



Avaliação do potencial de substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de poliestireno expandido (isopor) em argamassas

Evaluation of the potential for partial replacement of fine aggregate by expanded polystyrene residue (styrofoam) in mortars

Ciro Leite Pires¹, William de Paiva¹, Frankslale Fabian Diniz de Andrade Meira², Giselly Marilaide Galdino Farias³, Getúlio Carlos Leal Duarte², Laércio Leal dos Santos¹

¹ Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, Brasil

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, Brasil

³ Centro Universitário Maurício de Nassau, Campina Grande, Paraíba, Brasil

Contato: w.paiva@servidor.uepb.edu.br

Palavras-Chave

materiais alternativos
acústica
resíduos
valorização
meio ambiente

RESUMO

O descarte de resíduos no ambiente vem sendo um tema de interesse acadêmico, uma vez que vislumbra-se um potencial de investigação e desenvolvimento de tecnologias que minimizem seus impactos. O Poliestireno Expandido (EPS), conhecido como isopor, é comumente utilizado como material de embalagem devido às suas propriedades de isolamento térmico e proteção contra impacto, além de apresentar baixa densidade tornando as estruturas nas quais são aplicadas, mais leves. No entanto, o descarte inadequado do EPS pode levar a problemas ambientais, onde a sua baixa densidade leva a ocupação de uma área volumosa para sua acomodação, além de ter um tempo de decomposição natural por volta de 150 anos. Desta forma, o presente trabalho se propôs a analisar a viabilidade da incorporação de poliestireno expandido (EPS) na composição de argamassas como alternativa para substituição do agregado miúdo (areia) e assim utilizar um material alternativo no desenvolvimento de argamassas modificadas e com diferencial termoacústico. Para tanto, foram avaliadas as propriedades físicas de densidade, distribuição granulométrica, além das propriedades mecânicas de compressão e propriedades acústicas. Os resultados mostraram que a incorporação do resíduo de EPS proporciona uma diminuição na densidade da argamassa, tornando-a mais leve, além de trazer um bom desempenho acústico apresentando uma atenuação de ruído de até 24,5 dB. Em contrapartida, verificou-se que a adição de EPS na composição da argamassa reduz a sua resistência mecânica aos esforços de compressão e tração na flexão, sugerindo sua aplicação para fins não estruturais.

Key-word

alternative materials
acoustics
wastes
appreciation
environment

ABSTRACT

The disposal of waste in the environment has been a topic of academic interest, as there is potential for research and development of technologies to minimize its impacts. Expanded Polystyrene (EPS), commonly known as Styrofoam, is frequently used as packaging material due to its thermal insulation and impact protection properties, as well as its low density, making structures in which it is applied lighter. However, improper disposal of EPS can lead to environmental issues, as its low density occupies a large area for accommodation, and it has a natural decomposition time of around 150 years. Therefore, this study aimed to analyze the feasibility of incorporating expanded polystyrene (EPS) into mortar compositions as an alternative to replacing fine aggregate (sand), thus using an alternative material in the development of modified mortars with thermal and acoustic advantages. To this end, the physical properties of density, particle size distribution, as well as the mechanical properties of compression and acoustic properties were evaluated. The results showed that the incorporation of EPS waste reduces the density of the mortar, making it lighter, while also providing good acoustic performance, with noise attenuation of up to 24.5 dB. Conversely, it was found that adding EPS to the mortar composition reduces its mechanical strength to compressive and flexural tensile forces, suggesting its application for non-structural purposes.

Informações do artigo

Recebido: 11 de julho, 2023

Aceito: 16 de abril, 2024

Publicado: 30 de abril, 2024

Introdução

A gestão de resíduos sólidos, no Brasil, é um assunto de relevância e consolidada pela influência dos princípios, diretrizes e da sistemática inovadora apresentada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Lei nº 12.305), sancionada desde agosto de 2010. Desta forma, este assunto tornou-se foco tanto por parte do Poder público, quanto pela sociedade em geral.

