

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA E  
DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO



**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO  
NA PERMEABILIDADE DE ÁGUA EM PLACAS CIMENTÍCIAS  
COM INCORPORAÇÃO DE PÉROLAS DE POLIESTIRENO  
EXPANDIDO**

TUCURUÍ

2025

SAULO DE ALMADA GOMES

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO NA  
PERMEABILIDADE DE ÁGUA EM PLACAS CIMENTÍCIAS COM  
INCORPORAÇÃO DE PÉROLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético, do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Infraestrutura

Orientadora: Profa. Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro

Tucuruí

2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**

**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

G633a GOMES, SAULO DE ALMADA.  
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO  
NA PERMEABILIDADE DE ÁGUA EM PLACAS CIMENTÍCIAS COM  
INCORPORAÇÃO DE PÉROLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO /  
SAULO DE ALMADA GOMES. — 2025.  
91 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de  
Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético, Tucuruí,  
2025.

1. Placas cimentícias. 2. Sistemas  
impermeabilizantes. 3. Permeabilidade. 4. Poliestireno Expandido. I.  
Título.

CDD 624

---

SAULO DE ALMADA GOMES

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO NA  
PERMEABILIDADE DE ÁGUA EM PLACAS CIMENTÍCIAS COM  
INCORPORAÇÃO DE PÉROLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Infraestrutura.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro

Aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA:

---

Profa. Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro/UFPA – Orientador(a)

---

Prof. Dr. Walber Alexandre do Nascimento/UFPA – Banca interna

---

Profa. Dra. Carina Mariane Stolz/POLI-UFRJ – Banca externa

*Dedico este trabalho ao meu filho,  
Francisco. Meu principal motivo de sorrir e  
de continuar lutando nos dias difíceis.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, e pela graça de poder vive-la com saúde e entre os que amo.

Agradeço imensamente a minha família, meus irmãos Marlison e Karla e meus pais Salomão e Maria, por todo apoio incondicional, em todos os momentos desta etapa.

A minha orientadora, professora Luciana, meu muito obrigado pela paciência, disponibilidade e ensinamentos durante todo o percurso de orientação e formação.

Aos professores Walber e Carina, por sua presença desde a banca de qualificação, e por suas excelentes contribuições para a culminância deste trabalho.

Ao Laboratório de Engenharia Civil – LEC/UFPA Campus Tucuruí e Campus Belém, na pessoa da técnica Francirene Pereira Bonfim, pela disponibilidade e ajuda em ensaios.

Agradeço também, ao Laboratório de Tecnologia da Madeira - LTM/UFOPA Campus Santarém, na pessoa do professor Thiago Moreira, assim como a oficina mecânica do Programa de Ciência e Tecnologia da UFOPA, na pessoa do técnico João Cassiano, pela disponibilidade de orientação e realização de ensaios.

Ao Laboratório de Engenharia Civil e Edificações – LEED/IFPA Campus Santarém, pela disponibilidade de espaço, equipamentos e materiais para a realização de grande parte dos ensaios desta pesquisa. Agradeço principalmente aos estagiários João Pedro, Enzo e Pedro, pelo apoio na realização de ensaios.

Faço um agradecimento especial aos meus colegas de caminhada nessa jornada de mestrado, especialmente ao Paulo Sérgio, Lucas, Samayara e Edivaldo. Vocês, com certeza, deixaram a trajetória mais leve. Desejo toda felicidade a vocês e que seus caminhos possam ser muito prósperos.

E por fim agradeço a todos que contribuíram de alguma forma, principalmente ao PPGINDE, por ter me proporcionado um ensino de qualidade e a oportunidade de conquistar este título.

## RESUMO

A água é uma das principais intempéries responsáveis pelo surgimento e propagação de eventos patológicos em revestimentos. Sua presença permeada, compromete a capacidade protetiva, bem como influencia diretamente na durabilidade, podendo acelerar a deterioração das argamassas, prejudicando sua vida útil. Sabe-se, que o uso de instrumentos de proteção superficial (sistema de pintura) e o uso de aditivo impermeabilizante na produção dos revestimentos de argamassa, influenciam diretamente na proteção contra a permeabilidade da água. Dentro deste aspecto, este trabalho teve como objetivo, avaliar o grau de influência de sistemas de proteção de placas cimentícias com a incorporação de Poliestireno Expandido (EPS). O EPS, foi utilizado na placa cimentícia em substituição parcial da areia, num volume de 20 %. Foram avaliados dois tipos de sistemas de pinturas, um para ambiente interno e outro para ambiente externo, além de um tipo de aditivo impermeabilizante hidrofugante, a qual foi aplicado na mistura da argamassa. Esta avaliação ocorreu por meio de dois métodos que analisam a permeabilidade em revestimentos de argamassa: o ensaio do tubo de Karsten (método do cachimbo) e o ensaio de permeabilidade da ABNT NBR 15498/2021, que trata dos requisitos de utilização de placas cimentícias. Foram caracterizados também as propriedades mecânicas das argamassas e das placas. Os resultados deste trabalho, demonstraram que os sistemas de proteção avaliados, provocaram diferentes efeitos na permeabilidade das placas. O aditivo impermeabilizante hidrofugante não apresentou influência significativa na permeabilidade das placas, apenas nas características físicas, com maior destaque às propriedades de densidade de massa e absorção de água. Os sistemas de pintura influenciaram positivamente na capacidade de impermeabilização das placas, tendo maior eficiência o sistema de pintura externo. Sobre as técnicas de avaliação da permeabilidade, a do tubo Karsten apresentou grande variabilidade nos resultados, demonstrando que esta técnica é mais sensível às variáveis condicionantes. E, no ensaio de permeabilidade da NBR 15498, todas as placas passaram no quesito de utilização.

Palavras-chave: Placas cimentícias; Sistemas impermeabilizantes; Permeabilidade; Poliestireno Expandido.

## ABSTRACT

Water is one of the main elements responsible for the emergence and propagation of pathological events in coatings. Its permeated presence compromises the protective capacity, as well as directly influences durability, and can accelerate the deterioration of mortars, impairing their useful life. It is known that the use of surface protection instruments (painting system) and the use of waterproofing additives in the production of mortar coatings directly influence the protection against water permeability. Within this aspect, this study aimed to evaluate the degree of influence of protection systems for cement boards with the incorporation of Expanded Polystyrene (EPS). EPS was used in the cement board as a partial replacement for sand, in a volume of 20%. Two types of painting systems were evaluated, one for indoor environments and the other for outdoor environments, in addition to a type of waterproofing water-repellent additive, which was applied to the mortar mixture. This evaluation was carried out using two methods that analyze the permeability of mortar coatings: the Karsten tube test (pipe method) and the permeability test of ABNT NBR 15498/2021, which deals with the requirements for using cement boards. The mechanical properties of the mortars and boards were also characterized. The results of this work demonstrated that the protection systems evaluated caused different effects on the permeability of the boards. The waterproofing additive did not significantly influence the permeability of the panels, only the physical characteristics, with greater emphasis on the mass density and water absorption properties. The painting systems positively influenced the waterproofing capacity of the panels, with the external painting system being more efficient. Regarding the permeability assessment techniques, the Karsten tube showed great variability in the results, demonstrating that this technique is more sensitive to the conditioning variables. And, in the permeability test of NBR 15498, all panels passed the use requirement.

