ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS DE CONCRETO COMO AGREGADO GRAÚDO EM PAVIMENTAÇÃO URBANA PERMEÁVEL: ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO, RESISTÊNCIA E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA.

Evaluation of the Use of Concrete Waste as Coarse Aggregate in Permeable Urban Pavements: Composition, Resistance, and Hydraulic Conductivity Analysis

Aldo Ribeiro de Carvalho
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, MG | aldo.carvalho@aluno.ufop.edu.br

Adilson Campos de Paula Júnior
Universidade do Minho | Guimarães, Braga - Portugal | cpjunior.adilson@gmail.com

Antônio Eduardo Polisseni
Universidade Federal de Juiz de Fora | Juiz de Fora, MG | aepolisseni@gmail.com

Thaís Mayra de Oliveira
Universidade Federal de Juiz de Fora | Juiz de Fora, MG | thais.mayra@ufjf.br

Resumo

A construção civil é responsável por grande demanda de recursos naturais e produz cerca de 36% dos resíduos sólidos gerados no mundo, resultando em impactos significativos ao meio ambiente. Além disso, a urbanização contribui para a impermeabilização do solo, aumentando a ocorrência de deslizamentos de terras e enchentes. Este estudo propõem o desenvolvimento de um concreto permeável para pavimentação urbana, que substitua integralmente o agregado natural pelo resíduo de concreto e permita a percolação da água entre o pavimento e o solo. O estudo inova ao analisar o material produzido simultaneamente nas perspectivas de sua composição, resistência mecânica e condutividade hidráulica. Para isso, os materiais adotados e o concreto desenvolvido foram caracterizados segundo as diretrizes da ABNT. Foi constatado que o concreto permeável confeccionado atende as diretrizes nacionais e possui condutividade hidráulica superior ao concreto permeável convencional, tornando-o uma opção atraente para a pavimentação urbana.

Palavras-chave: Concreto permeável; Resíduo de concreto; Condutividade hidráulica; Pavimentação urbana; Construção civil

ABSTRACT

Civil construction is responsible for a high demand of natural resources and it generates around 36% of the solid waste produced worldwide, resulting in significant environmental impacts. Moreover, urbanization contributes to soil impermebealization, increasing the occurrence of landslides and floods. This study proposes the development of permeable concrete for urban pavement, which completely substitutes natural aggregate with concrete waste and allows water to permeate between the pavement and the soil. The study is innovative in analyzing the material produced simultaneously from the perspectives of its composition, mechanical strength, and hydraulic conductivity. For this purpose, the materials used and the developed concrete were characterized according to ABNT guidelines. It was concluded that the permeable concrete produced achieves The national guidelines and has higher hydraulic conductivity than conventional permeable concrete, making it an attractive option for urban pavement.

Keywords: Permeable concrete; Concrete residue; Hydraulic conductivity; Urban paving; Civil construction.

