used in urban areas with light traffic. This is in line with the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations, as well as the need to manage construction and demolition waste. The results met the requirements of standard NBR16416 (ABNT, 2015), with a compressive strength greater than 2 MPa and a permeability coefficient greater than 10^{-4} m/s. It was concluded that the use of CDW as an alternative material can help with one of the biggest environmental problems today, solid waste, by providing a proper destination for these materials, as well as contributing to the reduction of flooding and achieving Goal 11 of the SDG (UN) in the search for actions for a sustainable city.

Keywords: urbanization; permeable paving; construction and demolition waste (CDW); sustainable development.

* Graduada em Engenharia Civil do Centro Universitário de Santa Fé do Sul - Unifunec, SP, Brasil, gabycrislen@gmail.com

** Graduado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Santa Fé do Sul - Unifunec, SP, Brasil, rodrigodeladiaz@hotmail.com

*** Doutora, Docente do Centro Universitário de Santa Fé do Sul - Unifunec, SP, Brasil, clauscam@gmail.com



1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano nas grandes cidades pode criar uma gama de problemas ambientais, entre eles: resíduos sólidos, despejo de esgotos nos rios, emissão de gases poluentes enchentes e inundações.

As enchentes e inundações fazem com que a sociedade acumule perdas econômicas e sociais diversas. Já para a cidade, na maioria das vezes, ocorrem danos na infraestrutura causando degradação e desvalorização do ambiente construído, propagação de doenças, empobrecimento da população, destruição de habitações entre outros problemas (Miguez, 2015).

Neste contexto, percebe-se que o uso irregular do solo nas áreas urbanas constitui uma das ações que geram impactos ambientais, devido às mudanças das características originais de uso do solo. Segundo Virgillis (2009), o rápido crescimento das cidades, com destaque para a urbanização ocorrida no século passado, pode agravar os problemas de enchentes, pois tende a remover a cobertura vegetal original, aumentando a impermeabilização do solo.

Desse modo, questiona-se o que pode ser feito para auxiliar na redução das enchentes nas áreas urbanas. A literatura mostra que uma das abordagens estudadas atualmente, já implementadas em algumas cidades, é o pavimento permeável.

O sistema da aplicação de pavimentos permeáveis em áreas urbanas apresenta-se como um sistema inovador no planejamento de centros urbanos, pois permite uma maior rapidez no escoamento das águas superficiais. Como demonstrado por Virgillis (2009). Pinheiro e Crivelaro, (2014), Abreu e Miranda, (2020), entre outros autores, o pavimento permeável, usualmente conhecido com *paver* ou pavimento drenante permite a redução de enchentes e o retorno da água de chuva aos cursos d'água, melhorando sua vazão, principalmente nas áreas urbanas.

Na confecção do pavimento permeável, é possível o uso de resíduos de construção e demolição (RCD) em substituição à brita. Isso vem de encontro a necessidade de gerenciar esses resíduos, uma vez que a construção civil é considerada um setor que causa grandes impactos ambientais, como afirma Bastos (2016), o setor é responsável por 75% do consumo de energia no mundo.

Assim, fica clara a necessidade do setor em conciliar suas atividades com um desenvolvimento sustentável e de ser menos agressivo ao meio ambiente. Mediante tal cenário,

a implementação de métodos que reduzem ou gerenciem os resíduos de construção e demolição (RCD) torna-se necessária para a indústria da construção civil (Bastos, 2016).

Diante do exposto, usar os RCD na produção de concreto poroso pode trazer benefícios tais como a redução do descarte em locais inadequados, a reciclagem de entulhos para produção de novos produtos bem como a possibilidade de seu uso em pavimentos permeáveis, auxiliando na redução de enchentes e inundações, uma vez que esse tipo de pavimento usado em áreas urbanas de baixo tráfego, auxilia no escoamento superficial das águas de chuva.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o uso de RCDs na confecção do pavimento permeável, analisando seu coeficiente permeabilidade e sua resistência à compressão a fim de verificar a sua possibilidade de uso em áreas de tráfego leve.