As questões ambientais tomaram visibilidade devido aos impactos que são sentidos pela sociedade que reflete desde a escassez de recursos às mudanças nas paisagens e mudanças climáticas (PEREIRA e CURI, 2012). Desta forma, a sociedade acadêmica busca através desta problemática, apresentar soluções viáveis e que sejam capazes de trazer benefícios socioambientais e tecnológicos.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no documento intitulado como “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” (2022), aponta que a geração total de resíduos sólidos urbanos é de aproximadamente 27,7 milhões de toneladas. Ainda segundo a ABRELPE, o país apresenta um déficit na abrangência do serviço de coleta regular de 17% de cobertura, em que 4,7 milhões de t/ano seguem abandonadas no meio ambiente. A pesquisa ainda aponta que o Nordeste é a região brasileira com o menor índice de cobertura de coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU) no país, onde 63,3% dos resíduos sólidos gerados são destinados de maneira inadequada.

Os dados apresentam uma situação que necessita de tratativa, porém, apesar da Política Nacional de Resíduos Sólidos estar em vigência no país há de uma década, trazendo uma nova sistemática para a gestão de resíduos sólidos, os índices apresentados demonstram que ainda existe grandes dificuldades para se colocar em prática os avanços planejados quando da elaboração da PNRS. E isto é preocupante uma vez que a má gestão dos resíduos sólidos pode causar sérios impactos ambientais tais como: a poluição atmosférica, hídrica e do solo, além de danos à saúde humana.

Associado aos fatores dos impactos gerados pela disposição de resíduos, a exemplo do Poliestireno expandido (EPS), popularmente chamado de isopor, é possível evidenciar um outro problema atrelado à construção civil no que tange a exploração de areia das jazidas.

Com a restrição da extração em leitos de rios pelos órgãos fiscalizadores, tem sido explorada em lugares cada vez mais longínquos, o que onera dessa forma o preço do agregado. No Brasil, segundo a Lei Federal nº 7.805/1989, a exploração de recursos minerais, incluindo a areia, que estabelece a Política Nacional de Recursos Minerais. Essa lei define os princípios e diretrizes para a gestão e o aproveitamento sustentável dos recursos minerais, incluindo procedimentos para concessão de autorizações e licenças para exploração.

Desta forma, a utilização do EPS em substituição da areia traria o benefício de reduzir o processo de extração de matérias primas naturais, aumentando, portanto, a vida útil das jazidas.

O EPS, é um material que resulta da polimerização do monômero estireno seguido de sua expansão, e possui boa resistência mecânica, baixa densidade, além de propriedades de isolamento térmico e acústico, o tornando interessante aos métodos empregados na construção civil.

Entretanto, de acordo com Amianti (2005), o seu descarte não em sido realizado corretamente pelas indústrias, o que pode ocasionar danos ambientais. Mesmo ele apresentando viabilidade de ser reciclável e reaproveitável e quando depositado em aterros sanitários não causar contaminação do solo ou lençol freático, o seu descarte incorreto acarreta em ocupação em grande volume de aterros, como leva cerca de 150 anos para se decompor, acaba criando um grande problema ambiental por ocupar muito espaço por muito tempo, diminuindo a área útil dos aterros e lixões (BALBO e TOSTA, 2012).

A pesquisa sobre a incorporação de EPS reciclado em argamassas revela um campo promissor na construção civil sustentável. Esta abordagem inovadora propõe o uso do EPS reciclado como um substituto viável, tanto parcial quanto total, do agregado miúdo (areia) na produção de argamassas. Essa prática não apenas oferece potenciais melhorias nas propriedades mecânicas, térmicas e acústicas dos materiais, mas também apresenta uma oportunidade significativa para reduzir os impactos ambientais associados à geração de resíduos, reforçando assim os princípios da economia circular e da sustentabilidade na indústria da construção.

A aplicabilidade de EPS no desenvolvimento de produtos para a construção civil, com a perspectiva de melhorar propriedades termoacústicas e mecânica, tem sido foco de estudos a exemplo de Titarelle et al. (2016) e Prasittisopin et al. (2022), que utilizaram o EPS para desenvolver uma argamassa leve, com propriedades acústicas e térmicas interessantes para a aplicação na construção civil. Zang et al. (2023), estudou a melhoria do processo de mistura do EPS no concreto, com a finalidade de melhorar a dispersão do componente mais leve e assim garantir que o produto alcance propriedades mecânicas satisfatórias.

Nessa perspectiva, esse trabalho tem como principal objetivo avaliar o potencial de uso do EPS, na composição da argamassa de revestimento substituindo parcialmente a areia, de forma a analisar seu comportamento acústico na busca de propiciar uma contribuição no processo construtivo com a finalidade de promover sustentabilidade ambiental no âmbito da construção civil.

