



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

CIRO LEITE PIRES

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE EPS EM ARGAMASSA
PARA CHAPISCO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO**

**CAMPINA GRANDE
2023**

CIRO LEITE PIRES

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE EPS EM ARGAMASSA PARA CHAPISCO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO**

Trabalho de Conclusão de Curso ou Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Qualidade de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. William de Paiva.

Coorientador: Prof. Dr. Frankslale Fabian Diniz de Andrade Meira.

**CAMPINA GRANDE
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

P667u Pires, Ciro Leite.

Utilização de resíduos de EPS em argamassa parachapisco com substituição parcial do agregado miúdo [manuscrito] / Ciro Leite Pires. - 2023.

61 p.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. William de Paiva , Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT. "

1. Materiais de construção. 2. Desenvolvimento de materiais. 3. Gestão de resíduos sólidos. 4. Poliestireno expandido - EPS. I. Título

21. ed. CDD 691.9

CIRO LEITE PIRES

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE EPS EM ARGAMASSA PARA CHAPISCO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGLOMERANTE MIÚDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Qualidade de Sistemas Ambientais.

Aprovada em: 26/07/2023.

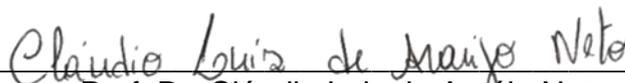
BANCA EXAMINADORA



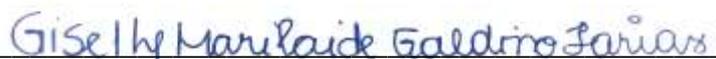
Prof. Dr. William de Paiva (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Laércio dos Santos Leal
(Examinador Interno – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)



Prof. Dr. Cláudio Luis de Araújo Neto
(Examinador Externo – Universidade Federal do Maranhão)



Profa. Dra. Giselly Marilaide Galdino Farias
(Examinador Externo – Centro Universitário Maurício de Nassau)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força para realização do sonho de tornar-me mestre e poder chegar nessa etapa tão importante.

Agradeço a minha família pela compreensão e apoio durante este processo, mas que sempre acreditou nesse trabalho.

Agradeço aos professores William de Paiva por ser meu orientador e o fez com maestria, ao professor Laercio que por várias vezes me ajudou com ideias e soluções para as minhas dificuldades que junto com o professor William me fizeram enxergar a docência com outro olhar, minha gratidão.

Agradeço ao professor Frankslale por todo apoio e orientação durante o processo.

Ao meu amigo Getúlio Carlos que me auxiliou durante todos os ensaios e discussões.

A todos vocês e todos os outros, que me auxiliaram nesse processo minha eterna gratidão.

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos é um tema que está cada vez mais se tornando evidente devido impacto que gera no ambiente e pelas normativas que cercam sua tratativa com o intuito de tornar os danos causados pela geração e má disposição dos mesmos menos nocivos. O resíduo de Poliestireno expandido (EPS), por suas características de baixa densidade, torna sua disposição uma problemática devido a necessidade de grandes áreas para sua destinação. Desta forma, o presente trabalho se propôs a analisar a viabilidade da incorporação de EPS na composição de argamassas como alternativa para substituição do agregado miúdo. Foram avaliadas as propriedades físicas de densidade, retenção de água, distribuição granulométrica, teor de ar incorporado e absorção de água por capilaridade, além das propriedades mecânicas de compressão e tração na flexão e propriedades termoacústicas. Os resultados obtidos demonstraram que a incorporação do resíduo de EPS proporciona uma diminuição na densidade da argamassa, tornando-a mais leve, além de trazer um bom desempenho termoacústico apresentando um isolamento térmico com variação de temperatura de até 9,1°C e 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.

Palavras-Chave: desenvolvimento de materiais; materiais de construção; resíduos; valorização de resíduos.

ABSTRACT

Solid waste management is a topic that is increasingly becoming evident due to the impact it generates on the environment and the regulations surrounding its treatment in order to make the damage caused by its generation and poor disposal less negative. The residue, expanded polystyrene (EPS) due to its low density characteristics, makes its disposal a problem due to the need for large areas for its destination. In this way, the present work examines the viability of incorporating EPS in the composition of mortars as an alternative for replacing the fine aggregate. The physical properties of density, water retention, granulometric distribution, incorporated air content and water absorption by capillarity were evaluated, in addition to the mechanical properties of resistance and traction in bending and thermoacoustic properties. The results showed that the incorporation of EPS residue provides a decrease in the density of the mortar, making it lighter, in addition to bringing a good thermoacoustic performance, presenting a thermal insulation with a temperature variation of up to 9.1°C and an attenuation of noise of up to 24.5 dB. On the other hand, it was assumed that the addition of EPS in the composition of the mortar reduced its mechanical resistance to bending resistance and traction efforts, suggesting its application for uncomplicated fins.

Keywords: material development; construction materials; waste; waste recovery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Uso do EPS como sistema construtivo.....	18
Figura 2 - Beneficiamento do resíduo de EPS.....	23
Figura 3 - Resíduo de EPS triturado.....	24
Figura 4 - Metodologia aplicada.....	24
Figura 5 – Equipamento para ensaio de retenção de água em argamassa	27
Figura 6 - Moldes que foram utilizados no ensaio de compressão	31
Figura 7 - Balança de precisão utilizada na pesquisa.....	31
Figura 8 - Misturador mecânico	31
Figura 9 - Prensa hidráulica computadorizada	32
Figura 10 - Moldagem do protótipo de placa de argamassa.....	34
Figura 11 - Modelo esquematizado do protótipo proposto por Barros (2018).....	35
Figura 12 – (a) Caixa adaptada do estudo de Barros (2018), (b) montagem para esquema de análise acústica – Fonte de ruído + decibelímetro.....	35
Figura 13 - Curva granulométrica areia e do EPS	39
Figura 14 - Efeito da adição de EPS na retenção de água da argamassa referência e modificadas.....	40
Figura 15- Determinação da densidade real e do teor de ar incorporado.....	41
Figura 16 - Comportamento do coeficiente de capilaridade em função do teor de EPS....	44
Figura 17 - Comportamento mecânico a compressão a 7, 14 e 28 dias.....	46
Figura 18 - Comportamento mecânico de tração na flexão	49
Figura 19 – Variação temperatura sob sistema de argamassa modificada	50
Figura 20 - Atenuação de ruído	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Massa específica aparente dos componentes da argamassa	37
Tabela 2 - Granulometria da Areia.....	38
Tabela 3 - Granulometria da EPS.....	38
Tabela 4 - Retenção da argamassa referência e modificadas.....	40
<i>Tabela 5 - Absorção de água por capilaridade.</i>	<i>42</i>
Tabela 6 - Coeficiente de capilaridade.	43
Tabela 7 - Resultados dos ensaios Densidade de massa aparente	45
Tabela 8 – Resistência a compressão a 7, 14 e 28 dias.	46
Tabela 9 - Comportamento mecânico de tração na flexão	48
Tabela 10 – Análise da transmissão de temperatura sob sistema de argamassa modificada.....	50
Tabela 11 – Resultados Acústicos.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland	21
Quadro 2 - Limites de composição do cimento Portland	22
Quadro 3 - Normativos para confecção da argamassa	26
Quadro 4 - Descrição do traço 1:3:0,6 utilizado nesta pesquisa.....	33
<i>Quadro 5 - Descrição dos traços com substituição de EPS e sua referida porcentagem..</i>	<i>33</i>
Quadro 6 - Resultados obtidos para a resistência à compressão de argamassas em cilindros.....	47
Quadro 7 - Resistência a compressão.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
EPS	Poliestireno Expandido
IFPB	Instituto Federal da Paraíba
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 O setor da construção civil.....	14
3.2 Argamassa.....	16
3.3 O EPS.....	17
3.3.1 <i>EPS na construção civil</i>	18
3.3.2 <i>Reciclagem do EPS</i>	19
3.4 O Cimento Portland	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Materiais	23
4.2 Métodos	24
4.2.1 <i>Caracterização dos agregados e constituintes</i>	25
4.1.3 <i>Caracterização da argamassa</i>	25
4.1.4 <i>Avaliação das propriedades Termo Acústicos</i>	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1 Caracterização dos agregados e constituintes	37
5.1.1 <i>Massa Específica Aparente</i>	37
5.1.2 <i>Distribuição granulométrica</i>	37
5.2 Caracterização da argamassa	40
5.2.1 <i>Determinação da retenção de água</i>	40
5.2.3 <i>Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.</i>	42
5.2.4 <i>Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.</i>	44
5.2.5 <i>Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão axial</i>	45
5.3 Avaliação das propriedades Termo Acústicos	49
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	54
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos, no Brasil, tem se tornando um assunto cada vez mais debatido, sobretudo, por influência dos princípios, diretrizes e da sistemática inovadora apresentada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº 12.305/ 2010, sancionada desde agosto de 2010. Desta forma, este assunto passa a demandar mais atenção tanto por parte do Poder público, quanto pela sociedade em geral.

É notório o quanto as questões ambientais vêm tomando visibilidade devido os impactos que são sentidos pela sociedade que reflete desde a escassez de recursos, mudanças nas paisagens e mudanças climáticas. Esse contexto influencia fortemente a sociedade acadêmica na busca por soluções viáveis técnica e ambiental, que visem dar soluções viáveis técnico e economicamente à valorização desses resíduos no desenvolvimento de novos materiais.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no documento intitulado como “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” (ABRELPE, 2020), aponta que a geração total de resíduos sólidos urbanos de 19% no país, com um crescimento de 9% no índice de geração per capita. O mencionado documento registra que o país apresenta um déficit na abrangência do serviço de coleta regular (92% de cobertura) em que 6,3 milhões de ton/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: 74,6% (1.340) dos municípios encaminham seus resíduos para unidades inadequadas.

Os dados apresentam uma situação alarmante que necessita de tratativa, porém, apesar da Política Nacional de Resíduos Sólidos estar em vigência no país por mais de uma década, trazendo uma nova sistemática para a gestão de resíduos sólidos, os índices apresentados demonstram que ainda há grandes dificuldades para se colocar em prática os avanços planejados na PNRS. E isto é bastante preocupante já 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 EPS, pode-se 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. Sendo assim, 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. Tem custo relativamente baixo, tem boa resistência mecânica a compressão, é leve e se adequa aos métodos empregados na construção civil. Entretanto, de acordo com Amianti (2005), ele não é descartado corretamente por muitas indústrias apesar de ser um material totalmente reciclável e reaproveitável e quando depositado em aterros sanitários não causa contaminação do solo ou lençol freático.

O uso do EPS reciclado em argamassas é uma prática cada vez mais comum na construção civil sustentável. Ele pode ser utilizado como um substituto parcial ou total do agregado miúdo (areia) na produção de argamassas, podendo proporcionar melhorias nas propriedades mecânicas e termoacústicas. Deste modo, o EPS é possível de ser reaproveitado no setor da construção civil evitando a destinação inadequada deste resíduo e, conseqüentemente, protegendo o meio ambiente.

Nessa perspectiva, a presente pesquisa teve como principal objetivo analisar a possibilidade de utilizar o EPS, comumente chamado de EPS, na composição da argamassa de revestimento substituindo parcialmente o agregado miúdo de forma a analisar seu comportamento físico, mecânico, acústico e térmico na busca de propiciar uma contribuição no processo construtivo com a finalidade de promover a sustentabilidade ambiental no âmbito da construção civil.