Para isso, foram confeccionados 3 traços de concreto poroso, um traço convencional (1:3), outro com 50% de brita e 50% de RCD (1:1,5:1,5) e outro com 100% de RCD. Foram analisados os coeficientes de permeabilidade e resistência à compressão de cada traço a fim de verificar se é possível utilizá-los nas áreas urbanas de tráfego leve de acordo com a NBR 15416 (ABNT, 2015).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos de construção e demolição

A construção civil é um setor da economia que influencia diretamente o crescimento e desenvolvimento dos países, chegando a representar 10% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Em 2019, o setor foi responsável pela geração de 15% do total de empregos formais criados no país (Pesquisa..., 2022).

Os Resíduos de Construção e Demolição fazem parte dos resíduos sólidos e a Resolução nº 307 de 05/07/02 do Conama (Brasil, 2002) estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para minimizar os impactos ambientais causados pela construção civil. Essa resolução traz a definição de RCD como:

Resíduos 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, calça ou metralha (Brasil, 2002).

Ainda de acordo com a Resolução nº 307, os resíduos de construção civil são divididos em quatro classes, a saber:

Classe A - São os resíduos reutilizáveis de pavimentação 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, reforma 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;

Classe B - São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso (Redação dada pela Resolução nº 469/2015).

Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação (Redação dada pela Resolução nº 431/11).

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, demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (Redação dada pela Resolução nº 348/04).

Os RCDs coletados pelos municípios, segundo a Abrelpe (2021), passaram de 45 milhões de toneladas, em 2017, para 48 milhões, em 2021, um aumento de 8% conforme representado na Figura 1. Dessa maneira, quando se observa o aumento de RCDs que ocorreu e que contrasta com a diminuição de matéria-prima disponível, nota-se a necessidade de atuação na reutilização e controle do descarte desses resíduos.

Figura 1 - Quantidade de RCD coletados pelos municípios do Brasil nos anos de 2017 a 2021

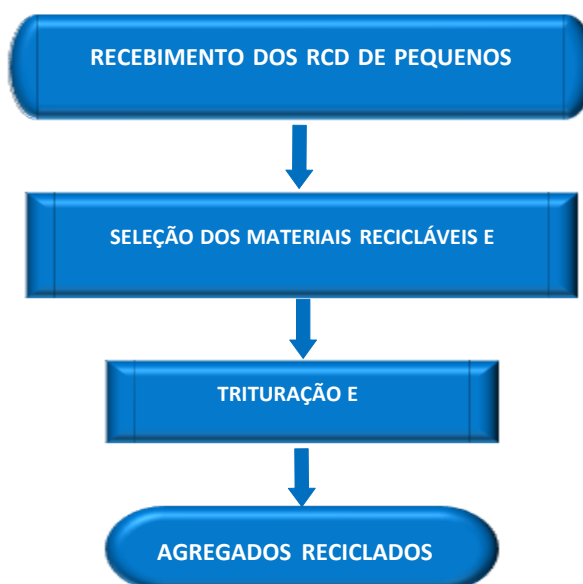


Fonte: Dos próprios autores.

O processo de reciclagem dos RCD em centrais de triagem deve ser simples, seguindo a seleção dos materiais recicláveis e descontaminação, trituração em equipamentos apropriados e expedição dos agregados reciclados (Pinto, 1999), conforme a Figura 2.

A Figura 2 demonstra o caminho que deve ser seguido pelo RCD após sua coleta, a fim de agregar valor ao produto descartado, reintroduzindo-o ao ciclo produtivo, permitindo seu retorno ao mercado.

Figura 2 – Processo de reciclagem do RCD



Fonte: Adaptado de Silva *et al.*, 2013.

Os agregados reciclados podem ser empregados em diversas áreas da engenharia como lastro para assentamento de tubos ou guias e estabilização de solos com baixa capacidade de suporte. Pode-se citar a Austrália como um exemplo do uso de RCD na área de pavimentação, é comum no país misturar agregados reciclados de concreto com quantidade solo para a obtenção de um produto adequado para pavimentação (Brito Filho, 1999, *apud* Motta, 2005).

Ainda segundo Motta (2005), o uso comum dos agregados de RCD em camadas base e sub-base de pavimentos tem boa aceitação no mercado de obras rodoviárias.

