

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

BRUNO CRIPPA MOREIRA

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE PÉROLAS DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO

Joinville
2022

BRUNO CRIPPA MOREIRA

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE PÉROLAS DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO

Trabalho apresentado como requisito
para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Civil de Infraestrutura do
Centro Tecnológico de Joinville da
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Valéria Bennack.

Joinville
2022

BRUNO CRIPPA MOREIRA

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE PÉROLAS DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 18 de Março de 2022.

Banca Examinadora:

Orientadora: Dra. Valéria Bennack.
Orientador(a)
Presidente

Prof.Dra. Anelize Borges Monteiro
Membro(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.Dra. Helena Paula Nierwinski
Membro(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, irmãos e avós que sempre me apoiaram e deram todo o suporte necessário para o início e conclusão do curso.

Agradeço à minha orientadora, Prof. Dra. Valéria Bennack, por ter estado comigo durante a trajetória do trabalho dando todo o auxílio e ensinamento necessário.

À minha namorada, Letícia, por estar ao meu lado todos os dias me apoiando, incentivando, aconselhando e sendo meu porto seguro nos momentos que precisei.

À Universidade Federal de Santa Catarina e a todos os professores que me passaram conhecimentos e ensinamentos.

Agradeço a Perville por disponibilizar o laboratório para realização dos ensaios, em especial a Eduarda que auxiliou na realização. Agradeço também à Thais que auxiliou na utilização do laboratório da UFSC.

Aos inúmeros amigos que fiz durante a faculdade e levarei para a vida toda, principalmente as famílias Rapeize, Kuase Rep e Neverland que foram as melhores companhias que eu poderia ter.

Por fim, agradeço à Atlética Camaleão que foi a minha casa durante quase 4 anos, servindo como um refúgio imprescindível aos alunos fora da sala de aula. Obrigado a todas as gestões da qual fiz parte, onde cresci muito pessoal e profissionalmente.

RESUMO

O Poliestireno Expandido (EPS), tradicionalmente conhecido como isopor, vem sendo consumido em grande quantidade na indústria da construção civil e ocupando lugar de destaque em conjunto com outros elementos tradicionalmente empregados em todo o mundo, sendo um material reciclável e de baixo impacto ambiental, que pode ser utilizado em forma de blocos, chapas ou como material agregado dos compósitos cimentícios. O objetivo deste trabalho é analisar as propriedades físicas e mecânicas de argamassas quando é adicionado EPS em sua composição, que é formada por água, areia e cimento. Os resultados são obtidos através da confecção de corpos-de-prova prismáticos de argamassa com substituição parcial de agregado miúdo (areia) por EPS nas proporções de 0,50%, 1,00% e 1,50% em massa. Para as propriedades físicas, estudaram-se a absorção de água, o índice de vazios e a massa específica, para as propriedades mecânicas os corpos-de-prova foram rompidos à flexão e compressão. Os resultados comprovam que a utilização de EPS na matriz cimentícia da argamassa reduz significativamente o peso final do material, proporcionando uma diminuição da massa específica e aumento do índice de vazios, o que, em contrapartida, acarreta em um decréscimo da resistência mecânica.

Palavras-chave: Argamassa. Poliestireno Expandido. Isopor. Propriedades.

ABSTRACT

Expanded Polystyrene (EPS), traditionally known as styrofoam, has been consumed in large quantities in the construction industry and occupies a prominent place together with other elements traditionally used around the world, being a recyclable material with low environmental impact, which can be used in the form of blocks, sheets or as an aggregate material for cementitious composites. The objective of this work is to analyze the physical and mechanical properties of mortar when they have the addition of EPS in their composition, which is formed by water, sand and cement. The results are obtained by making prismatic specimens of mortar with partial replacement of fine aggregate (sand) by EPS in the proportions of 0.50%, 1.00% and 1.50% by mass. For the physical properties, water absorption, void ratio and specific mass were studied and for the mechanical properties, the specimens were ruptured by bending and compression. The results prove that the use of EPS in the cementitious matrix of the mortar significantly reduces the final weight of the material, providing a decrease in the specific mass and an increase in the void index, which, on the other hand, leads to a decrease in mechanical strength.

Keywords: Mortar. Expanded polystyrene. Styrofoam. Properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais usos do EPS.	13
Figura 2 – Vantagens no uso do EPS.	15
Figura 3 – Desvantagens no uso do EPS.	17
Figura 4 – Curva granulométrica da areia.	20
Figura 5 – Materiais utilizados no experimento.	20
Figura 6 – Fluxograma dos ensaios realizados.	21
Figura 7 – Balança de precisão 0,01g.	22
Figura 8 – Misturador de alta potência.	23
Figura 9 – Materiais para o ensaio de <i>Flow Table</i>	24
Figura 10 – Ensaio de <i>Flow Table</i>	25
Figura 11 – Moldagem dos corpos-de-prova.	26
Figura 12 – Mesa de adensamento e contador de golpes.	26
Figura 13 – Corpos-de-prova em processo de cura	28
Figura 14 – Balança com suporte para pesagem imersa.	29
Figura 15 – Amostras em imersão por 72 horas.	29
Figura 16 – Amostras saturadas durante execução do ensaio.	30
Figura 17 – Amostras rompidas após ensaios mecânicos.	31
Figura 18 – Abertura medida no ensaio de <i>Flow Table</i>	32
Figura 19 – Peso das amostras ao longo dos 28 dias.	33
Figura 20 – Absorção de água das amostras.	34
Figura 21 – Massa específica das amostras.	35
Figura 22 – Índice de vazios das amostras.	35
Figura 23 – Comparativo entre as propriedades físicas.	36
Figura 24 – Curva de resistência mecânica aos 7 dias.	39
Figura 25 – Curva de resistência mecânica aos 28 dias.	40
Figura 26 – Resistência aos 7 dias x Massa Específica.	41
Figura 27 – Resistência aos 28 dias x Massa Específica.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades, vantagens e benefícios do EPS.	16
Tabela 2 – Caracterização do Cimento Portland CP-II-Z-32.	19
Tabela 3 – Peso das amostras ao longo dos 28 dias.	33
Tabela 4 – Resultados dos ensaios físicos.	34
Tabela 5 – Resistência individual das amostras com 0,00% de EPS aos 7 dias.	37
Tabela 6 – Resistência individual das amostras com 0,00% de EPS aos 28 dias.	37
Tabela 7 – Resistência individual das amostras com 0,50% de EPS aos 7 dias.	37
Tabela 8 – Resistência individual das amostras com 0,50% de EPS aos 28 dias.	37
Tabela 9 – Resistência individual das amostras com 1,00% de EPS aos 7 dias.	37
Tabela 10 – Resistência individual das amostras com 1,00% de EPS aos 28 dias.	38
Tabela 11 – Resistência individual das amostras com 1,50% de EPS aos 7 dias.	38
Tabela 12 – Resistência individual das amostras com 1,50% de EPS aos 28 dias.	38
Tabela 13 – Valores de Resistência Mecânica aos 7 dias.	38
Tabela 14 – Valores de Resistência Mecânica aos 28 dias.	39

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>EPS</i>	Poliestireno Expandido
<i>mm</i>	Milímetro
<i>A</i>	Absorção de Água
<i>I_v</i>	Índice de Vazios
<i>ρ_s</i>	Massa Específica
<i>g</i>	Gramma
<i>cm</i>	Centímetro
<i>cm</i>	Centímetro Cúbico
<i>m</i>	Metro Cúbico
<i>kg</i>	Kilograma
<i>CP</i>	Cimento Portland
<i>MgO</i>	Óxido de Magnésio
<i>SO₃</i>	Trióxido de Enxofre
<i>MPa</i>	Megapascal
<i>a/c</i>	Água/Cimento
<i>s</i>	Segundos
<i>M_s</i>	Massa Seca
<i>M_i</i>	Massa Imersa
<i>M_{sat}</i>	Massa Saturada
<i>hrs</i>	Horas
<i>N</i>	Newton

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	11
1.1.1	Objetivo Geral	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	Argamassa	12
2.1.1	Aplicação da Argamassa	12
2.2	Materiais alternativos em prol da inovação	13
2.3	Poliestireno Expandido (EPS)	14
2.3.1	Definição	14
2.3.2	Características	14
2.3.3	Vantagens	15
2.3.4	Desvantagens	16
2.4	Concreto Leve	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1	Materiais	19
3.2	Metodologia	20
3.2.1	Ensaio no estado fresco	21
3.2.1.1	<i>Flow Table</i>	23
3.2.2	Moldagem dos corpos-de-prova	25
3.2.3	Ensaio no estado endurecido	27
3.2.3.1	Absorção de água, índice de vazios e massa específica	28
3.2.3.2	Resistência à flexão e à compressão	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1	<i>Flow Table</i>	32
4.2	Pesagem das amostras	33
4.3	Absorção de água, índice de vazios e massa específica	34
4.4	Resistência Mecânica	36
5	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico e o crescimento econômico, sem dúvida, trouxeram grandes benefícios à sociedade. Mas, aliados ao crescimento populacional e a um comportamento de consumo inadequado, provocaram vários efeitos colaterais, ensejando a necessidade de adoção de um novo tipo de desenvolvimento: o desenvolvimento sustentável (TESSARI, 2006).

Segundo Pedroso (2009), anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que resulta em aproximadamente 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. Em virtude da alta utilização de elementos naturais, cada vez mais procura-se a utilização de outros materiais na construção civil, tanto pela questão ambiental como pela demanda do emprego de propriedades diferenciadas no seu uso.

As atividades humanas impactam diretamente no meio ambiente. Estas atividades podem levar à degradação, poluição e esgotamento das áreas que sofreram com a ação humana e a alteração do clima do planeta. Uma das ações humanas que mais impactam no meio ambiente é a indústria da construção e, por este motivo, é uma das forças motrizes para o atendimento de metas de desenvolvimento sustentável (SILVA, 2003).

Nesse contexto, o Poliestireno Expandido (EPS), tradicionalmente conhecido como isopor, vem sendo consumido em grande quantidade na indústria da construção civil e ocupando lugar de destaque em conjunto com outros elementos tradicionalmente empregados em todo o mundo. O EPS pode proporcionar melhor desempenho térmico e acústico por funcionar como um agente incorporador de vazios e ser composto, segundo a Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (2019), por 98% de ar e 2% de poliestireno. Sua incorporação permite reduzir a potência de refrigeração dos sistemas de condicionares de ar, buscando maiores condições de conforto aliada à economia nos gastos anuais com energia elétrica.

O processo produtivo do EPS utiliza como agente expensor o pentano, que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, o que não compromete o meio ambiente. O EPS é um material de baixa densidade, o que o torna fácil de manusear no canteiro de obra, e apresenta outras características positivas, como ótima capacidade em absorver impactos, facilidade em moldar o material conforme tamanho e espessura desejados e possibilidade de reciclagem (ISORECORT, 2016).