1 INTRODUÇÃO

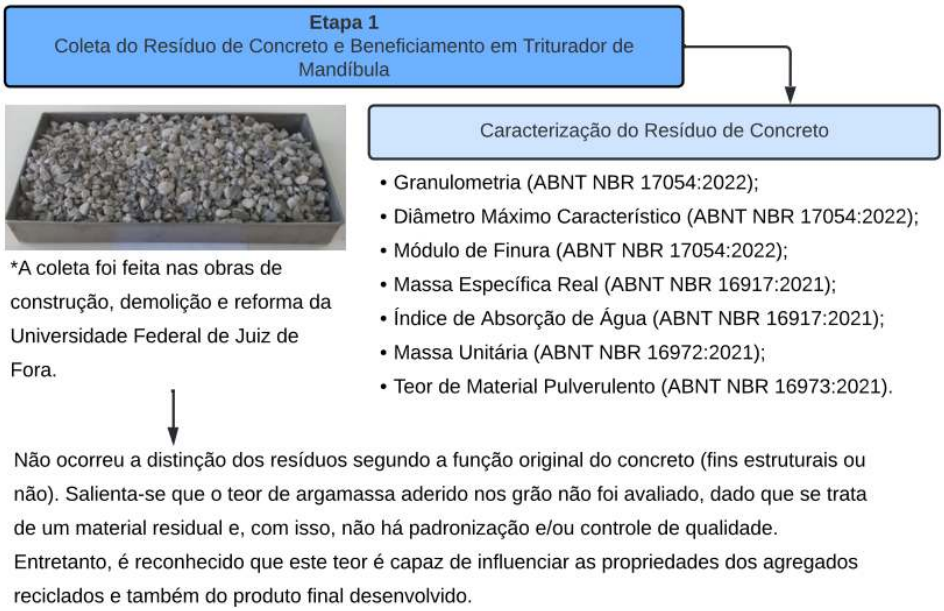
Os resíduos sólidos da construção civil, resultantes da construção, renovação e demolição de edifícios (SALGADO; SILVA, 2022), representam 36% do total de resíduos produzidos na Terra (ISWA, 2015), sendo que a maior parte é composta por resíduos de concreto (RC). O descarte inadequado desses resíduos em aterros ocupa grandes áreas de solo, altera a paisagem local (ZHANG *et al*., 2022), afeta a fauna, a flora e podem poluir e assorear rios e lençóis freáticos. Além disso, a construção civil também causa danos ambientais pela exploração e uso de agregados naturais na produção do concreto (CARVALHO *et al*., 2023), que corresponde a cerca de 700 milhões de toneladas/ano no Brasil (ANEPAC, 2013). A ocupação irregular de áreas naturais é outro fator que impacta e causa danos a sociedade devido a impermeabilização do solo que aumenta a velocidade superficial das águas e possibilita o transporte de resíduos sólidos para corpos d'água, resultando em enchentes e afetando toda a população (SANTOS; RUFINO; BARROS FILHO, 2017). Pode-se citar como exemplo, as enchentes ocorridas em janeiro de 2023, no Bairro Santa Luzia, em Juiz de Fora-MG, onde carros foram arrastados pela correnteza (G1, 2023), ou no Morro do Bumba, em Niterói-RJ, que após fortes chuvas houve um deslizamento que resultou no óbito de 48 pessoas em 2010 (G1, 2020).

A adoção de práticas que permitam a reutilização de RC na produção de pavimentos permeáveis pode atenuar a responsabilidade da construção civil diante da impermeabilização do solo, bem como reduzir o elevado índice de extração de recursos naturais e a quantidade de resíduos sólidos gerados. A literatura dispõe do reaproveitamento de RC para produção de painéis sanduiches (ASSAAD; MIKHAEL; HANNA, 2022), de tijolos prensados (SOUZA; SEGANTINI; PEREIRA, 2008) e sobre o aspecto de agregados para outros concretos, no que tange a avaliação de sua durabilidade e também ao percentual de argamassa residual intrínseca (SILVA; CAPUZZO, 2020; TAM *et al*., 2021). Notam-se estudos relativos à produção de concretos permeáveis a partir do uso de RC em conjunto com outros materiais residuais, como o vidro e a escória (LIN; WU, 2022; EL-HASSAN *et al*., 2023). Relativo aos concretos permeáveis, salienta-se que a argamassa residual de natureza porosa encontrada no RC possui alta absorção de água, variando de 3% a 12%, em comparação com 1% a 5% do agregado natural, o que pode afetar as propriedades do concreto confeccionado (TAM *et al*., 2021). Assim, o objetivo deste estudo é desenvolver um concreto permeável para uso na pavimentação urbana, com análises de acordo com as perspectivas de sua composição, resistência mecânica e condutividade hidráulica. Para isso, o agregado graúdo natural foi substituído pelo RC. Até o momento, são escassos os estudos na literatura que abordem essa temática, tão pouco diante das perspectivas de análises propostas.

2 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em 5 etapas, a saber: Etapa 1 – Coleta do Resíduo de Concreto e Beneficiamento em Triturador de Mandíbula (Figura 1); Etapa 2 – Dosagem e Produção dos Concretos Permeáveis (Figura 2); Etapa 3 – Moldagem dos Corpos de Prova e Peças de Concreto Permeável (Figura 3); Etapa 4 – Cura dos Corpos de Prova e Peças de Concreto Permeável (Figura 4); Etapa 5 – Caracterização do Concreto Permeável (Figura 5). Para a apresentação dos resultados foi utilizado o valor médio do número de corpos de prova adotado em cada ensaio.