Os tipos mais comuns de agregados reciclados estão apresentados na Figura 3.

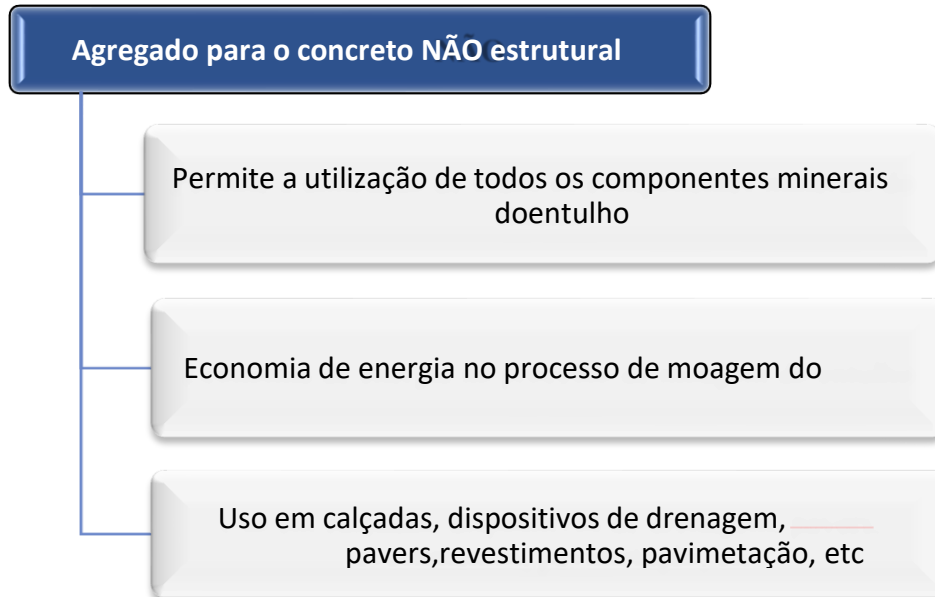
Figura 3 – Tipos de agregados reciclados



Fonte: ECO-X, 2021.

O uso mais comum de agregado de RCD no Brasil ainda é para alvenaria não estrutural, mais estudos precisam ser feitos para seu uso em concreto estrutural e em outras áreas da construção civil, porém já apresenta inúmeras vantagens, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Aplicações de agregado de RCD



Fonte: Marques, 2018.

Como mostrado na Figura 4, existe a possibilidade de uso dos agregados de RCDs em pavimentação, como revestimento e não apenas em base e sub-base de pavimento flexível. Desse modo, este estudo buscou analisar o uso de agregados em pavimento de concreto permeável para uso em locais de tráfego leve de acordo com a norma NBR 15416 (ABNT, 2015).

2.2 Pavimento permeável

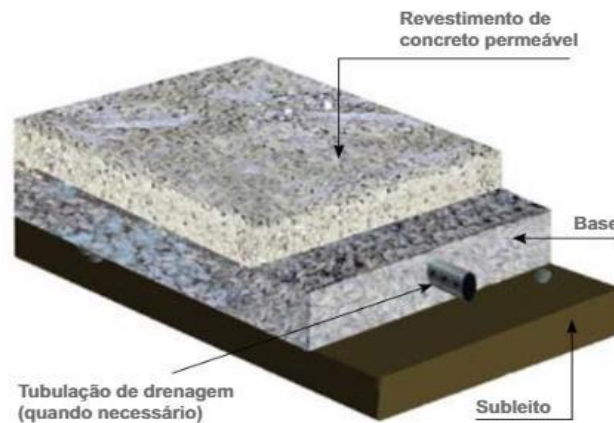
O pavimento permeável oferece uma série de benefícios em comparação com os pavimentos tradicionais impermeáveis. Em termos de gestão de águas pluviais, ele reduz significativamente o escoamento superficial, permitindo a infiltração da água no solo. Isso ajuda a controlar enchentes, diminuir a carga nos sistemas de drenagem e recarregar aquíferos subterrâneos. Além disso, o pavimento permeável atua como um filtro natural, removendo poluentes e melhorando a qualidade da água à medida que ela se infiltra. Segundo Marchioni, Silva e Mayor (2016), “São considerados um dos sistemas de drenagem urbana sustentável pois controlam o volume de água na fonte geradora e ainda promovem uma melhora na qualidade da água”.