De acordo com Burgos (2006), com a utilização dos blocos de EPS há uma redução de 20% no custo da fundação da obra, de até 50% de aço usado na própria

laje e de 35% no consumo de concreto.

Acredita-se que o uso do poliestireno expandido terá grande valor na área da construção civil, pois, além de ser um material de reuso e reciclável, tem baixo impacto ambiental. Propõe-se aqui, portanto, uma pesquisa sobre a adição de EPS na formulação da argamassa convencional, a fim de analisar as propriedades de trabalhabilidade, resistência mecânica, absorção de água, índice de vazios e massa específica.

1.1 OBJETIVOS

Com a finalidade de auxiliar no desenvolvimento e aplicação de uma argamassa mais leve, econômica e sustentável, propõe-se os seguintes objetivos.

1.1.1 Objetivo Geral

- Analisar as propriedades físicas e mecânicas de argamassa com adição de pérolas de poliestireno expandido.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver corpos de prova de argamassa com substituição do agregado miúdo (areia) por pérolas de poliestireno expandido na proporção de 0,50%, 1,00% e 1,50% em massa;
- Avaliar a trabalhabilidade da argamassa produzida no estado fresco;
- Analisar e comparar os resultados dos ensaios de caracterização física e mecânica dos corpos-de-prova.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas as características e aplicações de argamassas e do poliestireno Expandido (EPS), bem como suas vantagens, desvantagens e propriedades quando empregado na construção civil.

2.1 ARGAMASSA

Segundo Barazzetti (2021), a argamassa, em sua composição mais básica, consiste em uma mistura de cimento, água e areia, podendo conter ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento.

Esses mesmos materiais também são utilizados como base para a fabricação do concreto, porém este utiliza agregados graúdos (brita) em sua composição, enquanto a argamassa emprega apenas a pasta de cimento (cimento + água) e o agregado miúdo (areia).

O ponto principal na execução desses compósitos é a quantidade de água utilizada na mistura, também chamada relação água/cimento. A água em contato com o cimento ativa a reação química, que faz com que a mistura fique com consistência de pasta. A falta de água faz com que a reação não ocorra por completo, e o excesso diminui a resistência, pois com a evaporação, aumenta-se a quantidade de poros desobstruídos e descontinuidades na estrutura (PORTAL DO CONCRETO, 2022).

As argamassas devem oferecer propriedades específicas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, que são fundamentais para garantir o desempenho esperado da mistura. Chama-se de traço a proporção entre os componentes da argamassa, que varia de acordo com a finalidade e as características desejadas em função da aplicação a ser executada.

2.1.1 Aplicação da Argamassa

Segundo Ricamix (2022), as argamassas são materiais muito empregados dentro da construção civil por conta de suas variadas aplicações, que podem ser:

- Assentamento: desempenha o papel de aderir um bloco ao outro;
- Revestimento de paredes: utilizada para fazer reboco, permitindo um acabamento uniforme;
- Contrapisos: aplicada para nivelar superfícies de um piso para que esse possa receber o acabamento, como cerâmicas e porcelanatos;
- Assentamento e rejuntamento: adere o revestimento ao piso ou parede construída.

2.2 MATERIAIS ALTERNATIVOS EM PROL DA INOVAÇÃO

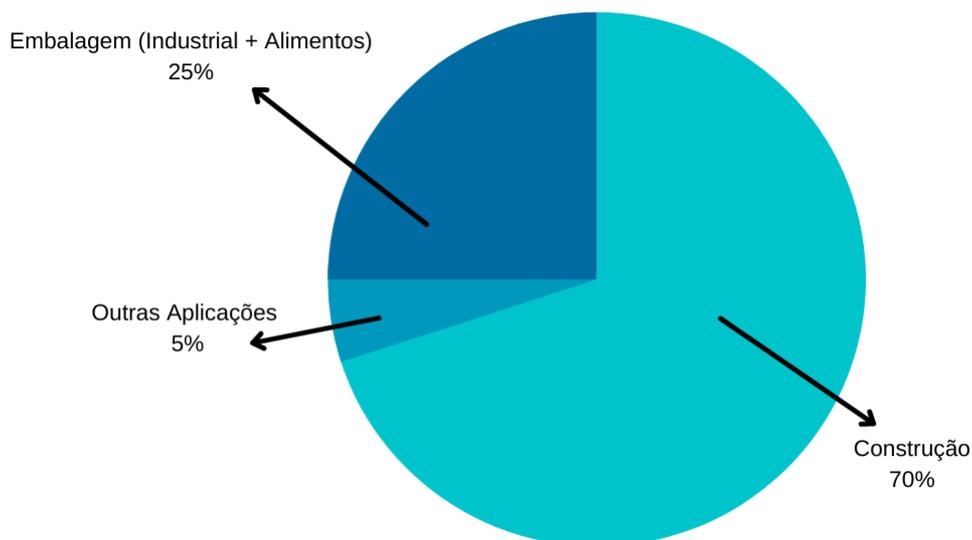
A preocupação do setor da construção civil com a sustentabilidade e a busca por materiais e tecnologias que não agridem o meio ambiente vem crescendo cada vez mais. Com o mundo em constante evolução em relação aos hábitos prejudiciais à natureza, surge a necessidade de construções mais sustentáveis.

Mais de 40% das matérias-primas do planeta são usadas na construção civil e 30% da geração de resíduos é causado pelo setor. Esses dados mostram que há uma urgência em pensar e desenvolver soluções que minimizem os impactos da construção civil no meio ambiente (PREVISION, 2020).

De acordo com Moraes e Brasil (2015), a busca por novas tecnologias no mercado da construção civil tem como cerne o alcance de vantagens, atrelado principalmente ao aumento da produtividade e à diminuição da mão-de-obra. Visa-se também o atual mercado frente ao impacto que ela gera ao meio ambiente, tornando inerente a preocupação por uma maior qualidade ao ambiente construído que gere o menor impacto possível.

O EPS tem sido um material de escolha alternativo devido à sua versatilidade técnica, desempenho e custo-eficácia. É amplamente utilizado em muitas aplicações cotidianas, onde suas características de peso leve, resistência, durabilidade, isolamento térmico e absorção de choques elétricos, fornecem produtos de alto desempenho. A figura 1 mostra os principais usos do EPS no mundo.

Figura 1 – Principais usos do EPS.



Fonte: Adaptado de Plastics Europe (2020).

2.3 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

2.3.1 Definição

O poliestireno é uma resina do grupo dos termoplásticos. Isso significa que quando submetido a altas temperaturas o poliestireno pode ser moldado e transformado. O poliestireno é fabricado a partir do estireno, um plástico derivado do petróleo, e, através da sua expansão, obtém-se o EPS.

EPS é a sigla internacional do Poliestireno Expandido, de acordo com a definição da norma DIN ISO-1043/78. O material foi descoberto em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz, quando trabalhavam nos laboratórios da Basf, na Alemanha. No Brasil, é mais conhecido como *Isopor*®, marca registrada da Knauf que designa, comercialmente, os produtos de poliestireno expandido vendidos por esta empresa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO, 2019).

Ainda segundo a Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (2019), o produto final são pérolas de até 3 milímetros de diâmetro, que se destinam à expansão. No processo de transformação, essas pérolas aumentam em até 50 vezes o seu tamanho original, por meio de vapor, fundindo-se e moldando-se em formas diversas.

2.3.2 Características

As pérolas de EPS apresentam em seu volume até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Em 1m³ de EPS expandido, por exemplo, existem de 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar. Os produtos finais de EPS são inodoros, não contaminam o solo, água e ar, são 100% reaproveitáveis e recicláveis e podem voltar à condição de matéria-prima (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO, 2019).

São diversos os usos do poliestireno expandido na construção civil, inclusive em obras de estruturas grandes, como estradas e ferrovias. A espuma rígida de EPS é comprovadamente um material isolante que pode suportar variações de temperaturas de -50° a +80° Celsius, sendo assim um material isolante, capaz de suportar variações de temperaturas (COMISSÃO SETORIAL EPS BRASIL, 2007).

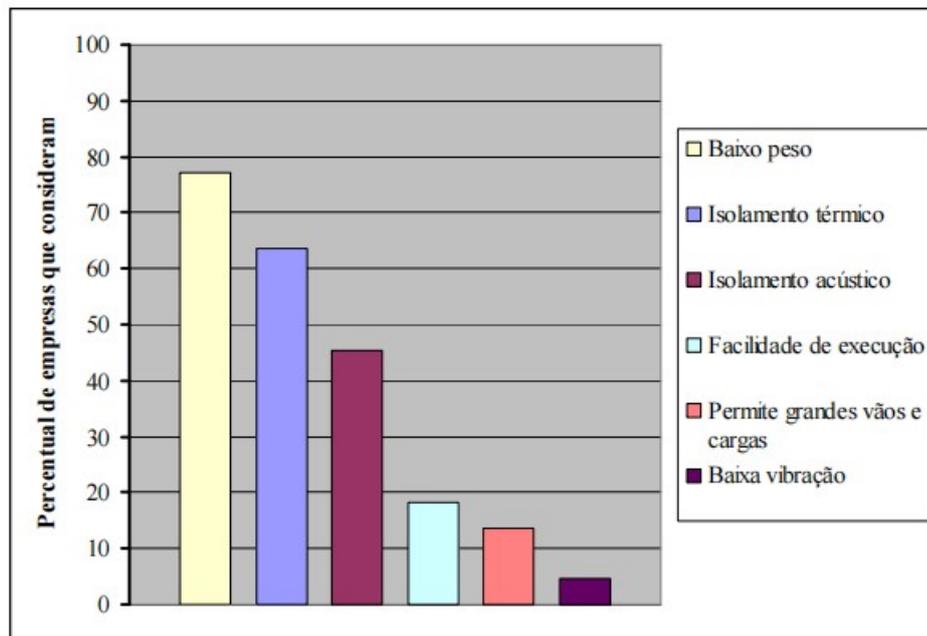
Segundo Helena (2009), a escolha do tipo de matéria prima e a regularização do processo de fabricação permitem a obtenção de diversos tipos de poliestireno expandido, com várias densidades, cujas características se adaptam às aplicações previstas.

2.3.3 Vantagens

O uso do EPS permite inúmeros benefícios e diferenciais para a arquitetura, engenharia e construção, compondo desde a estrutura até os acabamentos da obra. Por ser um excelente isolante térmico e oferecer baixa absorção de água, permite que a cura do concreto seja bem melhor e mais rápida.

Uma pesquisa realizada por Tessari (2006), na cidade de Chapecó/SC, aponta as principais vantagens verificadas pelas construtoras que fazem uso do EPS nas construções, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Vantagens no uso do EPS.



Fonte: Tessari (2006).

A Tabela 1 exemplifica as vantagens do EPS quando comparado às suas propriedades e os respectivos benefícios que este proporciona.

Tabela 1 – Propriedades, vantagens e benefícios do EPS.