É preciso buscar/aliar alternativas sustentáveis que possam garantir um meio ambiente ecologicamente equilibrado, tornando relevante o estudo visando a utilização do resíduo de EPS para formação de um material leve para as estruturas de concreto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade da incorporação EPS na composição de argamassa para chapisco como substituição parcial referente ao volume do aglomerante miúdo.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar as propriedades das argamassas produzidas através de ensaios normatizados para verificar sua adequação aos requisitos de argamassa para chapisco;
- Avaliar as propriedades térmicas e acústicas das argamassas produzidas com a incorporação de resíduo de EPS, visando encontrar aquela que propicie um melhor conforto acústico e térmico.
- Avaliar o teor de substituição de EPS que apresenta melhor desempenho mecânico de compressão e tração na flexão.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O setor da construção civil

A construção civil é um dos setores industriais que mais consome insumos no mundo, em especial o cimento Portland, atualmente o material artificial mais consumido do mundo (Agopyan e John, 2014). Com um consumo em larga escala no emprego da indústria da construção em edificações de concreto armado e em diversos usos dentro desse processo, é natural que esse material artificial ganhe destaque junto com a construção civil. Isso se representa no grande número de pesquisas e estudos desenvolvidos para a construção civil, com o intuito de melhorar os processos ou melhorar a utilização de materiais (Pires, 2017).

Deste modo, uma das pesquisas voltadas para a construção civil que vem ganhando destaque nos últimos anos é a pesquisa da incorporação do poliestireno expandido (EPS) dentro da construção civil em diversos aspectos, com o intuito de reduzir custos e trazer vantagens para a estrutura da edificação, uma vez que o EPS tem uma baixa densidade, uma boa capacidade de absorver impactos e uma grande facilidade de moldagem conforme as necessidades de tamanho e espessura desejados nos elementos estruturais (Pires, 2017).

Desse modo, quando se parte para o estudo da aplicação do poliestireno expandido dentro da construção civil, é preciso compreender como se dá a composição do concreto e em que aspecto pode ser utilizado o EPS dentro da construção civil (Pires, 2017). Neste aspecto, a composição do concreto pode ser caracterizada como o material compósito que é composto de um aglomerante, comumente o cimento Portland, com um agregado miúdo, comumente a areia, e um agregado graúdo, comumente a brita, além da opção da adição de possíveis aditivos, como a cal, etc (Pires, 2017).

A princípio o estudo sobre a aplicação do EPS se baseia na substituição de um desses componentes, em especial, o agregado miúdo. Essa substituição pode apresentar inúmeras vantagens, como as já citadas acima, aliadas a redução do peso da estrutura, uma vez que o peso específico do EPS varia de 10 a 90 kg/m³, dependendo da configuração das células de expansão. Isso reduz o peso total da

estrutura e permite uma trabalhabilidade estrutural melhor (Strecker, Silva e Panzera, 2014).

Entretanto, há uma outra vantagem essencial que é a capacidade de reaproveitamento de resíduos, isso vem do fato de que anualmente cerca de 6,3 milhões de toneladas de materiais derivados de polímeros a base de poliestireno expandido se tornam lixo não reaproveitável, muitas vezes descartados de maneira irregular (Bussolo, 2020).

Quando levado em consideração o potencial de reaproveitamento de resíduos da construção civil, o estudo do uso do EPS dentro do setor deixa de ser apenas desejado para ser recomendado, uma vez que a temática da sustentabilidade e reaproveitamento de resíduos está cada vez mais em destaque, o desenvolvimento e o estudo de tecnologias que reduzam o despejo de resíduos, aumentem o reaproveitamento de materiais e assegurem melhores condições de produção e de desenvolvimento sustentável são essenciais (Bussolo, 2020).

Essa necessidade ambiental, aliada ao crescimento da construção civil, bem como a redução de áreas de extração de agregados próximos aos grandes centros urbanos começa a demandar cada vez mais uma busca por matérias primas que possam substituir a areia natural, isso, aliado ao custo inviável para a reutilização em outros âmbitos do EPS, faz desse material uma opção viável como possível substituição de matérias-primas, em especial de parte da areia natural no desenvolvimento de edificações (Calixto *et al*, 2017).

Entretanto, o EPS pode ser utilizado em vários aspectos dentro da construção civil, tanto em blocos para lajes, quanto para paredes divisórias, etc. Essa variedade de uso faz esse material ser ainda mais valioso pra a construção civil, devido as suas ótimas propriedades, em especial ao seu peso extremamente leve (Silva, Florian e Filho, 2021).

Destacando-se, neste trabalho em especial, a reutilização do EPS como possível substituição do agregado miúdo no traço de argamassas para chapisco e emboço, com o intuito de identificar as vantagens e as possibilidades de substituição com base no volume de EPS utilizado no traço utilizado nas argamassas.

3.2 Argamassa

As primeiras argamassas, cuja composição era basicamente formada de cal e areia, datam de aproximadamente 10.000 anos de existência, foram encontradas onde hoje é o estado de Israel. Aponta-se que os romanos a aprimoraram, utilizando métodos melhores para escolha e cozimento da matéria prima, com a junção de pozolanas, moagem de cal com argila e adições orgânicas concedendo melhores propriedades de resistência e trabalhabilidade (Alvarez, Sequeira e Costa, 2005; Alves e Bleichvel, 2019).

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2019), argamassa é um composto homogêneo de agregado, aglomerante e água, pode conter adições e aditivos, deve apresentar características de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalações próprias. Os materiais constituintes da argamassa influenciam diretamente nas suas propriedades, tanto no estado fresco como no estado endurecido.

De acordo com Baía (2008), Recena (2008) e Rodrigues (2013), as funções primordiais do uso das argamassas, são: a impermeabilização; o revestimento de pisos, paredes e tetos; a regularização de superfícies (ondulações, desníveis, vedação, entre outros); e o assentamento de blocos, tijolos, azulejos e similares.

A sua resistência mecânica está relacionada à capacidade de resistir a esforços de tração, compressão ou cisalhamento, provocados por cargas eventuais estáticas ou dinâmicas. Segundo a Agopyan e Oliveira (1992) e Alves e Bleichvel (2019), as argamassas estão sujeitas às deformações distintas, sendo que podem sofrer retração durante a secagem ou variações volumétricas de origem térmica, ou ainda, deformações decorrentes as pequenas movimentações estruturais, pois pode-se considerar a argamassa um material rígido que apresenta na fase elástica pequenas deformações.

A condutividade térmica presente nas argamassas está relacionada ao coeficiente de condutibilidade térmico, no qual o emprego de materiais leves como EPS podem melhorar o seu comportamento térmico e acústico conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013).

Com a finalidade de obter melhores características físicas e mecânicas das argamassas, busca-se o emprego de novas misturas em conjunto do melhoramento tecnológico. Desta forma, é possível promover o desenvolvimento de novas técnicas

e processos construtivos, permitindo a redução do custo de obra e o aumento da sustentabilidade na construção civil, além de ser possível adotar a ideia de reaproveitamento de matérias antes descartados no mencionado setor.

Neste contexto, o emprego do EPS reaproveitado como possibilidade de substituição parcial do agregado miúdo, pode propiciar vantagens para o desenvolvimento de argamassas, uma vez que reduz o peso próprio do material e pode possibilitar estruturas mais leves com maior capacidade (Pires, 2017; Bussolo, 2020).

3.3 O EPS

O EPS foi desenvolvido pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz em 1949, quando trabalhavam nos laboratórios da Basf, na Alemanha, sendo um polímero plástico celular regido, que é resultado da polimerização do monômero estireno, possuindo propriedades como baixíssimo peso e alta resistência mecânica, podendo ser adequado a aplicação na construção civil (Calixto *et al*, 2017).

Trazendo para o contexto regulamentado nacionalmente, a NBR 11752 (ABNT, 2016) define o poliestireno expandido (EPS) como um material plástico celular rígido, originalmente de cor branca, produzido pela expansão de pérolas pré-expandidas de poliestireno, podendo ser fabricado nas condições de não retardante à chama (classe P) e de retardante à chama (classe F).

O poliestireno expandido é um polímero celular rígido obtido por meio da polimerização do estireno em água, resultando em pérolas de até 3 mm de diâmetro (Portal do Concreto, 2021).

O produto final desta expansão é uma composição de 98% ar e apenas de 2% poliestireno. “Em 1m³ de EPS expandido, por exemplo, existem de 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar.” (Comissão Setorial do EPS no Brasil, 2017). O sucesso na criação do EPS está no fato de que é ótimo isolante térmico, é leve, resistente, durável, fácil de trabalhar e de baixo custo. Segundo Almeida, Longsdon e Jesus (2012) a utilização em grandes quantidades de EPS podem ser encontradas desde a agricultura até a construção civil e a maioria das as indústrias de embalagens o utilizam como forma de proteção para eletrônicos, armazenamento de alimentos, bebidas e produtos fármacos e na área de decoração.

3.3.1 EPS na construção civil

Devido as suas várias características atrativas, o EPS já é largamente utilizado na construção civil, nos mais diferentes tipos de obra. Existem várias formas de aplicação, como paredes e pavimentos, pequenas moradias até grandes edifícios, viadutos e estradas, sistemas de isolamento de coberturas, e atualmente, como substituto da cerâmica da laje de concreto, sob a forma de caixão perdido e formas para concreto (Sant'Helena, 2009). A Figura 1 apresenta exemplo de uso de EPS como sistema estrutural.

Na construção civil a sua característica de isolamento térmico e a sua baixa massa específica, favorece sua utilização como agregado leve em concretos e argamassas aplicáveis em diversos elementos construtivos (Termotécnica, 2003; Abrapex, 2007).

O EPS, conhecido como EPS, vem ganhando espaço na construção civil, seu uso gera uma grande redução os custos de fundações, ferragem de laje e na utilização de concreto, sua utilização pode reduzir até 20 % na fundação da obra (Portal Metalica, 2018).

Figura 1 - Uso do EPS como sistema construtivo



Fonte: Civilização Engenharia, 2015.

O uso de pérolas de EPS no concreto estrutural proporciona alcançar um peso específico na faixa de 12 KN/m³. Evidencia vantagem por reduzir o peso dos

elementos estruturais, sendo possibilitada pela não absorção de água e a baixa densidade do EPS (Sartorti; Carrazedo; Pinheiro, 2013).

Com o crescimento das tecnologias construtivas, buscam-se novos materiais que contemplem as necessidades impostas em obras. Pesquisadores realizam estudos com a finalidade de obter melhorias dentre os vários materiais utilizados na construção de obras (Lima, 2010).

3.3.2 Reciclagem do EPS

O processo de reciclagem do EPS consiste na sua transformação e diminuição de volume, porém mantendo as mesmas características iniciais do poliestireno envolvido no início da produção. O capital a se investir em uma unidade de revalorização para posterior comercialização é muito alto, sendo inviável em pequena escala, sendo esse um dos fatores negativos que dificultam o processo de reaproveitamento do EPS para qualquer uso (Abrapex, 2007; Pires, 2017).

Mangold e Vacano (2022), em seus estudos, apontaram tecnologias emergentes como alternativa na reciclagem de resíduos plásticos em aplicações de alto valor. Sendo assim, novos tipos de polímeros poderão oferecer vantagens, mas enfrentarão grandes barreiras para introdução no mercado. Desta forma, seria necessário o apoio regulatório para tornar o aterro e a incineração de resíduos plásticos pouco atraentes e promover a reciclagem de plásticos.