Keywords: Cementitious slabs; Waterproofing systems; Permeability; Expanded Polystyrene.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Dados sobre propriedades de resistência mecânica do EPS: (a) Compressão; (b) Tração e Flexão.....	21
Figura 2.2: Resistência à compressão e densidade em relação ao percentual de EPS no compósito.....	22
Figura 2.3: Microestrutura eletrônica de concreto com EPS.....	24
Figura 2.4: Composição genérica de tintas à base de solvente e a base de água.....	27
Figura 2.5: Interconexão entre poros na estrutura de um compósito.....	31
Figura 2.6: Comportamento de um material hidrófilo (a) e de um material hidrófobo (b).....	32
Figura 2.7: Transferência de umidade em uma parede porosa.....	33
Figura 3.1: Esquema de análise de permeabilidade das placas.....	35
Figura 3.2: Planejamento experimental.....	37
Figura 3.3: Curva granulométrica do agregado miúdo.....	40
Figura 3.4: Pérolas de EPS utilizadas na pesquisa.....	40
Figura 3.5: Conjunto de ensaio de densidade das pérolas de EPS.....	41
Figura 3.6: Tela de polietileno de alta densidade.....	43
Figura 3.7: Fluxograma de mistura das argamassas.....	43
Figura 3.8: (a) Misturador de argamassa e (b) betoneira utilizados na produção de argamassa.....	44
Figura 3.9: Fluxograma de mistura das argamassas.....	45
Figura 3.10: Ensaio Índice de consistência das argamassas.....	46
Figura 3.11: (a) Esquema de realização do ensaio segundo NBR 13279 (ABNT, 2005b); (b) Instrumentalização de realização do ensaio.....	47
Figura 3.12: Esquema de rompimento no ensaio de resistência a compressão segundo NBR 13279 (ABNT, 2005b).....	48
Figura 3.13: Rompimento de CP's ensaio de resistência a compressão.....	48
Figura 3.14: Esquema de realização do ensaio.....	50
Figura 3.15: Instrumentalização do ensaio de resistência a flexão e módulo de elasticidade.....	52

Figura 3.16: Fluxograma da aplicação do sistema de pintura nas placas.....	52
Figura 3.17: Esquema de realização do experimento.....	54
Figura 3.18: Instrumentalização do ensaio permeabilidade pelo método da caixa.....	55
Figura 3.19: Tubo Karsten utilizado em superfície vertical.....	56
Figura 3.20: Esquema de realização do experimento com Tubo Karsten nas placas (a) P1: sem impermeabilizante e pintura; (b) P2: sem impermeabilizante com pintura interna; (c) P3: sem impermeabilizante com pintura externa; (d) P4: com impermeabilizante sem pintura; (e) P5: com impermeabilizante e com pintura interna; (f) P6: com impermeabilizante e com pintura externa.....	57
Figura 4.1: Gráfico de correlação entre a densidade de massa e a porcentagem de absorção de água das argamassas no estado endurecido. Médias seguidas por letras distintas apresentam diferenças entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.....	60
Figura 4.2: Gráfico de correlação entre a resistência à compressão e resistência à tração das argamassas no estado endurecido.....	62
Figura 4.3: Gráfico de correlação entre densidade aparente e % de absorção de água.....	64
Figura 4.4: Placas com passagem de água (a) P4, (b) P5 e (c) P6.....	68
Figura 4.5: Esquema sobre o resultado dos valores médios de absorção de água esperados versus alcançados pelas placas.....	71
Figura 4.6: Gráfico das médias de absorção de água pelas placas até 24 horas.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Requisitos de resistência à tração na flexão.....	19
Tabela 2.2: Tolerância de espessura para placas cimentícias.....	20
Tabela 2.3 Dimensões dos corpos de prova no ensaio de flexão.....	20
Tabela 2.4: Aspecto do acabamento da pintura em função do PVC.....	25
Tabela 3.1: Características físico/químicas do cimento CP II-F 32 (ABNT, 2018).....	39
Tabela 3.2: Traço em massa (kg) das argamassas.....	44
Tabela 3.3: Especificações dos materiais de pintura (EUCATEX, 2024).....	53
Tabela 3.4: Quantidade de material aplicado a cada uma das placas.....	53
Tabela 4.1: Densidade de massa das argamassas no estado fresco. Médias seguidas por letras distintas apresentam diferenças entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância.....	58
Tabela 4.2: Análise de variância para o ensaio de densidade das argamassas no estado fresco.....	58
Tabela 4.3: Estatística descritiva dos resultados dos ensaios com argamassas no estado endurecido.....	59
Tabela 4.4: Análise de variância para o ensaio de densidade das argamassas no estado endurecido.....	60
Tabela 4.5: Análise de variância do ensaio de resistência à compressão.....	61
Tabela 4.6: Análise de variância do ensaio de resistência à tração na flexão....	62
Tabela 4.7: Estatística descritiva dos resultados dos ensaios físicos com as placas.....	63
Tabela 4.8: Análise de variância do ensaio de densidade aparente das placas.	64
Tabela 4.9: Análise de variância do ensaio de absorção de água das placas....	64
Tabela 4.10: Análise de variância do ensaio de resistência à tração na flexão..	65
Tabela 4.11: Análise de variância do ensaio de módulo de elasticidade.....	66
Tabela 4.12: Resultado do ensaio de permeabilidade com caixa.....	67
Tabela 4.13: Resultado do ensaio de permeabilidade tubo Karsten.....	69
Tabela 4.14: Análise de variância do ensaio de resistência à tração na flexão..	71

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
1.2.1 Geral.....	16
1.2.2 Específicos .....	16
<b>1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 PLACAS CIMENTÍCIAS COM INCORPORAÇÃO DE EPS .....</b>	<b>18</b>
2.2.1 Requisitos normativos ao uso de placas cimentícias .....	19
2.2.2 Implicações do uso de EPS em matriz cimentícia .....	20
<b>2.2 SISTEMAS DE PROTEÇÃO IMPERMEABILIZANTES .....</b>	<b>24</b>
2.2.1 Pintura .....	25
2.2.2 Aditivo hidrofugante .....	29
<b>2.3 MECANISMOS DE TRANSPORTE DE ÁGUA .....</b>	<b>30</b>
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 PARÂMETROS DA PESQUISA .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2 MATERIAIS.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3 MÉTODOS.....</b>	<b>43</b>
3.3.1 Produção das argamassas .....	43
<b>3.4 AVALIAÇÃO DOS REQUISISTOS DE UTILIZAÇÃO DAS PLACAS CIMENTÍCIAS.....</b>	<b>49</b>
<b>3.5 AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO IMPERMEABILIZANTES NAS PLACAS .....</b>	<b>52</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO E ESTADO ENDURECIDO .....</b>	<b>58</b>
<b>4.2 AVALIAÇÃO DAS PLACAS CIMENTÍCIAS COM EPS.....</b>	<b>63</b>
<b>4.3 EFEITO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO NO MECANISMO DE TRANSPORTE DE ÁGUA NAS PLACAS CIMENTÍCIAS COM EPS.....</b>	<b>66</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O cimento é um dos materiais mais utilizados na construção civil, desempenhando um papel fundamental na infraestrutura moderna. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento - SNIC, foram vendidos no Brasil no ano de 2024, cerca de 64,7 milhões de toneladas de cimento, um aumento de 3,9 % de vendas em relação ao ano anterior, o que mostra um aumento no consumo e produção do material no mercado nacional (SNIC, 2024). No entanto, a sua produção é responsável por uma emissão significativa de gases poluentes (principalmente o CO<sub>2</sub>), bem como pelo consumo de recursos naturais e impactos ambientais, como a manipulação de ecossistemas devido à eliminação de resíduos (FORTUNATO; PARSEKIAN; JUNIOR, 2022; DA SILVA *et al.*, 2022)

Esse cenário evidencia a necessidade de uma transição para práticas mais sustentáveis. Entre as alternativas sustentáveis que vêm sendo exploradas, destacam-se os cimentos de baixo carbono, como o cimento Portland com adições pozolânicas; o cimento geopolimérico, que utiliza subprodutos industriais como cinzas volantes e escórias de alto-forno, reduzindo a necessidade de clínquer e, conseqüentemente, as emissões de gases poluentes (DA SILVA *et al.*, 2022).

Outra solução que tem ganhado espaço, principalmente no quesito vedações, são as placas cimentícias, que combinam resistência e superfícies com menor desperdício de materiais, proporcionando uma alternativa eficiente, durável e sustentável para fechamentos e revestimentos (DA SILVA, 2020).