Propriedades	Vantagens	Benefícios
Baixa condutividade térmica	A estrutura de células fechadas, cheias de ar, dificulta a passagem do calor, resultando em grande poder isolante	Conforto termo acústico; redução do consumo de energia
Baixo peso	O isopor possui baixa densidade, implicando em uma expressiva redução do peso das estruturas	Redução de peso de estruturas; redução do peso e preço de transporte
Resistência à intempéries	Não desenvolve bactérias, fungos ou qualquer tipo de microorganismos	Durabilidade do material
Resistência mecânica	Apesar de muito leve, o isopor tem uma boa resistência mecânica, que permite o seu emprego onde esta característica é necessária	Durabilidade de estruturas
Baixa absorção de água	Absorve apenas pequenas quantidades de água. Tal propriedade garante que o isopor mantenha as suas características térmicas e mecânicas mesmo sob a ação da umidade	Características térmicas e mecânicas não se alteram mesmo sob a ação da umidade; conforto hidrotérmico
Sustentabilidade	Reciclável, auxilia na economia de energia, produção sem emissão de CFC	Diminui resíduos gerados, colaborando com o meio ambiente
Versatilidade	Facilmente cortado e moldado, adequa-se à maioria dos processos construtivos	Integração no processo de produção da edificação; redução de desperdício e resíduos em canteiro de obras; facilidade no transporte

Fonte: Adaptado de Moraes e Brasil (2015).

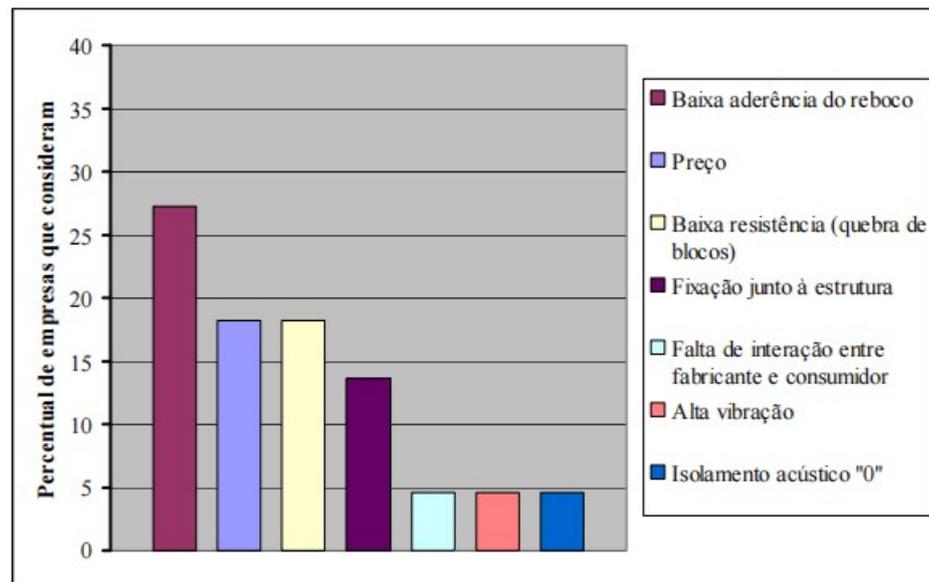
2.3.4 Desvantagens

Observa-se ainda uma certa resistência quanto ao uso do EPS nas edificações, devido ao desconhecimento da economia que o material proporciona. Por ser um material relativamente novo no mercado da construção civil, normalmente há certas resistências em aderir a ele e nas formas de manuseio.

O uso do EPS para construção civil é bastante seguro. Todavia, ele pode se tornar perigoso se for utilizado de modo inadequado, assim como qualquer outro material existente. Dessa maneira, não se recomenda o uso do EPS para certos tipos de construções, pois o material, quando exposto a temperaturas acima de 80° C, começa a se tornar inflamável (ORÇAFASCIO, 2021).

Tessari (2006) também aponta as principais desvantagens encontradas pelas empresas que utilizam o EPS, expostas na Figura 3.

Figura 3 – Desvantagens no uso do EPS.



Fonte: Tessari (2006).

Segundo o gráfico, pode-se perceber que a principal desvantagem é relacionada à baixa aderência ao reboco. Entretanto, Moraes e Brasil (2015) explicam que blocos especiais de EPS para enchimento de lajes industrializadas foram desenvolvidos com o intuito de minimizar este aspecto de baixa aderência.

2.4 CONCRETO LEVE

O concreto leve é um concreto do tipo cimento-areia que substitui a pedra britada por flocos de EPS reciclado. A mistura cimento-areia se solidifica e envolve as partículas de EPS, proporcionando um concreto de baixa densidade aparente variando entre 700 a 1600 kg/m³, enquanto a do concreto convencional, com pedra britada, é de 2400 kg/m³ (ABRAPEX, 2015).

As principais características do concreto leve são:

- Densidade aparente baixa;
- Bom isolamento térmico;
- Pequena absorção de umidade;
- Resistência mecânica para aplicações não estruturais.

Sempre que não haja exigência de resistência a grandes esforços, o concreto leve de EPS pode ser usado com grande redução de peso em elementos ou componentes. Além do baixo peso, suas qualidades isolantes ampliam sua utilização dando um grande passo a caminho do desenvolvimento sustentável (TESSARI, 2006).

Tessari (2006) também conclui que o fato do EPS praticamente não absorver água e a possibilidade de um acabamento homogêneo de superfície, possibilitam o uso do concreto leve em outros elementos arquitetônicos e de paisagismo. Abrem-se assim inúmeras possibilidades de uso do concreto leve de EPS. Hoje a mais comum é na regularização de lajes, que em alguns casos, pela espessura necessária, não poderia ser feita com outro material.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar os materiais e métodos que foram utilizados para determinação das propriedades da argamassa de EPS, apresentando os equipamentos e materiais utilizados em cada etapa do experimento.

Os materiais constituintes da argamassa influenciam nas suas propriedades finais, devido à sua forma e granulometria, e também devido às suas características químicas, físicas e mecânicas (LEAL, 2012).

3.1 MATERIAIS

A argamassa padrão apresenta em sua composição o cimento portland, água e areia. No estudo em questão, será realizada uma substituição parcial da areia por pérolas de poliestireno expandido em variadas porcentagens.

O cimento utilizado na produção da argamassa é classificado como CP-II-Z-32 da marca Votoran, o qual apresenta em sua composição silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, fíler carbonático e pozolana, com secagem rápida e alta resistência. Sua caracterização é apresentada na Tabela 2. A água utilizada provém da rede pública de abastecimento de água de Joinville, com a qual foram realizados os ensaios.

Tabela 2 – Caracterização do Cimento Portland CP-II-Z-32.

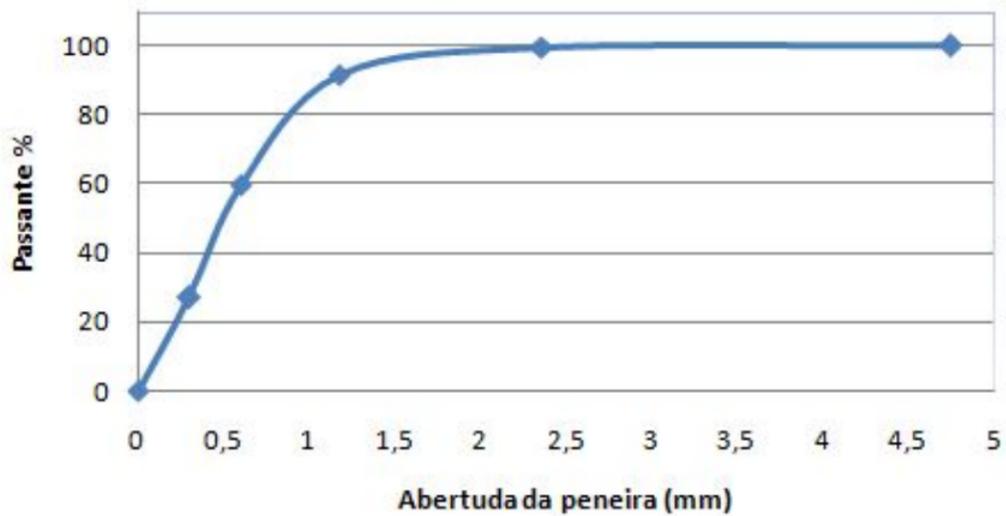
Caracterização química (%)					
MgO		SO ₃	Perda ao fogo	Resíduo insolúvel	
≤ 6,5		≤ 4,0	≤ 6,5	≤ 16,0	
Caracterização física e mecânica					
Tempo de pega (horas)		Blaine (área específica)	Expansibilidade a quente	Resistência à compressão (Mpa)	
Inicial	Final	cm ² /g	mm	7 dias	28 dias
1	10	≥ 2600	≤ 5,0	≥ 20,0	≥ 32,0

Fonte: Adaptado de Cimento.org (2010).

O poliestireno expandido empregado foi adquirido na forma de pérolas com diâmetros em torno de 5mm e densidade de aproximadamente 14kg/m³, por ser o tipo de material mais comercializado na região de Joinville. A areia utilizada no experimento foi fornecida pela Universidade Federal de Santa Catarina e apresenta o ensaio granulométrico demonstrado na Figura 4, sendo classificada como uma areia média

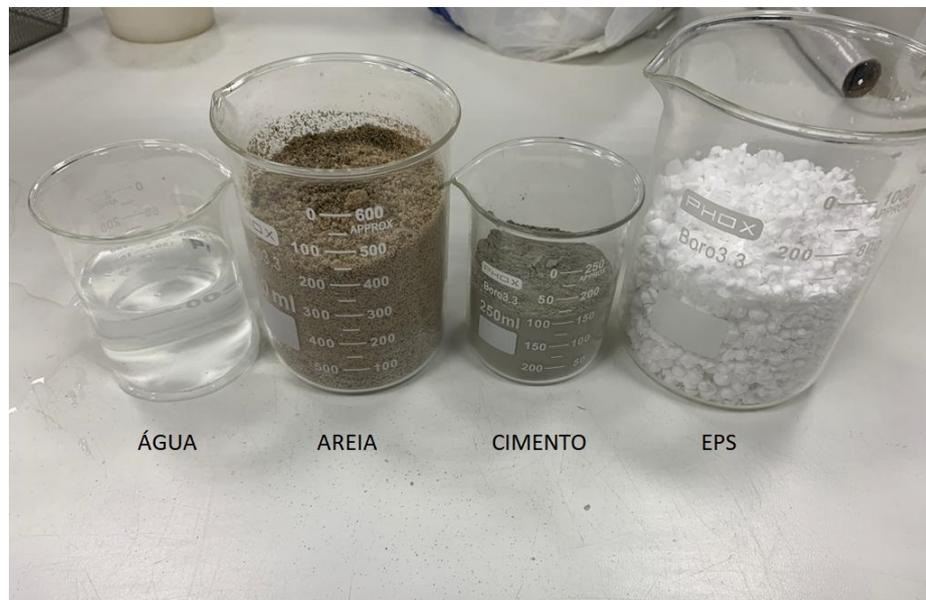
conforme a ABNT NBR 7217 (1987). Na Figura 5 é possível observar os materiais utilizados.