Kipper (2015) e Moreira (2016) ressaltam que o uso do pavimento permeável tem a vantagem de permitir o tráfego de carros e pedestres ao mesmo tempo que fornece os benefícios

da drenagem de águas pluviais. Contudo, diversos autores, como Imada (2014), Araújo (2016), Moreira (2016) e outros asseguram que o pavimento permeável não deve ser instalado em áreas de alto fluxo, sendo indicado em áreas de estacionamentos, praças, playgrounds, quadras de esportes. Entretanto, estudos indicam respostas satisfatórias dos pavimentos permeáveis à instalação também em locais de alto tráfego (Virgiliis, 2009).

O revestimento deve permitir a passagem rápida da água evitando assim que ela esco superficialmente ou forme poças, garantindo que 100% da água superficial seja infiltrada através do pavimento em um intervalo de tempo. A Figura 5 apresenta a sessão típica que compõe o pavimento permeável.

Figura 5 – Seção típica de pavimento de concreto permeável



Fonte: Marchioni; Silva e Mayor, 2016.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

- a) Cimento CP II-F-32 (Itaú);
- b) Agregado graúdo composto de brita basáltica 1;
- c) Resíduos de Construção e demolição
- d) Água;
- e) Betoneira;
- f) Aditivo Plastificante (Viacal Plastificante - Viapol);
- g) Formas de ferro e Madeira;
- h) Adesivo epóxi (Durepoxi – Loctite).

3.2 Procedimentos para execução do concreto permeável

Para alcançar os resultados esperados foram executados no laboratório de Engenharia Civil do Unifunec as etapas:

- a) Com o auxílio de uma betoneira, foram executadas as placas para o concreto permeável, sendo os traços apresentados na Tabela 1;
- b) Em seguida, foi feito o “slump test”, ensaio normatizado pela NBR 16889 (ABNT, 2020) para obtenção da consistência do concreto;
- c) Logo após, foram moldadas as placas de concreto permeável, adensados de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2016), tendo tamanho de 30x40x6 cm cada placa, (tamanho definido em função das placas tradicionais dos jardins do município de Sta Fé do Sul, SP, local de estudo);
- d) Foram moldados 30 corpos de prova com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para testar a sua resistência após 7 dias e 28 dias de cura, sendo 5 corpos de prova para cada traço de concreto;
- e) Após 24 horas foram desmoldados os corpos de provas e colocados em um tanque com água para cura do concreto (com temperatura ambiente). Realizando o mesmo processo com as placas;
- f) Ensaio para determinação da resistência a compressão de corpos de provas cilíndricos realizado após 7 dias de cura e aos 28 dias, segundo as normas NBR 7215 (ABNT, 2019).

Tabela 1 - Traços com cimento (CP II-F-32)

Denominação das amostras	Proporção em massa de cada material na mistura					
	Cimento	Areia	Pedrisco	RCD	A/C	Aditivo Plastificante
Traço 1 – 100% de brita	1	0	3	0	0,5	0,4%
Traço 2 – 100% de RCD	1	0	0	3	0,5	0,4%
Traço 2 – 50% de RCD	1	0	1,5	1,5	0,5	0,4%

Fonte: Dos próprios autores.

3.2.1 Ensaio de permeabilidade

Para definir o coeficiente de permeabilidade durante o ensaio, é medido o tempo para que 20 litros de água passem pelo pavimento e assim, de acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015) pode-se calcular o coeficiente de permeabilidade do pavimento, pela Equação 1.

$$k = \frac{C \cdot m}{d^2 \cdot t} \quad (1)$$

Sendo:

k : Coeficiente de Permeabilidade.

m : Massa de água infiltrada em Kg.

d : diâmetro do cilindro de infiltração em mm.

t : tempo necessário para toda água percolar em segundos.