Figura 1: Primeira etapa do processo metodológico



Fonte: Autores (2023)

Figura 2: Segunda etapa do processo metodológico

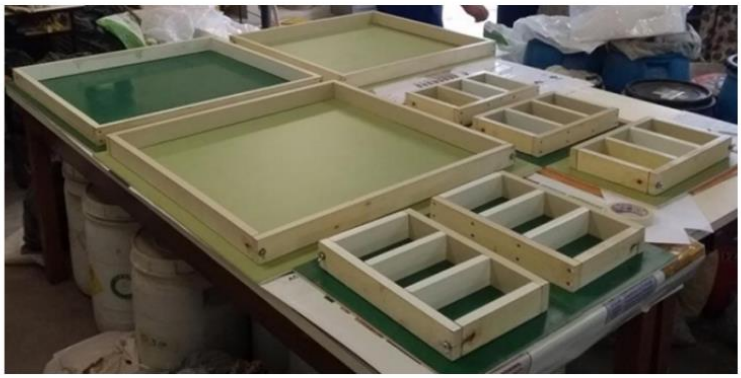


Fonte: Autores (2023)

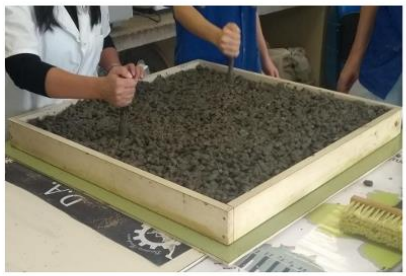
Figura 3: Terceira etapa do processo metodológico

Etapa 3
Moldagem dos Corpos de Prova e Peças de Concreto Permeável

- Corpos de Prova Cinlíndricos (ABNT NBR 5738:2016);
- Corpos de Prova Primáticos (ABNT NBR 12142:2010);
- Produção de formas de compensado de madeira revestidas com laminado melamínico, no formato de pavimento intertravado e de placas para avaliar o processo de condutividade hidráulica do concreto permeável:



Moldadas e compactadas com auxílio de soquete metálico



*As placas foram moldadas em espessura de 60 mm e 80 mm
Fonte: Autores (2023)

Figura 4: Quarta etapa do processo metodológico

Etapa 4
Cura dos Corpos de Prova e Peças de Concreto Permeável

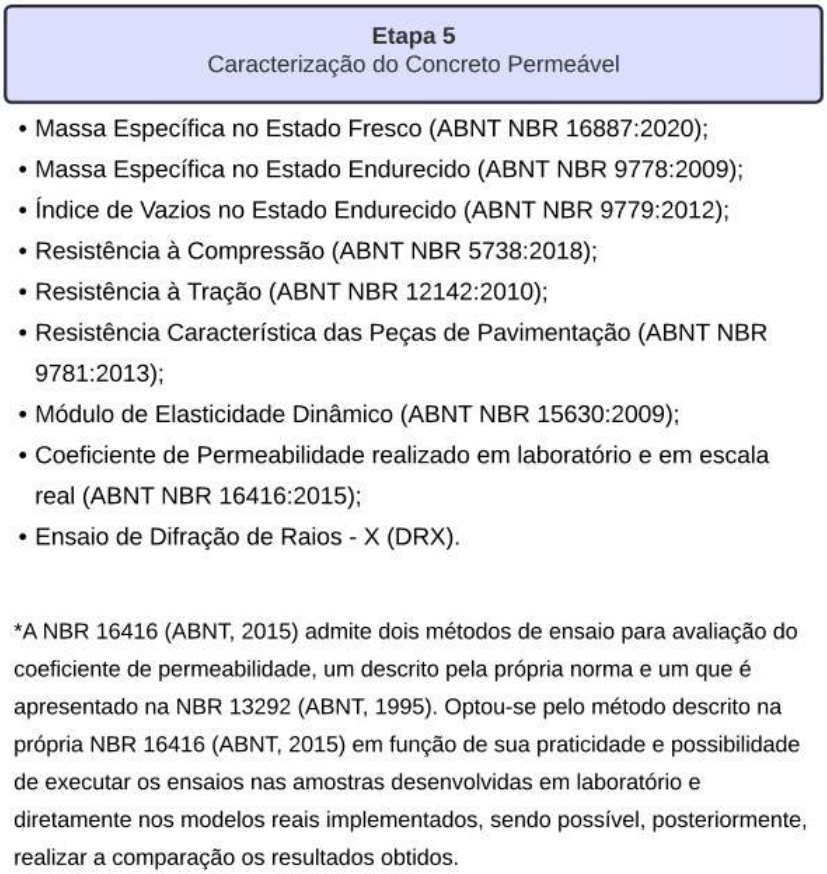
- Cura ocorreu em câmera úmida e os corpos de prova e peças de concreto permeáveis foram cobertos por panos úmidos e mantidos à saturação constante para impedir a perda de água da mistura.