Figura 4 – Curva granulométrica da areia.



Fonte: Vargas (2020).

Figura 5 – Materiais utilizados no experimento.

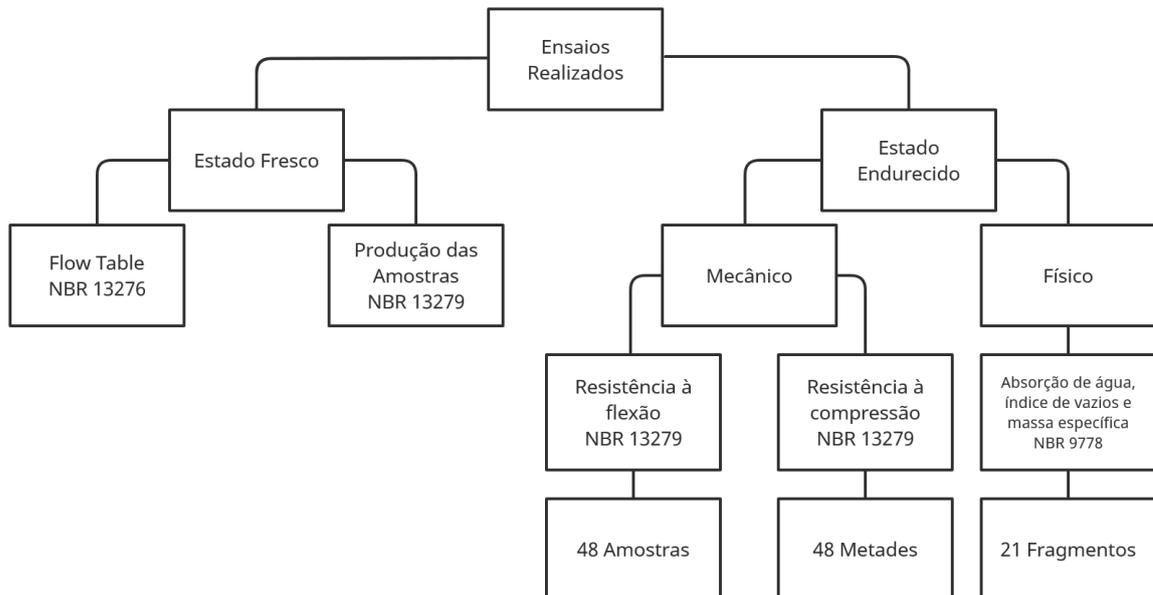


Fonte: Autor (2022).

3.2 METODOLOGIA

O fluxograma a seguir retrata os procedimentos utilizados no ensaio da argamassa nos estados fresco e endurecido, sendo que estes serão descritos ao longo do capítulo.

Figura 6 – Fluxograma dos ensaios realizados.



Fonte: Autor (2022).

Como ponto de partida para o início do experimento, foi definido um traço de 1:2,5 na relação cimento/areia e relação água/cimento (a/c) de 0,65. Em seguida, foram produzidas 3 formulações de argamassa contendo 0,50%, 1,00% e 1,50% de massa de EPS em substituição da areia e 1 formulação padrão (sem adição de EPS). Os percentuais de substituição tiveram como referência outros autores que trabalharam com o mesmo material. O traço e a relação a/c foram mantidos para todas as formulações.

Com a finalidade de analisar as propriedades da argamassa aos 7 e 28 dias de cura, produziram-se 12 corpos-de-prova para cada formulação, totalizando 48 corpos de prova. As propriedades físicas foram ensaiadas no Laboratório de Materiais de Construção da UFSC Joinville e as propriedades mecânicas na empresa Perville, localizada em Joinville.

3.2.1 Ensaio no estado fresco

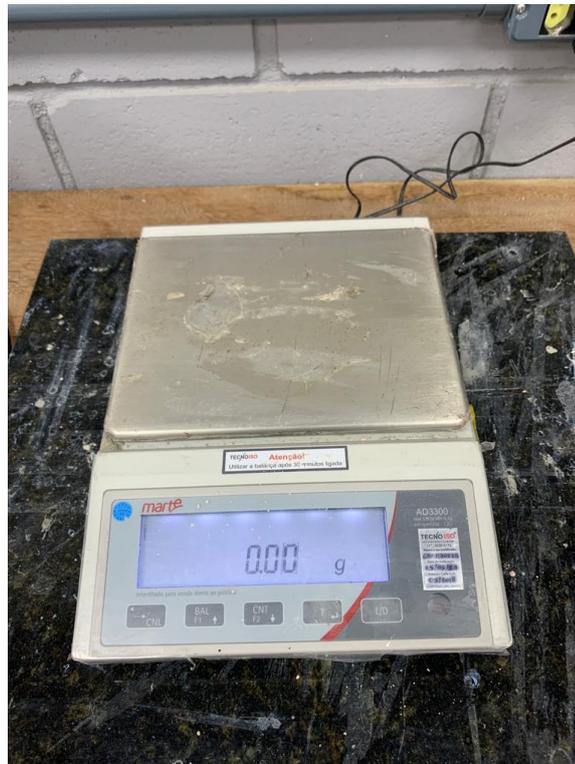
Para Cardoso, Pileggi e John (2005), o comportamento da argamassa no estado fresco é importante, pois facilita a aplicação do material e minimiza patologias como fissuras e manchas na superfície revestida após o processo de cura, defeitos que podem ser decorrentes de um inadequado comportamento reológico para a aplicação.

Avaliar as propriedades das argamassas no estado fresco torna-se significativo, pois por meio de suas propriedades, é possível obter um melhor acabamento, além de proporcionar maior facilidade de transporte e aplicação (SOUZA, 2013).

A avaliação das características e propriedades das argamassas no estado fresco é de grande importância, pois a aplicação do material é executada ainda na forma fluida e tais características podem influenciar tanto no manuseio da argamassa, quanto na qualidade final do material (OLESKOWICZ, 2015).

Todos os materiais presentes na argamassa foram submetidos à dosagem e pesagem na balança de precisão 0,01g (Figura 7) e, posteriormente, executou-se a mistura em um misturador de alta potência da marca Kitchen Aid (Figura 8) seguindo os procedimentos elencados na normativa ABNT NBR 16541 (2016).

Figura 7 – Balança de precisão 0,01g.



Fonte: Autor (2022).

Figura 8 – Misturador de alta potência.



Fonte: Autor (2022).

3.2.1.1 Flow Table

De acordo com Rago e Cincotto (1999), a trabalhabilidade é a primeira propriedade a ser avaliada quando as argamassas são estudadas, pois tem grande influência na qualidade do produto final, envolvendo outras propriedades responsáveis pelo desempenho adequado das argamassas, como a resistência mecânica e a retenção de água.

A trabalhabilidade de uma argamassa no estado fresco pode ser definida como uma propriedade que determina a facilidade com que o material pode ser misturado, aplicado, consolidado e acabado à uma condição homogênea (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

O ensaio realizado no estado fresco, para determinação do índice de consistência da argamassa, ou sua trabalhabilidade, é o *Flow Table*. Este ensaio é regido pela (ABNT NBR 7215, 1996) e tem como finalidade encontrar o espalhamento de mesa adequado para a caracterização do material.

Os seguintes materiais foram empregados para a realização do ensaio de *Flow Table*: mesa para índice de consistência, molde troncônico, soquete metálico, régua metálica e instrumento de medição com resolução de 1 mm, apresentados na Figura 9.

Figura 9 – Materiais para o ensaio de *Flow Table*.

Fonte: Autor (2022).

Antes de iniciar a execução do ensaio, a mesa de consistência e a parede do molde troncônico foram limpos e secos, este ficando centralizado sobre a mesa. Logo após a preparação da argamassa no misturador mecânico, preencheu-se o molde em três camadas sucessivas de alturas aproximadamente iguais. A argamassa foi adensada de forma uniforme e homogeneamente distribuída, com o soquete metálico, seguindo as etapas a seguir:

- 15 golpes na primeira camada;
- 10 golpes na segunda camada;
- 5 golpes na terceira camada.

Após o enchimento e adensamento total da argamassa, deve-se rasar o molde troncônico passando a régua metálica rente à borda, removendo o material excedente. Em seguida o molde é retirado e a manivela da mesa de consistência é girada de forma a aplicar 30 golpes em um intervalo de 30 segundos, provocando o abatimento do tronco de cone da argamassa. Imediatamente após a última queda da mesa, mede-se o espalhamento da argamassa em três diâmetros diferentes ao longo do perímetro, obtendo o valor do índice de consistência através da média aritmética. A Figura 10 exibe a argamassa após a última queda da mesa.

Figura 10 – Ensaio de *Flow Table*.



Fonte: Autor (2022).

3.2.2 Moldagem dos corpos-de-prova

A moldagem dos corpos-de-prova foi realizada de acordo com a ABNT NBR 13279 (2005) por meio de moldes prismáticos metálicos com paredes removíveis, formando três compartimentos, capazes de servirem de molde para três corpos-de-prova de 4x4x16cm.

O procedimento consiste em aplicar óleo vegetal, papel manteiga ou similar nos moldes prismáticos e em seguida proceder à colocação da argamassa em duas camadas uniformes com o auxílio do nivelador de camadas, realizando o adensamento de cada uma delas. Neste trabalho, foi utilizado filme de PVC nos moldes. A Figura 11 expõe o procedimento.

Figura 11 – Moldagem dos corpos-de-prova.



Fonte: Autor (2022).

O adensamento da argamassa foi realizado pela mesa de adensamento por queda com contador de golpes, conjunto exibido na Figura 12, onde cada camada foi submetida a 30 quedas na mesa.

Figura 12 – Mesa de adensamento e contador de golpes.



Fonte: Autor (2022).

3.2.3 Ensaio no estado endurecido

As propriedades no estado endurecido podem interferir na qualidade e durabilidade da argamassa, fazendo com que o material suporte às tensões a ele submetidas.

Os ensaios no estado endurecido podem ser classificados em características físicas e mecânicas, sendo esta responsável por determinar a capacidade de suporte dos materiais, quando submetidos a uma carga aplicada, sendo esse parâmetro medido através da resistência mecânica à compressão e flexão de um corpo-de-prova.

Segundo Selmo (1989), a resistência mecânica consiste na capacidade de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens, que se traduzem, em geral por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento, responsáveis pelo bom desempenho das argamassas.

Para a caracterização física da argamassa foram obtidos os índices de absorção de água, índice de vazios e massa específica através de três ensaios feitos sequencialmente com as mesmas amostras.