Relacionado à questão da durabilidade do compósito cimentício, um fator que é uma das principais causas do surgimento e propagação de manifestações patológicas em revestimentos de argamassa, é a água. Sua presença permeada nos revestimentos, compromete a sua capacidade protetiva, podendo acelerar a deterioração desses materiais, prejudicando sua vida útil. Sabe-se, que o uso de instrumentos de proteção superficial (sistema de pintura) e o uso de aditivo impermeabilizante na produção dos revestimentos de argamassa, influenciam positivamente na proteção contra a permeabilidade da água do ambiente ao qual o revestimento está inserido (APPS, 2011; SALOMÃO, 2016; HERMMANN *et al.*, 2019; ALMEIDA *et al.*, 2023).

Alguns autores já realizaram estudos relacionados a influência dos sistemas de proteção impermeabilizante nas propriedades de revestimentos. Mendes *et al.* (2017) realizaram um comparativo da permeabilidade entre tintas acrílica e à base de solo, em argamassa de cal. Já Pedry (2020) e Barbosa (2021) estudaram a influência do sistema de pintura com tintas PVA e acrílica no processo de carbonatação em revestimentos de reboco, na qual foi realizado um estudo de permeabilidade. No comparativo dos três estudos mencionados, as tintas acrílicas analisadas garantiram maior proteção permeável aos revestimentos estudados.

Gava, Gasques e Rigo (2016), Aleixo (2018) e Almeida *et al.* (2023), realizaram estudos relacionados a aplicação de aditivos hidrofugantes em revestimentos, seja aplicado na argamassa ou superficialmente no revestimento endurecido. Os autores observaram maior eficiência impermeável em amostras que continham impermeabilizante, sendo mais eficientes os aplicados superficialmente. Maia (2022) pesquisou sobre os métodos de aplicação de impermeabilizantes em revestimentos de rochas ornamentais de quartzito, no processo de beneficiamento, e observou que dependendo da etapa do beneficiamento em que há a aplicação do impermeabilizante, há resultados diferente quanto à eficiência de impermeabilização. Alves *et al.* (2023) estudaram a aplicação de impermeabilizantes em painéis de concreto impermeáveis, e observaram menor permeabilidade à água em amostras com o aditivo cristalizante aplicado superficialmente do que na mistura do concreto.

Desse modo, o presente trabalho se propôs a estudar o sistema construtivo de placas cimentícias, estas com a incorporação de pérolas de EPS em sua matriz cimentícia. Foram analisados a influência de sistemas de proteção impermeabilizantes na construção das placas e, a sua eficiência em relação a permeabilidade. Os sistemas estudados foram: (i) um aditivo impermeabilizante hidrofugante; (ii) dois sistemas de pinturas que incluíam selador, massa de regularização e tinta, um com aplicação interna e outro externa.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

O uso de sistemas pré-fabricados, como as placas cimentícias, se torna uma técnica promissora aos dias atuais, haja vista seu atendimento às condições de habitabilidade que as vedações verticais podem proporcionar ao ambiente construído,

tais como requisitos térmicos, acústicos, e estanqueidade ao ar e a água. Isso aliado a capacidade de redução de cargas à estrutura da edificação, a facilidade de montagem, manuseio e transporte, devido a leveza dos elementos, assim como a grande flexibilidade no projeto arquitetônico, as construções com elementos pré-fabricados, ou fabricados a seco (*Steel Frame*), garantem uma série de vantagens quanto ao uso desde método construtivo (MASS e TAVARES, 2017; SILVA e CORDEIRO, 2022).

As placas cimentícias, são exemplos de materiais que podem ser utilizados como elementos pré-fabricados. Estão em crescente utilização no mercado brasileiro, e já são bastante utilizadas nos Estados Unidos. É um sistema construtivo eficiente, que possui finas camadas de argamassa, as quais são pré-fabricadas, montadas e estruturadas com perfis de aço galvanizado, que podem ser configuradas de diversas formas, e com a implementação de materiais alternativos (OSVALDO e BERTOLINI, 2013; DA SILVA, 2020). Essa combinação resulta em um material versátil, que possui resistência e durabilidade, além de características específicas que permitem diversas aplicações (BRASILIT, 2024).

Entre suas principais características está a sua adequada resistência às intempéries, a possibilidade de aplicação de diferentes acabamentos, a incombustibilidade e adequadas características mecânicas. Outra vantagem, é a sua baixa densidade comparado aos métodos tradicionais de vedação, o que proporciona a toda a estrutura de uma edificação, baixas cargas, e conseqüente economia no seu dimensionamento (DA SILVA, 2020; BRASILIT, 2024).

Atualmente, há um crescente interesse na aplicação do Poliestireno Expandido (EPS) em compósitos cimentícios na indústria da construção civil global (RAMLI SULONG *et al.*, 2019). Isso se justifica pelo fato de este ser um material que possui menor densidade e melhor resistência térmica e acústica, quando comparado ao convencional (KHATIB *et al.*, 2019).

O poliestireno expandido é um material barato, que proporciona, em elementos pré-fabricados, construções mais leves, econômicas e rápidas (RAMLI SULONG *et al.*, 2019). É por esse motivo que se busca sua aplicação em sistemas de vedação como agregado leve, uma vez que, se comparado com outros sistemas construtivos, os painéis leves possibilitam redução nas cargas da edificação e

economia na produção dos elementos pré-fabricado. A redução da densidade de elementos construtivos gera uma economia do custo global da obra (DA SILVA, 2020).

Carvalho (2017), Farias (2021) e Da Silva *et al.* (2022), discutem em seus trabalhos sobre a implementação do EPS em compósitos cimentícios. Os autores observam que à medida que se insere EPS na mistura dos compósitos, seja por substituição ou adição, há um aumento no índice de vazios, e conseqüentemente, aumento da absorção de água. Na concepção dos autores, isso ocorre pelo formato das pérolas de EPS e pela composição granulométrica linear, a qual desfavorece o empacotamento das partículas.

Trabalhos como o de Baptista Junior (2019) e o de Da Silva (2020), analisaram a viabilidade de implementação do EPS na argamassa de placas cimentícias, quanto aos requisitos físicos normativos. Estes observaram que a proposta é viável, entretanto não avaliaram o quanto sistemas impermeabilizantes influenciam na capacidade permeável das placas.

Por isso, é de suma importância que estudos possam ser realizados a partir de novos elementos e sistemas construtivos, principalmente relacionados à capacidade destes em relação à permeabilidade de água e, como estes se comportam com diferentes sistemas de proteção impermeáveis.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Geral**

Avaliar a influência de distintos sistemas de proteção em relação à permeabilidade da água em placas cimentícias produzidas com a incorporação de Poliestireno Expandido (EPS) em substituição parcial à areia.

### **1.2.2 Específicos**

- a) Avaliar a influência na permeabilidade a água, de dois tipos de sistemas de pinturas, o interno e o externo;
- b) Avaliar a influência na permeabilidade a água, de um aditivo impermeabilizante hidrofugante inserido na composição da argamassa de produção das placas;

- c) Comparar resultados de duas técnicas de ensaios de permeabilidade: a tubo de Karsten e a da caixa de água expressa pela norma técnica relacionada ao desempenho de placas cimentícias.

### **1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Este trabalho acadêmico se encontra dividido em cinco capítulos. O primeiro, contempla uma breve introdução, na qual aborda o contexto em que a pesquisa foi idealizada, bem como justificativa e seus objetivos.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica, tratando sobre a aplicação de pérolas de EPS em placas cimentícias, evidenciando a sua influência do poliestireno expandido em compósitos cimentícios, além de abordar os requisitos normativos das placas. Também neste capítulo, é explanado sobre os sistemas de proteção impermeabilizantes e os mecanismos de transporte de água em revestimentos.

No terceiro capítulo, realiza-se a descrição do programa experimental da pesquisa, citando materiais utilizados e métodos de ensaio empregados, além de uma descrição sucinta da maneira como ocorreu a obtenção dos dados alcançados, a partir das condições de infraestrutura disponíveis. Este programa experimental contará com cinco etapas: (i) caracterização dos materiais que irão compor as argamassas; (ii) caracterização das argamassas em seu estado fresco; (iii) caracterização das argamassas em seu estado endurecido; (iv) avaliação dos requisitos de utilização das placas e; (v) avaliação dos sistemas de proteção impermeabilizantes nas placas.

