

## ARGAMASSA PERMEÁVEL COM ADIÇÃO DE PARAFINA E POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO (EPS)

Júlia N. Ronés<sup>1</sup>, Geórgia S. Araújo<sup>2</sup>, Rosana V. da Silva,<sup>3\*</sup> e Fernanda B. Deleprani<sup>3</sup>

1 – Coordenadoria de Metalurgia, Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), Vitória, ES.

2 – Coordenadoria de Edificações, Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), Vitória, ES.

3 – Programa de pós-graduação em Tecnologias Sustentáveis (PPGTECS), Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), Av. Vitória, 1729, Jucutuquara, Vitória, CEP CEP 29040-780, ES.

[rosanavilarim@gmail.com](mailto:rosanavilarim@gmail.com)

### RESUMO

A proposta deste estudo consiste em desenvolver uma argamassa com adição de parafina e poliestireno expandido reciclado (EPS) para ser utilizada posteriormente na confecção de blocos intertravados de pavimentação permeáveis. Para tal foram moldados corpos de prova (cps) prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm), com substituição de 5, 10, 15 e 20% da areia por parafina ou EPS, além de cp's de referência. Foi utilizado um traço de 1:4 e relação a/c de 0,35 empregando areia de rio com granulometria de: 80% de agregado na faixa #4,8-2,4mm e 20% de agregado na faixa #1,2-0,6mm. A parafina e o EPS substituíram parcialmente o agregado da maior faixa granulométrica (#4,8-2,4mm). Após a cura úmida por 28 dias, os cp's foram aquecidos em estufa a 80°C por 24h para eliminação da parafina e do EPS com consequente formação de vazios e, na sequência, foram ensaiados em compressão. Apenas as argamassas com 5% (parafina ou EPS) e 10% de EPS apresentaram desempenho superior à argamassa de referência. Sendo assim, o percentual de 5% foi escolhido para a confecção de blocos intertravados (20 x 10 x 6 cm) e de corpos de prova cilíndricos (20 cm x 10 cm), utilizados para o ensaio de permeabilidade. Com relação a resistência a compressão nenhum dos traços atendeu ao mínimo exigido pela norma para este tipo de produto (NBR 16416:2015), que é de 20,0 MPa. Já o coeficiente de permeabilidade foi da ordem de  $10^{-2}$  m/s, bem acima do mínimo exigido que é de  $10^{-3}$  m/s (NBR 16416:2015) sendo, portanto, considerados permeáveis. Dado que o coeficiente de permeabilidade dos blocos foi bem acima do mínimo exigido pela norma há margem para se aumentar a resistência mecânica das argamassas, alterando a distribuição granulométrica, sem perda da permeabilidade.

**Palavras-chave:** pavimento permeável, argamassa, parafina, poliestireno expandido.

### INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das cidades, descarte inadequado de lixo, desmatamento e falta de gestão integrada no planejamento urbano são os principais fatores que impactam os processos hidrológicos. Contudo, uma das principais causas das inundações é a impermeabilização do solo. O uso de técnicas e materiais convencionais para construção de edificações, estradas e pontes têm um impacto negativo sobre o meio ambiente visto que estes geram uma superfície impermeável que funciona como uma barreira para a percolação da água<sup>(1)</sup>.

O pavimento permeável surge como uma alternativa para lidar com os passivos ambientais da impermeabilização do solo. Aumenta o tempo de escoamento da água da chuva, reduz a necessidade de sistemas de coleta e retenção de água, diminui os ruídos entre pneu e pavimento e reabastece os aquíferos. Além disso aumenta significativamente a qualidade da água drenada reduzindo a quantidade de metais pesados dissolvidos e concentrações de chumbo, zinco e cobre<sup>(2)</sup>.

Os pavimentos permeáveis são conseguidos com uma granulometria específica do agregado<sup>(3)</sup>, e sua permeabilidade ocorre devido aos espaços vazios na estrutura. Um maior volume de vazios favorece a permeabilidade, porém acarretam menor resistência mecânica. A porosidade fica em torno de 11 a 35% nos pavimentos de concreto<sup>(3,4)</sup>. Para um bom desempenho há de se considerar a relação mais adequada entre porosidade e resistência mecânica.