Esse problema, da disposição incorreto do material, onerando todo o processo de reciclagem é visível quando se analisa a porcentagem de resíduo de plástico gerado em função da reciclagem do mesmo, uma vez que o plástico representa 13,5% do total de resíduos sólidos gerados, mas apenas cerca de 25% do resíduo plástico do país é reciclado, isso significa que todo o restante do resíduo plástico é descartado em aterros sanitários ou acabam no meio ambiente por conta do descarte incorreto ou enterrados ao invés de ter a destinação correta da reciclagem (IPEA, 2012 *apud* Associação Brasileira da Indústria do Plástico, 2015; Recicla Sampa, 2021).

Conforme Strecker, Silva e Panzera (2014), a composição do EPS se caracteriza como sendo cerca 98% de ar, é possível concluir que os seus resíduos caracterizam um grande volume útil perdido nos aterros sanitários, uma vez que,

considerando a boa resistência mecânica deste material, é muito improvável que sejam devidamente compactados nos aterros sanitários.

Um dos principais obstáculos da reciclagem do EPS é o seu transporte. Pelo fato de possuir baixíssima densidade, se comparado com outros resíduos recicláveis, o espaço ocupado pelo EPS é muito grande para a quantidade de material que realmente está sendo o transportado, o que acaba gerando um elevado custo para as indústrias e municípios. Este fator, juntamente com as elevadas cargas tributárias impostas pelo poder público, torna a logística reversa do EPS desinteressante economicamente (Strecker, Silva e Panzera, 2014).

Apesar disto, o EPS é um material que pode ser 100% reciclado, isso significa que não há produção de resíduo sólido no processo de reciclagem do material, em suma, todo o volume do material destinado a reciclagem pode, de fato, ser reciclado (Recicla Sampa, 2022).

Entretanto, apesar da capacidade de reciclagem do material, apenas 34,5% do resíduo de EPS produzido no Brasil é, de fato, reciclado. Isso torna o EPS em um problema ambiental, uma vez que possui descarte inadequado nos aterros, e aumentado pela falta de informação do consumidor sobre a possibilidade de sua reciclagem (Itu, 2014).

Por isso que estudos que propiciem boas ideias para a aplicação do EPS reciclado em novas esferas e possibilidades são sempre bem vindos e vistos como positivos pela indústria nacional, em especial quando se alia as vantagens das propriedades deste material com seu uso em setores que possam se beneficiar de tais vantagens.

3.4 O Cimento Portland

O cimento é um material amplamente utilizado na construção civil, usado na produção de concretos e argamassas. Ele é um aglomerante hidráulico que reage de forma exotérmica com a água, ganhando assim resistência mecânica. É o principal material de construção usado como aglomerante.

Segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018), existem 10 classes de cimento Portland (CP) distribuídos em 6 designações normatizadas conforme apresenta a Quadro 1.

Quadro 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência (NBR-7215)
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 MPa
	Com adição	CP I – S	
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alta forma	CP II – E	
	Com material carbonático	CP II – F	
	Com material pozolânico	CP II – Z	
Cimento Portland de alto-forno		CP III	
Cimento Portland pozolânico		CP IV	
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	Apresenta a um dia resistência igual ou superior a 14 MPa
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 MPa
	Não estrutural	CPB	-

Fonte: Adaptado da NBR 16697 (ABNT, 2018).

Pereira (2013), conceitua alguns tipos de cimento Portland conforme as suas características, conforme segue:

Cimento Portland de alta resistência inicial: cimento Portland que atende aos requisitos de alta resistência inicial

Cimento de alto-forno: cimento Portland obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e escória granulada de alto-forno, moídos em conjunto ou separadamente, podendo conter uma ou mais formas de sulfato de cálcio e materiais carbonáticos.

Cimento pozolânico: cimento Portland obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e materiais pozolânicos moídos em conjunto ou separadamente, podendo conter uma ou mais formas de sulfato de cálcio e materiais carbonáticos.

Cimento Portland branco: cimento Portland constituído de clínquer Portland branco e cujas adições (sulfato de cálcio ou outras) não geram alterações em sua coloração.

Cimento de baixo calor de hidratação: É formulado para reduzir a quantidade de calor gerada durante o processo de hidratação, evitando o risco de fissuras em grandes estruturas de concreto devido à expansão térmica.

As propriedades apresentadas por cada tipo de cimento são fortemente influenciadas pela sua composição, tendo em vista que esse aglomerante tem características altamente reativas. A NBR 16697 (ABNT, 2018), apresenta em seu escopo a Tabela 2 que caracteriza a composição de todos os tipos de cimento Portland, como apresenta a Quadro 2.

Quadro 2 - Limites de composição do cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Sigla	Classe de resistência (NBR-7215)	Clínquer + Sulfato de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material polzolânico	Material carbonático	
Cimento Portland comum	CP I	25, 32 ou 40 MPa	95 – 100	0 – 5			
	CP I – S		90 – 94	0	0	6 – 10	
Cimento Portland composto	CP II – E		51 – 94	6 – 34	0	0 – 15	
	CP II – F		71 – 94	0	6 – 14	0 – 15	
	CP II – Z		75 – 89	0	0	11 – 25	
Cimento Portland de alto-forno	CP III		25 – 65	35 – 75	0	0 – 10	
Cimento Portland pozolânico	CP IV		45 – 85	0	15 – 50	0 – 10	
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V		Apresenta a um dia resistência igual ou superior a 14 MPa	90 – 100	0	0	0 – 10
Cimento Portland branco estrutural	CPB		25, 32 ou 40 MPa	75 – 100	-	-	0 – 25
Cimento Portland branco não estrutural			-	50 – 74	-	-	26 – 50

Fonte: Adaptada ABNT, (2018).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida nos laboratórios do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UEPB, no IFPB e UFCG onde foram firmadas parcerias para produção e avaliação dos protótipos de argamassa modificada.

4.1 Materiais

Para confecção dos protótipos utilizou-se o cimento tipo CP-II-Z-32, que foi escolhido devido a sua disponibilidade no mercado regional. O mesmo critério foi utilizado para areia e a água utilizada, a mesma é fornecida pela rede de abastecimento da cidade e está dentro dos padrões necessários.

O resíduo de EPS foi coletado em cooperativas da cidade de Campina Grande que utilizam o método da coleta seletiva. Para sua utilização pesquisa, fez-se necessário o beneficiamento através do processo de trituração, conforme mostra a Figura 2. O resíduo foi cominuído até uma granulometria média de aproximadamente 2,4 mm, conforme apresenta a Figura 3.

Figura 2 - Beneficiamento do resíduo de EPS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 3 - Resíduo de EPS triturado

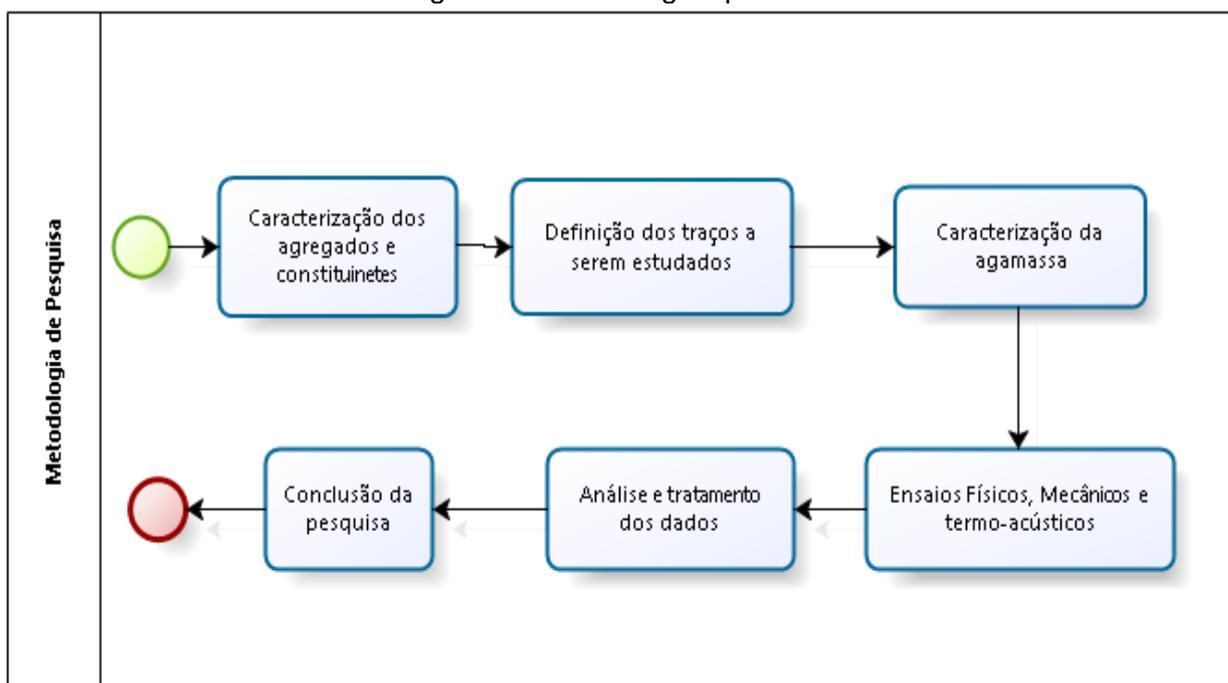


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.2 Métodos

A Figura 4 apresenta a sequência das etapas metodológicas adotadas com o intuito de atingir o objetivo geral.

Figura 4 - Metodologia aplicada



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.2.1 Caracterização dos agregados e constituintes

Com o intuito de embasar as discussões dos resultados e entender a interação entre os componentes do traço da argamassa, foram medidas as propriedades de densidade específica aparente e distribuição granulométrica do agregado miúdo e do EPS.

4.2.1.1 Massa Específica Aparente

A massa específica aparente da areia foi determinada conforme a norma NBR 16972 (ABNT, 2021), de acordo com a Equação 1.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} * 100 \quad (1)$$

Onde,

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

m_{ar} é a massa do recipiente com o agregado em quilogramas (kg);

m_r é a massa do recipiente vazio em quilogramas (kg);

V é o volume do recipiente em metros cúbicos (m³).

4.2.1.2 Distribuição granulométrica

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

4.1.3 Caracterização da argamassa

Para caracterização das argamassas, foram realizados ensaios de laboratório conforme apresenta o Quadro 3. Todos seguiram as recomendações da NBR 13281 (ABNT, 2005b) que determina os requisitos para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Quadro 3 - Normativos para confecção da argamassa

NORMA	ENSAIO
NBR 13277 (ABNT , 2005)	Determinação da retenção de água
NBR 13278 (ABNT , 2005)	Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.
NBR 15259 (ABNT , 2005)	Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.
NBR 13280 (ABNT , 2005)	Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.
NBR 7215 (ABNT , 2019)	Determinação da resistência à tração na flexão e a compressão axial.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.1.3.1 Determinação da retenção de água

A Retenção de água é uma propriedade que está relacionada à capacidade da argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação seja pela absorção de água da base. A retenção de água foi medida conforme a NBR 13277 (ABNT, 1995), que consiste na medida da massa de água retida pela argamassa após a sucção realizada por meio de uma bomba de vácuo a baixa pressão, em um funil de filtragem, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Equipamento para ensaio de retenção de água em argamassa



Fonte: (Pereira *et al*, 2011).