A densidade, ou massa específica, é definida como sendo a quantidade de massa contida em uma unidade de volume, ou seja, a densidade mede o grau de concentração de massa em determinado volume. Oleskowicz (2015) relata que no processo de mistura com duas ou mais matérias-primas, deve-se investigar a densidade, por se tratar de uma característica ligada à resistência resultante do material. Para Mazali (2005), a densidade pode ser determinada apenas com medidas de massa obtidas com uma balança de precisão, utilizando o princípio de Arquimedes.

A absorção de água e a porosidade são características resultantes de um conjunto de opções tomadas no processo de fabricação e cura, como a escolha dos materiais, o traço, a quantidade de água e o tipo de cura (duração e condições ambientes).

O índice de vazios de uma argamassa é a quantificação, por porcentagem, do volume de poros abertos ao exterior. Este parâmetro indica a maior ou menor compactação da argamassa. Assim, quanto menor o valor de porosidade aberta que a argamassa apresentar, mais compacta esta será (FONTES, 2013).

Para Dullien (1992), um material poroso é aquele que contém espaços não preenchidos por sólidos distribuídos por todo o material, normalmente ocupados por um fluido, podendo ser a água ou o ar, e permeável ao fluxo de diversos fluidos. Rato (2006) define em seu estudo que a quantidade de água absorvida depende essencialmente do valor da porosidade na argamassa, e que a porosidade interfere diretamente no desempenho e durabilidade do material.

A Figura 13 mostra os corpos-de-prova em processo de cura, à temperatura ambiente, após desmoldagem, no estado endurecido.

Figura 13 – Corpos-de-prova em processo de cura



Fonte: Autor (2022).

3.2.3.1 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

O ensaio para determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica é determinado pela ABNT NBR 9778 (2005) através da obtenção dos valores de massa seca, massa imersa e massa saturada das amostras.

Para a realização do ensaio foram necessários uma balança de precisão 0,01g com suporte para pesagem imersa (Figura 14), recipiente para imersão, estufa para secagem das amostras e pano úmido, seguindo os seguintes procedimentos:

- Secagem das amostras em estufa à temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ \text{C}$ por um período de 72 horas e pesagem da massa seca (M_s);
- Imersão das amostras em água (Figura 15) à temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ \text{C}$ por 72 horas e pesagem da massa imersa em balança de precisão 0,01g (M_i);
- Secagem das amostras com pano úmido (Figura 16) e determinação da massa saturada (M_{sat}).

Figura 14 – Balança com suporte para pesagem imersa.



Fonte: Autor (2022).

Figura 15 – Amostras em imersão por 72 horas.



Fonte: Autor (2022).

Figura 16 – Amostras saturadas durante execução do ensaio.



Fonte: Autor (2022).

Os resultados são obtidos através das equações abaixo, que determinam a absorção de água (1), o índice de vazios (2) e a massa específica (3):

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

$$\rho_s = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad \left[\frac{g}{cm^3} \right] \quad (3)$$

3.2.3.2 Resistência à flexão e à compressão

Os ensaios de resistência à flexão e à compressão, para a caracterização mecânica da argamassa, são normatizados pela ABNT NBR 13279 (2005) e foram realizados para os corpos-de-prova nas idades de 7 e 28 dias.

Inicialmente foram submetidos à flexão 6 corpos-de-prova de cada idade, para cada formulação (totalizando 48 corpos-de-prova), em dispositivo de carga da marca EMIC modelo 23-100, com capacidade de carga de 100kN, que fornece as informações da resistência mecânica através da ruptura do corpo-de-prova ao aplicar uma carga de (50 ± 10) N/s.

Após, as metades dos corpos-de-prova, anteriormente submetidos ao ensaio de flexão, foram rompidos no ensaio de compressão, aplicando uma carga de (500 ± 50) N/s até a ruptura da amostra. Os fragmentos deste rompimento foram utilizados para a caracterização física do experimento.

A Figura 17 exibe os corpos-de-prova após os rompimentos realizados pelos ensaios de flexão e compressão.

Figura 17 – Amostras rompidas após ensaios mecânicos.



Fonte: Autor (2022).

A ABNT NBR 13279 (2005) estabelece que a resistência média de flexão e compressão deve ser a média das amostras totais com o valor arredondado para o décimo mais próximo. Após, deve-se calcular o desvio absoluto máximo que, é a diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média para mais ou para menos.

Quando o desvio absoluto máximo for superior a 0,3 MPa, na flexão, deve-se calcular uma nova média, desconsiderando o valor discrepante e identificando-o com um asterisco no relatório de ensaio. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo dois corpos-de-prova. Caso contrário, o ensaio é considerado inválido. Para a compressão, esse limite é de 0,5 MPa e o ensaio é considerado válido para um mínimo de quatro corpos-de-prova.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos pelos ensaios descritos anteriormente, os quais buscam verificar se a utilização do EPS, na substituição parcial de 0,5%, 1,0% e 1,5% do agregado miúdo, oferece propriedades adequadas ao uso quando utilizado como componente da argamassa.

4.1 FLOW TABLE

O ensaio de *Flow Table* foi realizado para definição do traço de referência que apresenta uma boa trabalhabilidade para a mistura em questão. Deve-se encontrar uma relação a/c para a qual a abertura de mesa atinja o intervalo de 220mm a 250mm. A média aritmética das medidas solicitadas pela norma foi de 240mm (figura 18), resultando em uma relação a/c de 0,65 adequada ao experimento.

Figura 18 – Abertura medida no ensaio de *Flow Table*.



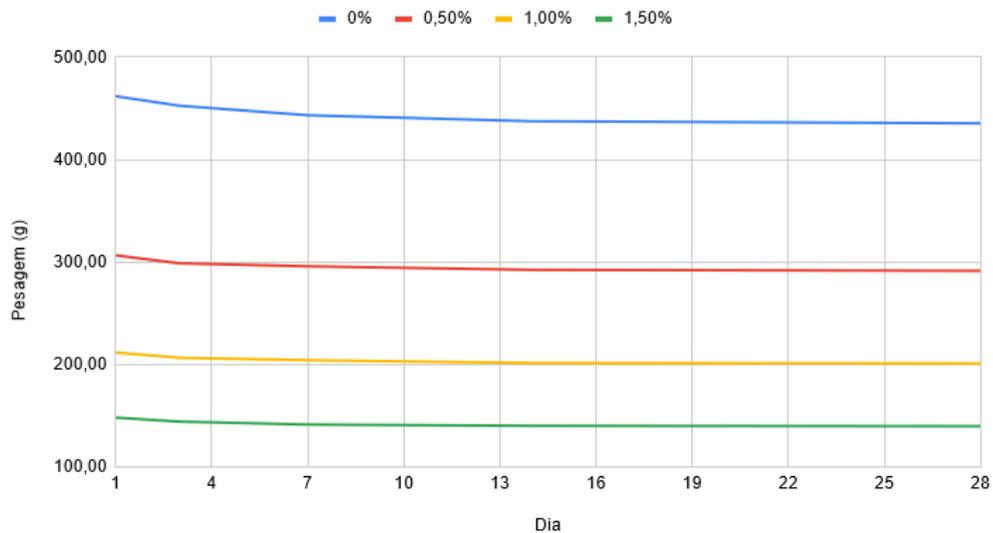
Fonte: Autor (2022).

O procedimento para definição da relação a/c foi realizado com a argamassa sem adição de EPS e os mesmos traços foram mantidos para elaboração das argamassas com adição de EPS.

4.2 PESAGEM DAS AMOSTRAS

As amostras no estado endurecido foram pesadas aos 1, 3, 7, 14 e 28 dias do processo de cura para comparação quanto ao peso de cada corpo-de-prova e são ilustrados no gráfico e tabela abaixo.

Figura 19 – Peso das amostras ao longo dos 28 dias.



Fonte: Autor (2022).

Tabela 3 – Peso das amostras ao longo dos 28 dias.

Traço / Dia	1	3	7	14	28
0,00%	461,82g	452,54g	443,26g	437,39g	435,38g
0,50%	306,40g	298,61g	295,68g	292,22g	291,29g
1,00%	211,47g	206,30g	204,00g	201,21g	200,76g
1,50%	147,89g	143,97g	141,12g	139,83g	139,46g

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Percebe-se, através dos resultados obtidos, que as amostras sofrem uma redução no peso ao longo do processo de cura, além dos corpos-de-prova com maior porcentagem de EPS em sua composição apresentarem um menor peso, ou seja, quanto maior a substituição de agregado miúdo por EPS, mais leve se torna o material.

O traço com 0,50% de EPS apresentou uma redução de aproximadamente 33% no peso comparado à formulação sem adição de EPS, enquanto os traços de 1,00% e 1,50% tiveram uma redução de 54% e 68% no peso, respectivamente.

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

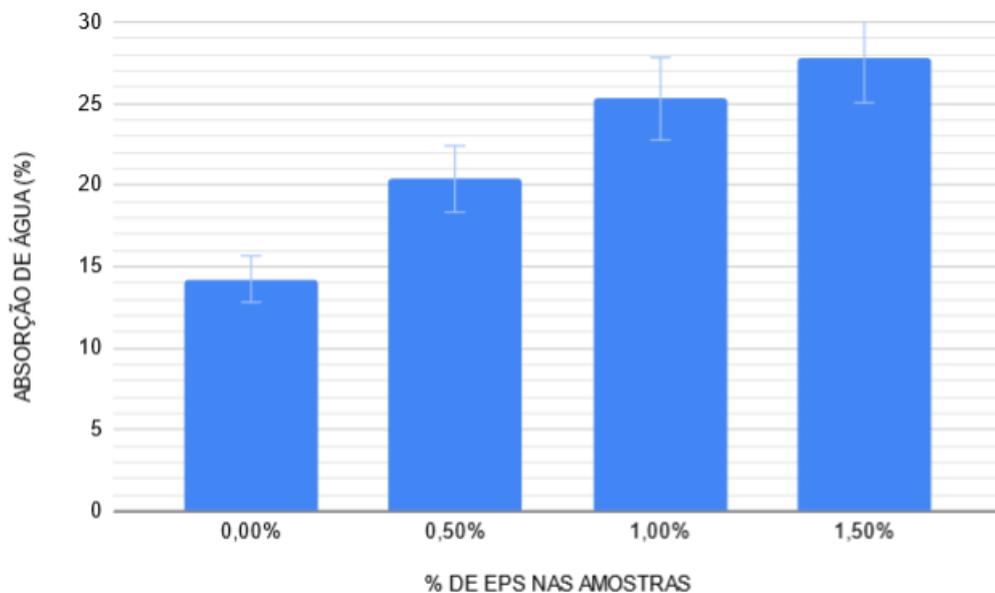
Os fragmentos das amostras submetidas ao ensaio de compressão foram utilizados para realizar o ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica, cujos resultados estão explícitos na Tabela 4 e Figuras 20, 21 e 22.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios físicos.