Fonte: Autores (2023)

Figura 5: Quinta etapa do processo metodológico



Fonte: Autores (2023)

Os ensaios de caracterização apresentados na Figura 5 foram executadas em diversas amostras; o quantitativo total de amostras por ensaio é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Número de amostras utilizadas em cada ensaio de caracterização do concreto permeável

Ensaios	Número de Amostras
Massa Especifica no Estado Fresco	4 concretagens
Massa Específica no Estado Endurecido	12 CPs
Índice de Vazios no Estado Endurecido	12 CPs
Resistência à Compressão aos 28 dias	12 CPs
Resistência à Tração aos 28 dias	4 CPs
Resistência Característica das Peças de Pavimentação Intertravada aos 28 dias	30 CPs
Módulo Elástico Dinâmico	12 CPs
Coeficiente de Permeabilidade (em laboratório – placa de 60 mm de espessura)	3 placas
Coeficiente de Permeabilidade (em laboratório – placa de 80 mm de espessura)	3 placas
Coeficiente de Permeabilidade (em escala real – peça moldada diretamente no solo)	1 reprodução
Coeficiente de Permeabilidade (em escala real – peça intertravada no passeio)	1 reprodução

*CPs = Corpos de Prova

Fonte: Autores (2023)

No ensaio de coeficiente de permeabilidade em escala real, o desempenho do concreto foi avaliado *in loco* através da criação de uma vaga com dimensões de 2,5 x 5,0 m e profundidade de 100 mm (Figura 6), destinada ao tráfego leve de veículos, e por meio de pisos intertravados, de espessura de 60 mm para tráfego de pedestres (Figura 7), conforme especificado na norma NBR 16416 (ABNT, 2015).

Figura 6: Concreto permeável aplicado em vaga de veículos leves



Fonte: Autores (2023)

Figura 7: Concreto permeável aplicado em pisos intertravados em pavimento para pedestres

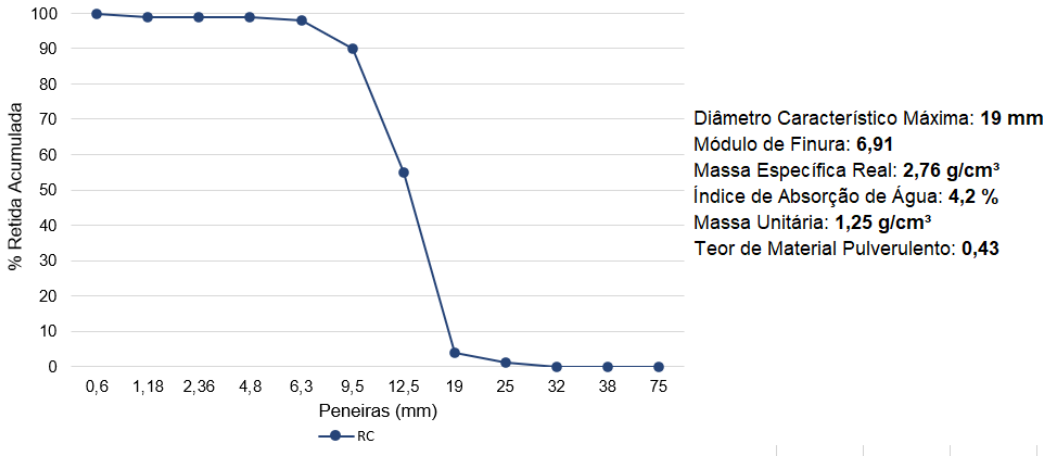


Fonte: Autores (2023)