A retenção de água (R_a) foi calculada segundo a Equações 2 e 3 NBR 13.277 (ABNT, 1995).

$$R_a = \left[1 - \frac{M_f - M_{se}}{AF \times (M_{ma} - M_m)} \right] \times 100 \quad (2)$$

$$AF = \frac{M_w}{M + M_w} \quad (3)$$

Onde:

M_w = massa total de água acrescentada à mistura, em g;

M = massa de argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros no caso de argamassa de obra, em g;

AF = fator água/argamassa fresca;

M_f = massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro, em g;

M_{se} = massa do conjunto de discos secos, em g;

M_{ma} = massa do molde com argamassa, em g;

M_m = massa do molde vazio, em g

Nota: Expressar o resultado em %, arredondando-o ao número inteiro mais próximo.

4.1.3.2 Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.

O ensaio de densidade de massa e do teor de ar incorporado na argamassa fresca foi determinado a partir da massa específica das argamassas, conforme prescreve a NBR 13.278 (ABNT, 2005). O ensaio tem o propósito de verificar como teor de ar influencia a trabalhabilidade, e pode impactar nos valores de resistência mecânica das argamassas.

O ensaio de densidade de massa e do teor de ar incorporado na argamassa fresca foi determinado a partir da massa específica das argamassas, conforme prescreve a NBR 13278 (ABNT, 2005). O valor da densidade de massa pode ser obtido pela Equação 4.

$$d = \frac{m_c - m_v}{v_r} \quad (4)$$

Onde: d – densidade de massa da argamassa no estado fresco (g/cm³);

m_c – massa do recipiente contendo a argamassa de ensaio (g);

m_v – massa do recipiente cilíndrico vazio (g);

v_r – volume do recipiente cilíndrico (cm³).

O valor do teor de ar incorporado pode ser obtido pela Equação 5.

$$A = 100\left(1 - \frac{d}{d_t}\right) \quad (5)$$

Onde: A – teor de ar incorporado na argamassa no estado fresco (%);

d – densidade de massa da argamassa no estado fresco (g/cm³);

d_t – densidade de massa teórica da argamassa (g/cm³).

Para se obter a densidade de massa teórica adota-se a Equação 6.

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (6)$$

Onde: d_t – densidade de massa teórica da argamassa (g/cm³).

m_i – massa de cada componente da argamassa (g);

γ_i - massa específica de cada componente da argamassa (g);

4.1.3.3 Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.

O ensaio foi realizado com corpo de prova (CP) com idade de 28 dias, obedecendo as condições estabelecidas na norma NBR 15259 (ABNT, 2005). A superfície do CP foi lixada com lixa grossa e retirado o excesso de pó com pincel. Determina-se a massa inicial em gramas (g), e depois o CP foi posicionado com a face para o recipiente do ensaio e inserido água até um nível de (5 ± 1) mm acima da face em contato com a água. Desta forma, foi medida a massa em 10min (m_{10}) e 90 min (m_{90}), após entrar em contato com a água. Para a pesagem, foi certificado que os CPs estivessem secos com pano úmido.

A absorção de água por capilaridade é calculada seguindo a Equação 7, conforme NBR 15.259 (ABNT, 2005):

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (7)$$

Onde:

A_t é absorção de água por capilaridade, para cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo, em g/cm².

m_t é a massa do corpo de prova em cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo, em g.

m_0 é a massa inicial do corpo de prova, em g.

t corresponde aos tempos de 10 min e 90 min, em segundos.

16 é a área do corpo de prova em cm².

O coeficiente de capilaridade é calculado pelas diferenças de massa aos 10 min e aos 90 min, conforme Equação 8.

$$C = m_{90} - m_{10} \quad (8)$$

Onde:

C é o coeficiente de capilaridade, em gramas por decímetro quadrado pela raiz quadrado do min. (g/dm².min^{1/2}).

4.1.3.4 Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.

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 calcular, foi medida as dimensões do corpo de prova com auxílio de um paquímetro calibrado. Após todas as medidas de altura, largura e espessura serem verificadas, determina-se a massa do corpo de prova e utiliza a Equação 9, para calcular a densidade.

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{m}{v} \times 1000 \quad (9)$$

Onde:

$\rho_{m\acute{a}x}$ é a densidade em massa, expressa em Kg/m³;

m é a massa do corpo de prova, em g;

v é o volume do corpo de prova, em cm³.

4.1.3.5 Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão axial

Para a realização do ensaio da determinação da resistência a tração na flexão e a compressão axial seguiu-se a Norma NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2019).

Inicialmente, os moldes (Figura 6) foram preparados, untados em toda superfície interna com desmoldante e montados na mesma forma para assegurar sua estanqueidade. Os moldes utilizados nesta pesquisa têm dimensões de 50 ± 0,1 mm de diâmetro interno e 100 ± 0,2 mm de altura. Posteriormente, pesou-se os materiais (cimento, água, areia e EPS) na balança, de forma individual, como visto na Figura 7.

Figura 6 - Moldes que foram utilizados no ensaio de compressão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 7 - Balança de precisão utilizada na pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O passo seguinte foi referente a mistura mecânica, que foi realizado inserindo inicialmente toda água no aparelho e adicionando o cimento. Logo após, adicionou-se a esta mistura o agregado, respeitando durante todo processo, os intervalos de tempo e velocidades preconizados pela norma. A Figura 8, apresenta o misturador mecânico utilizado neste procedimento.

Figura 8 - Misturador mecânico



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Imediatamente após o amassamento, iniciou-se a moldagem dos corpos de prova. Com auxílio de uma espátula, a argamassa foi inserida em quatro camadas iguais, cada uma recebendo 30 golpes uniformes com soquete metálico e, por fim, rasou-se o topo.

Após um período de tempo de 24 horas, os corpos de prova foram retirados das formas e inseridos no tanque de água, onde permaneceram até o momento do ensaio.

Seguindo as idades pré-estabelecidas nesta pesquisa (7, 14 e 28 dias), os corpos de prova foram retirados do tanque e devidamente preparados para ruptura. Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Materiais de Construção e Processos Construtivos, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), utilizando uma prensa hidráulica computadorizada (Figura 9), respeitando-se todo o preparo do equipamento, centragem da amostra e velocidade do carregamento. Após o rompimento, foram extraídos os valores de resistência fornecidos pela máquina em MPa.

Figura 9 - Prensa hidráulica computadorizada



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para realização do ensaio, foi usado um traço referência, tomando como base a sua utilização como chapisco, conforme apresentado no Quadro 4 e a substituição parcial do EPS no traço, com base em pesquisas bibliográficas, e foi realizado em termos volumétricos de acordo com o percentual de areia (agregado miúdo), depois convertido para massa conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 4 - Descrição do traço 1:3:0,6 utilizado nesta pesquisa

Traço referência 1:3:0,6	
Material	Massa para mistura (g)
Cimento Portland	624
Água	374
Areia normal	1872

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Quadro 5 - Descrição dos traços com substituição de EPS e sua referida porcentagem

Traço1 - 1 : 3 : 0,6 (60 ml de EPS)			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Cimento Portland (g)	624	Areia inicial (g)	1872
Água (mL)	374	Areia retirada, 5% (g)	93,6
Areia (g)	1778,4	Areia corrigida	1778,4
EPS (mL)	60	Volume aparente de areia retirada (mL)	60
Traço 2 - 1 : 3 : 0,6 (120 ml de EPS)			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Cimento Portland (g)	624	Areia inicial (g)	1872
Água (mL)	374	Areia retirada, 10% (g)	187,2
Areia (g)	1684,8	Areia corrigida	1684,8
EPS (mL)	120	Volume aparente de areia retirada (mL)	120
Traço 3 - 1 : 3 : 0,6 (180 ml de EPS)			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Cimento Portland (g)	624	Areia inicial (g)	1872
Água (mL)	374	Areia retirada, 15% (g)	280,8
Areia (g)	1591,2	Areia corrigida	1591,2
EPS (mL)	180	Volume aparente de areia retirada (mL)	180

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.1.4 Avaliação das propriedades Termo Acústicas

Após a mistura e amassamento dos traços 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 (Largura: 34,0 x Comprimento: 26,8 x Espessura: 2,5) cm produzidas com as argamassas elaboradas (Figura 10). 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.

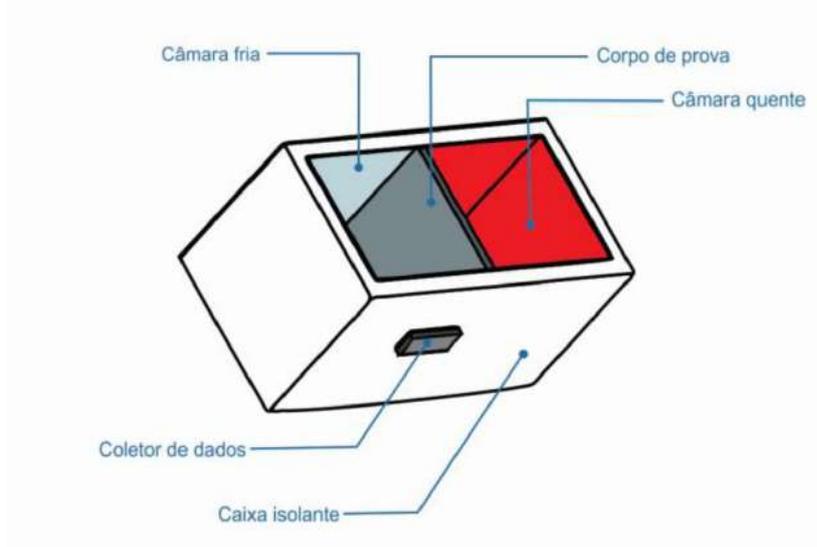
Figura 10 - Moldagem do protótipo de placa de argamassa



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para realização desse ensaio foi adaptada a metodologia utilizada na pesquisa de Barros (2018) (Figura 11 e 12 a), 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 câmeras com a placa de argamassa entre elas. Esse procedimento simula um ambiente fechado de uma edificação com revestimento, submetendo-o a uma fonte de calor, lâmpada fluorescente, para representar a incidência do sol.

Figura 11 - Modelo esquematizado do protótipo proposto por Barros (2018)



Fonte: Barros, (2018).

Figura 12 – (a) Caixa adaptada do estudo de Barros (2018), (b) montagem para esquema de análise acústica – Fonte de ruído + decibelímetro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para realização do ensaio, foi utilizado o método da placa quente protegida, onde a placa foi posicionada a 40 cm de distância de uma fonte de calor, composta por 3 lâmpadas com potencial de 100W, onde as mesmas foram inseridas de forma intercalada, a cada 15min, simulando aquecimento e no resfriamento foi seguido o mesmo procedimento intercalado. As mesmas aquecem uma das faces da placa (na câmara quente) e a face oposta apresentava uma distância de 16cm de comprimento livre de qualquer fonte de calor ou dissipação (câmara fria). Para obtenção dos dados, foi posicionado um termopar na face quente e outro na face fria, por meio da leitura realizada foi possível calcular a diferença de temperatura entre as faces.

Associado ao ensaio para análise de conforto térmico, foi montado um esquema (Figura 12b), 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 produzida pela placa. Os dados foram registrados para que uma análise referente a eficácia da argamassa modificada, quanto ao conforto acústico fosse averiguada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização dos agregados e constituintes

5.1.1 Massa Específica Aparente

Os resultados obtidos para massa específica aparente, encontram-se descritos na Tabela 1. Este ensaio mostra a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis.