No quarto capítulo, apresenta-se os resultados e discussões da pesquisa, que é realizado a partir de quatro categorias de discussão: (i) características das argamassas no estado fresco; (ii) característica das argamassas no estado endurecido; (iii) avaliação das placas cimentícias com EPS; (iv) efeito do sistema de proteção no mecanismo de transporte das placas com EPS.

No quinto e último capítulo, é discorrido sobre as conclusões acerca dos resultados alcançados com esta pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PLACAS CIMENTÍCIAS COM INCORPORAÇÃO DE EPS

Segundo a NBR 15575/2021, que estabelece critérios mínimos de desempenho de edificações residenciais, podem ser caracterizadas como Sistemas de Vedação Vertical Interno e Externo (SVVIE), as partes de uma edificação que limitam verticalmente seus ambientes. A exemplo disso, pode-se citar as paredes de fachadas e as de divisórias internas (ABNT, 2021c).

No Brasil, o método construtivo mais utilizado para construção de vedações, é o convencional com estrutura reticulada em concreto armado e vedação em alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto não estruturais. Geralmente, a execução desses elementos é realizada no próprio canteiro de obras, mediante ferramentas simples e com emprego de mão de obra pouco qualificada, caracterizando uma construção artesanal (CASSAR, 2018).

Um método construtivo de vedação mais moderno, comparado ao das paredes de alvenaria, é o denominado *Light Steel Frame (LSF)*. Neste método, as paredes de vedação são constituídas de uma estrutura de perfis de aço galvanizado formados a frio, que estruturam não só painéis verticais, mais também vigas de pisos, vigas secundárias, tesouras de telhado e demais componentes. É um sistema industrializado, que possibilita uma construção a seco com grande rapidez de execução. Os painéis verticais que realizam a vedação neste método, dentre outras, são de placas cimentícias (DA SILVA, 2020).

As placas cimentícias, que também podem ser chamadas de fibrocimento, são definidas como sendo o produto da mistura entre cimento Portland, agregados, aditivos e adições, com o uso de fibras, telas ou filamentos, que não utilizam amianto em sua composição (ABNT, 2021b).

As dimensões das placas que são comercializadas no mercado brasileiro, geralmente possuem largura de 1,20 m, comprimento de até 3,00 m e espessuras variando de 6, 8, 10 e 12 mm. Possuem um índice de absorção de água que pode chegar a 30%, variando conforme o fabricante. A densidade aparente do material disponibilizada pela indústria nacional, possui valores entre 1,40 a 2,04 g/cm<sup>3</sup>. São

indicadas para uso tanto em paredes internas quanto externas, assim como platibandas, beirais, dutos, shafts e áreas molháveis (DA SILVA, 2020).

### 2.2.1 Requisitos normativos ao uso de placas cimentícias

A NBR 15498 (ABNT, 2021b) é a norma que apresenta os requisitos de aceitação, métodos de ensaio e condições de recepção das placas cimentícias.

De acordo com a norma, as placas são classificadas em três categorias, A, B e C, dispostas em cinco classes, de acordo com sua resistência à flexão (tabela 2.1). As placas da categoria A são indicadas para aplicações externas, nas quais são sujeitas a ação direta de intempéries (sol, chuva, calor, umidade e congelamento). Já as placas da categoria B, são indicadas para aplicações externas, mas que não fiquem expostas à ação direta de intempéries. As placas da categoria C, são aplicáveis em ambientes internos. Todas elas podem ser expostas ao calor e à umidade, assim como podem ser fornecidas com ou sem revestimento (ABNT, 2021b).

**Tabela 2.1: Requisitos de resistência à tração na flexão. Fonte: NBR 15498 (ABNT, 2021b)**

CLASSE	CATEGORIA A E B (MPa)	CATEGORIA C (MPa)
1	4	4
2	7	7
3	13	10
4	118	16
5	24	22

Em relação aos requisitos específicos de aceitação das placas cimentícias, são analisados alguns de seus parâmetros a partir de ensaios. Os parâmetros são: controle geométrico, densidade aparente, absorção de água, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade. Há também na norma, a indicação de ensaios de outros parâmetros de análise, que ficam como demonstrativo a critério do fabricante, como exemplo, a permeabilidade das placas (ABNT, 2021b).

No controle geométrico, são avaliadas tolerâncias dimensionais (comprimento, largura e espessura), linearidade das bordas e esquadro das chapas. A tolerância dimensional para comprimento e largura é de 2 mm; para linearidade das bordas é de 3 mm, e para esquadro 4 mm. Para a espessura, segue-se o observado na tabela 2.2 (ABNT, 2021b).

**Tabela 2.2: Tolerância de espessura para placas cimentícias. Fonte: NBR 15498 (ABNT, 2021b)**

<b>ESPESSURA (mm)</b>	<b>TOLERÂNCIA (mm)</b>
< 10	0,6
Entre 10 e 15	1,0
Entre 15 e 20	1,5
> 20	2,0

Em relação à resistência a tração na flexão das placas, são categorizados cinco valores de resistência como referência, e as placas devem atender no mínimo 70 % do valor indicado em cada categoria em ensaio (vide tabela 2.1). A caracterização e fornecimento dessas especificações é de responsabilidade do fabricante (ABNT, 2021b).

Para realização do ensaio de resistência à flexão, a norma técnica NBR 15498 (ABNT, 2021b) orienta que os corpos de prova podem ser quadrados ou retangulares. Se as placas cimentícias tiverem a espessura entre 10 e 40 mm, o corpo de prova pode ser quadrado ou retangular, para espessuras inferiores ou iguais a 10 mm, a recomendação é que o corpo de prova seja quadrado (tabela 2.3).

**Tabela 2.3 Dimensões dos corpos de prova no ensaio de flexão. Fonte: NBR 15498 (ABNT, 2021b)**

<b>FORMA DO CP</b>	<b>COMPRIMENTO (mm)</b>	<b>LARGURA (mm)</b>
Quadrado	250 ± 20	250 ± 20
Retangular	Distância entre os apoios + 40	≥ 100

Em relação à densidade aparente, absorção de água e módulo de elasticidade a norma técnica orienta quanto ao método de ensaio e procedimento de cálculo, mas não estabelece requisitos mínimos. Esta trata esses parâmetros como determinações facultativas (ABNT, 2021b).

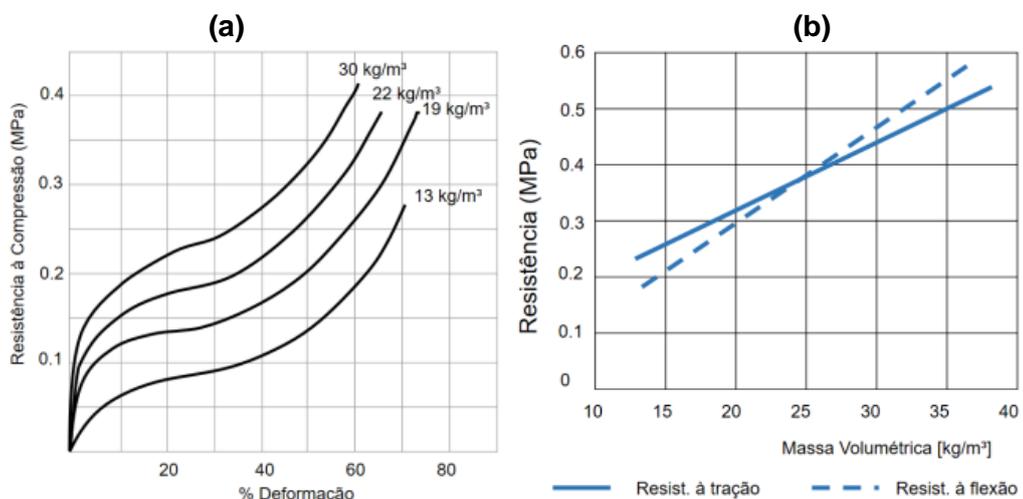
### **2.2.2 Implicações do uso de EPS em matriz cimentícia**

O EPS, sigla de *Expanded PolyStyrene* ou Poliestireno Expandido, em português, foi descoberto em 1949, na Alemanha, pelos químicos Fritz Stasny e Karl Buchholz. A origem da matéria-prima do EPS, assim como de outros plásticos, está na indústria petroquímica. O insumo utilizado proveniente do refino do petróleo, é o

Nafta, subproduto este que quando processado, constitui uma fonte pronta e contínua (cadeia carbônica), na qual possui como monômero o Estireno. Este monômero, por sua vez, passa por um processo de polimerização junto com a água e um gás de expansão (pentano), dando origem ao Poliestireno Expandido (MALAGRINO, 2020; ABIQUIM, 2023; ACEPE, 2023).