3 RESULTADOS E ANÁLISES

Na Figura 8, é possível observar a caracterização do RC. O agregado reciclado apresenta uma graduação uniforme, especialmente entre as peneiras 6,3 mm e 19 mm, e possui valores baixos de módulo de finura e teor de material pulverulento, indicando que é adequado para uso como agregado graúdo. O índice de absorção de água é de apenas 4,2%, o que significa que os poros do material podem ser saturados rapidamente e que a água pode fluir com facilidade pelo concreto produzido, permitindo maior desempenho de sua condutividade hidráulica.

Figura 8: Resultado dos ensaios de caracterização do RC



Fonte: Autores (2023)

Na Tabela 2, estão apresentados resultados da caracterização do concreto permeável e seus respectivos coeficientes de variação. A massa específica no estado fresco encontra-se dentro da faixa de valores (1300 kg/m³ a 2000 kg/m³) descrita na literatura para concretos permeáveis (TENNIS *et al*., 2004), enquanto a massa específica no estado endurecido está próxima do limite superior desta faixa. O índice de vazios de 19,54% indica que o material é poroso, porém sem comprometer suas propriedades mecânicas. Valores acima de 30%, que caracterizam um material altamente poroso, também indicam níveis inferiores de resistência à compressão (RIZVI *et al*., 2010). Nesse aspecto, a resistência à compressão obtida, de 17,65 MPa, é superior a outras resistências encontradas na literatura para concretos permeáveis, tais como: 10 MPa (GOEDE, 2009); 6,02 MPa e 10,17 MPa (BATEZINI, 2013), 7,0 MPa (VIDAL, 2014); 10,8 (BHUTTA et al, 2013); 9,1 e 16,6 MPa (ALVES, 2016). A norma ACI 522R-10 (ACI, 2010) determina que o concreto permeável deve possuir entre 2,8 e 28MPa de resistência a compressão. Assim, o concreto desenvolvido neste estudo atende a norma americana, porém, possui uma resistência intermediária, dado que esta norma caracteriza a resistência máxima de um concreto permeável como 28 MPa.

A resistência à tração foi de 2,08 MPa, o que supera os 2 MPa exigidos pela NBR 16416 (ABNT, 2015) para revestimento de pavimento de concreto permeável moldado in loco. Além disso, a resistência à compressão da peça de concreto permeável intertravada contempla a NBR 16416 (ABNT, 2015), com um valor obtido de 23,98 MPa, que está acima do valor mínimo de 20 MPa estabelecido pela norma para essa propriedade em peças intertravadas.

Entre os resultados, destaca-se o módulo de elasticidade dinâmico de 13,42 GPa, o qual é inferior aos valores conhecidos pela literatura para concretos permeáveis convencionais, que são em torno de 28 GPa (BATEZINI, 2013). Esse fenômeno pode ser explicado pela composição porosa do agregado graúdo de resíduo de concreto utilizado. Como a composição do concreto permeável não é homogênea e não há continuidade de massa, os vazios não são uniformemente distribuídos nem padronizados em relação ao volume e à sua localização. Por esses fatores, o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico não é relevante para a caracterização do compósito. Essa constatação é ratificada pela ausência desse critério na NBR 16416 (ABNT, 2015), que estabelece os requisitos e especificações exclusivos para pavimentos permeáveis de concreto.