Material e Métodos

Para confecção dos protótipos foi utilizado o cimento tipo CP-II-Z-32, que além da disponibilidade local, suas características se adequam ao desenvolvimento de argamassas. O mesmo critério foi utilizado para areia e a água utilizada, que foi fornecida pela rede de abastecimento da cidade e está dentro dos padrões necessários para sua aplicação, com pH e propriedades físico-químicas compatíveis às matérias-primas que foram utilizadas para formulação da argamassa estudada.

O resíduo de EPS (Figura 1) foi coletado em cooperativas da cidade de Campina Grande-PB que utilizam o método da coleta seletiva. O resíduo foi submetido a beneficiamento por meio do processo de trituração e cominuição, resultando em uma granulometria média de aproximadamente 2,4 mm.

As misturas foram processadas em betoneira, utilizando-se um percentual em volume de 5, 10 e 15% de EPS, este percentual foi determinado a partir de pesquisas bibliográficas (MILLING et al., 2020; ZHANG et al., 2019), que se mostraram eficientes em termos de melhorias de propriedades mecânicas e acústicas. Ademais, foi levado em consideração a viabilidade técnica de incorporação do EPS a argamassa, tendo em vista o manuseio deste material de baixa densidade.

Figura 1. Resíduo de EPS triturado



Fonte: Autores (2023)

A análise granulométrica foi realizada conforme a ABNT NM 248 (ABNT, 2003). O peneiramento sob agitação mecânica por 15min. Ao fim do processo de peneiração foi determinada a massa da amostra retida em cada peneira.

O ensaio de densidade de massa no estado endurecido (28 dias) foi realizado conforme a norma NBR 13280 (ABNT, 2005), representando a relação entre a massa e o volume aparente da argamassa.

O valor da densidade de massa da argamassa é um indicativo da compactidade resultante da proporção de mistura agregado/aglomerante e da distribuição granulométrica do conjunto; determina indiretamente o volume de vazios incorporados pelos aditivos e a quantidade de água de amassamento perdida por evaporação.

Para a realização do ensaio da determinação da resistência a tração na flexão e a compressão axial seguiu-se a Norma NBR7215/2019: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.

Após a mistura e homogeneização das composições de argamassa, para avaliação do desempenho térmico em níveis superiores, a NBR 15575 (ABNT, 2013) foi usado em um protótipo em placa com

dimensões de (34,0 x 26,8 x 2,5) cm produzidas com as argamassas elaboradas (Figura 2).

Assim por meio do protótipo foi possível aferir diferença de temperatura entre as faces das placas e calcular a taxa de transferência de calor delas. Com o mesmo protótipo pôde-se avaliar o efeito de isolamento acústico ao utilizar as placas de argamassa modificadas.

Figura 2. Moldagem do protótipo de placa de argamassa



Fonte: Autores (2022)

Para realização desse ensaio foi adaptada a metodologia utilizada na pesquisa de Barros (2018), no qual uma caixa de EPS com dimensões internas de 71 cm comprimento, 46 cm de largura, 32 cm de altura e paredes com espessura de 4 cm, foi adaptada com divisão em duas câmaras com a placa de argamassa entre elas. Esse procedimento simula um ambiente fechado de uma edificação com revestimento, submetendo-o a uma fonte sonora para se avaliar a atenuação do ruído.

O ensaio para análise de conforto acústico, foi montado um esquema (Figura 4), composto por uma fonte de ruído associado a um decibelímetro, onde foi registrado o nível de ruído emitido pela fonte e após a placa de argamassa, foi posicionado um outro decibelímetro que registrava a atenuação cujo a placa gerava.

Os dados foram registrados para que uma análise referente a eficácia da argamassa modificada, quanto ao conforto acústico fosse averiguada.

Figura 3. Caixa adaptada do estudo de Barros (2018) montagem para esquema de análise acústica – Fonte de ruído + decibelímetro.