% de EPS	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	ÍNDICE DE VAZIOS (%)
0,00%	14,24	1,82	21,52
0,50%	20,38	1,20	22,76
1,00%	25,30	0,86	25,05
1,50%	27,84	0,80	25,90

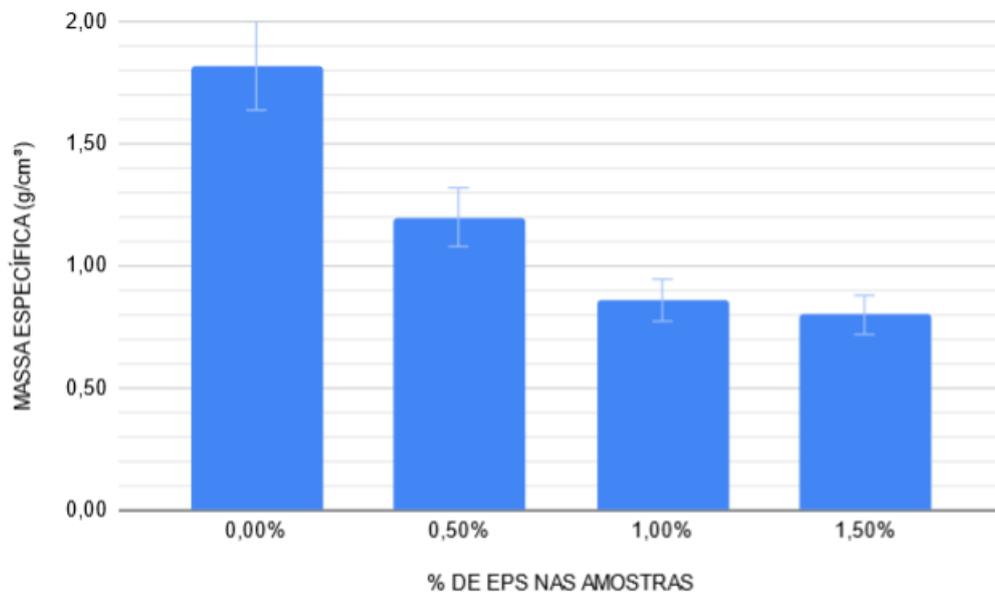
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Figura 20 – Absorção de água das amostras.



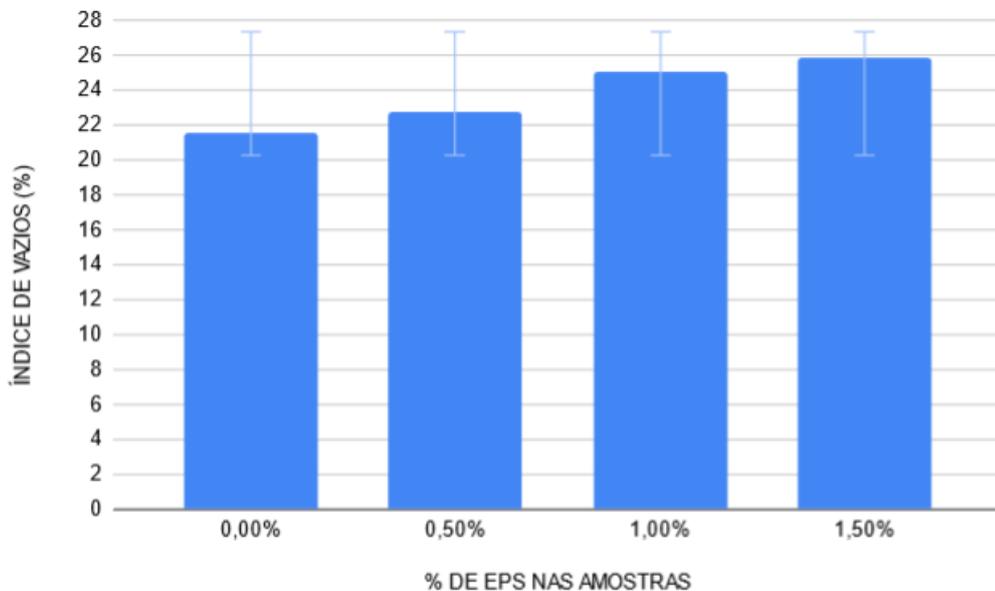
Fonte: Autor (2022).

Figura 21 – Massa específica das amostras.



Fonte: Autor (2022).

Figura 22 – Índice de vazios das amostras.



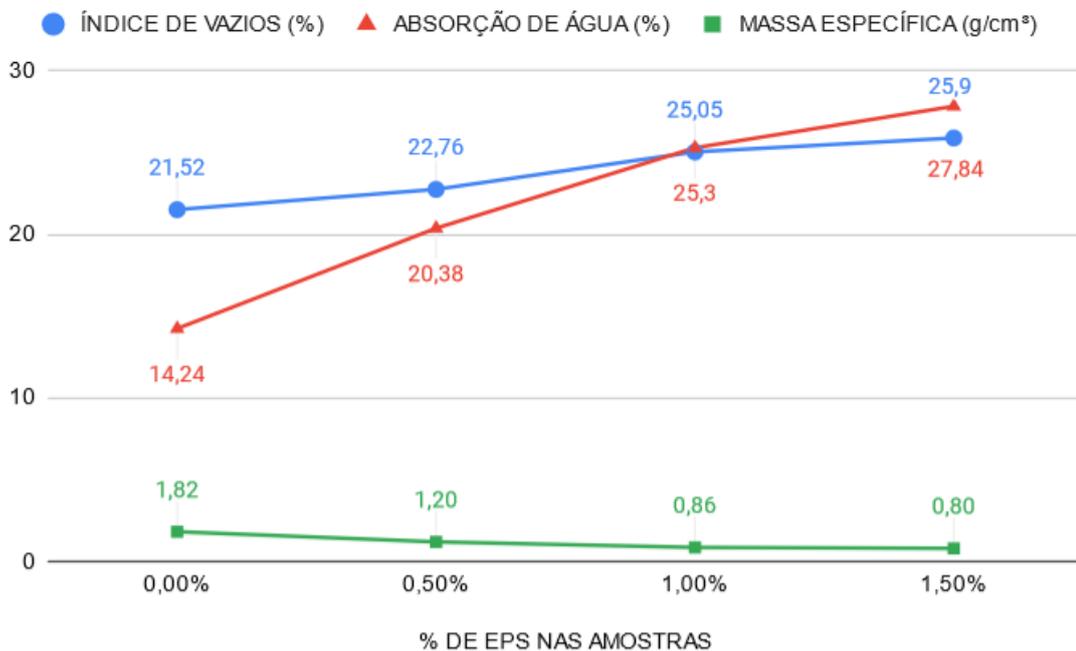
Fonte: Autor (2022).

Observa-se que com o aumento da porcentagem de EPS na argamassa, os valores de absorção de água também aumentam e, em contrapartida, a massa específica tem seu valor reduzido, o que também foi constatado por Helena (2009). Os resultados aqui encontrados também ratificam o estudo realizado por Pires (2017) em que os valores de massa específica ficaram entre 0,75 e 1,21 g/cm³ para as formulações com adição de EPS e a absorção de água com uma crescente a medida que se adicionou mais EPS, com os valores na casa dos 20%.

O índice de vazios, por sua vez, apresenta um aumento em relação à argamassa convencional para as formulações com adição de EPS em substituição da areia, porém pouco significativo à medida que há mais porcentagem de EPS na amostra, comportamentos igualmente aferidos por Pires (2017) e Leal (2012).

Na Figura 23 é possível verificar o comportamento de cada formulação de EPS em relação às propriedades físicas. A absorção de água sofre uma variação mais acentuada e a massa específica decresce a cada formulação com mais adição de EPS.

Figura 23 – Comparativo entre as propriedades físicas.



Fonte: Autor (2022).

4.4 RESISTÊNCIA MECÂNICA

As tabelas de 5 a 12 apresentam os valores individuais de resistência mecânica para cada formulação nas idades de 7 e 28 dias. As amostras que contêm asterisco foram desconsideradas para o cálculo da média de resistência em virtude de apresentarem resistências discrepantes, fora do limite aceito de desvio absoluto, sendo assim uma nova média foi calculada com os valores restantes.

Tabela 5 – Resistência individual das amostras com 0,00% de EPS aos 7 dias.

Ensaio / Amostra	7 dias					
	A7	A8	A9	A10	A11	A12
Flexão (MPa)	7,63	7,54	7,81	9,84*	9,47*	7,81
Compressão (MPa)	17,62	17,47	15,57*	17,53	17,84	18,94*

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Tabela 6 – Resistência individual das amostras com 0,00% de EPS aos 28 dias.

Ensaio / Amostra	28 dias					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Flexão (MPa)	7,72	8,46*	8,00	8,18	7,63	8,00
Compressão (MPa)	20,34	19,67	16,18*	18,20*	20,29	20,10

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Tabela 7 – Resistência individual das amostras com 0,50% de EPS aos 7 dias.

Ensaio / Amostra	7 dias					
	B7	B8	B9	B10	B11	B12
Flexão (MPa)	5,80	5,88	6,35	5,89	5,80	5,70
Compressão (MPa)	6,01	6,50	6,37	6,56	6,62	6,13

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Tabela 8 – Resistência individual das amostras com 0,50% de EPS aos 28 dias.

Ensaio / Amostra	28 dias					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Flexão (MPa)	6,45	5,99	5,90	5,44	6,26	5,99
Compressão (MPa)	6,31	6,86	6,68	6,74	6,25	7,17

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Tabela 9 – Resistência individual das amostras com 1,00% de EPS aos 7 dias.

Ensaio / Amostra	7 dias					
	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Flexão (MPa)	1,38*	1,84	2,02	2,21	2,39	2,21
Compressão (MPa)	2,94	3,13	2,57	2,94	2,64	3,25

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Tabela 10 – Resistência individual das amostras com 1,00% de EPS aos 28 dias.

Ensaio / Amostra	28 dias					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Flexão (MPa)	1,75*	2,30	2,48	2,57	2,30	2,67
Compressão (MPa)	3,98	3,80	3,62	3,98	3,86	3,55

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Tabela 11 – Resistência individual das amostras com 1,50% de EPS aos 7 dias.

Ensaio / Amostra	7 dias					
	D7	D8	D9	D10	D11	D12
Flexão (MPa)	1,01	1,10	1,29	1,47	1,56	1,93*
Compressão (MPa)	2,53	3,08	2,64	2,84	2,91	3,04

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Tabela 12 – Resistência individual das amostras com 1,50% de EPS aos 28 dias.

Ensaio / Amostra	28 dias					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Flexão (MPa)	1,75	1,56*	2,21	2,02	1,93	2,02
Compressão (MPa)	3,80	3,25	2,76*	3,92	3,74	3,31

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Foi possível analisar com os valores individuais de cada formulação que os resultados foram considerados válidos pela ABNT NBR 13279 (2005) pois todos apresentam no mínimo dois valores de flexão e quatro de compressão que não apresentaram discrepância acima do limite.