Os valores obtidos para o coeficiente de permeabilidade das placas foram de 0,90 cm/s para uma espessura de 60 mm e 1,79 cm/s para 80 mm de espessura, o que supera o requisito mínimo de 0,10 cm/s estabelecido pela NBR 16416 (ABNT, 2015) e também ultrapassa os valores encontrados na literatura para concretos permeáveis, como os de Shaefer *et al.* (2006), com 0,04 cm/s e 1,45 cm/s, e de Montes e Haselbach (2006), com 0,01 cm/s e 1,19 cm/s. Alves (2016), ao desenvolver um concreto permeável por meio do uso de agregados reciclados da construção e demolição, obteve coeficientes de permeabilidade de 1,19 cm/s e 2,24 cm/s, que são superiores aos obtidos e aferidos em literaturas provenientes dos concretos permeáveis convencionais. Esses resultados indicam uma possível influência positiva que o uso de agregados reciclados exerce na composição do concreto permeável, viabilizando maior condutividade hidráulica nas peças produzidas. Salienta-se que o resultado obtido pelo presente estudo para o coeficiente de permeabilidade em peças em escala real foi superior aos valores obtidos em uma ensaios controlados no laboratório, com 2,46 cm/s e 3,03 cm/s, o que demonstra a aplicabilidade deste como constituinte de pavimentos permeáveis em áreas urbanas. Para melhor apuração e análise dos resultados, é necessário compará-los com os resultados

obtidos por concretos desenvolvidos a partir do mesmo traço deste estudo, porém com o uso de agregados naturais. Isto, no entanto, é uma limitação da presente pesquisa, sendo uma sugestão para estudos futuros.

Tabela 2: Resultado dos ensaios de caracterização do concreto permeável

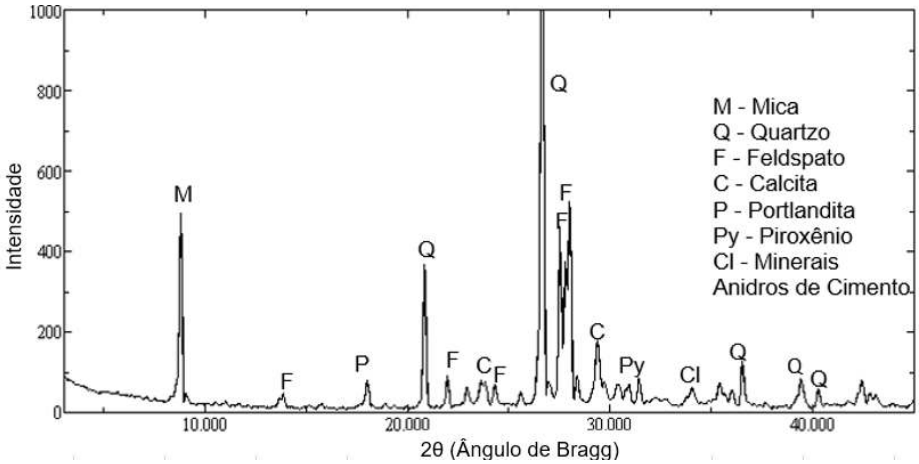
Ensaios	Resultados	Coeficiente de Variação
Massa Especifica no Estado Fresco	1677,4 kg/m³	2,32 %
Massa Específica no Estado Endurecido	2006,6 kg/m³	5,20 %
Índice de Vazios no Estado Endurecido	19,56%	36,46 %
Resistência à Compressão aos 28 dias	17,65 MPa	16,79 %
Resistência à Tração aos 28 dias	2,08 MPa	4,45 %
Resistência Característica das Peças de Pavimentação Intertravada aos 28 dias	23,98 MPa	17,60 %
Módulo Elástico Dinâmico	13,41 GPa	13,52 %
Coeficiente de Permeabilidade (em laboratório – placa de 60 mm de espessura)	0,90 cm/s	50,89 %
Coeficiente de Permeabilidade (em laboratório – placa de 80 mm de espessura)	1,79 cm/s	28,25 %
Coeficiente de Permeabilidade (em escala real – peça moldada diretamente no solo)	2,46 cm/s	Não se aplica
Coeficiente de Permeabilidade (em escala real – peça intertravada no passeio)	3,03 cm/s	Não se aplica

Fonte: Autores (2023)

A Figura 9 apresenta a análise cristalográfica do concreto permeável desenvolvido, identificando fases cristalinas vinculadas aos minerais mica, quartzo, feldspato, calcita, Portlandita, piroxênio e minerais anidros do cimento. O cimento usado no estudo é composto de óxido de cálcio livre, o que se relaciona com as fases cristalinas da calcita, Portlandita e minerais anidros. Os demais minerais identificados estão relacionados ao agregado de RC e são caracterizados por uma elevada dureza (KLEIN; DUTROW, 2011), o que contribui para a resistência mecânica do concreto permeável.