Tabela 1 - Massa específica aparente dos componentes da argamassa

Material	Massa específica aparente (g/cm³)
Areia	1,4200
EPS	0,0097
Cimento	0,9360

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Boita e Bellei (2019), em seus estudos utilizaram materiais com propriedades similares com o intuito de alcançar uma argamassa mais leve. Já Bauer (2014), atribui a diminuição da massa específica, oriunda do acréscimo de EPS no traço, como um fator positivo, porém ressalta que essa melhoria precisa ser bem analisada uma vez que pode acarretar uma diminuição nas propriedades mecânicas.

Deve-se salientar ainda que a forma como se especifica o traço dos materiais influenciará em seu conforto térmico e acústico, uma vez que a transmissão de calor e som são influenciadas por essa propriedade, pois materiais com baixa condutividade térmica, como EPS, permite um menor fluxo de calor dentro da parede, diminuindo a troca de calor e som entre o ambiente externo e interno.

5.1.2 Distribuição granulométrica

A Tabela 2 e 3 apresentam os resultados referentes ao ensaio de distribuição granulométrica da areia e do EPS, respectivamente e a Figura 13 apresenta a curva de distribuição granulométrica comparando com os limites referenciados na NBR 7211 (2019).

Tabela 2 - Granulometria da Areia

Nº da peneira	Abertura das peneiras		Massa retida	Massa retida
	(mm)	Massa retida (g)	(%)	acumulada (%)
3/8"	9,5		0	0
1/4"	6,3		0	0
4	4,8	1,30	0,13	0,13
8	2,4	5,00	0,50	0,63
16	1,2	20,50	2,05	2,68
30	0,60	129,30	12,94	15,62
50	0,30	418,90	41,91	57,53
100	0,15	339,90	32,83	90,36
Fundo	0,01	110,2	9,64	100,00
Massa total(g)		999,56	100	
		Diâmetro Máximo (mm):		1,2
Perda (g)	0,44	Classificação:		Areia fina

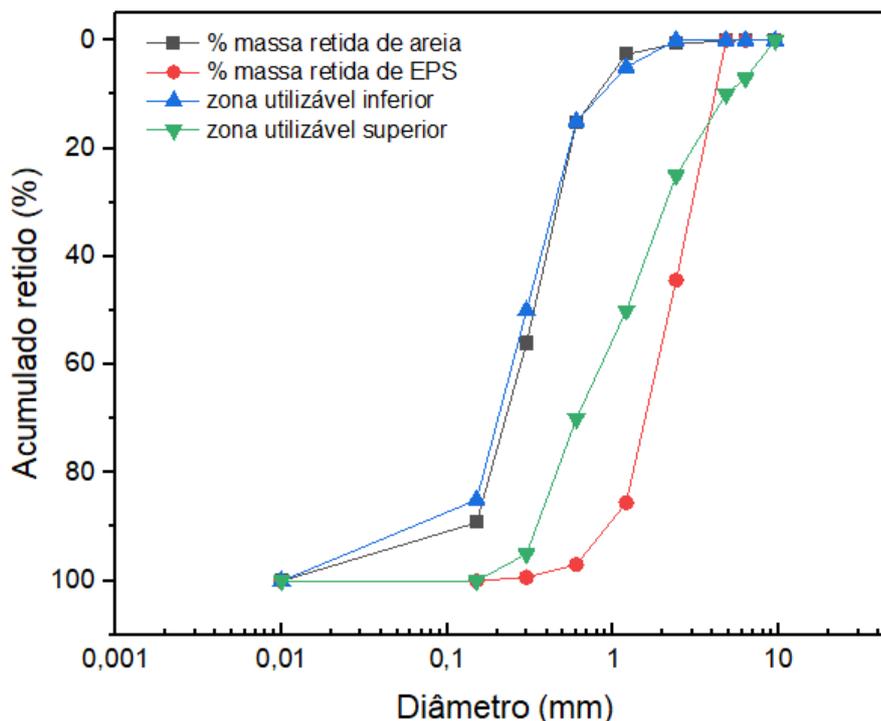
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 3 - Granulometria da EPS

Nº da peneira	Abertura das peneiras		Massa retida	Massa retida
	(mm)	Massa retida (g)	(%)	acumulada (%)
3/8"	9,5	-	0	0
1/4"	6,3	-	0	0
4	4,8	-	0	0
8	2,4	6,48	44,38	44,38
16	1,2	6,01	41,16	85,54
30	0,60	1,67	11,44	96,98
50	0,30	0,34	2,33	99,31
100	0,15	0,10	0,63	100,00
Massa total(g)		14,60	100	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 13 - Curva granulométrica areia e do EPS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Analisando a curva de distribuição granulométrica é possível perceber a adequação da areia dentro dos limites estabelecidos pela norma NBR NM 248 (ABNT, 2003), entretanto, percebe-se o desvio sofrido pela distribuição dos grãos das partículas de EPS que se apresentam 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.

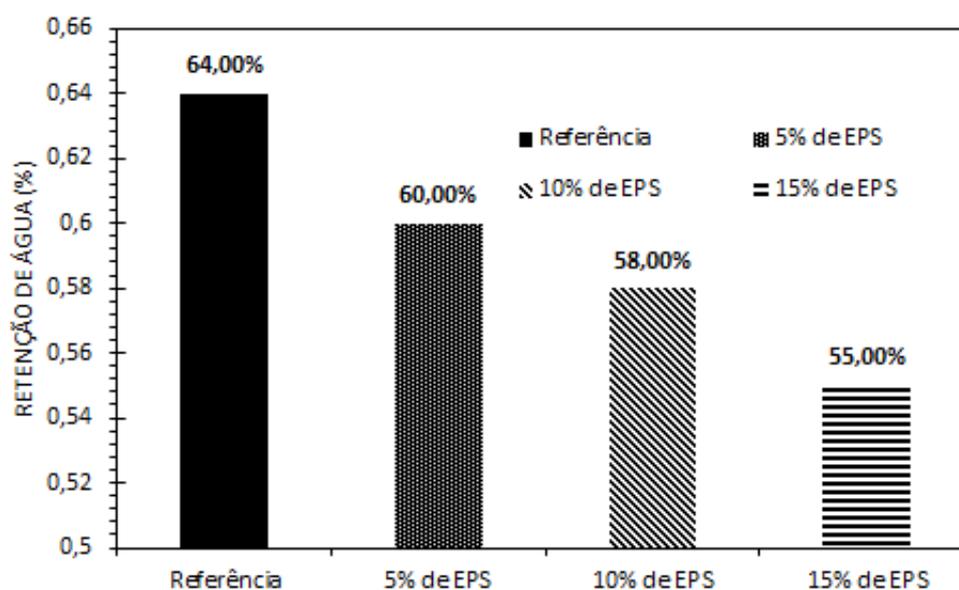
Adicionalmente pode-se discutir sobre a viabilidade de ter-se essa distribuição de granulometrias que poderiam favorecer o empacotamento no que tange a disposição de porosidade nas argamassas. Leão (2021) *apud* Costa (2018) em seus estudos, ressaltando que em seus trabalhos a trituração do EPS gerou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

5.2 Caracterização da argamassa

5.2.1 Determinação da retenção de água

A Figura 14 e Tabela 4 apresentam os resultados referentes ao ensaio de retenção de água nas amostras de argamassa de referência e modificadas.

Figura 14 - Efeito da adição de EPS na retenção de água da argamassa referência e modificadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Tabela 4 - Retenção da argamassa referência e modificadas.

Traço	Retenção de Água (%)	AF
Referência	64,0	0,130435
5% de EPS	60,0	0,135103
10% de EPS	57,6	0,140119
15% de EPS	54,6	0,145168

AF: Relação água – argamassa fresca

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

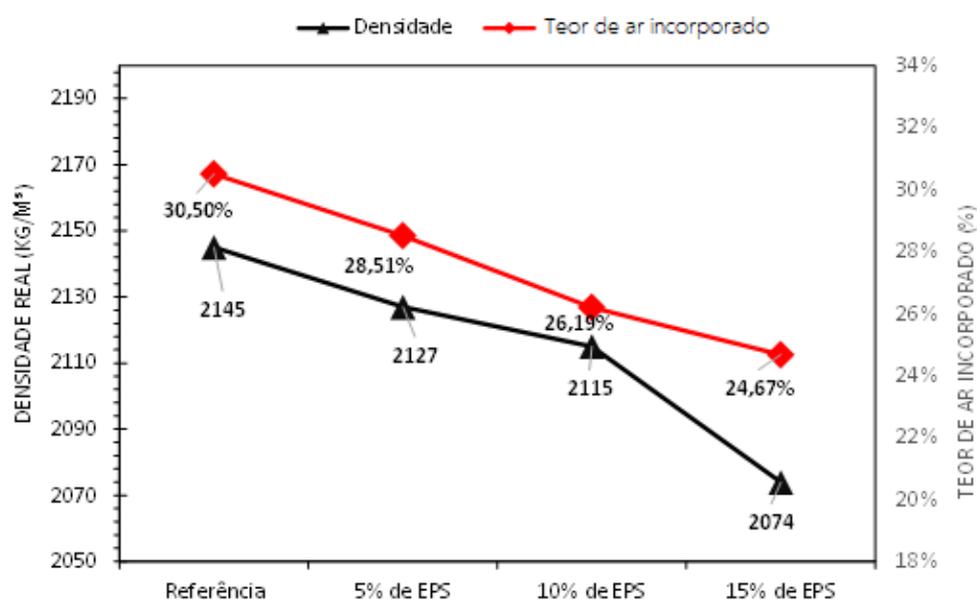
De acordo com os resultados apresentados, é possível perceber que a medida em que o teor de EPS é aumentado, percebe-se uma diminuição no percentual de retenção de água. Isso deve-se possivelmente a natureza hidrofóbica do EPS (Zhang *et al*, 2019), por esse motivo a capacidade de retenção de água de amassamento, e conseqüentemente a trabalhabilidade da argamassa sejam afetadas.

Boita e Bellei (2019), em seus estudos, apontam que substituir agregado miúdo por EPS pode ser uma ótima opção pra argamassa de revestimento. Porém, deve-se ajustar o fator água/cimento (a/c) pra garantir que a mistura fique homogênea e não gere segregação de materiais. Pois, quanto maior o teor de EPS, menor a viscosidade e menos água fica retida na mistura.

5.2.2 Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.

A Figura 15 apresentam os valores obtidos pelos ensaios de densidade de massa e teor de ar incorporado.

Figura 15- Determinação da densidade real e do teor de ar incorporado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Como pode-se analisar, a medida em que se aumenta o teor de EPS tem-se uma diminuição da densidade. Esse fato pode ser associado a baixa densidade do EPS, que de acordo com a regra da mistura (Callister, 2002), associa do comportamento do compósito formado, como uma composição em termos volumétricos da propriedade de cada componente. Ademais, é perceptível que com o decréscimo da densidade, a tendência das argamassas sem adição de EPS seria de aumentar o teor de ar aprisionado, a exemplo do estudo de Malek *et al* (2021), que adicionou fibra de vidro a argamassa e observou que o aumento da densidade acompanhou um decréscimo no teor de ar.

Entretanto, como o EPS adicionado a argamassa, possui uma baixa densidade, isso já justifica a diminuição da densidade conforme é acrescentado na massa, entretanto, o teor de ar incorporado não acompanha a correlação observada por Malek *et al* (2021), pois a natureza hidrofóbica do EPS restringe a formação de bolhas que levam ao aumento do teor de ar incorporado. Este comportamento foi verificado também nos estudos de Mansur *et al* (2006), onde ela associou o baixo teor de ar incorporado a redução da água disponível para imobilização nas bolhas, levando a redução da taxa de aumento da incorporação de ar.

