

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

FLÁVIO AUGUSTO MARCONATO

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSA COM INCORPORAÇÃO DE  
POLIESTIRENO EXPANDIDO

Joinville

2022

FLÁVIO AUGUSTO MARCONATO

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSA COM INCORPORAÇÃO DE  
POLIESTIRENO EXPANDIDO

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Valéria Bennack

Coorientadora: Dra. Helena Nierwinski

Joinville

2022

FLÁVIO AUGUSTO MARCONATO

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSA COM INCORPORAÇÃO DE  
POLIESTIRENO EXPANDIDO

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

Joinville (SC), 28 de Julho de 2022.

**Banca Examinadora:**

---

Dra. Valéria Bennack  
Orientadora/Presidente

---

Dr. Julián Asdrubal Buriticá García  
Membro

---

Dra. Anelize Borges Monteiro  
Membro

Dedico este trabalho a Minha avó Anice Teresina Senem

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Antônio Luiz Marconato e Eliane Senem Marconato que formam minha base e me deram apoio durante toda minha fase acadêmica.

Ao meu irmão Gustavo Marconato por sempre me apoiar e incentivar a seguir em frente.

A minha irmã Leticia por acreditar em mim, e estar ao meu lado nos momentos mais difíceis.

A minha orientadora Valéria Bennack, por apontar o caminho e mostrar-se presente para sanar quaisquer dúvidas que surgiram.

Especialmente à minha avó por sempre me apoiar, incentivar e ser exemplo de determinação e coragem para minha vida acadêmica e adiante.

## RESUMO

As argamassas de revestimento formam as partes mais expostas dos edifícios, desempenhando papel importante na impermeabilização, durabilidade, salubridade e conforto das habitações. Tais características são intrínsecas à composição das argamassas, relativamente ao teor de cada componente, em função da sua aplicação final. Buscando desenvolver argamassas melhorada termicamente o presente trabalho tem como objetivo estudar a influência da adição de agregados leves, em específico o poliestireno expandido, no desempenho de argamassas de revestimento. A adição de cola branca (PVA) será também avaliada por este trabalho, e sua utilização tem o objetivo de garantir uma homogeneidade na distribuição do EPS na estrutura da argamassa. O poliestireno expandido, popularmente conhecido como EPS, vem conquistando espaço em meio à construção civil por apresentar diversas aplicações quando o objetivo é ganho de propriedades físicas como o isolamento térmico e acústico com a diminuição de peso nas estruturas, sua aplicação já é significativa em divisórias, painéis de vedação e preenchimento de lajes, e tem sido utilizado cada vez mais em formas para alvenaria estrutural. Com o intuito de estudar o comportamento físico e mecânico das argamassas com a incorporação de EPS, material que pode ser reciclado proveniente de outras aplicações, foram analisadas algumas propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas leves, tendo sempre como referência as normas vigentes para agregados e argamassas de revestimento. Foram realizados ensaios à flexão e à compressão para caracterização mecânica do material. Para avaliação do comportamento físico foram realizados ensaios de porosidade aberta, densidade aparente, absorção de água por capilaridade e carbonatação. Os resultados demonstraram que a incorporação de EPS irá sempre oferecer uma redução no peso final, em contrapartida, uma redução significativa na resistência mecânica devido ao aumento de vazios na estrutura, e por consequência um aumento na absorção de água e maior exposição à carbonatação.

**Palavras-chave:** Argamassa. Poliestireno expandido. Propriedades. Argamassa leve.

## ABSTRACT

The coating mortar was always the most exposed part of buildings, playing an important role on waterproofing, durability, salubrity and housing comfort. These characteristics are intrinsic to the composition of the mortar, relatively to the level of each component, in function of its final usage. This study aims to investigate the influence of adding lightweight aggregate, specifically the expanded polystyrene, on coating mortar performance. The expanded polystyrene, popularly known as EPS, is increasing in civil engineering environment due to its diverse applications in physical properties gains, like thermal and acoustic insulation, with loss in structure weight. Aiming to study the physical and mechanical behavior of mortars in addition to EPS, material that can be recycled from past applications, some properties on fresh and dried condition of the mortar was analyzed, in consideration of the current regulations on lightweight aggregates and coating mortar, its application is already significant in partitions, sealing panels and slab filling, and has been increasingly used in shapes for structural masonry. Bending and compression test were applied to mechanical characterization of the material. To analyze its physical behaviour, porosity, bulk density, capillary water absorption and carbonation tests were employed. The addition of PVA white glue will also be evaluated by this work, its use has the objective of guaranteeing a homogeneity in the distribution of EPS in the mortar. The final results show that the EPS incorporation provide a reduction in final weight, although it results in a significant loss on mechanical resistance due to increased holes on structure, and consequently increased water absorption and exposure to carbonation.

**Keywords:** Mortar. Expanded polystyrene. Properties. Light mortar.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva Granulométrica.....	38
Gráfico 2 – Curva da resistência mecânica.....	41
Gráfico 3 – Resistência mecânica versus densidade aparente.....	43
Gráfico 4 – Absorção de água por capilaridade. ....	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Resistência a tração e flexão. ....	21
Figura 2- Desvantagens no uso do EPS. ....	22
Figura 3- Materiais. ....	24
Figura 4 – Balança de precisão 0,01g. ....	25
Figura 5 – Misturador de alta potência. ....	26
Figura 6 – Procedimentos no estado fresco. ....	26
Figura 7 – Procedimentos no estado endurecido. ....	27
Figura 8 – Equipamentos para o ensaio <i>Flow Table</i> . ....	28
Figura 9 – Peneiras e vibrador magnético. ....	29
Figura 10 – Moldagem dos corpos de prova. ....	30
Figura 11 – Mesa de adensamento e contador de golpes. ....	31
Figura 12 - Máquina ensaio compressão ....	32
Figura 13 – Estufa. ....	34
Figura 14 - Balança de precisão com suporte para pesagem imersa. ....	34
Figura 15- Solução de fenolftaleína. ....	37
Figura 16 - Ensaio <i>Flow table</i> . ....	39
Figura 17 – Frente de carbonatação. ....	44

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Vantagens do EPS.....	19
Quadro 2 - Composição do Cimento.....	23

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Relação a/c. ....	39
Tabela 2 – Resultados dos ensaios físicos. ....	40
Tabela 3 – Valores de resistência mecânica. ....	41
Tabela 4 – Profundidade de carbonatação. ....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>EPS</b>	Poliestireno Expandido
<b>mm</b>	Milímetro
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Quilograma por metro cúbico
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>°C</b>	Grau Celsius
<b>G</b>	Gramma
<b>kN</b>	Quilo Newton
<b>N/s</b>	Newton por segundo
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Gramma por centímetro cúbico
<b>CP</b>	Corpo de prova
<b>g/cm<sup>2</sup></b>	Gramma por centímetro quadrado
<b>MPa</b>	Mega pascal
<b>PVA</b>	Poli acetato de vinila
<b>ABRAPEX</b>	Associação Brasileira do Poliestireno Expandido
<b>ABCP</b>	Associação Brasileira do Cimento Portland
<b>PUR</b>	Poliuretano
<b>PIR</b>	Poliisocianurato
<b>ICF™</b>	Insulated Concrete Form
<b>CP-II-Z-32</b>	Cimento <i>Portland</i> com adição de material pozolânico

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1. OBJETIVOS .....	15
<b>1.1.1. Objetivo Geral</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
2.1. ARGAMASSA DE REVESTIMENTO .....	16
<b>2.1.1. Argamassa Leve</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.2. Constituintes da Argamassa</b> .....	<b>17</b>
2.3. POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) .....	18
<b>2.3.1. Aplicação do EPS na construção civil</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3.2 Vantagens na utilização do EPS</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3.3 Desvantagens na utilização do EPS</b> .....	<b>21</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
3.1. MATERIAIS .....	23
3.2. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO .....	26
<b>3.2.1. Ensaio no estado fresco</b> .....	<b>27</b>
<u>3.2.1.1. Granulometria da areia</u> .....	<u>29</u>
<b>3.2.2. Moldagem dos Corpos de Prova</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2.3. Ensaio no Estado Endurecido</b> .....	<b>31</b>
<u>3.2.3.1 Resistência à compressão e à flexão</u> .....	<u>32</u>
<u>3.2.3.2 Porosidade aberta, absorção e densidade aparente</u> .....	<u>33</u>
<u>3.2.3.3 Absorção de água por capilaridade</u> .....	<u>35</u>
<u>3.2.3.4 Carbonatação</u> .....	<u>36</u>
<b>4. APRESENTAÇÃO DE DADOS</b> .....	<b>37</b>
4.1. GRANULOMETRIA DA AREIA .....	37
4.2. <i>FLOW TABLE</i> .....	38
4.3. DOSAGEM E PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS .....	39
4.4. DENSIDADE APARENTE, ABSORÇÃO E POROSIDADE ABERTA .....	40
4.5. RESISTÊNCIA MECÂNICA .....	41
4.6. ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE .....	43

4.7. CARBONATAÇÃO .....	44
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O cimento Portland é o material de maior importância na atualidade para a construção civil, fato que o faz ser o segundo material mais utilizado pela humanidade superado apenas pela água (ABCP, 2022). Ainda de acordo com a ABCP o setor terminou o ano de 2021 com um total de 64,7 milhões de toneladas de cimento vendidas, totalizando um aumento de 6,6% em relação ao ano anterior.