Na literatura são encontrados vários trabalhos sobre pavimentos permeáveis utilizando materiais alternativos, particularmente resíduos, tais como EPS reciclado e borracha de pneu<sup>(5,6)</sup>, resíduos de construção e demolição, RCD<sup>(7)</sup>, lascas de pneu<sup>(8)</sup>, dentre outros. Nem todos conseguem alcançar a resistência a compressão mínima, de 20,0 MPa, exigida pela norma ABNT NBR 16416:2015 - Pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos<sup>(9)</sup>, tendo em vista a dificuldade de garantir a permeabilidade com resistência mecânica adequada. Diante dos estudos já realizados e da situação crítica do nosso país em períodos de chuvas, a proposta deste trabalho é utilizar a parafina e o EPS como elementos geradores de vazios em argamassas permeáveis para a produção de blocos de pavimentação permeáveis. Os vazios são gerados após o aquecimento dos blocos, que promove a fusão da parafina e degradação do EPS.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### Materiais

Para a condução desse trabalho foram empregados os seguintes materiais: cimento CP III 40RS da LafargeHolcim, areia de rio doce do tipo quartzosa com granulometria específica, água fornecida pela concessionária de abastecimento local, poliestireno expandido reciclado, obtido em uma Cooperativa de Catadores da cidade de Vitória/ES e parafina em grãos adquirida no comércio local de Vitória – ES, em lojas de artesanato.

### Métodos

A areia foi inicialmente peneirada para seleção das faixas granulométricas desejadas. Após a separação a areia foi misturada para formar a seguinte composição: 80% de agregado na faixa # 4,8-2,4 mm (areia grossa) e 20% de agregado na faixa # 1,2-0,6 mm (areia fina). Essa composição granulométrica foi definida com base na literatura. A parafina e o EPS foram utilizados substituindo parcialmente a areia grossa (# 4,8-2,4 mm), sendo assim, passaram por peneiramento para garantir que a granulometria estivesse compatível.

Seguindo as recomendações da NBR NM 52:2009<sup>(10)</sup> a massa específica unitária do EPS e da parafina foram determinados obtendo-se os valores de 0,011 g/cm<sup>3</sup> e 0,444 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Vale citar que a norma NBR NM 52:2009<sup>(10)</sup> foi substituída pela NM 16916:2021<sup>(11)</sup>.

Foi empregado o traço 1:4 com relação a/c de 0,35, definido com base na literatura. Os seguintes traços foram elaborados: traço de referência, traços com EPS (5%, 10%, 15% e 20%) e traços com parafina (5%, 10%, 15% e 20%). Devido a diferença de massas específicas da areia, parafina e EPS, foi efetuada a equivalência de volumes. Para cada traço foi retirado determinado percentual em massa de areia e verificado o seu volume. Esse volume foi substituído pelo volume equivalente do material substituinte (EPS ou parafina).

Foram moldados corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm) seguindo as recomendações da norma NBR 16738:2019<sup>(12)</sup>. Estes foram ensaiados para a determinação da resistência à flexão de acordo com a norma NBR 13279:2005<sup>(13)</sup>. Antes do ensaio todos os corpos de prova foram aquecidos em estufa na temperatura de 80°C por um período de 8h para a degradação da parafina e do EPS.

Para a confecção dos blocos intertravados foram selecionados os traços que apresentaram o melhor desempenho no ensaio de flexão. A moldagem dos blocos (20 x 10 x 6 cm), seguiu a norma NBR 12821:2009<sup>(14)</sup> sendo moldados seis blocos para cada traço além de um corpo de prova cilíndrico, utilizado para o ensaio de permeabilidade (10 cm x 20 cm). Após a cura úmida foi feita a inspeção visual e análise dimensional dos blocos seguindo a norma NBR 16416:2015<sup>(9)</sup>.