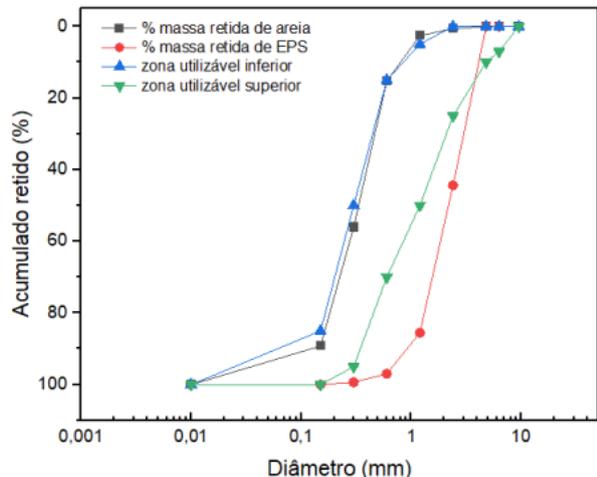


Fonte: Autores (2022)

Resultados e Discussões

Os resultados referentes ao ensaio de distribuição granulométrica da areia e do EPS foi representado em curva granulométrica (Figura 4), com os limites referenciados na NBR 7211(2019).

Figura 4. Curva granulométrica areia e do EPS



Fonte: Autores (2023)

Analisando a curva de distribuição granulométrica é possível perceber a adequação da areia dentro dos limites estabelecidos pela norma, entretanto, percebe-se o desvio sofrido pela distribuição dos grãos das partículas de EPS que apresentam-se ligeiramente maiores.

Todavia, estudos correlatos apresentaram resultados similares, a exemplo de Igba et al. (2020), que utilizou resíduo de EPS para o desenvolvimento de argamassas leves e percebeu que mesmo a granulometria se desviando para limites superiores, ainda assim obteve-se êxito aplicando-o em percentuais mais baixos para aplicação não estruturais como pisos sólidos e concreto leve em temperatura ambiente.

Adicionalmente pode-se discutir sobre a viabilidade de ter-se essa distribuição de granulometrias que poderiam favorecer o empacotamento no que tange a disposição de porosidade nas argamassas. Leão (2021) cita Costa (2018) em seus estudos, ressaltando que em seus trabalhos a trituração do EPS gerou partículas com dimensões de até 12,5 mm e que mesmo assim conseguiu-se uma boa dispersão na matriz cimentícia.

Os resultados de densidade de massa aparente no estado endurecido (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados dos ensaios Densidade de massa aparente

Composições	Densidade aparente (Kg/m³)
Referência	1975,03 ± 8,20
5% de EPS	1935,96 ± 3,4
10% de EPS	1891,82 ± 6,95
15% de EPS	1804,68 ± 8,26

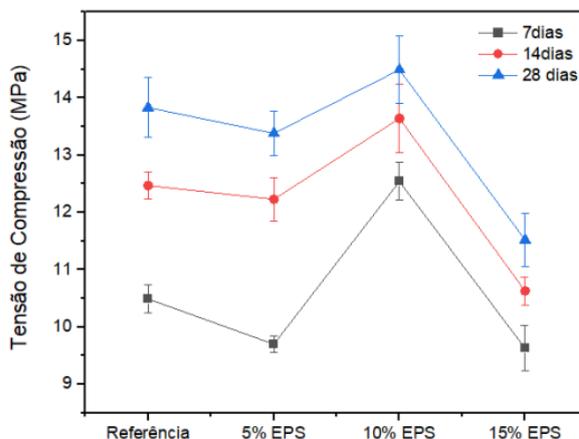
Fonte: Autores (2023)

Similar ao comportamento no estado fresco, percebe-se que a incorporação de EPS na argamassa

cimentícia leva a uma diminuição da densidade da argamassa no estado endurecido. Esse comportamento era esperado, uma vez que a regra da mistura justifica que as propriedades do compósito obtido pela adição, em volume de um espécime com propriedades distintas, levarão a composição do comportamento do compósito de acordo com a fração volumétrica inserida. Ademais, estudos realizados por Fahmy et al. (2011), Igba et al. (2020), Titarelli (2016) e Milling (2020).

Os resultados referentes ao ensaio de compressão foram apresentados no gráfico (Figura 5). As propriedades foram analisadas nas idades de 7, 14 e 28 dias após a moldagem, para verificar o efeito da cura nas propriedades mecânicas da argamassa. A resistência à compressão das argamassas é um dos principais parâmetros comparativos de qualificação das composições. Os limites superiores e inferiores para as resistências aceitáveis de argamassa são determinados com base em normas técnicas específicas, como a ABNT NBR 13281:2013, e também levando em consideração as especificações do projeto e as condições locais de aplicação. Para argamassas de assentamento de alvenaria, os valores de resistência à compressão podem variar de 1 MPa a 20 MPa ou mais, dependendo das especificações do projeto e das normas locais. Já para argamassas de revestimento, os valores de resistência à compressão podem ser diferentes, assim como para resistência à tração, adesão, entre outras propriedades.