Os revestimentos de paredes mais utilizados nos dias atuais são aqueles compostos por argamassas a base de aglomerantes minerais, em especial o cimento Portland, chamados popularmente por rebocos (VEIGA, 1998). Neste contexto vale ressaltar que revestimentos em especial os exteriores, desempenham uma função importante na impermeabilização dos edifícios fornecendo durabilidade, salubridade e conforto às habitações.

De acordo com Veiga (1998), revestimentos exteriores como argamassas, para desempenharem as funções que lhes são exigidas, devem satisfazer determinadas regras de qualidade. Dentre estes se destacam os seguintes aspectos: trabalhabilidade, resistência a fissuração, capacidade de impermeabilização em zona não fissurada, permeabilidade a vapor de água, aderência ao suporte, resistência a choques, compatibilidade com o suporte, aspecto estético e durabilidade.

A capacidade de satisfazer a todas essas regras depende em grande parte das características dos componentes utilizados na formulação da argamassa, apenas a escolha assertiva dos materiais e suas proporções fornecerá a argamassa desejada para cada aplicação. A seleção dos componentes deve ser feita sempre levando em conta a função e aplicação desejada a desempenhar. Para a realização deste presente trabalho uma argamassa de revestimento do tipo leve, com adição de poliestireno expandido, foi objeto de estudo.

De acordo com estudos conduzidos por Pires (2017) argamassas com substituições próximas à 1% da massa de areia por EPS, alteraram de forma aceitável, propriedades físicas e mecânicas, atendendo a normas para sua em argamassas de revestimento e blocos estruturais, o que levou este estudo a limitar a substituição a 1% da massa de areia.

Com o objetivo de melhorar as qualidades dos revestimentos, ampliar as opções de aplicação e dessa forma contribuir com a construção civil, experimentos são conduzidos para testarem os efeitos da adição ou substituição de diferentes materiais agregados. O estudo da introdução de agregado leve, Poliestireno Expandido (EPS) proposto para este caso, teve como objetivo avaliar a relação da redução do peso dos elementos e a variação da resistência mecânica, bem como quantificar características como, absorção de água, porosidade e carbonatação.

A incorporação de poliestireno expandido na construção civil resulta na redução de custos, conforme afirma o Engenheiro Ricardo Guimarães de Burgos em entrevista para o Portal Metálica (2017) “[...] com a utilização dos blocos de EPS, há uma redução de 20% no custo da fundação da obra, de até 50% de ferragem usada na própria laje e de 35% no consumo de concreto”.

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 além de apresentar a possibilidade de reciclagem (ISORECORT, 2016).

Uma análise feita pelo *Building Research Establishment*, Reino Unido (2011), em que se estabelece uma classificação ambiental dos materiais, de acordo com seu ciclo de vida, variando de D (mais baixa) até A+ (Mais alta), o EPS obteve sua classificação ambiental na categoria isolamento térmico e acústico como sendo a mais alta: A +.

De acordo com a ABRAPEX (2006), é recomendada a utilização de cola branca de madeira (PVA) para fabricação de argamassa leve com poliestireno expandido, devido às características ligantes deste material, para que as pérolas de EPS estejam distribuídos uniformemente na mistura.

Embora mais que comprovados os benefícios energéticos dos agregados leves, não é possível afirmar até que ponto é viável em termos de exigências normativas e funcionais a sua aplicação em argamassas e revestimentos. Compreender as propriedades da argamassa com a aplicação desses agregados estabeleceu os objetivos desta monografia.

Para compreender as propriedades da argamassa com aplicação de EPS o presente estudo realizou testes para verificação das propriedades físicas e mecânicas por meio de ensaios de laboratório normatizados verificando a resistência

mecânica, densidade aparente, porosidade aberta e absorção de água aos 28 dias de cura, bem como a absorção de água por capilaridade e carbonatação em idades superiores.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Constitui o objetivo deste estudo desenvolver argamassas com incorporação de poliestireno expandido e compreender sua influência nas propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova desenvolvidos por meio de testes de laboratório.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver argamassas leves com traço de 1:2,5 com a substituição de 0,5% e 1% de EPS da massa da areia;
- Avaliar a adição de cola branca (PVA), material utilizado para homogeneização do EPS na argamassa;
- Analisar e avaliar os resultados obtidos nos ensaios de flexão e compressão dos corpos de prova;
- Verificar as propriedades físicas dos corpos de prova (absorção de água por imersão, porosidade aberta, densidade aparente, absorção por capilaridade);
- Entender o efeito da carbonatação aos 40 dias de idade nas combinações de argamassa estudadas.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo serão abordados aspectos relativos à incorporação do poliestireno expandido na construção civil, em especial nas argamassas de revestimento, suas aplicações, vantagens e desvantagens.

### **2.1. ARGAMASSA DE REVESTIMENTO**

Os revestimentos compõem parte significativa do envoltório exterior de uma edificação e desempenham um papel importantíssimo na sua atuação. O cumprimento de exigências funcionais como estanqueidade à água, permeabilidade ao vapor de água, isolamento térmico ou acústico são essenciais para o seu correto desempenho. Um dos revestimentos tradicionais mais comum é a argamassa (VEIGA, 1998). Ainda de acordo com Veiga a argamassa é uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes orgânicos ou inorgânicos, agregados, água e possivelmente aditivos

As proporções entre os materiais que compõem a argamassa são conhecidas como dosagem ou traço sendo que em seu preparo um ponto de atenção é o cuidado com a qualidade e a quantidade da água utilizada, pois a mesma é responsável por ativar a reação química que transforma o cimento em um aglomerante. Caso a quantidade de água seja pouca, a reação não acontecerá completamente e, sendo superior a ideal, a resistência diminuirá em função dos poros causados pelo excesso de água evaporada (PORTAL DO CONCRETO, 2022).

#### **2.1.1. Argamassa Leve**

A fim de melhorar as qualidades dos revestimentos, ocorrem investimentos crescentes na incorporação de novos agregados capazes de melhorar não somente o desempenho das argamassas fisicamente e mecanicamente, mas também melhorar em termos energéticos (FRADE, 2012). Ainda de acordo com Frade é importante ressaltar as qualidades energéticas, em particular as relacionadas ao isolamento térmico das edificações, que cada vez mais possuem papel importante,

por meio de exigências regulamentares que vão impondo continuamente métodos de produção e produtos de desempenho térmico melhorado

Segundo Martins (2010), a incorporação de materiais que apresentem características térmicas positivas na formulação de argamassa de revestimento, como por exemplo o poliestireno expandido, poderá ser benéfico no comportamento térmico da alvenaria, porém é importante, anteriormente, quantificar a implicação desta inclusão nas diversas propriedades da argamassa.

Segundo Barroca (2013) são diversos os agregados leves que podem ser utilizados na constituição de argamassas leves que apresentam comportamento adequado, indo de encontro das normas vigentes, e são eles: Poliestireno expandido, cortiça natural e expandida e Argila expandida.

As vantagens dos materiais de baixa densidade são diversas, sendo elas: redução do peso global, maior agilidade na construção, redução dos custos e maior facilidade no transporte, o peso próprio do edifício é reduzido, apresenta bom isolamento térmico e acústico. Dessa forma as argamassas leves são materiais sustentáveis considerando as emissões de carbono que estão envolvidas no transporte até os canteiros se reduzirem significativamente em relação às argamassas normais (SOUZA, 2010).

Em estudos conduzidos por Souza (2010) concluem que a aplicação de argamassa leve apresenta desempenho suficiente das funções de revestimento de alvenarias, consolidando-se como um isolante térmico eficaz, de fácil aplicação e de melhor comportamento ao fogo que outras soluções existentes. Em quanto para assentamento de alvenaria argamassas comuns com aditivos apresentam melhor viabilidade de aplicação.