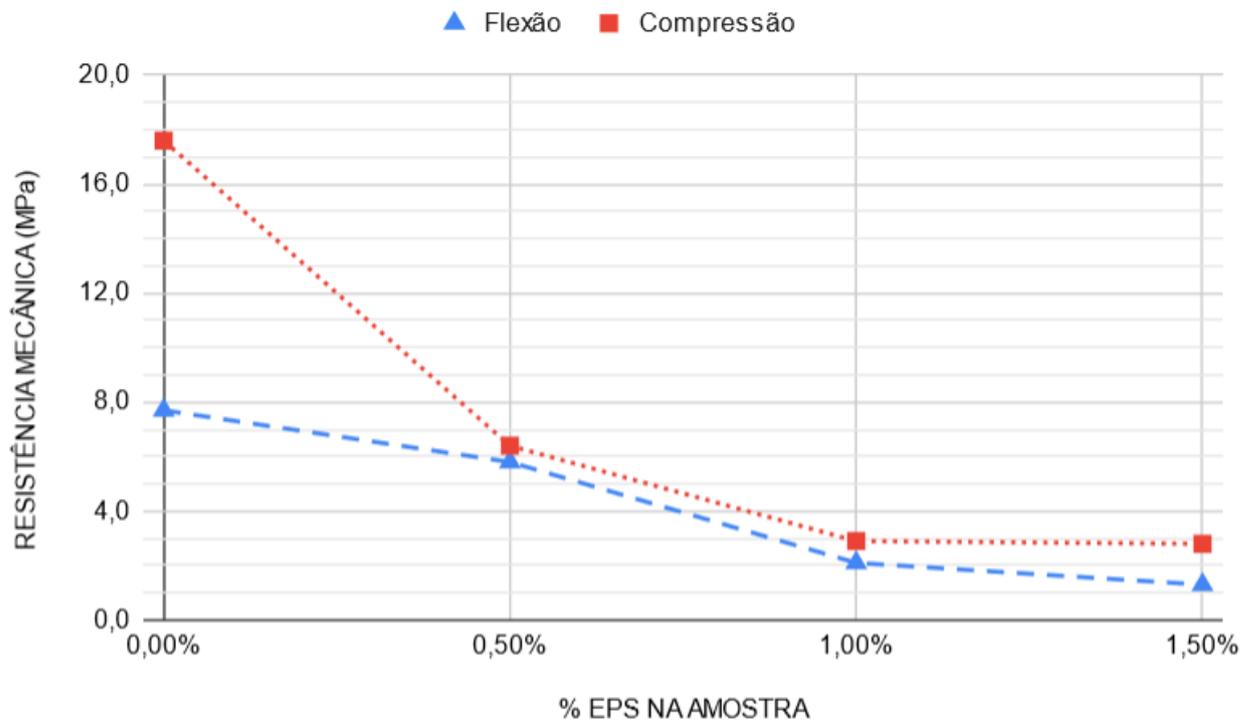
A Tabela 13 e Figura 24 expõem os valores médios de resistência à flexão e compressão encontrados para cada formulação com os respectivos desvios absolutos máximos, traços e relação a/c na idade de 7 dias.

Tabela 13 – Valores de Resistência Mecânica aos 7 dias.

% EPS	Traço	a/c	Resist. Flexão (MPa)	Resist. Compressão (MPa)	Desvio Abs. Máx. Flexão	Desvio Abs. Máx. Compressão
0,00%	1:2,5	0,65	7,7	17,6	0,2	0,2
0,50%	1:2,5	0,65	5,8	6,4	0,1	0,4
1,00%	1:2,5	0,65	2,1	2,9	0,3	0,3
1,50%	1:2,5	0,65	1,3	2,8	0,3	0,3

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Figura 24 – Curva de resistência mecânica aos 7 dias.



Fonte: Autor (2022).

Pelos valores obtidos, é possível perceber que para a formulação com 0,50% de EPS há uma perda de resistência à flexão e à compressão de 25% e 64%, respectivamente, em comparação com o traço padrão (0,00% de EPS). Para a formulação com 1,00% essas perdas são de 73% e 83% e para 1,50% em torno de 83% e 84%, respectivamente.

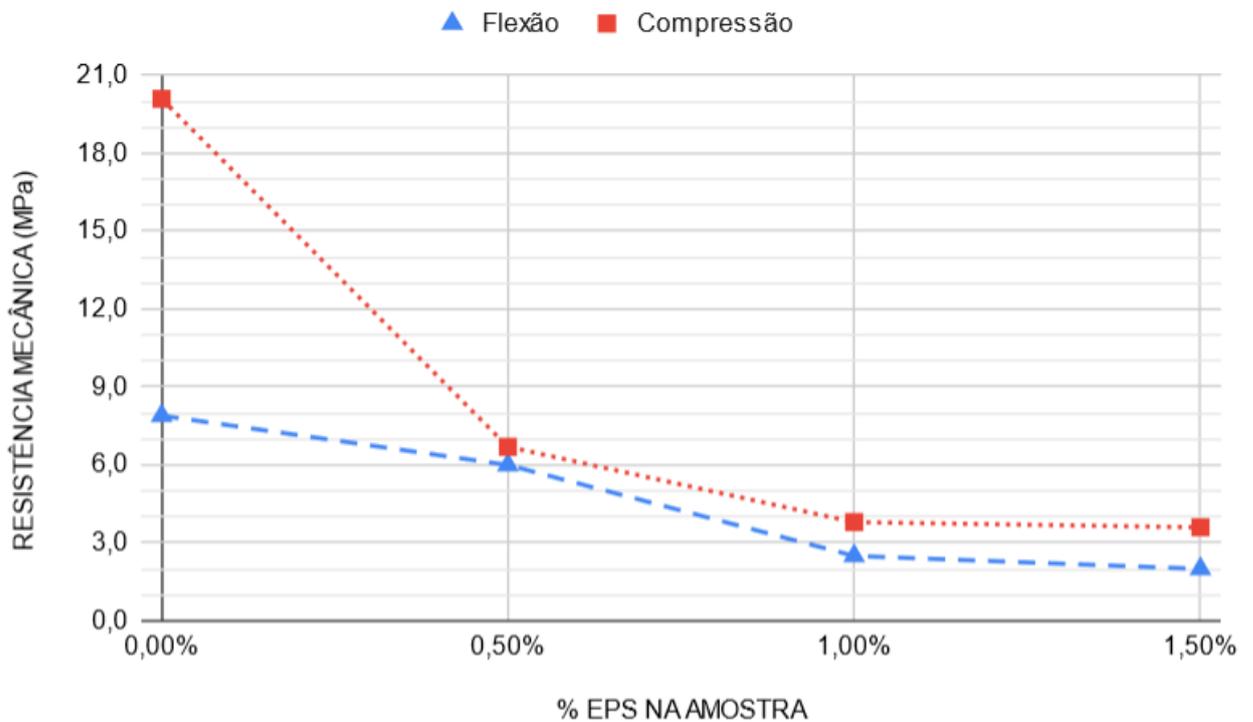
A Tabela 14 e a Figura 25 apresentam os resultados para o rompimento aos 28 dias.

Tabela 14 – Valores de Resistência Mecânica aos 28 dias.

% EPS	Traço	a/c	Resist. Flexão (MPa)	Resist. Compressão (MPa)	Desvio Abs. Máx. Flexão	Desvio Abs. Máx. Compressão
0,00%	1:2,5	0,65	7,9	20,1	0,3	0,4
0,50%	1:2,5	0,65	6,0	6,7	0,2	0,5
1,00%	1:2,5	0,65	2,5	3,8	0,2	0,2
1,50%	1:2,5	0,65	2,0	3,6	0,2	0,4

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Figura 25 – Curva de resistência mecânica aos 28 dias.



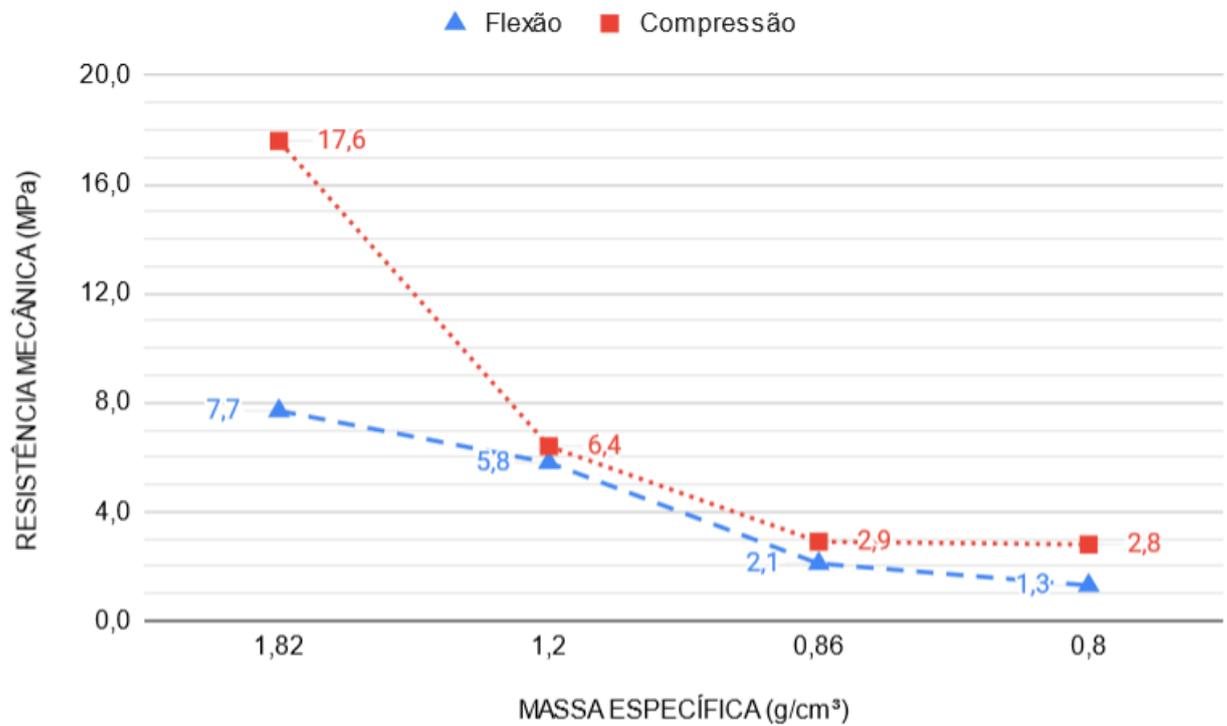
Fonte: Autor (2022).

No rompimento aos 28 dias, é possível perceber uma perda percentual de resistência à flexão e compressão de 24% e 67% para a formulação com 0,50% de EPS. Para a formulação com 1,00% de EPS esses valores chegam em 68% e 81% e para 1,50% aumentam para 75% e 82%.