C : fator de conversão de unidade do sistema SI = 4.583.666.000

Segundo a norma citada acima, o revestimento permeável do pavimento, deve apresentar coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-3} m/s, como mostra a Tabela 2

Tabela 2 - Níveis de permeabilidade

Coeficiente de permeabilidade k								Grau de permeabilidade
m/s		mm/s		mm/min		litros/min		
>	$1,00^{-3}$	>	1,00000	>	60,0	>	60,00	Alta
$1,00^{-3}$	$1,00^{-5}$	1,0000	0,01000	60,0	0,6000	60,00	0,6000	Média
$1,00^{-5}$	$1,00^{-7}$	0,01000	0,000100	0,60	0,00600	0,60	0,0060	Baixa
$1,00^{-7}$	$1,00^{-9}$	0,0001	0,000001	0,01	0,00006	0,006	0,00006	Muito Baixa
<	$1,00^{-9}$	<	0,000001	<	0,00006	<	0,00006	Praticamente Impermeável

Fonte: Adaptado da NBR 16416 (ABNT, 2015).

Vários estudos têm sido realizados para analisar a permeabilidade do pavimento poroso, entre eles, os de Tavares e Kazmierczak (2016) que afirmam que o uso de um pavimento permeável é capaz de limitar o volume do escoamento superficial, beneficiando a infiltração e a retenção da água no subsolo. Mikami *et al.* (2018) confirmam isso ao dizer que o concreto permeável, também denominado de concreto poroso, forma uma estrutura contendo vazios interligados, o que permite sua permeabilidade e a NBR 16416 (ABNT, 2015) estabelece um requisito mínimo de coeficiente de permeabilidade de 10^{-3} m/s. Oliveira (2014) completa ao dizer que a porosidade no concreto permeável é determinante para a condutividade hidráulica e para a resistência à compressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaios de laboratório

- a) **Abatimento do tronco de cone:** o ensaio de “slump test”, normatizado pela NBR NM 16889 (ABNT, 2020), apresentou valor de abatimento igual a 0 cm;
- b) **Moldagem dos corpos de prova:** Os 30 corpos de prova, como observado na Figura 6, após 24h foram desformados e colocados em um tanque com água;

Figura 6 – Corpo de prova moldado



Fonte: Dos próprios autores, 2023.

- c) **Ensaio de resistência à compressão axial** - Seguiu a norma NBR 5739 (ABNT, 2007). A Figura 7 mostra o ensaio de compressão axial aos 7 dias e a Figura 8, aos 28 dias. A Tabela 2 traz os resultados obtidos.

Figura 7 – Ensaio de compressão axial aos 7 dias

(a) Concreto 100% Pedrisco

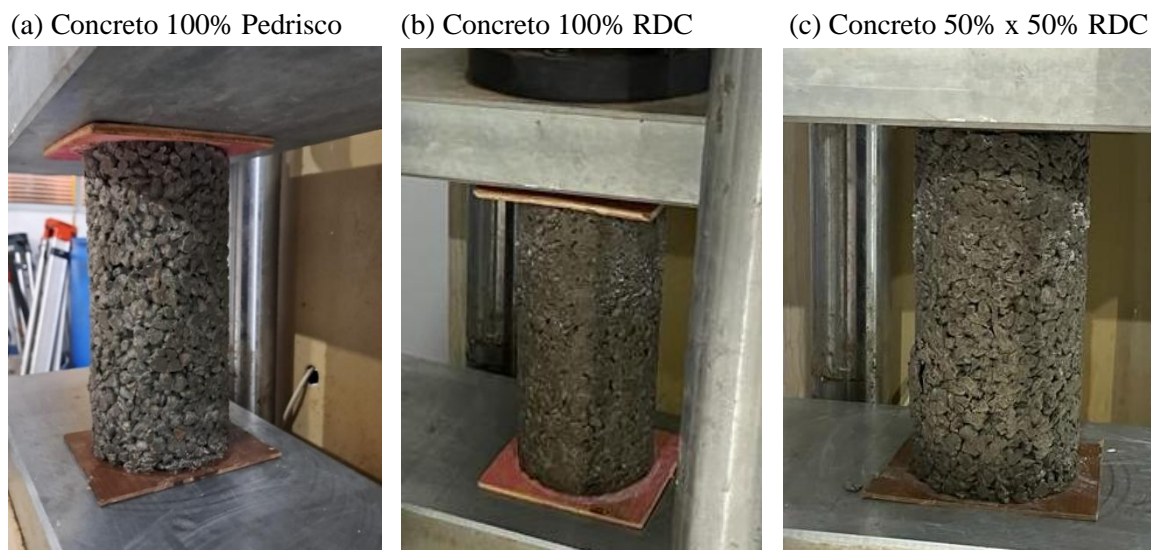
(b) Concreto 100% RDC

(c) Concreto 50% x 50%



Fonte: Dos próprios autores, (2023).