### **2.1.2. Constituintes da Argamassa**

De acordo com o Manual de Revestimentos de argamassas elaborado pela ABCP (2002) argamassas são atribuídas de acordo com o aglomerante ativo presente, que pode ser o cimento, a cal ou o gesso. Podendo ainda ser composta por dois aglomerantes, chamadas de argamassas mistas.

A argamassa hidráulica é uma argamassa que contém um aglomerante mineral hidráulico e que possui a característica de endurecer na presença de água (LEAL, 2012).

O bom desempenho de uma argamassa depende em maior parte do traço, mas também da qualidade dos componentes utilizados em sua composição. É preciso certa compreensão desses fatores para prever adequadamente as características finais da argamassa a se produzir (ABCP, 2002).

Os componentes essenciais para a composição de uma argamassa são caracterizados em grupos, sendo eles, os aglomerantes, os agregados e a água. Outros componentes, tais com agregados leves e adições, poderão fazer parte das argamassas com o objetivo de alterar as suas propriedades (LEAL, 2012).

### 2.3. POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

O poliestireno expandido ou isopor como é popularmente conhecido no Brasil, é um material sintético proveniente do petróleo, obtido através da polimerização do estireno em água, resultando em pérolas de até 3mm de diâmetro, na cor branca, fisicamente estável e extremamente leve, compostas por 2% de plástico e 98% de ar, é sem dúvidas um isolante energético da melhor qualidade (TESSARI, 2006).

Segundo a ABRAPEX (2006) o uso crescente do EPS na construção civil se dá por conta das características apresentadas pelo material, como baixa condutividade térmica, baixa densidade, alta resistência a intempéries, baixa absorção de água, fácil manuseio e versatilidade. Sendo comercializado em forma de placas, blocos, ou partículas, com aplicações extremamente variadas.

Conforme a ABRAPEX (2006), recomenda-se o uso de cola branca de madeira (PVA) para fabricação de concreto leve com poliestireno expandido, devido às características ligantes deste material, para que os flocos de EPS estejam distribuídos uniformemente na mistura.

#### 2.3.1. Aplicação do EPS na construção civil

De acordo com a Comissão Setorial de EPS (2007, apud MORAES e BRASIL, 2015, p. 5), o EPS possui variadas aplicações no mercado da construção

civil, desde sistemas construtivos como o ICF™ da empresa ARXX, que são formas termoacústicas para parede de concreto armado, uma tecnologia que proporciona uma construção rápida, eficiente, segura, sustentável e econômica,

O EPS também pode ser utilizado para soluções geotécnicas, em estabilização de solos moles com blocos de EPS (Poliestireno Expandido), até sua utilização em Lajes, isolantes térmicos, molduras e formas (CSEPS, 2007, apud MORAES e BRASIL, 2015, p. 5).

Dentre as várias aplicações do EPS, é possível observar que no mundo todo, a mais utilizada é a produção de painéis de vedação, divisórias e lajes. Que acontecem principalmente em função das características de isolamento termoacústicas que o material oferece.

### 2.3.2 Vantagens na utilização do EPS

Moraes e Brasil (2015) sistematizam as principais propriedades do material e suas respectivas vantagens na aplicação em edificações de baixo impacto ambiental, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1-Vantagens do EPS.

<b>PROPRIEDADES</b>	<b>VANTAGENS</b>	<b>SUSTENTABILIDADE</b>
<b>Baixa condutividade térmica</b>	A estrutura de células fechadas, cheias de ar, dificulta a passagem do calor resultando em grande poder isolante.	Conforto termoacústico; Redução do consumo de energia.
<b>Baixo peso</b>	O EPS possui baixa densidade, permitindo uma redução substancial do peso das construções e consequentemente redução das estruturas.	Redução da quantidade de material utilizado em obra; redução de peso e materiais na fundação.
<b>Resistência a intempéries</b>	O EPS é um material não nutritivo, por isso não desenvolve fungos ou microrganismos.	Durabilidade do material
<b>Resistência mecânica</b>	Apesar de ser leve, apresenta boa resistência mecânica (compressão, flexão e tração).	Permite o emprego em estruturas onde esta característica é necessária.

Fonte: Adaptado de Moraes e Brasil (2015, p. 6).

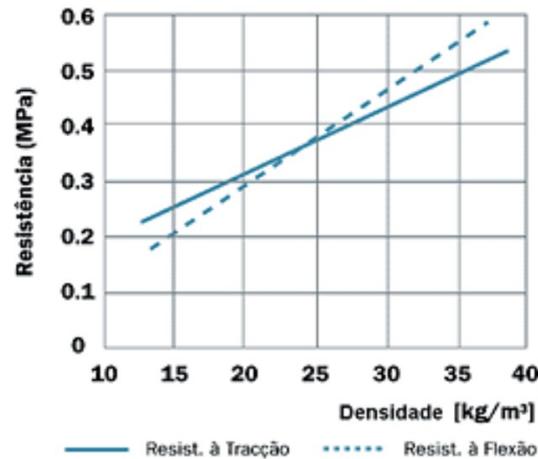
Quadro 2-Vantagens do EPS.

<b>PROPRIEDADES</b>	<b>VANTAGENS</b>	<b>SUSTENTABILIDADE</b>
<b>Baixa absorção de água</b>	O EPS é um material não higroscópico, o que faz com que o mesmo não absorva quantidade grande de água, mantendo assim suas características térmicas e mecânicas.	Durabilidade do material, e características térmicas não se alteram mesmo na presença de umidade.
<b>Facilidade de manuseio</b>	O EPS é um material leve.	Seu peso facilita seu transporte, e seu manuseio em obra.
<b>Versatilidade</b>	Tem facilidade em tomar formas, e é facilmente cortado e moldado	Redução de desperdício e resíduos em canteiro de obras.
<b>Compatibilidade Físico-química</b>	Possui resistência química, o que garante compatibilidade com a maioria dos materiais usados na construção civil.	Fácil integração no processo da edificação.
<b>Custo</b>	O custo do m <sup>3</sup> do EPS é competitivo quando comparado ao concreto e a argamassa.	Redução no valor final da obra, e nos custos de transporte.

Fonte: Adaptado de Moraes e Brasil (2015, p. 6).

As exigências mecânicas do EPS relacionam-se com a condições de manuseio e aplicação. A resistência à compressão, tração, flexão e fluência sob compressão estão diretamente ligados a densidade do material (TECNOCELL, 2022). A figura 01 apresenta a relação da resistência à tração e à flexão com a densidade do material.

Figura 1-Resistência a tração e flexão.



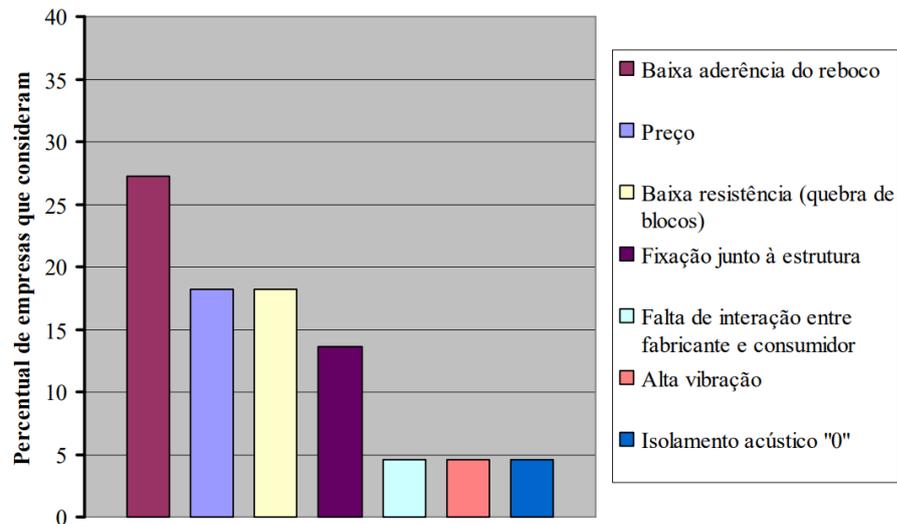
Fonte: Tecnocell (2022).

### 2.3.3 Desvantagens na utilização do EPS

Segundo Moraes e Brasil (2015), observa-se no mercado ainda uma certa resistência na utilização do EPS nas edificações por ser um material relativamente novo na construção civil. Ainda de acordo com os autores quando se trata de painéis de EPS os mesmos apresentam algumas restrições de uso. O poliestireno expandido quando em contato com temperaturas superiores a 80°C, inicia a degradação do seu núcleo, o que pode provocar a perda de estabilidade da estrutura com a incorporação do mesmo. Problema que pode ser evitado utilizando aqueles que têm núcleos compostos por poliuretano (PUR) e poliisocianurato (PIR).