Embora os resultados obtidos indiquem que o RC pode ser utilizado como agregado graúdo em concretos permeáveis, não há um controle da qualidade dos resíduos no Brasil. Assim, as características físicas, químicas e mineralógicas podem variar entre as regiões do país, o que pode afetar as propriedades mecânicas e condutividade hidráulica do concreto.

Figura 9: Fases cristalinas obtidas do concreto permeável



Fonte: Autores (2023)

4 CONCLUSÕES

O objetivo deste estudo foi cumprido ao desenvolver um concreto permeável com substituição integral do agregado graúdo natural pelo RC e analisar sua composição, resistência mecânica e condutividade hidráulica. Notou-se que o RC pode contribuir positivamente para as propriedades do concreto, possuindo desempenho superior ao estipulado pela NBR 16416 (ABNT, 2015) para concretos permeáveis convencionais. Entretanto, para averiguar melhor esta constatação, é necessário comparar os resultados obtidos com o de um concreto permeável de mesmo traço, mas constituído de agregado natural. O concreto desenvolvido mostrou-se aplicável como material para pavimentos permeáveis, permitindo a infiltração de água no solo e contribuindo para reduzir os problemas decorrentes da impermeabilização causada pela urbanização em áreas extensas. Um dos desafios identificados na utilização do RC é a falta de padronização dos resíduos disponíveis no Brasil. Atualmente, não é possível afirmar com certeza que todos os RCs irão funcionar como agregados graúdos

para concretos permeáveis, devido à grande variabilidade de características químicas, físicas e mineralógicas desses resíduos. Para tornar a utilização de resíduos uma prática comum na sociedade, é crucial que o poder público, a indústria e a academia trabalhem em conjunto para desenvolver métodos efetivos para padronização das características dos resíduos produzidos. Espera-se com este estudo incentivar a adoção dos resíduos nos produtos da construção civil e, com isso, contribuir para o desenvolvimento sustentável do país.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto (PROPEC), à Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPPI-UFOP) e à Universidade Federal de Juiz de Fora. Agradecemos também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento de bolsa de doutorado de Aldo Ribeiro de Carvalho. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

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 em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, p. 90, 2016.

ANEPAC. Anuário 2013. **ANEPAC**, 2013. Disponível em: https://www.anepac.org.br/publicacoes/anuario. Acesso em: 11 Mai 2023.

ASSAAD, Joseph J.; MIKHAEL, Charbel; HANNA, Ralph. Recycling of waste expanded polystyrene concrete in lightweight sandwich panels and structural applications. **Cleaner Materials**, v. 4, 2022. doi: https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100095

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12142:** Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010

_____. **NBR 13292:** Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 15630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **NBR 16887:** Concreto – Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 16917:** Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16972:** Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16973:** Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 17054:** Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa especifica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 9781:** Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **Committee 522. ACI 522R-10: Pervious Concrete**. Farmington Hills, Michigan, 40 p. 2010.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos pra áreas de veículos leves.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 133, 2013.

BHUTTA; Muhammad Aamer Rafique; HASANAH, Nor; Farhayu Nur; Hussin Mohd Warid; TAHIR, Mahmood bin Md; MIRZA, J. Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycle aggregate). **Construction and Building Materials**, v. 47, p. 1243-1248. doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.022.

CARVALHO, A. R. de; SILVA JÚNIOR, G. da.; FONTES, W. C.; SILVA, G. J. B.; PEDROTI, L. G.; OLIVEIRA, T. M. de Influência do efeito fíler do pó de mármore na produção de concretos para pavimentos intertravados. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 4, p. 217-239, out./dez. 2023.