O EPS pode apresentar um amplo número de formas e aplicações. Se caracteriza como uma espuma de poliestireno moldada, constituída por um aglomerado de pérolas/granulado, as quais são aplicadas em muitos setores industriais. Além disso, é um material que pode ser reciclável, o que contribui para a redução do impacto ambiental e para a sustentabilidade. Especificamente na Construção Civil, pode ser aplicado em concretos e argamassas com o objetivo principal de reduzir a densidade do compósito (MALAGRINO, 2020; ABIQUIM, 2023; ACEPE, 2023; SANTOS, 2024).

Em relação às suas propriedades mecânicas, o EPS é um material que tem comportamento elástico limitado, possuindo maior capacidade de deformação na região plástica. Isso é uma característica que provoca baixas resistências a esforços de compressão. De maneira geral, tem-se uma deformação de cerca de 2% da espessura de uma placa de EPS na região elástica, quando esta é submetida ao esforço de compressão (ACEPE, 2023). Na figura 2.1, são apresentados valores de compressão, flexão e tração em função de diversas densidades de EPS, assim como relação com valores de deformação do EPS.

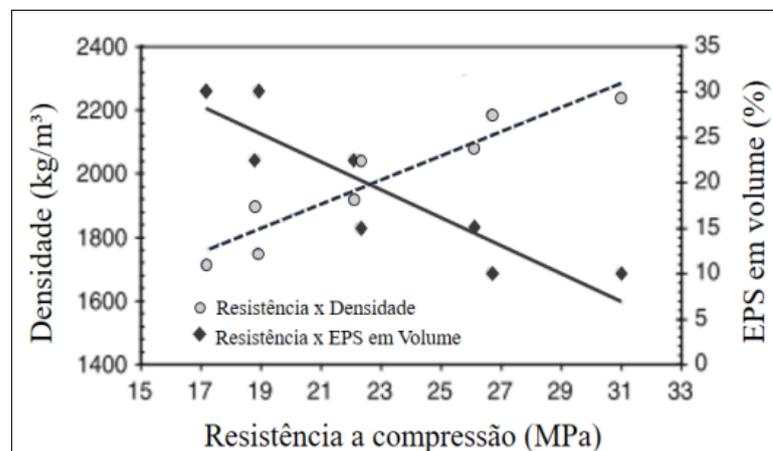


**Figura 2.1: Dados sobre propriedades de resistência mecânica do EPS: (a) Compressão; (b) Tração e Flexão. Fonte: ACEPE (2023)**

Os valores de resistência à tração e à flexão, comportam-se linearmente e diretamente proporcional em função da densidade do material, ou seja, quanto maior sua densidade maior será sua resistência.

Apesar de ser pouco resistente mecanicamente, o EPS possui outras características que o fazem ser objeto de pesquisas recentes, principalmente relacionado à sua implementação em matrizes cimentícias. De maneira geral, vários estudos indicam que ao utilizar o EPS como agregado, há redução da densidade da matriz cimentícia (tanto no estado fresco, quanto no endurecido), à medida que ocorre o aumento de sua incorporação na matriz cimentícia (DA SILVA, 2020; PRADO *et al.* 2020; SPINI, 2021; SILVA e CORDEIRO, 2022; PIRES, 2023; SANTOS, 2024).

A redução na densidade impacta diretamente nos parâmetros de resistência mecânica dos elementos. No estudo de Ranjbar e Mousavi (2015), correlacionou-se a densidade, a resistência à compressão e o volume de EPS de compósitos cimentícios (figura 2.2), e se percebeu, que quando se aumenta o volume de EPS, tem-se uma queda não somente na densidade, mas também nos valores de resistência à compressão. Entretanto, há um ponto de equilíbrio entre essas três variáveis, quando o teor de EPS na mistura se encontra em 20 %.



**Figura 2.2: Resistência à compressão e densidade em relação ao percentual de EPS no compósito. Fonte: Ranjbar e Mousavi, (2015)**

No estudo de Silva e Cordeiro (2022), em que se avaliou a incorporação de múltiplas porcentagens de EPS em placas cimentícias, observou-se que a porcentagem de 20 % de substituição do agregado miúdo por EPS, demonstrou maior

eficiência em relação aos parâmetros de resistência mecânica, indo de encontro aos resultados obtidos por Ranjbar e Mousavi (2015).

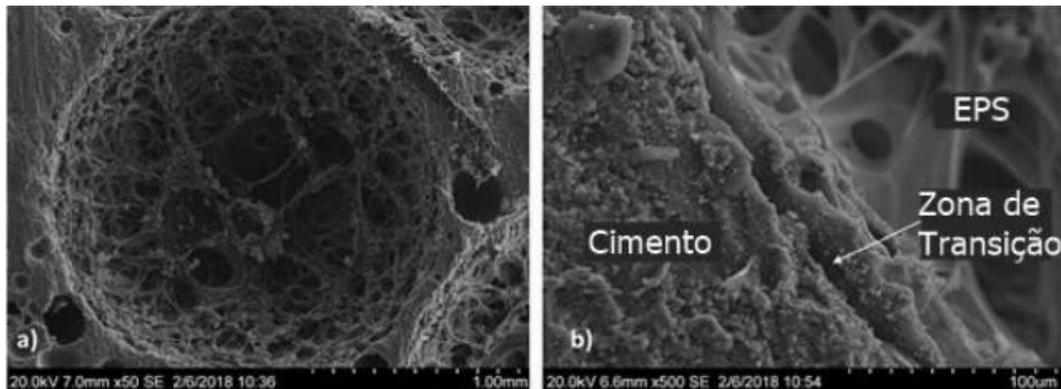
Quando se compara parâmetros da resistência mecânica, como compressão e tração na flexão, tem-se resultados distintos com a incorporação de EPS. No estudo de Spini (2021), quando se fez a relação dos valores de resistência à tração na flexão com resistência à compressão, a argamassa referência apresentou índice de 0,17. Ao realizar a mesma relação, agora analisando a argamassa com EPS, constatou-se um índice de 0,40. Segundo o autor, esse comportamento está relacionado com a menor rigidez das argamassas com EPS, que diminui seus valores de resistência à compressão em uma maior taxa, comparado aos valores de resistência à tração na flexão.

Quanto ao módulo de elasticidade, as argamassas com EPS apresentaram maior capacidade de deformação que argamassas sem. Isso porque, o poliestireno expandido é capaz de absorver maiores deformações que o restante dos materiais da matriz (os quais se caracterizam por serem rígidos) e se comportar de forma elástica e plástica por mais tempo (SPINI, 2021).

Outro fator que o EPS influencia em compósitos cimentícios, é a diminuição no percentual de retenção de água, ou seja, o quanto de água que é consumido no processo de reação química dos elementos da matriz cimentícia (agregados e aglomerante). Isso se deve, de acordo com Pires (2023), a natureza hidrofóbica do EPS, que não absorve umidade. Por esse motivo, tem-se maior trabalhabilidade (ou plasticidade) em argamassas com poliestireno expandido, com menor quantidade de água de amassamento (CARVALHO, 2017).