Em pesquisa conduzida por Tessari (2006), realizada com empresas do mercado de construção civil em Chapecó/SC, os seguintes dados expostos no Figura 02 puderam ser observados como desvantagens no uso do EPS.

Figura 2-Desvantagens no uso do EPS.



Fonte : Tessari (2006).

É possível observar que a baixa aderência ao reboco foi apontada como a principal desvantagem.

#### 2.3.4. Estudos realizados anteriormente

Estudos conduzidos por Pires (2017) mostraram que argamassas com a substituição de até 1% da massa de areia por EPS atingiram resistência à compressão média de aproximadamente 7,5 Mpa, resistência que permite seu uso em blocos estruturais aplicado em obras acima do solo e obras de fundação. Ainda segundo Pires (2017) amostras com quantidades superiores a 1% de EPS apresentam fácil desprendimento do EPS da matriz cimentícia.

Barroca (2013) verificou através de ensaios com argamassas leves com substituições de 25% e 50% do volume de areia por EPS apresentaram comportamentos favoráveis, alcançando valores de resistência à compressão, flexão e de aderência por tração, bastante elevados, combinados com baixos valores de absorção de água por capilaridade e retração.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta materiais e métodos utilizados para o estudo e aprofundamento do tema que tange a respeito das propriedades de argamassas com incorporação de Poliestireno expandido, e adição de cola PVA, detalhando os equipamentos e etapas de cada método.

#### 3.1. MATERIAIS

O cimento selecionado para a composição da argamassa é classificado como CP-II-Z-32. Esta classe de cimento apresenta adição de silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, filer carbonático e pozolona, sua composição é apresentada no quadro 2.

Quadro 3 - Composição do Cimento.

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Composição %				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material Pozolânico (sigla Z)	Material Carbonático (Sigla F)	
Composto	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	NBR11578

Fonte: Adaptado de ABCP (2002).

A escolha pelo cimento do tipo CP-II-Z-32 deu-se pela fácil disponibilidade do mesmo no mercado regional e por ser a classe comercial mais utilizada na região de Joinville, local de desenvolvimento do estudo. O mesmo critério foi utilizado para areia, comercializada na região, no caso da água utilizada, a mesma é fornecida pela rede de abastecimento da cidade e está dentro dos padrões necessários.

Empregou-se cola branca conhecida por cola de madeira, com sua composição de PVA (polímero sintético).

O poliestireno expandido pode ser encontrado no mercado em forma de flocos ou pérolas, para o presente estudo o formato de perola foi o escolhido por apresentar melhor facilidade de manuseio. As pérolas apresentam diâmetros variáveis em torno de 3mm e densidade média de 14kg/m<sup>3</sup>. A figura 3 ilustra os materiais utilizados.

Figura 3-Materiais.

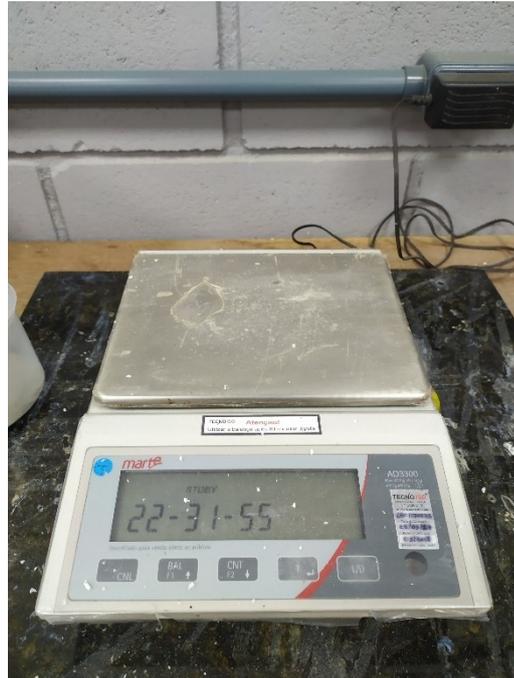


Fonte: Autor (2022).

Na fase de ensaios de caracterização física, para a medição da carbonatação dos corpos de prova, foi utilizada uma solução que possui em sua composição 1 g de fenolftaleína em 50 ml de álcool etílico, diluídos em 100 ml de água destilada (TÉCHNE, 2011). Os detalhes do ensaio são apresentados no item 3.2.3.4.

Para as pesagens em geral foi utilizada uma balança de precisão 0,01g (figura 4).

Figura 4 – Balança de precisão 0,01g.



Fonte: Autor (2022).

Devidamente separados e pesados os materiais utilizados para cada traço de composição da argamassa foram misturados com a ajuda de um misturador mecânico de alta potência da marca Solotest (Figura 5).

Figura 5 – Misturador de alta potência.

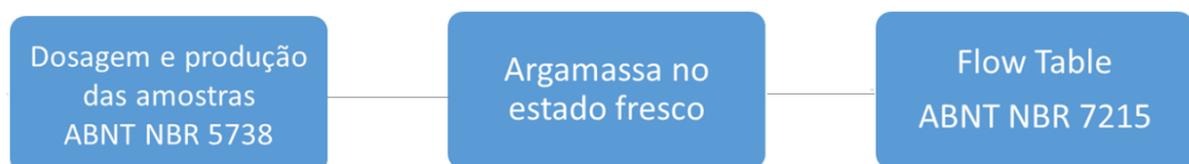


Fonte: Autor (2022).

### 3.2. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

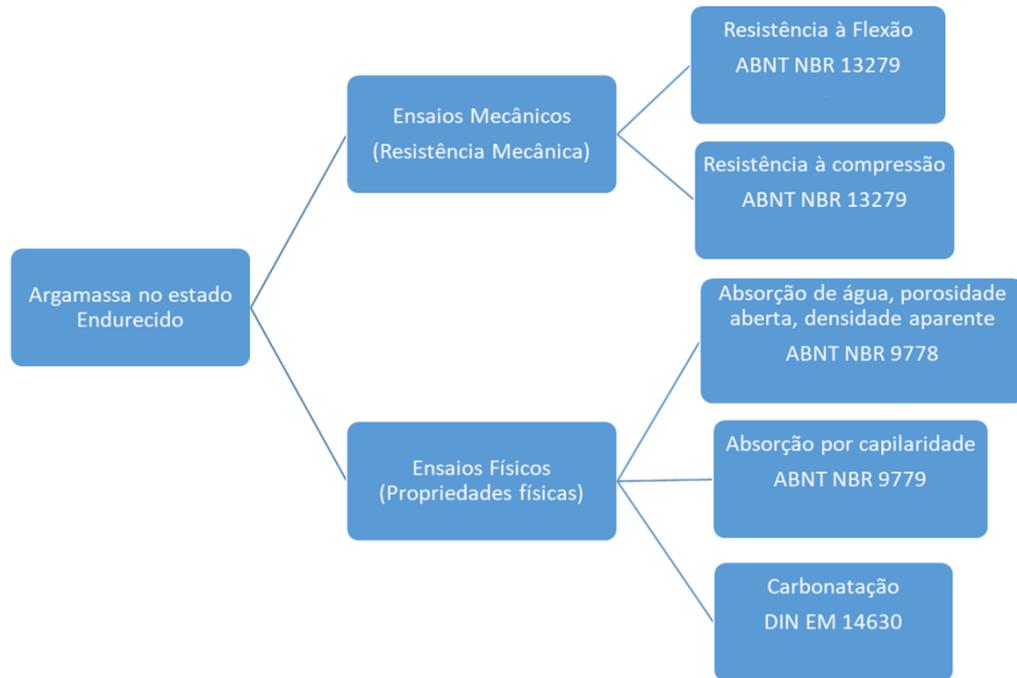
A sequência de atividades realizadas está apresentada nas Figuras 6 e 7, sendo que posteriormente estão descritos os procedimentos de cada etapa.

Figura 6 – Procedimentos no estado fresco.



Fonte: Adaptado de Pires (2016).

Figura 7 – Procedimentos no estado endurecido.



Fonte: Pires (2016).

Todos os ensaios foram executados nos laboratórios da Universidade Federal de Santa Catarina, com exceção dos rompimentos mecânicos por compressão executados na sala de teste da empresa Perville.