Outra hipótese que pode ser considerada é que o método não dá relevância as células de ar já presentes no EPS, mas somente as geradas no processo, justificando assim a correlação entre teor de ar incorporado e densidade real das argamassas modificadas. Maaroufi *et al* (2021), mostra em suas pesquisas que em geral, o teor de ar em um material poroso diminui com aumentando o teor de água, como pode-se verificar na metodologia (Quadro3), a medida em que se aumentou o percentual de EPS na mistura, a água foi corrigida para teores maiores.

5.2.3 Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.

A Tabela 5 apresenta dados do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Tabela 5 - Absorção de água por capilaridade.

Traço	A ₁₀ (g/cm ²)	Média	Desvio Rel. Máx (%) < 20%	A ₉₀ (g/cm ²)	Média	Desvio Rel. Máx (%) < 20%
Referência	0,181	0,175	3,57	0,500	0,458	9,09
	0,169			0,425		
	0,175			0,450		
5% de EPS	0,156	0,140	11,69	0,406	0,365	11,43
	0,138			0,369		
	0,125			0,319		
10% de EPS	0,175	0,190	7,73	0,444	0,498	12,97
	0,200			0,563		
	0,194			0,488		
15% de EPS	0,144	0,146	2,74	0,331	0,348	4,19
	0,144			0,350		
	0,150			0,363		

A₁₀: absorção de água por capilaridade em 10min

A₉₀: absorção de água por capilaridade em

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Analisando a Tabela 5 é possível associar o incremento do teor de EPS na argamassa, é visto uma tendência a diminuição da absorção de água. Ainda pode-se perceber que os resultados apresentaram desvio relativo menor que os 20% permitidos pela norma NBR 15259 (ANBT, 2005a). A possível causa para este comportamento, se dá pela natureza hidrofóbica do EPS (Titarelli, 2016), gerando uma baixa absorção, que pode ainda manter as características mecânicas mesmo imerso em água, segundo relata a Associação Brasileira de Polietileno Expandido (ABRAPEX), (2006).

Milling *et al* (2020) e Horman *et al* (2022), obtiveram resultados semelhantes que apontavam para a redução da absorção de água devido a presença do EPS no traço e associou esta propriedade a durabilidade da argamassa, uma vez que a durabilidade de uma argamassa é medida pela sua capacidade de controlar a passagem de água, seja por penetração ou por absorção.

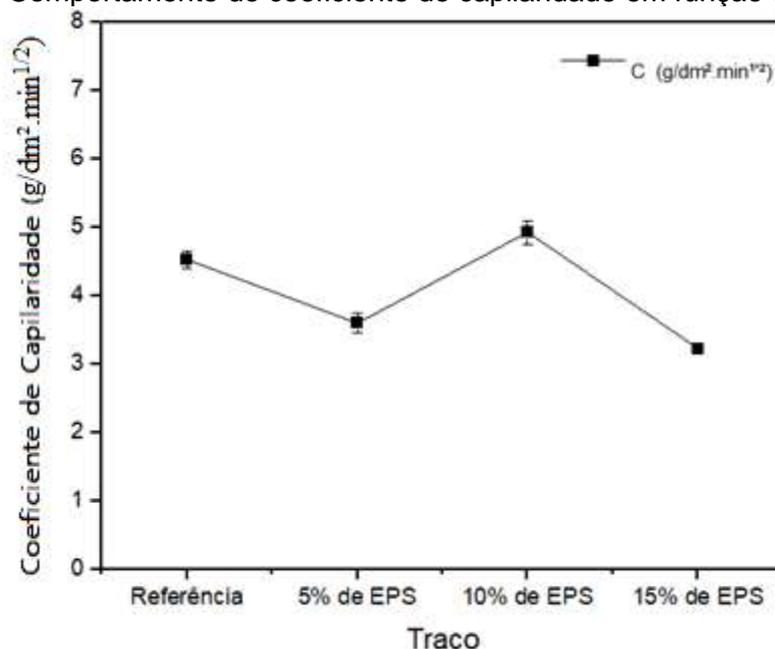
Com base no ensaio de absorção de água, foram calculados os coeficientes de capilaridade das argamassas em estudo e seus valores registrados na Tabela 6 e apresentados na Figura 16.

Tabela 6 - Coeficiente de capilaridade.

Traço	C (g/dm ² .min ^{1/2})	Média	Desvio Rel. Máx (%) < 20%
Referência	5,10	4,53	12,50
	4,10		
	4,40		
5% de EPS	4,00	3,60	13,89
	3,70		
	3,10		
10% de EPS	4,30	4,93	17,57
	5,80		
	4,70		
15% de EPS	3,00	3,23	7,22
	3,30		
	3,40		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 16 - Comportamento do coeficiente de capilaridade em função do teor de EPS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

De acordo com a análise dos dados, pode-se perceber que os traços analisados apresentaram coeficiente de capilaridade médio entre 3,0 e 5,0 g/dm².min^{1/2}, o que as enquadrariam, conforme NBR 13281-1 (ABNT, 2023), como uma argamassa C4. Este tipo de argamassa tem como principal característica a sua impermeabilidade, que sugere uma aplicação onde seja requerida durabilidade.

É possível perceber-se com a análise do gráfico mostrado na Figura 16, pode-se ver decréscimo do coeficiente de capilaridade para as composições com 5 e 15%, mostrando que a incorporação de poliestireno expandido diminuiu o coeficiente de absorção capilar, melhorando assim a durabilidade. O mesmo foi observado por Maaroufi *et al* (2021). O traço com 10% de EPS apresentou comportamento atípico, que pode estar correlacionado com a dispersão das partículas na argamassa.

5.2.4 Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.

Os resultados de densidade de massa aparente no estado endurecido apresentam-se expostos na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios Densidade de massa aparente

Traço	Densidade aparente (Kg/m³)	Desvio Padrão
Referência	1975,03	8,20
5% de EPS	1935,96	3,40
10% de EPS	1891,82	6,95
15% de EPS	1804,68	8,26

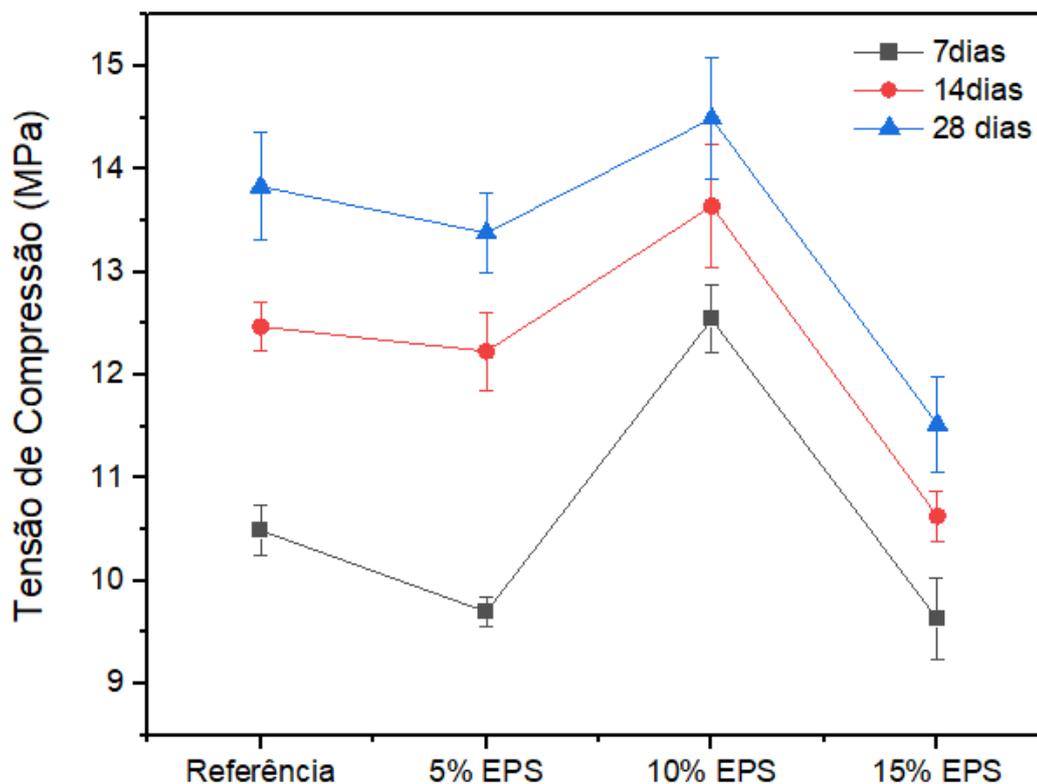
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

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).

5.2.5 Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão axial

A Figura 17 e a Tabela 8, apresentam os resultados referentes ao ensaio de compressão. 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 estabelecidas pela norma ASTM C-270 (ASTM, 2019) e BS-5628 (BS, 1992).

Figura 17 - Comportamento mecânico a compressão a 7, 14 e 28 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Tabela 8 – Resistência a compressão a 7, 14 e 28 dias.

	Resistência média (MPa)	Desvio Padrão	Resistência média (MPa)	Desvio Padrão	Resistência média (MPa)	Desvio Padrão
	7 dias		14 dias		28 dias	
Referência	10,49	0,25	12,47	0,24	13,83	0,52
5% de EPS	9,70	0,15	12,23	0,38	13,38	0,38
10% de EPS	12,54	0,33	13,64	0,30	14,49	0,59
15% de EPS	9,63	0,40	10,63	0,24	11,52	0,47

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Em relação ao grau de dispersão do conjunto de dados em análise, é possível identificar, que todos os traços apresentaram uma uniformidade, ficando próximo de 0, principalmente o traço de 5% na idade de cura de 7 dias. Considerando a idade

de 28 dias, essa uniformidade se distancia mais do 0, comprovando seu comportamento contrário ao identificado na média.

A pesquisa de Mohamad (1998) conduziu testes em argamassas confinadas. O trabalho procurou caracterizar as argamassas por meio de suas propriedades mecânicas. O Quadro 6 apresenta os resultados obtidos para a resistência à compressão de argamassas em cilindros de 50 mm de diâmetro, em função da tensão de confinamento. Para o traço de argamassa 1:1:6 foram utilizadas duas relações água/cimento, citadas como "a" e "b".

Quadro 6 - Resultados obtidos para a resistência à compressão de argamassas em cilindros

f(MPa)	Traço			
	1:0,25:3	1:0,5:4,5	1:1:6 (a)	1:1:6 (b)
0	34,6	24,1	11,4	5,1
0,5	36,7	19,4	13,7	6,6
1	39,7	25,7	14,3	7,6
2,5	44,6	31,0	17,8	-
4	-	-	22,4	-

Fonte: MOHAMAD (1998)

Menezes (2020) identificou valores semelhantes em alguns pontos durante seus testes de resistência a compressão das argamassas, com introdução de Resíduo Industrial de Granito (RIG) variando de 8,98 MPa até 12,133 MPa. Foi constatado que o efeito produzido pelo RIG nas argamassas é preponderantemente físico, de tamponamento dos poros e complemento da granulometria, pois, a elevada finura dos fillers, provocando uma precipitação de produtos hidratados, o que torna a pasta mais densa e homogênea pela diminuição do diâmetro e melhor distribuição dos poros (MORAES, 2001). A pesquisa de Castro et al. (2015) que utiliza bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo apresentou um aumento da resistência a compressão pelo o mesmo fato.