Isso não quer dizer que compósitos cimentícios com presença de EPS em sua composição, não apresentam capacidade de absorção de água no estado endurecido. Neste caso, absorção e retenção são ideias diferentes. Segundo os estudos de Carvalho (2017), Baptista Junior (2019) e Silva e Cordeiro (2022), argamassas com maiores porcentagens de EPS apresentam maior capacidade de absorção de água do que argamassas convencionais, pois a zona de transição pasta/EPS apresenta maior permeabilidade do que a pasta/agregado, ou seja, maior quantidade de poros. Isso pode explicar o aumento da absorção de água de corpos de prova com a incorporação do EPS (DA SILVA, 2020).

Um fator de grande relevância na configuração das zonas interfaciais entre os elementos do compósito cimentício, é a textura dos agregados. Maaroufi *et al.*, (2018) e Spini (2021) discutem em seus trabalhos, que a forma esférica e a textura lisa das pérolas de EPS dificultam a adesão à pasta, o que reflete na aderência com a matriz cimentícia e com a geração de poros, como mostra a figura 2.3.



**Figura 2.3: Microestrutura eletrônica de concreto com EPS. Fonte: Maaroufi *et al.*, (2018)**

Em relação à permeabilidade, há um aumento nas matrizes cimentícias que possuem EPS em sua composição, haja vista que este aumento está intimamente ligado ao aumento de poros na matriz (CATOIA, 2012; MAZONI, 2019; MARCONATO, 2022). A permeabilidade é caracterizada como a capacidade de um material poroso em possibilitar a circulação de um fluido através de sua estrutura cristalina. No caso do cimento, o tamanho e a continuidade dos vazios em qualquer área de sua construção determinam o coeficiente de permeabilidade durante seu processo de hidratação (NEVILLE, 2016; ISAIA, 2017; DA SILVA, 2020). Sabe-se também, que devido ao aumento de poros na matriz cimentícia, outro parâmetro que sofre alteração é a resistência mecânica, no sentido de diminuição (SILVA *et al.*, 2021; SANTOS 2024).

## **2.2 SISTEMAS DE PROTEÇÃO IMPERMEABILIZANTES**

Segundo Neville (2016), Isaia (2017) e Bauer (2019), sistemas de proteção impermeabilizantes podem ser definidos como um conjunto de materiais, que aplicados em condições específicas, conferem impermeabilização às construções

e/ou aos sistemas construtivos. Têm como função impedir o transporte de fluidos indesejáveis (vapores, umidade) nos materiais e componentes de uma construção, garantindo maior vida útil e melhor funcionalidade a esses componentes.

Um sistema de impermeabilização pode ser intitulado pelo seu componente principal, como por exemplo a pintura, na qual tem como seu elemento principal a tinta, que por sua vez, irá dar coloração e acabamento para o local onde esta será aplicada. Outrossim, os sistemas de impermeabilização podem cumprir ainda outras funções construtivas, como neste exemplo específico da pintura (o acabamento estético superficial), ou como na aplicação de aditivos que cumprem funções plastificantes e cicatrizantes (ISAIA 2017; JANTSCH *et al.* 2021; RYSDYK, 2021).

Grande parte dos sistemas de proteção impermeabilizantes possuem origem polimérica, e podem ser classificados em materiais rígidos e flexíveis, sendo aplicados a partir de membranas líquidas ou mantas. Tem-se como exemplo de sistemas de impermeabilização, as membranas e mantas asfálticas, os polímeros sintéticos, as argamassas com cimentos cristalizantes, os sistemas de pintura, os aditivos hidro-repelentes e hidrofugantes (SALOMAO, 2016; ISAIA 2017).

Nesta pesquisa, foi utilizado como objeto de análise para verificação da permeabilidade à água de placas cimentícias com EPS, a ação de sistemas de pinturas e aditivos impermeabilizantes hidrofugantes, os quais serão abordados nos subitens a seguir.

### 2.2.1 Pintura

Pintura não pode ser entendido como apenas a aplicação de um produto de acabamento. É um sistema construtivo, que além do acabamento, dá proteção aos substratos e revestimentos de uma construção, na qual engloba a aplicação de materiais preparadores, massas regularizadoras e tintas de acabamento. Cada um destes itens, possui uma função definida, que pode ser observada na tabela 2.4.

**Quadro 2.1: Constituintes do sistema de pintura e suas funções. Fonte: Isaia (2017)**

MATERIAL	APLICAÇÕES/ FUNÇÕES
Fundo preparador	Promove a coesão entre partículas soltas do substrato. É recomendado para superfícies não firmes e sem coesão, por exemplo: argamassa pobre e sem resistência mecânica; caiação nas repinturas; forros de gesso.

MATERIAL	APLICAÇÕES/ FUNÇÕES
Selador	Destinado a primeira demão sobre superfícies, realizando uma ponte entre substrato e tinta de acabamento. Serve para uniformizar a absorção de superfícies de alvenarias e argamassas.
Massas	É um produto pastoso, com elevado teor de cargas, sem função de coloração, o qual serve para a correção de irregularidades da superfície já selada. Estes produtos devem aplicados em camadas muito finas para evitar o aparecimento de fissuras ou reentrâncias.
Tinta de acabamento	É a parte visível do sistema de pintura, a qual apresenta as propriedades necessárias para o fim a que se destina, inclusive acabamento e tonalidade.

Existem um número elevado de tipos de sistemas de pinturas no mercado brasileiro, alguns para aplicações em substratos específicos, como tintas para forros e paredes de gesso, e alguns para aplicações gerais, como tintas para argamassas de cimento. A norma brasileira que regulamenta os tipos de sistemas é a NBR 11702 (ABNT, 2021a).

O tipo de aplicação mais utilizado para elementos de argamassa com cimento como seu aglomerante principal é o Acrílico a base de água, que é composto por três elementos: um fundo selador acrílico pigmentado e ou líquido preparador de paredes; massa acrílica; e tinta látex acrílica, que pode ter padrão de acabamento *fosco*, *acetinado* e *semibrilho*, com qualidades descritas como, *econômica*, *standart* e *premiun* (ABNT, 2021a).

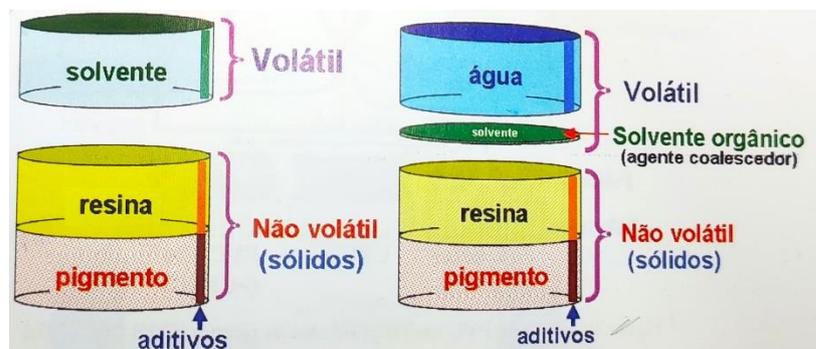
De acordo com Ribeiro, Pinto e Starling (2013), Isaia (2017) e Bauer (2019), os constituintes básicos das tintas são: resinas (geralmente poliméricas), pigmentos, solventes e aditivos.

A resina é a parte não volátil da tinta, é o elemento que tem a função de aglutinar as partículas de pigmentos, formando um filme. É a principal responsável pelo desempenho da pintura ao longo do tempo, trazendo às tintas propriedades mecânicas, como tração e elasticidade, bem como resistência ao intemperismo, à alcalinidade das argamassas e aderência. As resinas mais usadas são os copolímeros de acetato de vinila e acrílicos, ambos em forma de emulsões, os quais estão

presentes nas tintas, selantes e até mesmo em aditivos para argamassa e concreto (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013; ISAIA, 2017; BAUER, 2019).