### 3.2.1. Ensaio no estado fresco

#### 3.2.1.1. Flow table

O ensaio executado com a argamassa em seu estado fresco é chamado de *Flow Table*. Regulamentado pela norma ABNT NBR 13276 (2016) tem a função de estabelecer o índice de consistência e plasticidade da argamassa, através da medição do espalhamento sobre a mesa.

A execução do ensaio conta com a utilização dos seguintes materiais: espátula, soquete, molde no formato tronco cônico, mesa com dispositivo para golpes de adensamento e um instrumento de medição com escala em milímetros (figura 8).

Figura 8 – Equipamentos para o ensaio *Flow Table*.



Fonte: Pires (2017).

O ensaio é realizado logo após a mistura da massa. Com a superfície limpa e seca posiciona-se o molde no centro da mesa para então preenche-lo com argamassa seguindo o adensamento manual descrito:

- Primeira camada depositada adensada por 15 golpes;
- Segunda camada depositada adensada por 10 golpes;
- Terceira camada depositada adensada por 5 golpes.

As três camadas despejadas no molde devem ter a mesma espessura, rasando o topo do molde com a espátula para remover o excesso de massa. Em seguida o molde é retirado, e girando a manivela do dispositivo de espalhamento a uma velocidade constante durante 30 segundos, totalizando 30 quedas. Após realizado o espalhamento mede-se a abertura da argamassa em 3 pontos diferentes, e através da média aritmética das 3 medidas, encontra-se o valor do índice de consistência.

### 3.2.1.2. Granulometria da areia

A metodologia para análise granulométrica cumpre genericamente as indicações da ABNT NBR 7211:2005. Neste procedimento foram utilizadas uma serie de peneiras, com as seguintes malhas: 4,75mm; 2,36mm; 1,18mm; 0,6mm; 0,3mm e 0,5mm. Para a realização do ensaio a areia foi condicionada em uma estufa a temperatura de 100 °C. Posteriormente o agregado foi peneirado em decréscimo de aberturas de malhas (figura 9). O processo foi realizado mecanicamente, submetendo as varias peneiras a movimento oscilatórios e vibração. Ao fim do processo de peneiração foi determinada a massa da amostra retida em cada peneira.

Figura 9 – Peneiras e vibrador magnético.



Fonte: Autor (2022).

### **3.2.2. Moldagem dos Corpos de Prova**

O traço bem com as porcentagens de substituição de EPS foram definidas tendo como ponto de partida o estudo feito por Pires (2017) onde utilizou-se porcentagens de substituição de massa de 0%, 1%, 2%, 2,5%, 2,75% e 3% e traços

de cimento/areia 1:3 e 1:2, buscando obter resultados complementares ao de Pires novas formulações foram sugeridas para o presente trabalho.

Durante a moldagem, utilizadou-se moldes prismáticos com dimensões 4x4x16cm em latão, com divisões, permitindo o molde de três corpos de prova simultaneamente.

O procedimento é realizado de acordo com a ABNT NBR 5738 (2003) que instrui a untar o molde com óleo mineral ou a substituição por papel manteiga, para só depois, despejar a argamassa em camadas dentro do molde, adensando com o auxílio de um soquete e rasando a superfície final com uma espátula. No procedimento executado para o presente trabalho, usou-se papel manteiga, pois como sugere Pires (2017) as pérolas de EPS absorvem o óleo vegetal (figura 10).

Figura 10 – Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2022).

Para o procedimento de adensamento dos corpos de prova, foi utilizada uma mesa de adensamento por queda, ligada a um contador de golpe (figura 11), modelo I-3003-U da marca CONTENCO.

Figura 11 – Mesa de adensamento e contador de golpes.



Fonte: Autor (2022).

### 3.2.3. Ensaio no Estado Endurecido

A caracterização mecânica de um material tem como objetivo verificar o comportamento do material sob certas condições de trabalho, para a caracterização da argamassa os corpos de prova foram submetidos a ensaios para a determinação da resistência mecânica à compressão e à flexão.

Segundo Carasek (2007) a resistência de um material tem relação estreita com o grau de integridade de sua estrutura interna. A avaliação da integridade dessas ligações internas é que permitirá definir a aplicação que o composto poderá desempenhar.

Casali (2003) dirigiu um estudo de argamassas para alvenaria estrutural de blocos de concreto e constatou que a resistência à compressão das argamassas é influenciada principalmente pelo módulo de finura da areia, ao passo que, quanto maior o módulo de finura, maior resistência à compressão apresentava. Dessa forma é possível prever que a substituição da areia por poliestireno, materiais com módulos de finura muito distintos, irá influenciar diretamente nos resultados de resistência mecânica.

Para a caracterização física das misturas foram realizados 3 ensaios: densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta.

### 3.2.3.1 Resistência à compressão e à flexão

A resistência mecânica da argamassa foi determinada por meio de ensaio mecânico de flexo-compressão de acordo com a ABNT NBR 13279 (2005), com ruptura dos corpos de prova aos 28 dias de idade.

Os ensaios foram realizados em uma máquina universal da marca SOLOTEST (figura 12), a qual retorna como resultado informações de resistência mecânica em Tonelada força, que foi posteriormente convertido em Newtons para efeitos de cálculo.

Figura 12 - Máquina ensaio à compressão



Fonte: Autor (2022).

O ensaio de flexão contou com o total de 6 amostras para cada traço de argamassa, e 1 metade de cada uma das 6 amostras submetida a ensaio de compressão. As metades não utilizadas nesta etapa foram utilizadas posteriormente em ensaios de avaliação das propriedades físicas.

Para determinação da resistência a compressão axial, 6 metades de corpos de prova, resultantes do ensaio de flexão, foram submetidos a uma carga de (500±50)N/s até a ruptura do corpo de prova.

### 3.2.3.2 Porosidade aberta, absorção e densidade aparente

Os ensaios de caracterização física foram realizados em corpos de prova com 28 dias de idade e obedecem às recomendações da ABNT NBR 9778 (2005). A determinação dos parâmetros foi executada por meio das relações entre os valores encontrados da massa seca, massa imersa e massa saturada com superfície seca das amostras.

Para a determinação dos parâmetros os seguintes equipamentos e materiais foram utilizados para os procedimentos: estufa, papel, balança de precisão de 0,01g, recipiente com água, suporte para medição do peso da amostra imersa. Assim foram executados os seguintes procedimentos.

1. Secagem das amostras em estufa ( $103\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) (Figura 13) e pesagem em balança com precisão 0,01 g (figura 4);
2. Imersão em água das amostras por 72 horas e pesagem em balança com precisão 0,01 g (Figura 14);
3. Secagem da superfície com papel e pesagem em balança com precisão 0,01 g;

Figura 13 – Estufa.



Fonte: Autor (2022).

Figura 14 - Balança de precisão com suporte para pesagem imersa.



Fonte: Autor (2022).

Após a pesagem das amostras o procedimento segue através dos cálculos dos parâmetros físicos por meio das equações 1, 2 e 3, com valores de entrada  $M_s$ ,  $M_i$  e  $M_{ss}$  que se referem a massa seca, massa imersa e massa saturada com superfície seca respectivamente.

$$\text{Densidade Aparente} = \frac{M_s}{M_{ss} - M_i} \frac{g}{cm^3} \quad (1)$$

$$\text{Absorção de Água} = \frac{M_{ss} - M_s}{M_s} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Porosidade Aberta} = \frac{M_{ss} - M_s}{M_{ss} - M_i} \times 100\% \quad (3)$$

$M_s \rightarrow$  Massa seca;

$M_{ss} \rightarrow$  Massa imersa;

$M_i \rightarrow$  Massa saturada com sup. seca.

### 3.2.3.3 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi executado de acordo com a ABNT NBR 9779 (1995) e os seguintes equipamentos e materiais foram necessários: estufa, recipiente com nível de água constante, suporte para manter o CP afastado do fundo do recipiente.

1. Pesar CP ao ar;
2. Secar CP em estufa ( $105 \pm 5$ )°C por no mínimo 24 horas e pesá-lo novamente;
3. Resfriar CP à temperatura do ar ( $23 \pm 2$ )°C;
4. Posicionar CP sobre suporte e preencher recipiente com água de forma que permaneça constante ( $5 + 1$  mm acima de sua face inferior) sem molhar a outra extremidade;
5. Pesar CP com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h de ensaio (enxugando-os previamente com pano úmido);
6. Romper CP por compressão diametral e anotar distribuição de água em seu interior.