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.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT , 2005) que rege os requisitos para classificação das argamassas, verificou-se que a partir dos resultados obtidos no ensaio, todas apresentam a mesma classificação, conforme Quadro 7.

Quadro 7 - Resistência a compressão.

Classe	Resistência a compressão (MPa)	Tipos de Argamassa
P1	≤ 2,0	
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	>8,0	Arg. A, B, C, D, E, F e G

Fonte: Menezes, (2020).

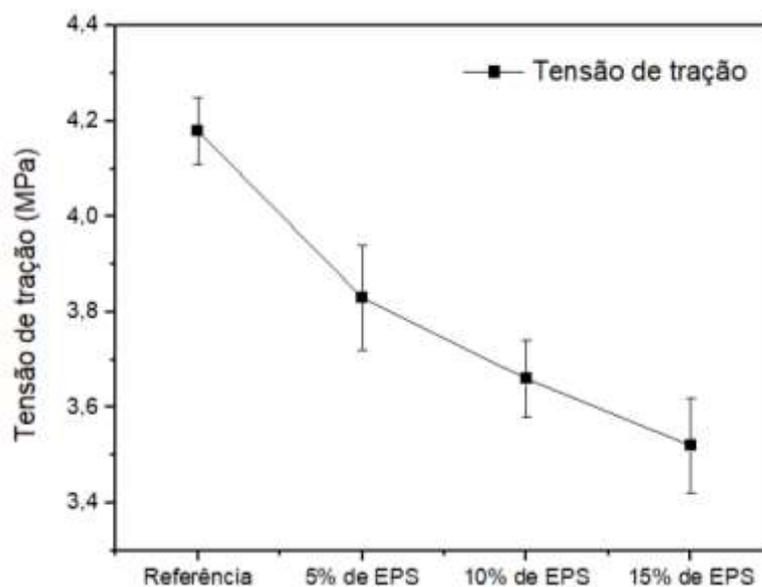
A Tabela 9 e a Figura 18, apresentam os resultados referentes ao ensaio de tração na flexão. As propriedades foram analisadas com 28 dias após a moldagem, para verificar o efeito da cura nas propriedades mecânicas da argamassa. A idade de 28 dias foi analisada, pois a esse tempo a argamassa já atingiu o seu limite de cura usada em trabalho.

Tabela 9 - Comportamento mecânico de tração na flexão

	Resistência média (MPa)	Desvio Padrão
Referência	4,18	0,07
5% de EPS	3,83	0,11
10% de EPS	3,66	0,08
15% de EPS	3,52	0,10

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 18 - Comportamento mecânico de tração na flexão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Analisando os dados é possível perceber que a incorporação de EPS na estrutura da argamassa, causa uma redução na resistência a tração na flexão. Esse fato também foi observado por Fahmy *et al.* (2011), que atribuiu esse efeito a distribuição de EPS e a sua baixa resistência a tração, associada ao comportamento rígido da matriz de argamassa.

Milling *et al.* (2020), associou o decréscimo da resistência a tração a compatibilidade entre a matriz de argamassa e a fase dispersa de EPS, uma vez que há essa falta de ancoragem do EPS na matriz, a propagação da tensão encontra descontinuidades e leva a uma fragilização do composto como um todo.

5.3 Avaliação das propriedades Termo Acústicos

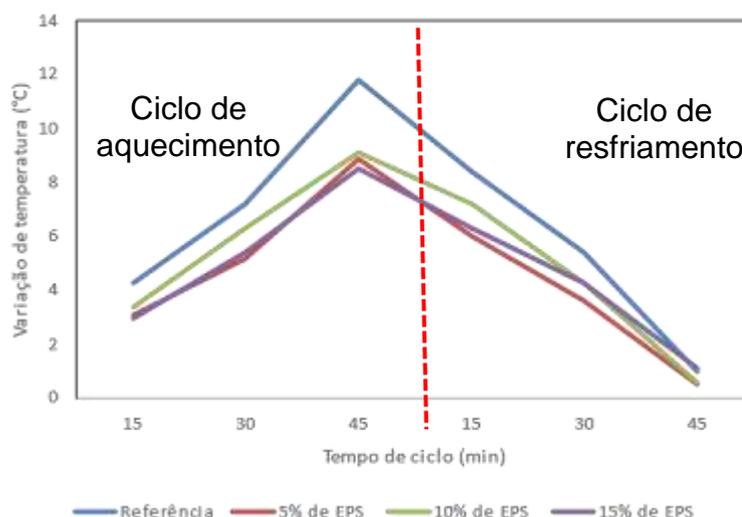
A Tabela 10 apresenta os dados referentes às análises térmicas nas placas preparadas com argamassas modificadas, e a Figura 19 apresenta a sua variação em termos gráficos.

Tabela 10 – Análise da transmissão de temperatura sob sistema de argamassa modificada

		Tempo de ciclo (min)					
		Aquecimento			Resfriamento		
		15	30	45	15	30	45
Referência	T _{interna} (°C)	27,9	29,2	31,1	32,3	32,5	31,9
	T _{externa} (°C)	32,2	36,4	42,9	40,7	37,9	32,9
	Δ (°C)	4,3	7,2	11,8	8,4	5,4	1,0
5% de EPS	T _{interna} (°C)	27,6	28,8	30,3	31,6	31,7	30,9
	T _{externa} (°C)	30,7	34,0	39,2	37,6	35,3	31,4
	Δ (°C)	3,1	5,2	8,9	6,0	3,6	0,5
10% de EPS	T _{interna} (°C)	27,6	28,7	30,6	31,7	31,9	31,0
	T _{externa} (°C)	31,0	35,0	39,7	38,9	35,9	31,6
	Δ (°C)	3,4	6,3	9,1	7,2	4,3	0,6
15% de EPS	T _{interna} (°C)	27,6	28,6	30,0	31,1	30,8	30,0
	T _{externa} (°C)	30,6	34,2	38,5	37,4	35,1	31,1
	Δ (°C)	3,0	5,4	8,5	6,3	4,3	1,1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 19 – Variação temperatura sob sistema de argamassa modificada



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Como é possível verificar na Tabela 11 e Figura 19, a utilização do EPS nas placas de argamassa gerou uma redução na transmissão de temperatura. Dentre as argamassas modificadas a com teor de 10% apresentou melhor performance, além de perceber-se que o comportamento da argamassa com 5 e 15% ficaram próximas. Os resultados corroboram com os demais ensaios físicos, pois a medida que o número de vazios é formado na estrutura, mais difícil se torna a condução de calor e a transmissão de som. Em seus estudos, 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 e ruído para as edificações. O fato da argamassa não possuir maiores resistências mecânicas, propiciará a solução de utilizá-las em aplicações de vedação, sem que haja função estrutural, colaborando no conforto termoacústico do ambiente.

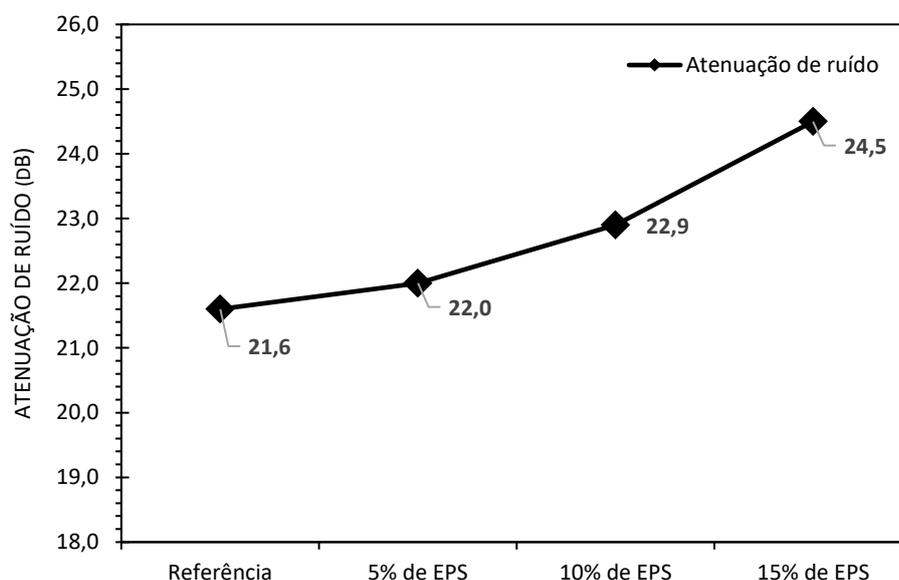
A Tabela 11 e Figura 20 apresentam os resultados das análises acústicas dos protótipos de argamassas modificadas.

Tabela 11 – Resultados Acústicos

	Ruído Externo (dB)	Ruído Interno (dB)	Atenuação de ruído (dB)
Referência		91,4	21,6
5% de EPS	113	91,0	22,0
10% de EPS		90,1	22,9
15% de EPS		88,5	24,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 20 - Atenuação de ruído



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Como percebe-se com a análise dos dados, a medida em que o teor de EPS aumenta no traço da argamassa, é possível perceber um aumento do fator de atenuação de ruído, comportamento característico do material de substituição que possui fortes propriedades acústicas e isolantes. O fato de ele participar da composição do traço, mesmo em forma de partículas e em um percentual de até 15%, nota-se um bom desempenho uma vez que conseguiu-se um fator de atenuação de até 24,5 dB. Esse resultado corrobora com outras análises realizadas

no decorrer do estudo, como por exemplo a diminuição da densidade das argamassas modificadas. A medida em que é inserido um material de baixa densidade em uma matriz, relativamente mais rígida, a dissipação da energia pelos vazios induz a um decréscimo de condutividade térmica e acústica, conforme Fahmy *et al* (2011), Quadir *et al* (2021) e Maaroufi *et al* (2021).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento do trabalho foi possível concluir que:

- A retenção de água e resistência a compressão e tração, encontraram-se com valores abaixo do traço referência, o que sugere que o mesmo seja utilizado em aplicações não estruturais. Adicionalmente, é válido sugerir a investigação de adições na argamassa, que promovam uma melhor compatibilização entre a matriz cimentícia e a fração de EPS com o intuito de melhorar a ancoragem do EPS e conseqüentemente incrementar suas propriedades.
- 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 e levou a uma perda de condutividade térmica, devido à natureza expansiva do EPS.
- Dentre os traços analisados, o que apresentou um equilíbrio de propriedades termoacústicas e mecânicas foi o traço com 10% de EPS, que obteve um bom desempenho mecânico sob o esforço de compressão e ainda atingiu um nível de atenuação de ruído de 22,9 dB.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

É válido apontar que trabalhos futuros investiguem como as modificações necessárias para adequação das propriedades físico mecânicas das argamassas estudadas podem alterar o custo do produto, com o intuito de torna-la com aplicação comercial, atendendo às necessidades dos usuários que prezam por um ambiente confortável em termos acústicos e térmicos.

Portanto, sugere-se investigar os seguintes pontos, com o intuito de aprimorar o objeto de pesquisa:

- Verificar o uso de aditivos que melhorem a compatibilidade do EPS na matriz de cimento;
- Testar resíduos com diferentes granulometrias para avaliar o efeito do tamanho de partícula nas propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas;
- Desenvolver um estudo dos custos associados e relacionar com a economia gerada se a argamassa atender critérios de conforto térmico que justifique a redução do uso de fontes de resfriamento do ambiente interno.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11752: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e câmaras frigoríficas.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-1: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos.** Rio de Janeiro, ABNT, 2023..