Os pigmentos são usados nas formulações para dar cor, cobertura (opacidade) e durabilidade a partir do seu poder de reflexão da luz. Podem ser orgânicos e inorgânicos, brancos ou coloridos, constituído de partículas extremamente finas (da ordem de 5  $\mu\text{m}$ ), as quais possuem um elevado índice de refração e insolubilidade. A morfologia, a cor e o teor de pigmentos são os parâmetros que mais influenciam no aspecto da pintura, como cor e textura (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013; ISAIA, 2017; BAUER, 2019).

Os solventes possuem a função de dissolver a resina, no intuito de conferir adequada viscosidade para a sua aplicação. Influenciam também na secagem, na resistência a abrasão, no nivelamento, na espessura e aspecto estético da pintura. A tinta látex, por exemplo, possui a água como solvente, e os seus polímeros e copolímeros estão na forma de emulsão em sua composição. Já os presentes nas tintas esmaltes sintéticos, possuem copolímeros em solução, as quais possuem bases em solventes (ISAIA, 2017). A figura 2.4 ilustra de forma genérica as diferenças na composição de tintas à base de solvente e a base de água.



**Figura 2.4: Composição genérica de tintas à base de solvente e a base de água. Fonte: Isaia (2017)**

Os aditivos são elementos químicos adicionados em pequenas proporções nas tintas (entre 0,1% a 2%), proporcionando-lhes funções específicas, como ação fungicida, bactericida, entre outras, aumentando a resistência da tinta a esses microrganismos. Existem ainda os aditivos que trazem a característica de secagem rápida, ou inibidores de cheiro, ou ainda, os antibolhas, que impedem a formação de

bolhas no momento da aplicação da tinta (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013; ISAIA, 2017).

Um dos parâmetros mais utilizados para descrever a composição das tintas é a fração volumétrica do pigmento, denominada de PVC. Este fator influencia diretamente nas características físicas da pintura, já que relaciona o volume de pigmentos pelo volume de resina, o que resulta em diferentes graus de porosidade, de permeabilidade, de proteção contra intempéries, de resistência à tração, entre outros aspectos (ISAIA, 2017). Na tabela 2.5, é caracterizado o padrão de acabamento da tinta em função da porcentagem de PVC.

**Tabela 2.4: Aspecto do acabamento da pintura em função do PVC. Fonte: Isaia (2017)**

<b>TIPO DE ACABAMENTO</b>	<b>PVC (%)</b>
Alto brilho	10 a 15
Semibrilho	15 a 30
Acetinado	30 a 35
Fosco	35 a 45

Tintas que possuem auto valores de PVC possuem a característica de possuírem maior porosidade e maior permeabilidade. Por isso, de modo geral o acabamento fosco é o mais indicado para fins decorativos do que para proteção. Já o acabamento semibrilho é mais indicado para proteção, devido a sua baixa permeabilidade, entretanto, como possui menor teor de pigmentos, possui menor poder de cobertura e baixa capacidade de esconder imperfeições (ISAIA, 2017).

Alguns autores já realizaram estudos comparativos relacionados à influência do tipo de acabamento das tintas na permeabilidade à água nos revestimentos. Estes observaram que as tintas acrílicas com maior brilho garantiram mais proteção superficial aos revestimentos analisados (MENDES *et al.* 2017; PEDRY, 2020; BARBOSA, 2021).

Mendes *et al.* (2017) verificou em seu estudo que a tinta acrílica de uso externo reduziu a permeabilidade em 90 % do revestimento protegido em relação ao revestimento sem tinta. Neste caso, o revestimento era a base de cimento e cal. Barbosa (2021) observou uma redução na permeabilidade à água de revestimentos de até 3,6 vezes para argamassas com pintura acrílica *standard* semibrilho, assim como uma maior eficiência na proteção de revestimentos comparado à proteção com

tintas PVA. Pedry (2020), que realizou uma análise de proteção de tintas em relação a carbonatação em revestimentos de argamassa de reboco, constatou que a tinta acrílica semibrilho reduziu em 78 % o avanço da carbonatação em comparação ao revestimento sem tinta. Já a tinta PVA reduziu o avanço em 70 %, ou seja, demonstrando que a tinta de acabamento com maior brilho, apresenta maior eficiência no quesito proteção permeável.

### **2.2.2 Aditivo hidrofugante**

Os aditivos podem atuar de diversas maneiras, entretanto seu principal efeito é dificultar a passagem de fluidos pelo elemento a qual ele é aplicado. Os hidrofugantes, são aditivos aplicados no compósito cimentício com o objetivo de os tornar hidrófugos, ou seja, de os proporcionar a característica de não absorver água do ambiente. Isso se dá a partir do aumento no ângulo de contato entre as paredes dos poros capilares do elemento com a água, de modo em que esta é repelida pelos poros (NEVILLE, 2016; SALOMAO, 2016).

Sua ação é tanto no bloqueio dos poros da superfície, reduzindo a permeabilidade, como repelindo a água, devido à presença de compostos hidrofóbicos que reagem na pasta de cimento hidratada. Exemplos de produtos que têm essa ação hidrofugante são o ácido esteárico e o óxido de cálcio (NEVILLE, 2016; SALOMAO, 2016; ALEIXO, 2018; QUARTZOLIT, 2022).

Os aditivos hidrófugos são divididos em dois tipos principais, o hidrofugante de massa e o hidrofugante de superfície. O primeiro é incorporado diretamente à mistura da argamassa ou concreto durante sua preparação, atuando na absorção de água desde a formação do material, garantindo maior impermeabilidade e durabilidade. Já o segundo tipo é aplicado sobre a superfície do concreto ou argamassa já no estado endurecido, no qual é utilizado em forma de líquidos ou resinas, as quais criam uma barreira repelente à água, protegendo o material contra infiltrações e umidade externa, prologando sua vida útil (NEVILLE, 2016; ISAIA, 2017).

Gava, Gasques e Rigo (2018), de Aleixo (2018) e de Alves *et al.* (2023) realizam estudos comparativos sobre a eficiência de vários tipos de aditivos impermeabilizantes em revestimentos de argamassa. Eles observaram distintos resultados em relação à influência na permeabilidade a água nas dos revestimentos. Entretanto, observaram maior capacidade impermeável em amostras na qual o aditivo

foi aplicado superficialmente, comparado as amostras que o aditivo foi aplicado na mistura do compósito.

Gava, Gasques e Rigo (2016) observou que mesmo em traços diferentes de argamassas os aditivos impermeabilizantes não provocaram reduções significativas nas propriedades de absorção total e absorção por capilaridade, provocando em alguns casos até aumento dos índices de absorção, o que indica que estes não alcançaram o desempenho desejado de promover impermeabilização das argamassas. Apenas um aditivo hidrofugante estudado (de quatro) apresentou redução significativa dos índices de absorção total e absorção por capilaridade, indicando que atuou alterando as propriedades da argamassa e que é possível produzir argamassas menos permeáveis. Dessa forma, nota-se a importância de avaliar o desempenho dos aditivos disponíveis no mercado, testando-os nas propriedades que se propõe alterar.

Aleixo (2018) analisou aditivos hidrofugantes aplicados na mistura de argamassas de revestimento. O autor observou que o uso dos aditivos proporcionou diminuição no teor de ar incorporado das argamassas, visto que se constatou aumento de suas massas específicas no estado fresco. Todas as argamassas com aditivo, analisadas em seu estudo, apresentaram redução na ascensão capilar, reflexo da diminuição da permeabilidade de água no revestimento.