A absorção (C) é calculada pela diferença entre a massa do corpo de prova com uma face em contato com a água em um determinado período de tempo em gramas (A), e a massa do corpo de prova seco na estufa (B), dividida pela área da

seção transversal do CP em centímetros quadrados (S). Cálculo expresso pela equação 4, em g/cm<sup>2</sup>.

$$C = \frac{A - B}{S} \quad (4)$$

*C* → Absorção;

*A* → Peso do CP úmido em gramas ;

*B* → CP seco ;

*S* → Area da seção transversal do CP.

#### 3.2.3.4 Carbonatação

O teste de alcalinidade chamado de carbonatação tem o intuito de avaliar a redução do pH com o passar do tempo analisando o comportamento das argamassas com relação ao fenômeno da carbonatação. Este fenômeno é uma reação química entre os produtos da matriz cimentícia e o CO<sub>2</sub> presente na atmosfera formando carbonatos (BADAR et al., 2014). A carbonatação é prejudicial às estruturas de concreto armado, pelo fato de reduzir a alcalinidade da solução porosa, destruindo a camada protetora da barra de aço podendo levar à ruptura de estruturas (CHEN et al., 2021)

Para a determinação da carbonatação os procedimentos seguiram as recomendações da norma DIN EN 1463 (2007), e demandaram dos seguintes materiais e equipamentos: borrifador com solução alcoólica de fenolftaleína (figura 15) e instrumento para medição com escala em mm. Sendo feito em corpos de prova com idade superior a 28 dias de cura.

Figura 15- Solução de fenolftaleína.



Fonte: Autor (2022).

A solução de fenolftaleína foi aspergida no corpo de prova anteriormente rompido onde verificou-se visualmente a coloração da superfície. A região não carbonatada apresenta coloração rosada indicando pH de 8,3 ou superior, em quanto a região com presença de carbonatação não teve alteração cor, indicando um ph inferior a 8,3 (TÉCHNE, 2011). Utilizando um instrumento de medida com escala em milímetros mediu-se a profundidade da carbonatação.

#### **4. APRESENTAÇÃO DE DADOS**

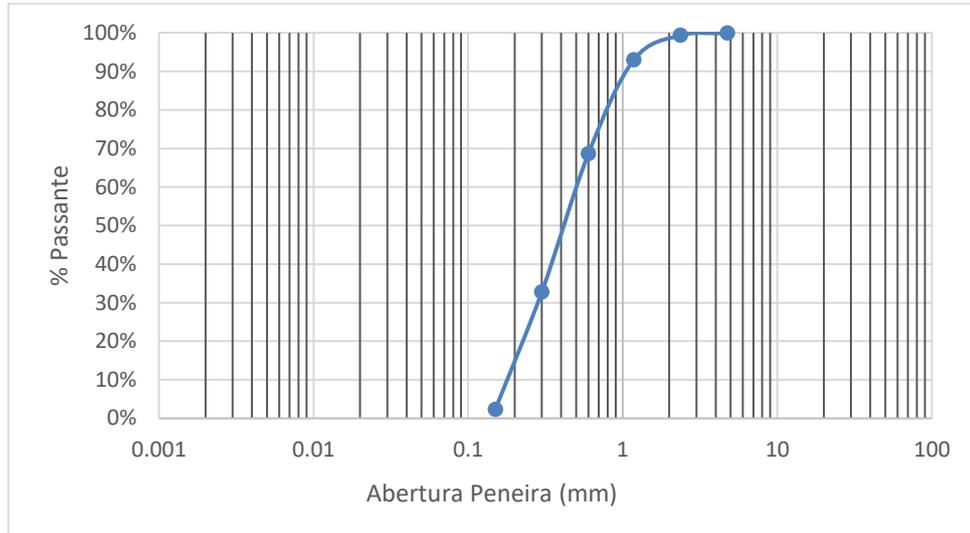
Ao longo desse capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios realizados durante a campanha experimental. Utilizando quando conveniente, imagens e gráficos para demonstrar ou justificar algumas situações em particular.

##### **4.1. GRANULOMETRIA DA AREIA**

A areia utilizada passou por secagem em forno, e apresentou ao fim da secagem umidade inferior a 0,1%, sua curva granulométrica obtida através do

ensaio de granulometria é apresentada no gráfico 1 sendo considerada como areia média.

Gráfico 1 – Curva Granulométrica.



Fonte: Autor (2022).

#### 4.2. FLOW TABLE

O ensaio de mesa de espalhamento ou conhecido como *Flow table* foi realizado para auxiliar na definição do traço de referência, ou de forma sucinta, para determinar a quantidade de água que deveria ser adicionada na mistura da argamassa para que essa atinge-se um espalhamento entre 220mm e 250 mm. A figura 16 apresenta o ensaio que resultou em uma abertura de 24mm, resultado de relação a/c de 0,54.

Figura 16 - Ensaio *Flow table*.

Fonte: Autor (2022).

O mesmo ensaio foi feito para as argamassas com adição de EPS, porém durante as etapas de adensamento manual, as pérolas do material polimérico eram danificadas, sendo evitado o procedimento posteriormente.

#### 4.3. DOSAGEM E PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS

As relações de a/c utilizadas para cada % de substituição de EPS são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1-Relação a/c.

SUBSTITUIÇÃO EM MASSA DE AREIA	TRAÇO 1:2,5
	RELAÇÃO A/C
0%	0,54
0,5%	0,58
1%	0,60

Fonte: Autor (20220).

A relação a/c utilizada como ponto de partida foi de 0,54 definida anteriormente a partir do ensaio de *Flow Table*. Quanto maior a % de substituição de EPS maior o volume da argamassa e por consequência maior a área de contato entre as partículas, aumentando assim a quantidade necessária de água para garantir a funcionalidade do aglomerante que tem o papel de ligar de forma homogênea os materiais presentes na mistura, e manter uma boa trabalhabilidade do conjunto.

Foram realizadas as dosagens apresentadas na tabela 01 com e sem a adição de cola branca (PVA) para posterior avaliação da influência da adição nas propriedades da mistura.

#### 4.4. DENSIDADE APARENTE, ABSORÇÃO E POROSIDADE ABERTA

Depois de realizar os ensaios de resistência mecânica, as metades resultantes do ensaio de flexão foram submetidas aos ensaios físicos para quantificar a absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente.

A tabela 2 exhibe os resultados obtidos nos ensaios.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios físicos.

% EPS	DENSIDADE APARENTE MÉDIA (g/cm <sup>3</sup> )	ABSORÇÃO DE ÁGUA MÉDIA (%)	POROSIDADE ABERTA MÉDIA (%)
0%	1,95	10,3	20,11
0,5%	1,28	12,86	16,47
0,5% + COLA	1,10	16,71	18,34
1%	0,94	18,54	17,42
1% + COLA	0,85	30,63	22,95

Fonte: Autor (2022).

A partir dos resultados obtidos observa-se que o aumento da quantidade de EPS na argamassa resulta em uma diminuição na densidade aparente, assim como a adição de cola PVA, em contrapartida, a absorção de água aumenta, consequência de um maior número de vazios no material, resultado também observado em estudo feito por Tessari (2006), concluindo que a permeabilidade e a absorção diminuem com o aumento da densidade.

A substituição do EPS na argamassa teve pouca influência sobre a porosidade aberta, comportamento também verificado por Leal (2012).

#### 4.5. RESISTÊNCIA MECÂNICA

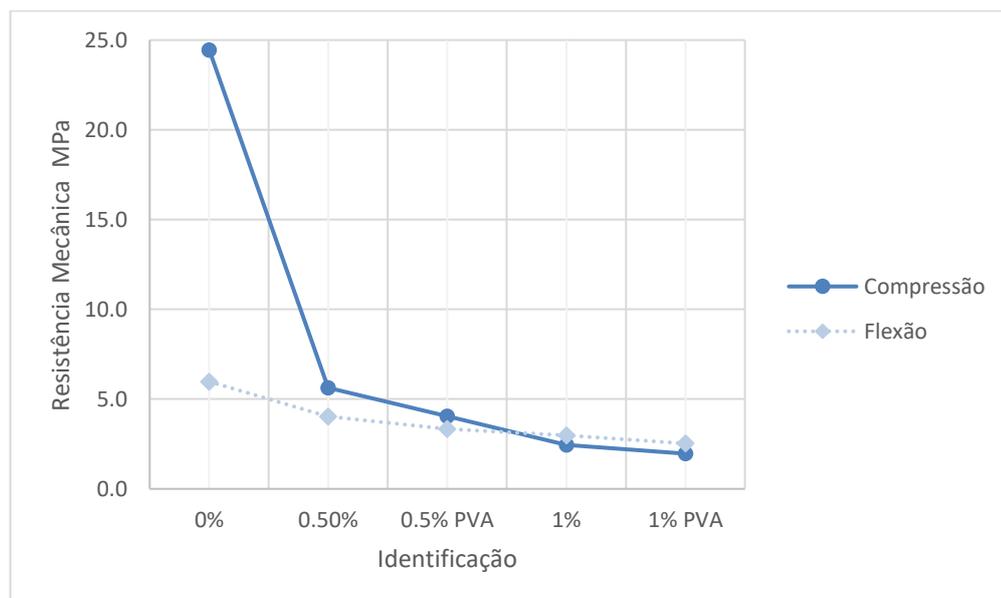
A tabela 3 e o gráfico 2 apresentam os resultados obtidos através dos ensaios de flexão e compressão.