Figura 8 – Ensaio de compressão axial aos 28 dias.



Fonte: Dos próprios autores, 2023.

Tabela 2 - Resistência dos traços após os ensaios de compressão axial

Denominação das amostras	Média obtida de resistência das Amostras após o tempo de cura			
	7 dias	Desv. Pad.	28 dias	Desv. Pad.
Traço 1 – 100% de Pedrisco	6,22 Mpa	0,053 MPa	10,67 Mpa	0,414 MPa
Traço 2 – 100% de RCD	5,56 Mpa	0,365 MPa	6,59 Mpa	0,040 MPa
Traço 3 – 50% de RCD, 50% Pedrisco	5,97 Mpa	0,553 MPa	6,00 Mpa	0,843 MPa

Fonte: Dos próprios autores.

Na Tabela 2, pode-se observar que houve uma pequena diferença entre os tipos de concreto, contudo a resistência do traço 100% RCD apresenta um resultado satisfatório por ser um agregado totalmente reciclado comparado com o de 100% pedrisco. Segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013), a resistência à compressão mínima necessária para pavimentos de tráfego leve deve variar de 2 a 35 MPa. Por ser um concreto com maior índice de vazios, é destinado a cargas leves, dessa forma, ele é indicado para ser utilizado em áreas de estacionamentos, calçadas ou ruas com baixo volume de tráfego.

O ensaio de CBR e a expansão não foram feitos pois, segundo a norma NBR 15116 (ABNT, 2021), o pavimento permeável com agregado reciclado foi considerado sem função estrutural.

4.1.1 Moldagem das placas para análise de permeabilidade:

Para realizar o ensaio de permeabilidade, as placas foram realizadas na mesma data da moldagem do corpo de prova. As placas também passaram pelo processo de cura submersa do concreto. Aos 28 dias, foi realizado o ensaio de permeabilidade (Figura 9).

Figura 9 – Ensaio de permeabilidade

(a) Concreto 100% Pedrisco (b) Concreto 100% RCD (c) Concreto 50% x 50%



Fonte: Dos próprios autores, 2023.

4.1.2 Análise da permeabilidade

O revestimento permeável deve atender as especificações da NBR 16416 (ABNT, 2015). Ainda de acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015), o concreto permeável deve seguir os níveis de permeabilidade estabelecidos pela norma, Tabela 2.

Para definir o coeficiente de permeabilidade, durante o ensaio é medido o tempo para que 20 litros de água passem pelo pavimento e assim, calcula-se o coeficiente de permeabilidade do pavimento, como mostrado na Equação 1.

A Tabela 3 apresenta o coeficiente de permeabilidade encontrado no ensaio.

Tabela 3 - Coeficiente de escoamento superficial

Traço	Água (L)	Tempo de escoamento(s)	k (mm/h)	k (m/s)	
Traço 1 – 100% de Pedrisco	20	2720	3370,34	$9,36 \cdot 10^{-4}$	Média
Traço 2 – 100% de RCD	20	1520	6031,14	$1,675 \cdot 10^{-3}$	Alta
Traço 3 – 50% de RCD, 50% Pedrisco	20	1100	8333,94	$2,314 \cdot 10^{-3}$	Alta

Fonte: Dos próprios autores.

Notou-se que os traços de pavimento permeável com 50% RCD e 100% RCD apresentaram boa capacidade de infiltração, enquadrando-se nas exigências estabelecidas pela NBR 16416 (ABNT, 2015), que define o coeficiente de permeabilidade $>10^{-3}$ m/s de alta permeabilidade, ou seja, em uma área de 1 m², o pavimento permeável permite que, no mínimo, 60 litros de água sejam escoados no intervalo de apenas 1 minuto (ABCP, s.d) retornando essa água de chuva aos mananciais ou para um reservatório e posterior reuso.