O ensaio de resistência à compressão dos blocos foi realizado aos 28 dias de cura, seguindo as recomendações da NBR 16416:2015<sup>(9)</sup>. No momento do ensaio as peças estavam saturadas em água por, no mínimo, 24h e as superfícies capeadas. O ensaio de permeabilidade seguiu o procedimento descrito por Melo<sup>(15)</sup>. Foi medido o tempo gasto pela água para percolar através do material sendo feitas duas medições para cada corpo de prova utilizando 1kg e 2kg de água. O coeficiente de permeabilidade é obtido pela equação A:

$$k = \frac{c.m}{d^2.t} \quad (A)$$

onde:

c = constante para conversão de unidade do sistema SI, com valor igual a 4.583.666.000

m = massa de água percolada (kg)

t = tempo necessário para a infiltração da massa de água (s)

d = diâmetro do corpo de prova (mm)

k = taxa de infiltração (mm/h)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão ( $R_c$ ) dos corpos de prova prismáticos são apresentados na Figura 1. Nota-se que o desempenho das argamassas com EPS foi superior às argamassas com parafina e a diferença entre os resultados é maior quanto maior o percentual desses materiais. As argamassas com 5% (parafina e EPS) e 10% de EPS apresentaram desempenho superior à argamassa de referência. A hipótese inicial era de que as argamassas com EPS e parafina teriam um maior número de vazios comparado a referência, logo, seria esperado redução na resistência à compressão, no entanto, essa hipótese não foi confirmada para as argamassas com baixo percentual de resíduo.

Considerando que as argamassas com 5% de parafina e 5% de EPS apresentaram o melhor desempenho, estas foram selecionadas para a confecção dos blocos de pavimentação e para a avaliação da permeabilidade.

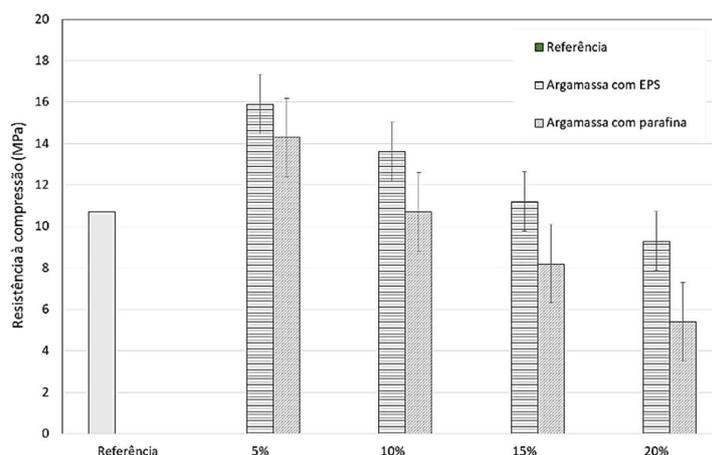


Figura 1: Gráfico comparativo da resistência à compressão média das argamassas com EPS, com parafina e de referência.

Os resultados dos ensaios de permeabilidade e de resistência à compressão dos blocos são apresentados na Tabela 1. Conforme a NBR 16416:2015<sup>(9)</sup>, para ser considerado permeável, o pavimento precisa apresentar um coeficiente de permeabilidade  $\geq 10^{-3}$  m/s. Os três traços avaliados atenderam a esse requisito. Os coeficientes de permeabilidade das argamassas de referência e com 5% de EPS são muito próximos, já a argamassa com parafina apresenta um coeficiente um pouco maior, o que indica maior percolação de água, corroborando com os resultados do ensaio de compressão apresentado na Figura 1. A argamassa com parafina tem, provavelmente, maior percentual de vazios o que aumenta a permeabilidade e consequentemente diminui a resistência à compressão.

Tabela 1: Coeficiente de permeabilidade das argamassas de referência, com 5% de EPS e com 5% de parafina. Obs. valores entre parênteses correspondem a um desvio padrão.