EL-HASSAN, Hilal; KIANMEHR, Peiman; TAVAKOLI, Davoud; EL-MIR, Abdulkader; DEHKORDI, Rahbar Sakenian. Synergic effect of recycled aggregates, waste glass, and slag on the Properties of pervious concrete. **Developments in the Built Environment**, v. 15, oct 2023. doi: https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100189

G1. Nível do córrego de Santa Luzia baixa, mas moradores reclamam das constantes enchentes em Juiz de Fora: 'Qualquer chuva tá acabando com tudo'. **G1**, 2023. Disponivel em: https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2023/01/25/nivel-do-corrego-de-santa-luzia-baixa-mas-moradores-reclamam-das-constantes-enchentes-em-juiz-de-fora-qualquer-chuva-ta-acabando-com-tudo.ghtml. Acesso em: 09 Mai 2023.

G1. Tragédia do Morro do Bumba, em Niterói, completa 10 anos sem entrega de moradias às famílias. **G1**, 2020. Disponivel em: https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/04/30/tragedia-do-morro-do-bumba-em-niteroi-completa-10-anos-sem-entrega-de-moradias-as-familias.ghtml. Acesso em: 09 Maio 2023.

GOEDE, William Gunter. **Pervious Concrete: Investigation into Structural Performance and Evaluation of the Applicability of Existing Thickness Design Methods**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil e Meio Ambiente, Washington State University, Washington DC, p. 198, 2009.

ISWA. **To Promote and Develop Sustainable and Professional Waste Management Worldwide and the transition to a Circular Economy**. ISWA, 2015. Disponível em: https://www.iswa.org/. Acesso em: 11 Mai 2023

LIN, Lang; WU, Bo. Water permeability behavior of recycled lump;aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 323, 2022. doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126508

MONTES, Felipe; HASELBACH, Liv. Measuring Hydraulic Conductivity in Pervious Concrete. **Envirnmental Engineering Science**, v. 23, n. 6, 2006. doi: https://doi.org/10.1089/ees.2006.23.960

RIZVI, Rabiah; TIGHE, Susan; HENDERSON, Vimy; NORRIS, Jodi.Evaluationg the Use of Recycled Concrete Aggregate in Pervious Concrete Pavement. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v.2164, n.1, 2010. doi: https://doi.org/10.3141/2164-17

SALGADO, Fernanda de Andrade; SILVA, Flávio de Andrade. Recycled aggregates from construction and demolition waste towards na application on structural concrete: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 52, 2022. doi: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104452

SANTOS, Karla Azevedo; RUFINO, Iana Alexandra Alves; BARROS FILHO; Mauro Normando Macêdo. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, 2017. doi: https://doi.org/10.1590/S1413-41522016146661

SHARFER, Vernon R.; WANG, Keijin; SULEIMAN, Muhannad T.; KEVERN, John T. **Mix Design Development for Pervious Concrete In Cold Weather Climates**. Final Report, Civil Engineering, NationalConcrete Pavement Technology Center, Iowa State University, Ames, IA, USA, 2006.

SILVA, Carla Mabel Medeiros de Albuquerque; CAPUZZO, Valdirene Maria Silva. Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregados de resíduo de concreto utilizando a abordagem de mistura dois estágios. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v.25, n.1, 2020. doi: https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0882

SOUZA, Márcia I. B.; SEGANTINI, Antonio A. S.; PEREIRA, Joelma A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 205-212, 2008.

TAM, Vivian W. Y.; SOOMRO, Mahfooz; EVANGELISTA, A. C. J; HADDAD, A. Deformation and permeability of recycled aggregate concrete – A comprehensive review. **Journal of Building Engineering**, v. 44, 2021. doi: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103393

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

VIDAL, Almir dos Santos. **Caracterização de concreto permeável produzido com agregados reciclados de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 131, 2014.

ZHANG, Tianyue; ZHANG, Di; ZHENG, Dongyang; GUO, Ziaoyu; ZHAO, Wenji. Construction waste landfill volume estimation using ground penetrating radar. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, v. 40, n. 8, p.1167-1175, 2022. doi: https://doi.org/10.1177/0734242x221074114