Figura 5. Comportamento mecânico a compressão a 7, 14 e 28 dias



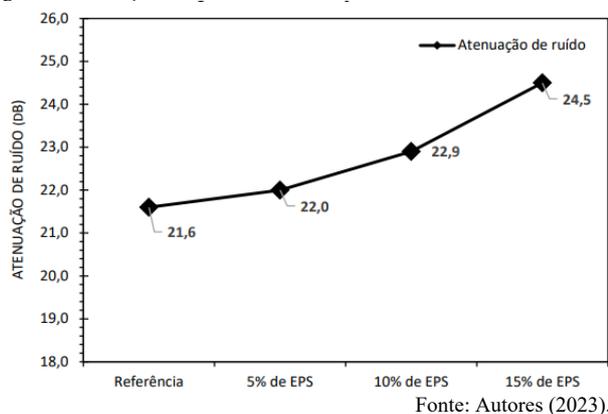
Fonte: Autores (2022)

Milling (2020) e Batayneh *et al* (2007), observaram que a natureza hidrofóbica do EPS gera uma diminuição na resistência a compressão, o qual atribuíram a natureza plástica do mesmo, corroborando com o resultado obtido no ensaio de densidade. Esse fato pode estar correlacionado a fatores como a redução na aderência devido sua natureza hidrofóbia, podendo dificultar a aderência entre as partículas de EPS e a matriz de cimento da argamassa. A fraca aderência entre os materiais resulta em uma coesão reduzida, o que pode comprometer a resistência global do composto. Além disso, a formação de vazios, pelas células fechadas cheias de ar, presentes no EPS. Quando incorporado à argamassa, essas células de ar permanecem intactas, criando vazios internos no material composto. A presença de vazios diminui a densidade aparente da argamassa, o que, por sua vez, reduz sua resistência à compressão. Ou

ainda pela alteração na distribuição de cargas, pois a adição de EPS na argamassa pode causar uma redistribuição de cargas no material composto. Isso pode levar a uma distribuição desigual de forças durante o teste de compressão, resultando em uma resistência reduzida em comparação com a argamassa sem EPS.

A Figura 6 apresenta os resultados das análises acústicas dos protótipos de argamassas modificadas.

Figura 6. Atenuação de ruído



A análise dos dados revela que, à medida que o teor de EPS aumenta nas composições da argamassa, ocorre um incremento significativo no fator de atenuação de ruído. Este comportamento é característico do material de substituição, conhecido por suas propriedades acústicas e isolantes. Mesmo em forma de partículas e em um percentual de até 15% na composição, observa-se um desempenho satisfatório, com um fator de atenuação alcançando até 24,5 dB. Este resultado está em consonância com outras análises realizadas durante o estudo, como a diminuição da densidade das argamassas modificadas. A medida em que é EPS na matriz, relativamente mais rígida, pode-se observar uma dissipação da energia pelas células de ar presentes no EPS, levando ao decréscimo de condutividade acústica, conforme Fahmy et al. (2011) e Maaroufi et al. (2021).

Conclusão

Observou-se que o uso de EPS no desenvolvimento de argamassa, melhorou a capacidade de atenuação de ruído e conforto térmico, fatores de suma importância para os usuários de edificações. Foi observado que o uso da placa de argamassa, reduziu em até 24,5 dB o ruído externo, que representa uma atenuação de 13,4% quando comparado com a argamassa sem EPS.

Já em termos de transmissão de temperatura a adição de EPS levou a uma perda de condutividade térmica, devido à natureza expansiva do EPS. Milling (2020) e Batayneh et al. (2007), atribuíram esse fato a diminuição da densidade e da distribuição das partículas de EPS na estrutura da argamassa. Esses vazios serviriam como barreiras para a propagação do som e da temperatura, colaborando com o efeito de diminuição gradativa da transmissão de calor.

Dentre as composições analisadas, o que apresentou um equilíbrio de propriedades térmicas, acústicas e mecânicas foi a composição com 10% de EPS, que obteve um incremento de resistência a compressão de 0,66 MPa quando comparado com a argamassa sem adição de EPS e ainda atingiu um nível de atenuação de ruído de 22,9 dB.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: cimento Portland: determinação da resistência à compressão**. ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211: Agregados para concreto-especificação**. ABNT, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13281:2013 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989. Estabelece a **Política Nacional de Recursos Minerais**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 jul. 1989. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/17805.htm >. Acesso em: 28/02/2024.

NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho, Rio de Janeiro, 2013.

AMIANTI, Marcelo. **Uso e Aplicação do Poliestireno Expandido (EPS) Reciclado para Impermeabilização por Impregnação de Superfícies de Concreto Pré-fabricado**. Dissertação de Mestrado. Rede Temática em Engenharia de Materiais. Ouro Preto, 2005.

BALBO, Thiago Duarte; TOSTA, Yan França. Análise da opinião do consumidor em relação ao descarte de EPS e seus impactos ambientais. **Revista Ciências do Ambiente on-line**, v. 8, n. 1, 2012.

BARROS, Ilana Maria da Silva. **Análise térmica e mecânica de argamassas de revestimento com adição de vermiculita expandida em substituição ao agregado**. 2018. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grandedo Norte, Natal, 2018.

BATAYNEH, Malek; MARIE, Iqbal; ASI, Ibrahim. Use of selected waste materials in concrete mixes. **Gestão de resíduos**, v. 27, n. 12, pág. 1870-1876, 2007.

BRASIL. Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providencias**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF.

FAHMY, Ezzat H. *et al.* Utilization of expanded polystyrene waste for lightweight mortar production. In: **Proceedings of the Second International Engineering Mechanics and Materials Specialty Conference, Ottawa, Ontário, Canadá**. 2011. pág. 035-10.

IGBA, UT, EHIKHUENMEN, SO, OYEBISI, SO, & OLOYEDE, NO. An Investigation on the Use of Expanded Polystyrene as a Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete. **Journal of Engineering Research**, v. 25, n. 3, pág. 52-61, 2020.

MAAROUFI, M. et al. Full characterization of hygrothermal, mechanical and morphological properties of a recycled expanded polystyrene-based mortar. **Construction and Building Materials**, v. 301, p. 124310, 2021.

MALEK, M. JACKOWSKI, M., ŁASICA, W., KADELA, M., & WACHOWSKI, M.. Mechanical and material properties of mortar reinforced with glass fiber: An experimental study. **Materials**, v. 14, n. 3, p. 698, 2021.

MILLING, Amrita; MWASHA, Abrahams; MARTIN, Hector. Exploring the full replacement of cement with expanded polystyrene (EPS) waste in mortars used for masonry construction. **Construction and Building Materials**, v. 253, p. 119158, 2020.

MOHAMAD, G., **Comportamento Mecânico na Ruptura de Prismas de Blocos de Concreto**, Tese de M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil PPGEC/ UFSC, Florianópolis, SC, Brasil, 1998.

MORAES, Carolina Brandão. BRASIL, Paula de Castro. **Estudo da viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na produção de edificações com baixo impacto ambiental**. In: 4º SEMINÁRIO NACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS. Anais [...]. Passo Fundo/RS, nov. 2015.

PRASITTISOPIN, Lapyote; TERMKHAJORNKIT, Pipat; KIM, Young Hoon. Review of concrete with expanded polystyrene (EPS): Performance and environmental aspects. **Journal of Cleaner Production**, v. 366, p. 132919, 2022.

QADIR G., RASHID, Y., HASSAN, A., MAHMOUD VALL, E., SALEH, S. SALIM, K. Development and mechanical testing of porous-lightweight geopolymer mortar. **Buildings**, v. 11, n. 1, p. 1, 2020.

PEREIRA, Suellen Silva; CURI, Rosires Catão. Meio ambiente, impacto ambiental e desenvolvimento sustentável: conceituações teóricas sobre o despertar da consciência ambiental. Reunir **Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 2, n. 4, p. 35-57, 2012.

TITTARELLI, Francesca et al. Efeito do uso de EPS reciclado ao invés de virgem em argamassas leves. **Engenharia da Procedia**, v. 161, p. 660-665, 2016.

ZHANG, Jian; CHEN, Bing; YU, Fu. Preparação de argamassa de isolamento térmico à base de EPS com propriedades térmicas e mecânicas melhoradas. **Revista de Materiais em Engenharia Civil**, v. 31, n. 9, pág. 04019183, 2019.

ZHANG, Liwen et al. A novel hydrophilic modification method of EPS particles: Conception design and performances in concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 142, p. 105199, 2023.