Traço	Coeficiente de permeabilidade (m/s)	Resistência à compressão dos blocos (MPa)
Argamassa de referência	1,04E-02	4,1 (1,19)
Argamassa com 5% de EPS	1,02E-02	5,2 (1,25)
Argamassa com 5% de parafina	1,62E-02	4,7 (0,63)

Como observado na Tabela 1, nenhum dos traços avaliados alcançou a resistência mínima de 20,0 MPa conforme norma NBR 16416:2015<sup>(9)</sup>. Os valores foram muito baixos quando comparados aos resultados dos corpos de prova prismáticos. O motivo do baixo desempenho pode estar relacionado a problemas de moldagem e desforma dos blocos, pelo fato da mistura ser muito seca, ou a quantidade de cimento empregada, que pode não ter sido suficiente para aglomerar os agregados, tendo então baixa aderência na zona de transição pasta-agregado. Em contrapartida, não houve perda de resistência à compressão dos blocos com EPS e parafina, quando comparados ao de referência, ou seja, a substituição parcial da areia por esses materiais não impactou de maneira significativa o desempenho mecânico das peças, como já observado no ensaio de compressão dos corpos de prova prismáticos, Figura 1. Considerando os desvios pode-se dizer que os valores estão na mesma faixa de magnitude.

Nenhum dos traços atendeu aos requisitos da norma NBR 16416:2015<sup>(9)</sup>, quanto à inspeção visual e avaliação dimensional dos blocos, tendo em vista a grande dificuldade na desforma dos blocos. Imagens da fratura dos blocos após o ensaio de compressão podem ser vistas na Figura 2. Pode ser observado, na Figura 2b, que o EPS não foi totalmente eliminado após o

aquecimento dos blocos de forma que não foram gerados os vazios esperados, o que corrobora com os resultados do ensaio de compressão dos corpos de prova prismáticos, que mostra maior resistência da argamassa com EPS, comparada a argamassa com parafina. Vale enfatizar que para o percentual de até 10%, o EPS promoveu aumento da resistência à compressão da argamassa (Figura 1).

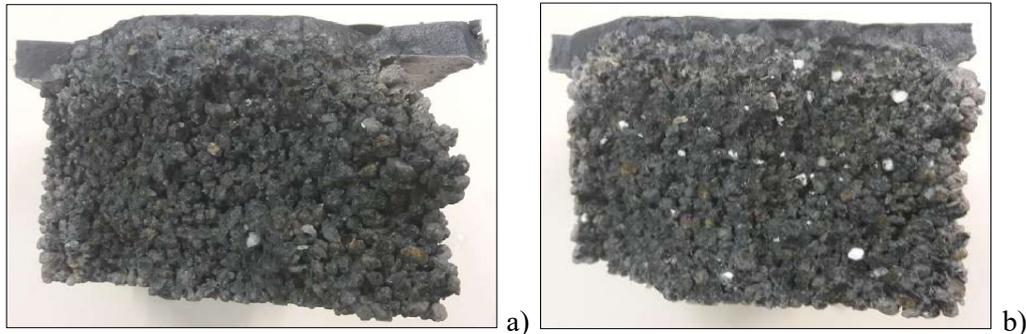


Figura 2: Fragmentos dos blocos após o ensaio de compressão. a) argamassa com 5% e parafina, b) argamassa com 5% de EPS. Obs: os pontos brancos na imagem são grânulos de EPS.

## CONCLUSÕES

Os blocos com EPS e/ou parafina não atenderam aos requisitos mínimos da norma para este tipo de produto, NBR 16416:2015<sup>(9)</sup>, no que se refere a resistência à compressão e análise dimensional, apesar de apresentarem alta permeabilidade.

O desempenho das argamassas com EPS, avaliado por meio dos ensaios dos corpos de prova prismáticos, foi superior às argamassas com parafina, sendo inclusive superior a argamassa de referência no percentual de até 10%.

O aquecimento das argamassas na temperatura de 80°C por 24h não foi suficiente para causar a completa eliminação do EPS conforme hipótese inicial.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – Fapes, pelo apoio financeiro por meio do Edital FAPES/CNPq n° 04/2017, e ao Instituto Federal do Espírito Santo pelo apoio técnico.