Tabela 3 – Valores de resistência mecânica.

% EPS	Formulação	Relação A/C	Resistência Flexão (MPa)	Resistência Compressão (MPa)	Perda de Resistência		Desv. Padrão Flexão	Desv. Padrão Compressão
					Flexão (%)	Compressão (%)		
0,00%	1:2,5	0,54	5,97	24,45	-	-	0,23	0,5
0,50%	1:2,5	0,58	4,02	5,64	32,7	76,9	0,34	0,24
0,50% +Cola	1:2,5	0,58	3,33	4,04	44,2	83,5	0,34	0,43
1,00%	1:2,5	0,60	2,98	2,45	50	90	0,23	0,24
1,00% +Cola	1:2,5	0,60	2,53	1,91	57,7	92	0,23	0,24

Fonte: Autor (2022).

Gráfico 2 – Curva da resistência mecânica.



Fonte: Autor (2022).

A perda percentual de resistência à flexão é menor do que a perda para compressão para as formulações com e sem PVA. Uma possível explicação para este fenômeno é que a presença de EPS presente na estrutura do corpo de prova, permita uma deformação inicial maior anterior ao verdadeiro rompimento, essa deformação é interpretada pelo equipamento como rompimento do corpo de prova, finalizando o ensaio antes do rompimento do CP.

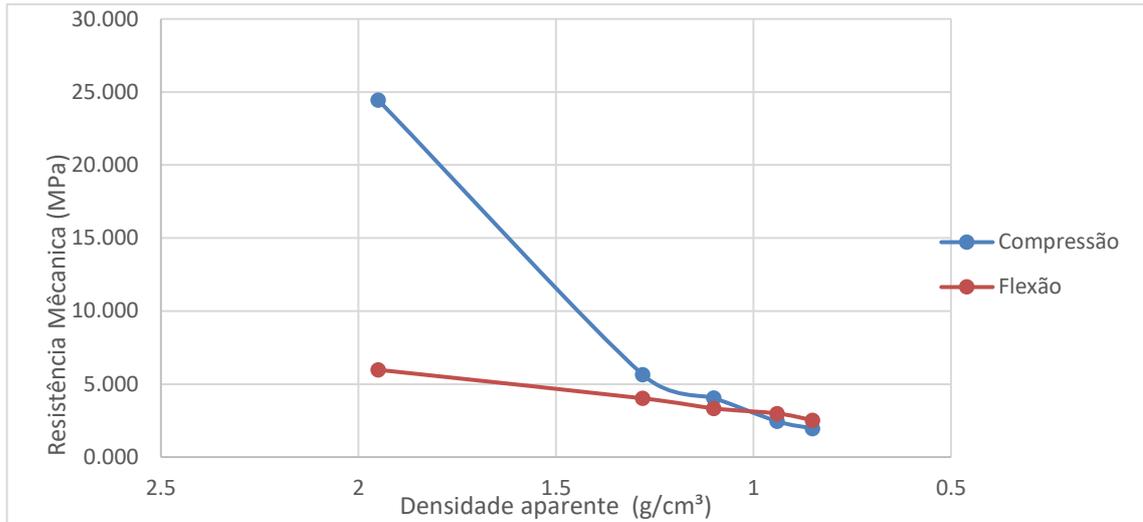
Observa-se que para as amostras de argamassa, com incorporação de EPS, mas sem adição de cola PVA, há um aumento na resistência à compressão e à flexão em relação à mistura com emprego desta cola (Tabela 2), utilizada como ligante para homogeneização do EPS na argamassa. Esta redução da resistência acontece por causa da característica da cola, que estando endurecida torna-se um material elástico, podendo formar vazios irregulares na pasta de cimento.

Carasek (2007) explica que apesar de melhorar as características do estado fresco, a presença da cola funciona como um incorporador de ar o que reduz a resistência mecânica e a aderência da argamassa ao substrato, pois aumenta o teor de vazios e propicia uma redução da superfície de contato na interface junta/unidade pela presença das bolhas de ar.

A resistência mecânica está diretamente relacionada com a densidade neste caso. Quanto maior a presença de EPS na amostra, menor a densidade aparente e conseqüentemente, menor a resistência mecânica suportada pela argamassa. Comportamento semelhante a este foi descrito em estudos conduzidos por, Mas, Tortosa e Alcocel (2011).

O gráfico 3 relaciona a resistência mecânica com a densidade aparente, comprovando que quanto menor a densidade da argamassa menor será sua resistência mecânica.

Gráfico 3 – Resistência mecânica versus densidade aparente.

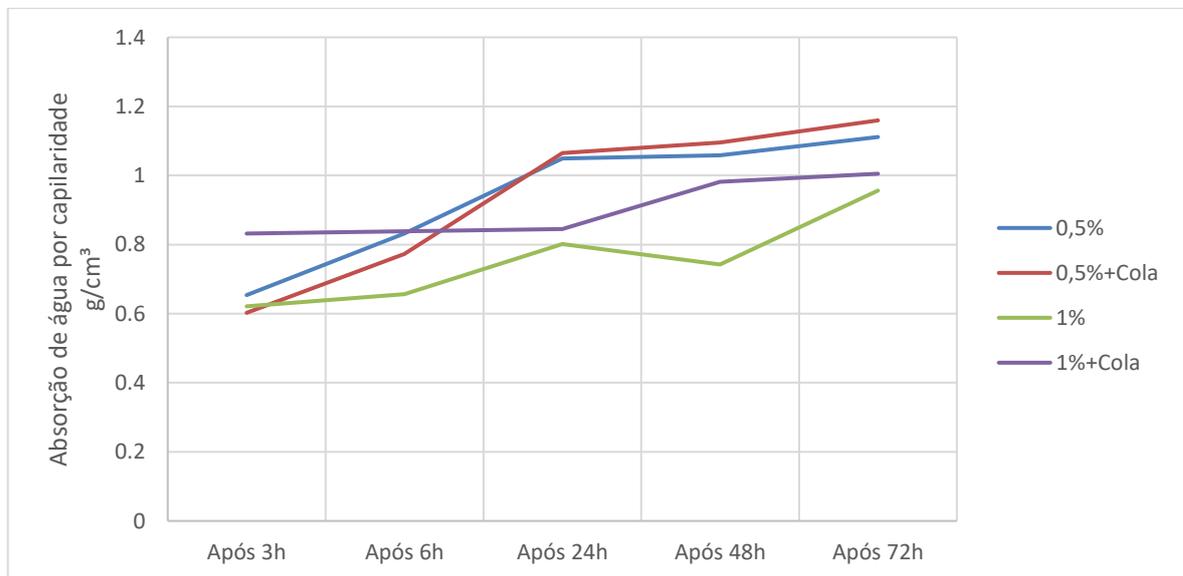


Fonte: Autor (2022).

#### 4.6. ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

Os resultados obtidos através dos ensaios de absorção de água por capilaridade estão apresentados no gráfico 4.

Gráfico 4 – Absorção de água por capilaridade.



Fonte: Autor (2022).

Observa-se pelos resultados uma diminuição na absorção de água por capilaridade, com o aumento da percentagem de substituição de areia por EPS.

A adição de cola PVA resultou em uma maior absorção de água para a percentagem de 0,5%, e maior absorção após 24h para percentagem de substituição de 1%, este aumento pode estar relacionado com o aumento de vazios causado pela cola, característica supracitada por Carasek (2007).

A incorporação de EPS resulta em uma argamassa com maior número de vazios, esta característica tende que quanto maior o tempo em contato com a água, maior a absorção de água por capilaridade, este comportamento foi verificado em estudos dirigidos por Sant'Helena (2009).

#### 4.7. CARBONATAÇÃO

Amostras com teores de EPS variando entre 0 e 1%, com a presença ou não, de cola PVA, tiveram solução de fenolftaleína aspergida em sua face de rompimento e o resultado da frente de carbonatação é apresentado na figura 17.