Já o traço com 100% pedrisco apresentou permeabilidade média e resistência à compressão de 10,37 MPa, o que permite seu uso também em áreas de tráfego leve, como praças e calçadas.

O estudo feito por Oliveira (2017) já confirmava que a substituição do agregado virgem por agregado reciclado no concreto, mesmo apresentando, em muitos casos, diminuição da taxa de permeabilidade e provocando queda na resistência mecânica, o concreto com RCD usado para confecção de placas de concreto permeável ou para concreto permeável aplicado no local, mostrou-se viável, como neste estudo, tanto para tráfego de pessoas quanto para tráfego de leve de veículos.

Abreu e Miranda (2020) demonstraram também que o pavimento permeável confeccionado com RCD é uma boa alternativa para auxiliar o sistema de drenagem urbano, devido a sua taxa de permeabilidade (neste estudo considerada alta). Sendo assim, esse estudo procurou demonstrar que o pavimento permeável é tecnicamente e ambientalmente viável, pois atende as exigências das normas brasileiras e está em consonância com os objetivos do desenvolvimento sustentável ao substituir o uso de recursos naturais, como o pedrisco, por agregado reciclável, como demonstrado também no estudo feito por Bastos (2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que o uso e as pesquisas sobre pavimento permeável não sejam populares no Brasil, o mesmo tem um futuro muito promissor nas grandes metrópoles, principalmente em áreas residenciais e em regiões com tráfego leve, pois além de abastecer os lençóis freáticos, ajuda a aliviar a demanda de vazão dos sistemas de drenagem tradicionais podem evitar ou, pelo menos, amenizar as enchentes que acontecem em áreas pouco permeáveis e causam inúmeros prejuízos.

As placas de concreto permeável com RCD apresentaram uma permeabilidade alta ($>10^{-3}$ m/s), além de atingirem valores superior ao mínimo requerido pela NBR 16416 (ABNT, 2015) quanto à resistência, demonstrando a possibilidade de seu uso em locais de tráfego leve.

Observou-se que a adoção dos materiais alternativos pode auxiliar em um dos maiores problemas ambientais existentes hoje, os resíduos sólidos, dando uma destinação adequada a esses materiais.

Sugere-se que novos ensaios, como absorção, expansão e novos traços sejam realizados para confirmar estudos já realizados e validar o uso de RCD em pavimentos permeáveis.

REFERÊNCIAS

ABREU, R. S. A. de; MIRANDA, T. V. O uso do pavimento permeável como medida auxiliar na drenagem das cidades. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, ed. 04, vol. 03, p. 52-74. 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimento-permeavel>. Acessado em 20 jun.2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE - **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. São Paulo: ABRELPE, 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/>. Acessado em: 10 abr.2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738, 2016**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro. 2016. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36305/nbr5738-concreto-procedimento-para-moldagem-e-cura-de-corpos-de-prova>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781, 2013**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1387/abnt-nbr9781-pecas-de-concreto-para-pavimentacao-especificacao-e-metodos-de-ensaio>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116, 2021**: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/23795/abnt-nbr15116-agregados-reciclados-para-uso-em-argamassas-e-concretos-de-cimento-portland-requisitos-e-metodos-de-ensaios>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215, 2019**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36304/nbr7215-cimento-portland-determinacao-da-resistencia-a-compressao-de-corpos-de-prova-cilindricos>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416, 2015**: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro. 2015.

Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/35124/abnt-nbr16416-pavimentos-permeaveis-de-concreto-requisitos-e-procedimentos>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889, 2020:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone. Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12956/abnt-nbr16889-concreto-determinacao-da-consistencia-pelo-abatimento-do-tronco-de-cone>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781, 2013:** Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1387/abnt-nbr9781-pecas-de-concreto-para-pavimentacao-especificacao-e-metodos-de-ensaio>.

ARAÚJO, D. C. de. **Metodologia para apoio à decisão na gestão das águas pluviais urbanas combinando métodos multicritério e multidecisor**. Tese (Doutorado) Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. ATTENA Repositório Digital, UFPE. Recife, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/18668>. Acessado em: 20 abr. 2023.