## REFERÊNCIAS

1. CHAITANYA, M.; RAMAKRISHNA, G. Enhancing the mechanical properties of pervious recycled aggregate concrete using silica fumes. *Materials Today: Proceedings*, v. 46, Part 1, p. 634-637, 2021.
2. EL-HASSAN, H.; KIANMEHR, P.; ZOUAOUI, S. Properties of pervious concrete incorporating recycled concrete aggregates and slag. *Construction and Building Materials*, v. 212, p. 164-175, 2019.
3. KASTRO K. V.; ANAND, K. B. Study on identically voided pervious concrete made with different sized aggregates. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 310, p.11, 2018.
4. COSIC, K.; KORAT L.; DUCMAN, V.; NETINGER, I. Influence of aggregate type and size properties of pervious concrete. *Construction and Building Materials* 78. p. 69-76. 2015
5. ALVES, Camila dos Reis. Avaliação do comportamento higrotérmico de concretos produzidos com resíduos de borracha de pneu e poliestireno expandido para aplicação em paredes de concreto. 2020, 201p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia.

6. CARVALHO, C. H. R.; MOTTA, L. A. Estudo de concreto com poliestireno expandido reciclado. Estruturas e Materiais - IBRACON, v. 12, n. 6, p. 9, 2019
7. DOMENICO, P. Di; LIMA, T.T; CASTRO, R.M; CASTRO, M.N. Influência do agregado miúdo reciclado na resistência à compressão e porosidade do concreto. Revista Internacional de Ciências. v.8, p.129-147, 2018.
8. JUNIOR, R. O. M.; SANTOS, M.F.; FREITAS, M.S.; LAVOR, D. A. The technical feasibility of the use of rubber chips in the production of permeable concrete for urban paving – case study. Journal of Engineering and Tecnology for Industrial Applications. v.5, n.19, p. 184-191, 2019.
9. \_\_\_\_\_. NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto: requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. 25p.
10. \_\_\_\_\_. NM 52: Agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009. 6p.
11. \_\_\_\_\_. NM 16916: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro. 2021. 7p.
12. \_\_\_\_\_. NBR NM 16738: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro. 2019. 12p.
13. \_\_\_\_\_. NBR13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9p.
14. \_\_\_\_\_. NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento. Rio de Janeiro. 2009. 5p.
15. MELO, Willian Weber. Análise de diferentes ensaios de permeabilidade em concretos porosos. Universidade Federal De Santa Maria Centro de Tecnologia Departamento De Transportes Curso De Engenharia Civil. Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2017.

## **PERVIOUS MORTAR WITH PARAFFIN AND RECYCLED EXPANDED POLYSTYRENE (EPS)**

### **ABSTRACT**

*The purpose of this study is to develop a mortar with paraffin and recycled expanded polystyrene (EPS) to be used in the manufacture of permeable paving blocks. For this, prismatic specimens (cps) were molded (4 cm x 4 cm x 16 cm), with replacement of 5, 10, 15 and 20% of the sand by paraffin or EPS, in addition to reference cps. A mix of 1:4 and w/c ratio of 0.35 was used, using river sand with granulometry of: 80% of aggregate in the range #4.8-2.4 mm and 20% of aggregate in the range #1.2 -0.6 mm. Paraffin and EPS partially replaced the aggregate in the larger granulometric range (#4.8-2.4mm). After wet curing for 28 days, the cps were heated in an oven at 80°C for 24h to eliminate paraffin and EPS and form voids. Subsequently, the cps were submitted to compressive strength test. Only mortars with 5% (paraffin or EPS) and 10% EPS showed superior performance compared to reference mortar. Therefore, the percentage of 5% was chosen for the manufacture of interlocking blocks (20 x 10 x 6 cm) and cylindrical specimens (20 cm x 10 cm), used to permeability test. Regarding compressive strength, none of the mix met the minimum required by the standard for this type of product (NBR 16416:2015), which is 20.0 MPa. The permeability coefficient was in the order of 10-2 m/s, well above the minimum required, which is 10-3 m/s (NBR 16416:2015), so, the mortar is considered permeable. Since the permeability coefficient was well above the minimum required, it is possible to increase the mechanical strength of the mortars, changing the granulometric distribution, without loss of permeability.*

*Keywords: permeable pavement, mortar, paraffin, expanded polystyrene.*