_____ **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR 1327 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR 13279 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão.** ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR 13279 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 2010.

_____ **NBR 15259 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO. ABRAPEX. **Manual de Utilização de EPS na Construção Civil.** São Paulo, SP. Pini. 2006. 8p.

AGOPYAN, V.; OLIVEIRA, M. B. de. **Verificação de algumas propriedades de argamassas com saibro da região de Uberlândia para assentamento de tijolos cerâmicos.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/73. São Paulo: EPUSP, 1992.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil.** São Paulo: Blucher, 2014.

ALMEIDA, J. E. de; LOGSDON, N. B.; JESUS, J. M. H. de. Painéis de madeira aglomerada produzidos com serragem e poliestireno expandido. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p.189-200, mar. 2012. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/26317>. Acesso em: 30 maio. 2021.

ALVAREZ, J.; SEQUEIRA, C.; COSTA, M. Ensinaamentos a retirar do passado histórico das argamassas. **1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção**, APFAC, Lisboa, 2005.

ALVES, Mirian; BLEICHVEL, Natália Cristina. COMPARAÇÃO ENTRE ARGAMASSA CONVENCIONAL E ARGAMASSA COM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE. **Rev. Ignis - Caçado**. v.8, n.2. maio/ago. 2019. p. 54-79. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/download/2242/1125>. Acesso em 18 de jul de 2022.

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.

ARRUDA, Ana Paula; *et al.* Planejamento fatorial para otimização das condições da reação de transesterificação alcalina do óleo de pequi (Caryocar brasiliense Cambess). **ENGEVISTA**. V. 19, n.1. jan. 2017. p. 132-145. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/engevista/article/download/9092/6565>. Acesso em 20 de jul de 2022.

BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e execução de revestimento de argamassas**. 4. ed. São Paulo: Tula Melo, 2008.

BAKKE, Hanne Alves; LEITE, Alexandre Santos de Moura; SILVA, Luiz Bueno da . Estatística multivariada: aplicação da análise fatorial Na engenharia de produção. **Revista Gestão Industrial**, v. 04, n. 04: p. 01-14, Ponta Grossa, 2008.

BARROS NETO, Benício; SCARMINIO, Ieda Spacino; BRUNS, Roy Eduard. **Planejamento e Otimização de Experimento**. Ed. UNICAMP, Campinas. 1995.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos**. 3º Edição, Editora da UNICAMP, 2007.

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.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. Falcão; DIAS, João Fernando. **Materiais de construção** 1. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2014.

BOITA, Adenir; BELLEI, Poliana. **Análise da substituição parcial do agregado miúdo por poliestireno expandido (EPS) na argamassa de assentamento.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia civil), 2019.

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 providências.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF.

BUSSOLO, Claudio de Souza. **INFLUÊNCIA DO USO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) COMO AGREGADO EM ARGAMASSA.** UFSC. Joinville - SC. 2020. 73p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/218786>. Acesso em 15 de jul de 2022.

CALIXTO, Thuani Fontoura; *et al.* ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DEPOLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) EM ARGAMASSAS. **REVISTEA.** mai. 2017. Disponível em: <https://revistaea.org/artigo.php?idartigo=2762>. Acesso em 14 de jul de 2022.

CALLISTER JUNIOR, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 10ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

EPS Brasil – **Comissão Setorial do EPS no Brasil.** Aplicações. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/aplicacoes.html>. Acesso em: 17 de junho de 2021.
CGU avalia execução da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.cgu.gov.br/noticias/2018/01/cgu-avalia-execucao-da-politica-nacional-de-residuos-solidos> Acesso em: 05 out 2020

Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/> Acesso em: 05 out 2020

FAHMY, Ezzat H. *et al.* Aproveitamento de resíduos de poliestireno expandido para produção de argamassas leves. In: **Proceedings of the Second International Engineering Mechanics and Materials Specialty Conference, Ottawa, Ontário, Canadá** . 2011. pág. 035-10.

FLETCHER, B. L.; MACKAY, M. E. A model of plastics recycling: does recycling reduce the amount of waste? **Elsevier: Resources, conservation and recycling**, Brisbane, v. 17, p.141-151, 1996.

HORMA, O., CHARAI, M., EL HASSANI, S., EL HAMMOUTI, A., MOUSSAOUI, M. A.; MEZRHAB, A. Estudo do desempenho térmico de uma argamassa à base de cimento incorporando grânulos de EPS. **Fronteiras no Ambiente Construído** , v. 8, p. 98, 2022.

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.

ITU. Brasil recicla 34,5% do poliestireno expandido pós-consumo. set. 2014. Disponível em: <https://www.itu.com.br/geral/noticia/brasil-recicla-345-do-poliestireno-expandido-posconsumo-20140903>. Acesso em 20 de jul de 2022.

JOHN, V. M. **Desenvolvimento Sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar**. 2000. Disponível em: <http://www.recycle.pcc.usp.br>. Acesso em: 20 out. 2020.

Kaza, Silpa; Yao, Lisa C .; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. 2018. **What a Waste 2.0: Um Instantâneo Global da Gestão de Resíduos Sólidos até 2050**. Desenvolvimento Urbano;. Washington, DC: Banco Mundial. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> Licença: CC BY 3.0 IGO. Acesso em: 20 out. 2020.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2016.

LE ROY, R.; PARANT, E.; BOULAY, C. Taking in account the inclusions' size in lightweight concrete compressive strength prediction, Cement and Concrete Research, **ScienceDirect**, Paris, v. 35, 2005, pág. 770 –775, Paris, 1 Jun. 2004.

LIMA, Ítalo Giovanne Carvalho Andrade. **Um estudo sobre produção do concreto leve estrutural**. 2010. 71 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia Colegiado de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2010.

MAAROUFI, M., BELARBI, R., ABAHRI, K., & BENMAHIDDINE, F. Caracterização completa das propriedades higrotérmicas, mecânicas e morfológicas de uma argamassa reciclada à base de poliestireno expandido. **Construção e Materiais de Construção** , v. 301, p. 124310, 2021.

MAŁEK, 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.

MANGOLD, Hannah; VON VACANO, Bernhard. A Fronteira da Reciclagem de Plásticos: Repensando o Resíduo como um Recurso para Aplicações de Alto Valor. **Química e Física Macromolecular** , v. 223, n. 13, pág. 2100488, 2022.

MARINHO, Mary R. M.; CASTRO, Walman B. de. **PLANEJAMENTO FATORIAL: UMA FERRAMENTA PODEROSA PARA OS PESQUISADORES**. XXXIII COBENGE. Campina Grande - PB. set. 2005. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/14/artigos/PB-5-61001198468-1118313321435.pdf>. Acesso em 20 de jul de 2022.

MENEZES, Salomão David Souto. **Estudo da influência da substituição parcial do aglomerante por resíduo industrial de granito em argamassas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2020.

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.

MONTGOMERY, Douglas C.; CALADO, Verônica. **Planejamento de experimento usando Estatística**. Editora E-Papers, Rio de Janeiro, 2003.

MONTGOMERY, Douglas C.; PECK, Elisabeth A.; VINING, G. Geoffrey; **Introduction to Linear Regression Analysis**. 5ª Ed., Editora Wiley, 2012.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4ª Ed., Editora LTC, 2009.

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.

OLIVEIRA, Livia Souza de. **Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (EPS) em compósitos cimentícios**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João Del-rei, São João Del-rei, 2013.

PEREIRA, Helena Ravache Samy; VALENTINA, Luiz Veriano Oliveira Dalla; PRISCILA, Warch. Study of water retention capacity in mortars with the incorporation of exhaust powder. **55º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 2011.

PEREIRA, Caio. **Tipos de cimento: Características e especificações**. Escola Engenharia, 2013. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-cimento/>. Acesso em: 2 de junho de 2023.

PIRES, Raíza. **DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**. UFSC. Joinville - SC. 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/181762/Argamassa%20de%20EPS_Raiza%20Pires.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 14 de jul de 2022.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo: USP, 1999.

PORTAL DO CONCRETO. **Tudo sobre concreto**. Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/>. Acesso em: 15 de abril de 2021.

QADIR, G., RASHID, Y., HASSAN, A., VALL, E., SALEH, S., & SALIM, K. Desenvolvimento e ensaios mecânicos de argamassa geopolimérica leve porosa. **Edifícios**, v. 11, n. 1, pág. 1 de janeiro de 2020.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa**. Porto Alegre: Edipucrs, 2008. 192 p.

RECICLA SAMPA. **BRASIL RECICLA QUASE 25% DO LIXO PLÁSTICO, MAS AINDA É POUCO**. jan. 2021. Disponível em: <https://www.reciclasampa.com.br/artigo/brasil-recicla-quase-25-do-lixo-plastico-mas-ainda-e-pouco>. Acesso em 19 de jul de 2022.

_____. **COMO FAZER RECICLAGEM DE EPS**. mar. 2021. Disponível em: <https://www.reciclasampa.com.br/artigo/como-fazer-reciclagem-de-EPS>. Acesso em 19 de jul de 2022.

RODRIGUES, Paula Nader. **CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS HISTÓRICAS DA RUÍNA DE SÃO MIGUEL ARCANJO/RS. UFSM**. Santa Maria, RS. 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7853/RODRIGUES%2C%20PAULA%20NADER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 18 de jul de 2022.

SANT'HELENA, Maiko. **Estudo para aplicação de Poliestireno Expandido (EPS) em concretos e argamassas**. 2009. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2009.

SANTOS, Suenya Freire do Monte; *et al.* **A IMPLEMENTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO E O IMPACTO NA CONSCIENTIZAÇÃO DA COMUNIDADE LOCAL**. VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. ago. 2011. Disponível em: https://www.inovarse.org/sites/default/files/T11_0352_2105.pdf. Acesso em 19 de jul de 2022.

SARTORTI, Artur Lenz; CARRAZEDO, Ricardo; PINHEIRO, Libânio Miranda. Análise do comportamento dinâmico de lajes maciças de concreto leve com pérola de EPS. Caderno de **Engenharia de Estruturas**, São Carlos, V. 15, n. 65, p 1-4, 2013.

SILVA, Wesley Barbosa da; FLORIAN, Fabiana; FILHO, Walter Gonçalves Ferreira. USO E IMPORTÂNCIA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **RECIMA21**. v.2, n.10. 2021. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/868/723>. Acesso em 13 de jul de 2022.

STRECKER, K.; SILVA, C. A.; PANZERA, T. H. Fabricação e caracterização de compósitos a base de cimento com incorporação de poliestireno expandido (EPS). **Rev Cerâmica** 60. jun. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/Z47gnFxyQym5M8FgY7wZ6q/?lang=pt>. Acesso em 13 de jul de 2022.

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.

TORRES, Danila. Situação **Atual dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Disponível em: <https://portalresiduossolidos.com/situacao-atual-dos-rs-no-brasil/> Acesso em: 05 out 2020.

VICENTINI, Fernando Campanhã; *et al.* Planejamento fatorial e superfície de resposta: otimização de um método voltamétrico para a determinação de $Ag(i)$ empregando um eletrodo de pasta de nanotubos de carbono. **Quim. Nova**. Vol. 34, No. 5. 2011. p 825-830. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/BLhYQKZKNfHP5F74tpvsf9f/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 20 de jul de 2022.

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.