BASTOS, P. K. X. **Resíduos da Construção Civil: Soluções Sustentáveis para Obras e Cidades**. Universidade Federal de Juiz de Fora. 34p. 2016. Disponível em: https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Residuos-Construcao-Civil_Pedro-K_2016.pdf. Acessado em: 20 abr. 2023.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 307, de 05 de julho de 2002. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional da Habitação. **Diário Oficial da União**. n° 136, de 17/07/2002, págs. 95-96. Brasília, DF, 2002. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LivroConama.pdf>. Acessado em: 20 abr. 2023

BRASIL. Lei n° 12.305/2010, de 2 de agosto de 2010. Estabeleceram-se diretrizes, critérios e procedimentos para minimizar os impactos ambientais causados pela construção civil. **Diário Oficial da União**. 3 de agosto de 2010. Brasília, DF, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acessado em: 20 abr. 2023.

IMADA, R. G. **Práticas de microdrenagem sustentáveis para redução do escoamento superficial urbano**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/6ba2dbd1-df8f-4b07-bf5d-464b80cf6e2f/Imada_Rafael_Guerreiro.pdf. Acessado em: 1 jun. 2023.

KIPPER, A. **Drenagem urbana: comparativo de custos no dimensionamento utilizando sistemas de drenagem tradicional (higienista), e compensatória com microrreservatórios**. 2015, 79 p. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

MARCHIONI, M. L.; SILVA, C. O.; MAYOR, A. V. Conceitos e Requisitos para Pavimentos de Concreto Permeável. **Sistemas Construtivos Pavimentos Permeáveis. PR-3 Conceitos e Requisitos para Pavimentos de Concreto Permeável**. Associação Brasileira

de Cimento Portland, 2016. Disponível em: https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2020/08/PR3_Conceitos_Requisitos_Pav_Concreto_Permeavel.pdf. Acessado em: 1 jun. 2023.

MARQUES, C. S. A. **Notas de aula Pavimentação**. UNIFUNEC - Centro Universitário de SantaFé do Sul, SP. 2018.

MIKAMI, R. J. *et al.* Influência do teor de cerâmica vermelha do agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, e12163, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0497>. Acessado em: 14 abr. 2023.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2015. 361 p.

MOREIRA, D. L. **Aplicabilidade de técnicas de drenagem de baixo impacto no campus da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria**. Trabalho de Conclusão do Curso, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/22233>. 14 abr. 2023.

MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduos de construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. 2005. 134p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072006-114729/publico/Dissert.mestrado_RosangelaMotta.pdf. Acessado em 25 mai. 2023

OLIVEIRA, I. de. **Concreto permeável com resíduos recicláveis para uso em pavimentação**. 2017. 107 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7959>. Acesso em: 14 abril 2022.

Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil / organizadores S. C. Angulo; L. S. Oliveira, L. Machado – São Paulo: Epusp, 2022. 104 p. Disponível em: <https://abrecon.org.br/documentos-e-informa/pesquisa-setorial-abrecon-2020>.

PINHEIRO, A. L. F. B.; PINHEIRO, A. C. F. B.; CRIVELARO, M. **Tecnologias sustentáveis: impactos ambientais urbanos, medidas de prevenção e controle**. São Paulo: Saraiva Educação, 2014.

PINTO, T. de P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 218 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001061434>.

SILVA, M. C. G. da. *et al.* Metodologia para identificação de potenciais locais para a implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção civil. **Revista Espacios**, v. 34, n. 4, 2013, p. 2. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a13v34n04/13340403.html>. Acessado em: 7 mai. 2023.

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, v. 9, n. 1, p. 75-89, fev. 2016. Disponível em: <http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/642/724>. Acessado em: 16 mai. 2023.

USINA ECO-X. **Usina de reciclagem**. Guarulhos, SP. Disponível em: <https://usinaecox.com/>. Acessado em: 13 abr.2023.

VIRGILLIS, A. L. C de. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/publico/Dissertacao_Afonso_Luis_Correa_de_Virgiliis.pdf. Acessado em 16 mai. 2023.