Para todas as formulações e idades a perda percentual de resistência de flexão é menor que de compressão, sendo cada vez mais convergentes à medida que se acrescenta EPS na mistura. Esse comportamento também foi observado por Pires (2017), que alega como possível motivo para que isso aconteça, a deformação inicial que ocorre no ensaio de resistência à compressão, em função do EPS presente na estrutura do corpo-de-prova, ser interpretada pelo software como rompimento do corpo-de-prova imediatamente após o início do ensaio.

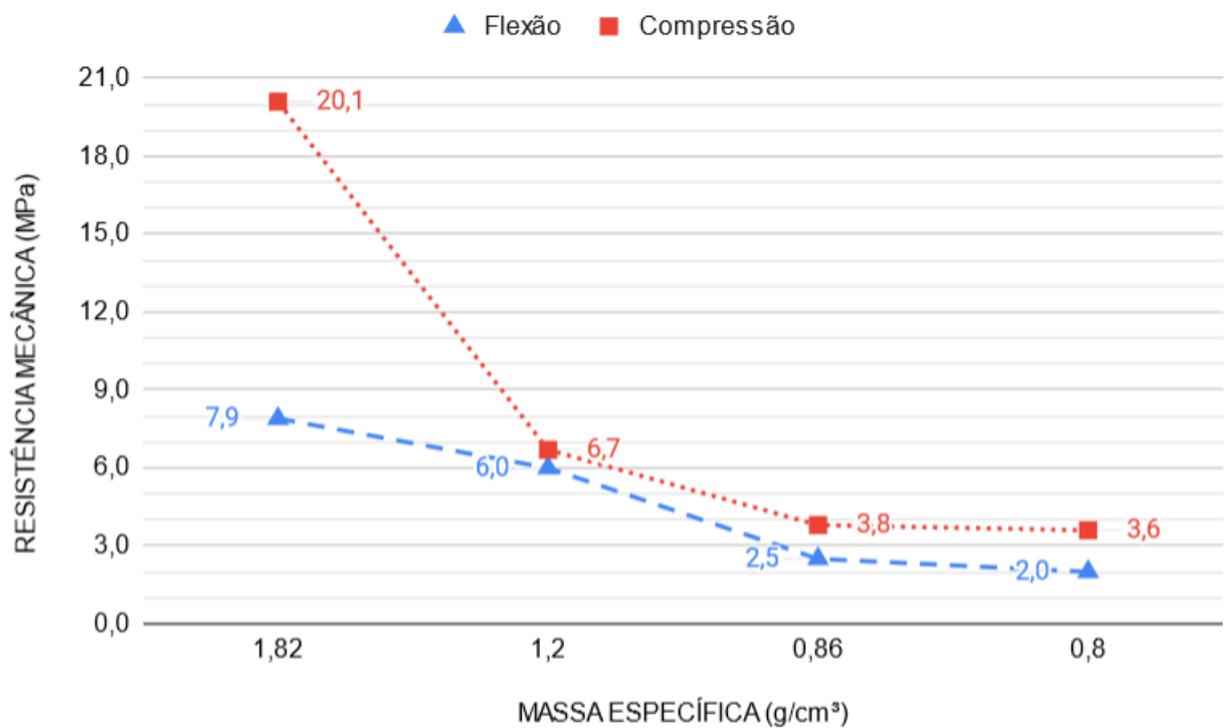
As Figuras 26 e 27 apresentam a relação entre a resistência mecânica e a massa específica dos ensaios.

Figura 26 – Resistência aos 7 dias x Massa Específica.



Fonte: Autor (2022).

Figura 27 – Resistência aos 28 dias x Massa Específica.



Fonte: Autor (2022).

A partir das figuras anteriores foi possível averiguar que quanto menor o valor da massa específica, menor é a resistência mecânica do material. Este comportamento

também foi verificado por Silva et al. (2020), que o conferem ao fato do EPS ter natureza inerte, flexível e atuar como vazios ao longo da matriz.

A redução dos valores de resistência foi igualmente comprovada por Helena (2009), que também verificou uma redução cada vez menos significativa à medida que se acrescentou mais EPS à mistura. Helena (2009) ainda atribui a ocorrência da perda percentual de resistência ao aumento da porosidade, pois as propriedades de fratura, como descontinuidades e fissuras, se propagam em virtude do EPS não possuir rigidez.

5 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos a partir da substituição parcial do agregado miúdo por pérolas de poliestireno expandido, é possível concluir que a propriedade que mais apresenta alteração é a resistência mecânica. Tal comportamento pode ser atribuído ao maior índice de vazios que o material atinge com o acréscimo de EPS, o que resulta em um aumento de descontinuidades e fissuras que se propagam ao longo da matriz do EPS pela sua baixa rigidez.

Apesar dos valores de resistência mecânica das formulações com EPS apresentarem redução quando comparadas à argamassa sem adição de EPS, essas obtiveram menor densidade, resultando em elementos e estruturas mais leves, o que pode ser vantajoso para certos tipos de aplicações.

A argamassa com 0,50% de EPS atingiu uma resistência à compressão média de 6,4MPa aos 7 dias e de 6,7MPa aos 28 dias sendo indicada para uso em blocos estruturais aplicados em edificações baixas ou até mesmo em obras de fundação. Demais porcentagens de EPS apresentaram resistência à compressão mais baixas sendo sugeridas à aplicações não estruturais como nivelamento de superfícies, revestimentos e em vedação de superfícies em virtude do isopor ser um bom isolante termoacústico.

As três formulações com adição de EPS apresentaram massa específica entre 0,6 e 1,6g/cm³, sendo caracterizados como um concreto leve, que entre suas características principais há a pequena absorção de umidade e a alta durabilidade, podendo se moldar a qualquer tipo de fôrma, possibilitando um acabamento homogêneo de superfícies e o uso em elementos arquitetônicos e de paisagismo.

De modo geral, a inclusão do uso de EPS na construção civil pode oferecer propriedades interessantes, atingindo resistências necessárias para elementos estruturais e servindo como um bom instrumento para elementos de acabamento, sendo um material de peso leve, não prejudicial ao meio ambiente e como alternativa viável para diversas áreas da construção civil.

Para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de aditivos buscando aumentar a resistência mecânica do material. Propõe-se também que seja feito um estudo com o poliestireno expandido em forma de flocos na argamassa visando analisar as propriedades que este pode oferecer.

REFERÊNCIAS

- ABRAPEX. **O que é EPS**. 2015. Disponível em: <http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7217**: Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7215**: Cimento portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura para realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO. **Manual de utilização EPS na construção civil**. 2019. Disponível em: <https://docplayer.com.br/18557172-Manual-de-utilizacao-eps-na-construcao-civil-1.html>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- BARAZZETTI, F. Argamassa - tipos, traços e normas. **CARLUC**, 2021.
- BURGOS, R. Construção civil adere ao uso do isopor. **Portal do arquiteto**, 2006.
- CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R.; JOHN, V. Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow. **Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassa**, VI, p. 1–23, 2005.
- CIMENTO.ORG. **CP II Z - Cimento Portland composto por pozolana**. 2010. Disponível em: <https://cimento.org/cp-ii-z-32-cimento-portland-composto-com-pozolana/>. Acesso em: 22 jan. 2022.
- COMISSÃO SETORIAL EPS BRASIL. **EPS - Poliestireno Expansível**. São Paulo, SP, 2007. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/>. Acesso em: 05 jan. 2022.
- DULLIEN, F. **Porous Media**: Fluid transport and pore structure. 2. ed. [S.l.]: Academic Press, 1992.
- FONTES, T. I. M. **Argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 de fabrico nacional: Otimização de características com resíduo cerâmico e metacaulino**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Nova de Lisboa, 2013.

HELENA, M. S. **Aplicação do poliestireno expandido (EPS) em concretos e argamassas**. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2009.

ISORECORT. **Isopor**. 2016. Disponível em: <http://www.construcaocomisopor.com.br/isopor/\%EF\%BF\%BEuma-excelente-solucao-para-a-drenagem-de-pisos/>. Acesso em: 17 ago. 2021.

LEAL, M. M. R. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) — Instituto Politécnico de Setúbal, 2012.

ODONE MAZALI Ítalo. **Determinação da densidade de sólidos pelo método de Arquimedes**. Campinas: UNICAMP, 2005.

MORAES, C. B.; CASTRO BRASIL, P. de. **Estudo da viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na produção de edificações com baixo impacto ambiental**. Seminário Nacional de Construções Sustentáveis — Universidade Estácio de Sá - UNESA, 2015.

OLESKOWICZ, A. V. **A influência da adição de nanotitânia e fibras poliméricas em argamassas usadas em paredes de tijolos solo-cimento**. TCC (Graduação) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

ORÇAFASCIO. **EPS para construção civil: vantagens e desvantagens**. 2021. Disponível em: <https://www.orcafascio.com/papodeengenheiro/eps-na-construcao-civil/>. Acesso em: 24 jan. 2022.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto & Construções**, p. 14, 2009.

PIRES, R. **Desenvolvimento de argamassas com adição de poliestireno expandido**. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

PLASTICS EUROPE. **Expanded polystyrene (EPS)**. 2020. Disponível em: <https://plasticseurope.org/plastics-explained/a-large-family/expanded-polystyrene/>. Acesso em: 11 jan. 2022.

PORTAL DO CONCRETO. **Tudo sobre concreto**. 2022. Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/>. Acesso em: 22 jan. 2022.

PREVISION. **Inovação na construção civil: conheça os 3 pilares principais**. 2020. Disponível em: <https://www.prevision.com.br/blog/inovacao-na-construcao-civil/>. Acesso em: 24 jan. 2022.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. **Influência do tipo da cal hidratada na reologia de pastas**. Boletim Técnico — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

PONTE MOREIRA RATO, V. N. da. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. Tese (Doutorado) — Universidade Nova de Lisboa, 2006.

RICAMIX. **Argamassa ou concreto: Você sabe a diferença?** 2022. Disponível em: <https://www.ricamix.com.br/argamassa-ou-concreto-voce-sabe-a-diferenca/>. Acesso em: 23 jan. 2022.

SOUZA SELMO, S. M. de. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo dos edifícios.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica — Universidade de São Paulo, 1989.

SILVA, M. W. M. et al. Absorção de água em argamassa leve com a incorporação de poliestireno expandido. **Scientia Plena**, v. 16, n. 02, 2020.

SILVA, V. G. da. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica.** Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

SOUZA, C. H. B. de. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com adição do resíduo do polimento de porcelanato.** Monografia — Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

TESSARI, J. **Utilização de Poliestireno Expandido e Potencial de Aproveitamento de seus Resíduos pela Construção Civil.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil — Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

VARGAS, J. V. **Comparação dos métodos de dosagem experimental (IPT-EPUSP-IBRACRACON) e empírico (ABCP) para formulação do traço de concreto leve.** — Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.