Figura 17 – Frente de carbonatação.



Fonte: Autor (2022).

Segundo Werle, Kazmierczak e Kulakowski (2011) quanto maior a relação a/c maior a profundidade de carbonatação. Tal afirmação é confirmada pelos resultados apresentados na tabela 4.

O aumento do teor de vazios e bolhas de ar ocasionado pela presença de cola PVA facilitou para que a profundidade de carbonatação aumentasse nos corpos de prova com adição de cola.

Tabela 4 – Profundidade de carbonatação.

% EPS	RELAÇÃO A/C	PROFUNDIDADE MÉDIA (mm)
0%	0,54	1,6
0,5%	0,58	2,2
0,5% + PVA	0,58	2,35
1%	0,60	4,3
1% +PVA	0,60	5

Fonte: Autor (2022).

Os resultados mostram que apesar de aumentar a exposição à carbonatação as argamassas com EPS ainda tem a capacidade de proteger armadura com camadas superiores a 1 cm de espessura.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo o estudo do comportamento mecânico e físico de argamassas com agregados leves em seu estado fresco e endurecido, procurando antes, definir uma formulação viável para as argamassas estudadas.

A partir dos resultados obtidos durante a campanha experimental pode-se concluir que, a resistência mecânica é a propriedade mais influenciada pela substituição parcial de areia por EPS. Um dos principais fatores para queda de resistência é o aumento significativo na porosidade e no número de vazios da argamassa causados pela substituição por EPS, provocando descontinuidades e baixa rigidez.

A densidade aparente final da mistura diminuiu com o aumento da incorporação de EPS, fato que era esperado já que o EPS apresenta densidade bem mais baixas que a areia, este fator também influenciou negativamente à resistência mecânica da argamassa.

A utilização de cola branca (PVA) resultou em uma diminuição da resistência mecânica em relação as misturas sem o emprego da cola. Sem utilização da cola na

mistura, os resultados de resistência a compressão atingiram um aumento de 40%, e de 20% para resistência à flexão, para argamassa com substituição de 0,5% de EPS. Esta redução da resistência é provocada pela característica da cola, que após sua secagem, se torna um material elástico, ocupando espaços e se comportando como vazios dentro da pasta de cimento.

A absorção de água foi maior quanto maior foi a substituição de areia por EPS, a utilização da cola PVA também provocou um aumento na absorção de água, para ambos os casos o aumento de absorção está relacionado com um aumento de número de vazios dentro da amostra que por consequência eleva a área de superfície de contato propiciando uma maior capacidade de absorver a água.

Nos ensaios de carbonatação os resultados demonstraram um aumento na vulnerabilidade à carbonatação a medida que a incorporação de EPS aumentou, e o mesmo acontece em com a adição da cola.

Nos ensaios de absorção de água por capilaridade os resultados mostraram uma diminuição na capacidade final de absorver a água com o aumento da substituição de EPS mostrando que o aumento de número de vazios diminuiu a capacidade final de absorver a água.

De uma forma geral a incorporação de EPS, mostrou proporcionar propriedades satisfatórias para argamassas de revestimento, em todas as formulações testadas, atendendo ao requisito mínimo de 1,5 MPa exigido pela norma NBR 15812-1 (2010).

## **TRABALHOS FUTUROS**

Uma sugestão para estudos futuros é a substituição parcial de areia por EPS em frações medidas em volume, que propiciarão um melhor entendimento na influência da substituição.

Sugere-se a utilização de outro aditivo com a função de homogeneizar a mistura em substituição à cola (PVA).

## REFERÊNCIAS

ABCP. Associação Brasileira do Cimento Portland. **Básico sobre o cimento**. Disponível em:<<https://abcp.org.br/cimento/>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ABCP. Associação Brasileira do Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.

ABCP. Associação Brasileira do Cimento Portland. **Manual de revestimentos de argamassa**. São Paulo, 2002. 104p.

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **Manual de Utilização EPS na Construção Civil**. São Paulo: Pini, 2006. 8p.

ABRAPEX. Associação Brasileira de Poliestireno Expandido. **O que é EPS**. Disponível em:<<http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 9778**: Argamassa e Concreto Endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 9779**: Argamassa e Concreto Endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995. 2 p.

\_\_\_\_\_ **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. 9 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

\_\_\_\_\_ **NBR 15812-1**: Consistência da argamassa medida através do ensaio de abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2010. 47 p.

INSTITUTO ALEMÃO DE NORMALIZAÇÃO. **EN 1463**: Métodos de teste de laboratório. 2007.

BADAR, M. S.; KUPWADE-PATIL, K.; BERNAL, S. A.; PROVIS, J. L.; ALLOUCHE, E. N. Corrosion of steel bars induced by accelerated carbonation in low and high calcium fly ash geopolymer concretes. **Construction And Building Materials**, v.61, p. 79-89, jun. 2014.

BARROCA. P. **Comportamento reológico e mecânico de argamassas com agregados leves**. 2013. 141 p. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior.

BREEAM, **Building Research Establishment Environmental Assessment Method**. (2011). Disponível em <<http://www.breeam.org/>>. Acesso em 19 jun. 2022.

CHEN, K.; WU, D.; XIA, L.; CAI, Q.; ZHANG, Z. Geopolymer concrete durability subjected to aggressive environments – A review of influence factors and comparison with ordinary Portland cement. **Construction And Building Materials**, v. 279, p. 122496, abr. 2021. CORDEIRO, P. C. Est

CASALI, J. M. **Estudo comparativo do comportamento de diferentes tipos de argamassa de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2003. 200 f. Dissertação para obtenção do título de mestre em engenharia civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

CARASEK, Helena. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS. 12. p. 7, 2011, **Anais...** Porto: Portugal, 2011.

FRADE D., Tadeu A., Torres I., Mendes P., Simões N., Matias G., Neves A. - **Argamassas industriais com incorporação de granulado de cortiça**, 4º Congresso Português de argamassas, APFAC, Coimbra, 2012.

ISORECORT. **Isopor**: uma excelente solução para a drenagem de pisos. Construção com EPS Blog. 24 jun. 2016. Disponível em:<<http://www.construcaocomisopor.com.br/isopor-uma-excelente-solucao-para-a-drenagem-de-pisos/>>. Acesso em: 17 jun. 2022.

LEAL, Márcio Manuel Rodrigues. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado**. 2012. 137 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Instituto Politécnico de Setúbal. Portugal, 2012.

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. Disponível em:<<https://www.imed.edu.br/Uploads/Estudo%20da%20Viabilidade%20do%20Poliestireno%20>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

MARTINS M. - **Comportamento físico de argamassas de reboco com regranulado negro de cortiça** (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil), IST, 2010.

MAS, Verónica Ferrándiz. TORTOSA, Jose Antonio Huesca. ALCOCEL, Eva García. Durability of Mortars with Expanded Polystyrene. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS. 12. p. 7, 2011, **Anais...** Porto: Portugal, 2011.,

PORTAL DO CONCRETO. **Tudo sobre concreto**. Disponível em:<<https://www.portaldoconcreto.com.br/>>. Acesso em: Acesso: 20 jun. 2022.

PORTAL METÁLICA. Construção civil adere ao uso do isopor. Disponível em:<<http://www.amazonlaje.com.br/blog/8-eps-e-tendencia-sustentavel-no-segmento-de-construcao-civil>>. Acesso em: 11 mar. 2017.

PIRES, R. **Desenvolvimento de argamassa com adição de poliestireno expandido**. 2017. 51 f. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina.

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.

TESSARI, Janaina. **Utilização de Poliestireno Expandido e Potencial de Aproveitamento de seus Resíduos pela Construção Civil**. 2006. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TECNOCELL. **Propriedades mecânicas**. Tecnocell Tecnologia em EPS. Disponível em: < <http://www.tecnocell.com.br/eps.php?epsID=3>>. Acesso em: 18 Jun. 2022

TÉCHNE. Inspeção rotineira de estruturas de concreto armado expostas a atmosferas agressivas. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 177, p. 1-3, dez. 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/177/artigo285907-2.aspx>>. Acesso em 17 jun. 2022.

VEIGA, Maria do Rosário da Silva. **Comportamento de argamassas de revestimentos de paredes: Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação**. 1998. 522 p. Dissertação (Doutorado em Construção Civil) – Universidade do Porto, 1998.

WERLE, Ana Paula; KAZMIERCZAK, Claudio de Souza; KULAKOWSKI, Marlova Piva. Carbonatação em concretos com agregados reciclados de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 213-228, abr./jun. 2011.