### **2.3 MECANISMOS DE TRANSPORTE DE ÁGUA**

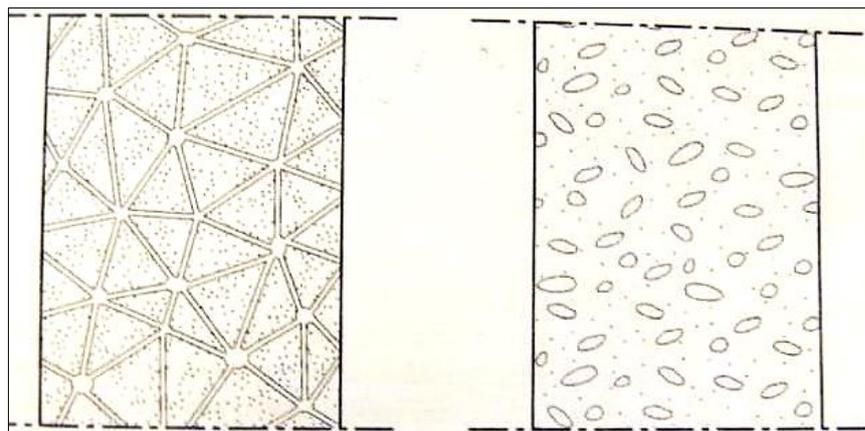
Os compósitos cimentícios possuem em sua essência propriedades de materiais cerâmicos. Estes materiais possuem, como uma de suas principais características, a porosidade, os quais têm sua microestrutura marcada pela presença de um sistema de poros com variadas dimensões, que permitem a penetração de substâncias presentes no ambiente, como a água (BERTOLINE, 2010).

Os materiais de construção em geral, possuem poros preenchidos por ar e solução aquosa. A estrutura porosa desses materiais, que também pode ser chamada de vazios, é caracterizada, de acordo com Bertoline (2010, p. 31), como: “*o volume percentual ocupado pelos poros; a dimensão dos poros; as conexões presentes entre os poros e o grau de interconexão; e a abertura dos poros na superfície externa*”.

A porosidade de um material, que também pode ser chamado de índice de vazios, influencia diretamente na sua densidade aparente (que é a relação entre seu volume real e volume de poros), na sua capacidade de absorção de umidade e na sua permeabilidade (BERTOLINE, 2010).

Tratando-se especificamente da permeabilidade, esta é a capacidade que um material possui de permitir a passagem de fluidos através de seus vazios, ou seja, a permeabilidade é a propriedade do material que está vinculada a facilidade com que um fluido pode se mover através dele. Quanto maior sua permeabilidade, mais fácil será a passagem do fluido através dele (APPS, 2011; NEVILLE, 2016; BAUER, 2019).

De acordo com Apps (2011), a permeabilidade de um material é influenciada por fatores como, o tamanho, a forma e a distribuição dos poros que compõem o material, além da viscosidade do fluido, da pressão que o fluido provoca sobre a superfície do material e da temperatura do ambiente. Materiais com poros menores tendem a ter uma permeabilidade menor, pois oferecem mais resistência à passagem do fluido. Por outro lado, materiais com poros maiores tendem a ter uma permeabilidade maior, pois oferecem menos resistência à passagem do fluido. A distribuição dos poros também é importante, pois poros interconectados facilitam a passagem do fluido, enquanto poros isolados dificultam a sua passagem, como mostra a figura 2.5.

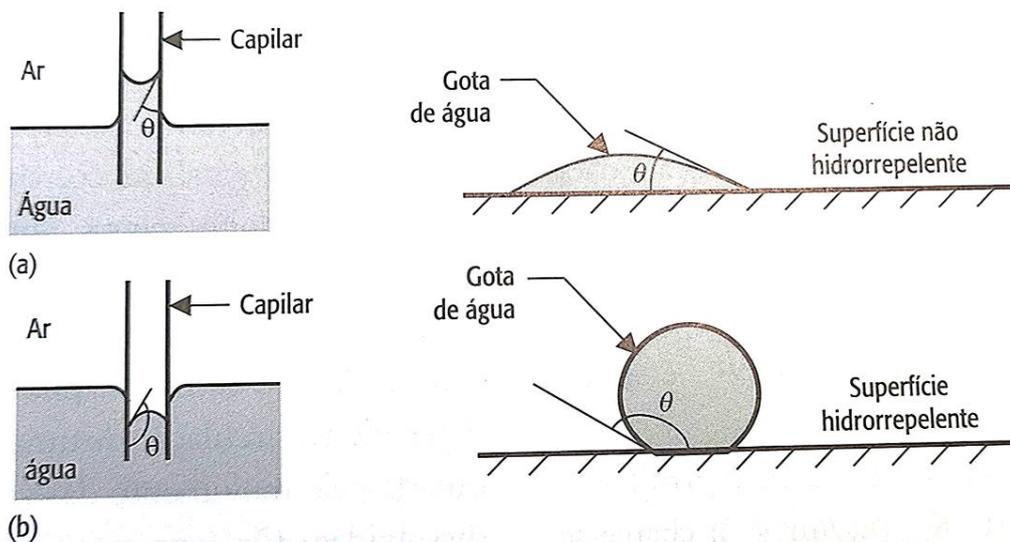


**Figura 2.5: Interconexão entre poros na estrutura de um compósito. Fonte: Freitas et al. (2008)**

Na figura 2.5, Freitas *et al.* (2008) discutem sobre como os poros de um material podem ser configurados na sua estrutura, e como eles podem influenciar na

permeabilidade de água neste material. De um lado, há uma rede de poros interconectados, que os autores chamam de rede aberta de poros, e do outro, poros isolados, o qual é chamado de rede fechada de poros.

Além da interconexão dos poros, Bertoline (2010) disserta que a abertura dos poros na superfície externa é de fundamental influência na permeabilidade do material. O autor aponta que o material pode apresentar características de superfícies hidrófilas (não repelentes a água) ou hidrófobas (repelentes a água), os quais produzem uma ação capilar entre as superfícies dos poros do sólido, como é visto na figura 2.6.



**Figura 2.6: Comportamento de um material hidrófilo (a) e de um material hidrófobo (b).  
Fonte: Bertoline (2010)**

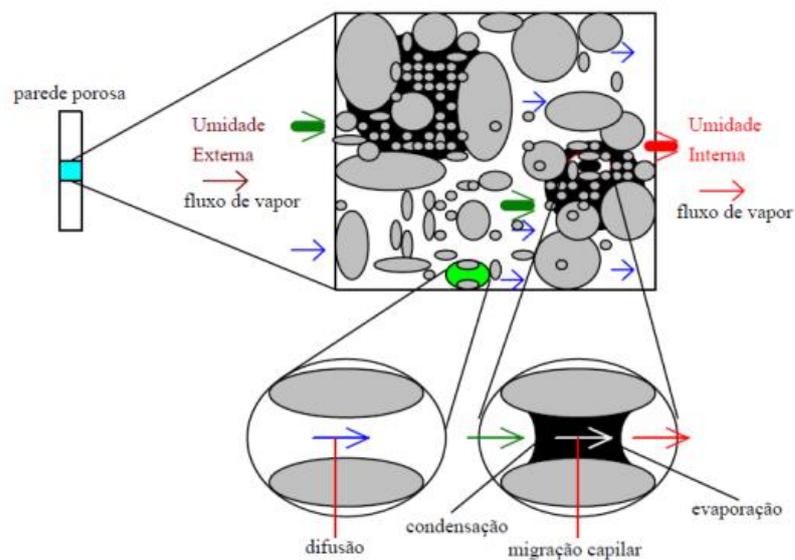
Segundo Bertoline (2010):

Quando uma gota de água cai sobre a superfície de um material hidrófilo, graças às interações com o material ela tende a aumentar a superfície de contato com o próprio material e logo forma um ângulo de contato agudo. Na presença de poros pequenas dimensões, as interações entre o líquido e a superfície do material determinam uma depressão que atrai a água para o interior do próprio poro, permitindo assim a subida do líquido através do material. A fig. 2.5 (b) mostra o comportamento de um material hidrófobo, caracterizado pela tendência do líquido de minimizar a superfície de contato com o material e, assim, determinar um ângulo de contato superior a  $90^\circ$ ; neste caso, o material não tem tendência a absorver a água nos seus poros (BERTOLINE, 2010, p. 40-41, com modificações)

De acordo com Silva *et al.* (2021), o índice de porosidade ou índice de vazios, definido como o percentual de volume de vazios em relação ao volume da amostra, interfere na durabilidade do material cimentício, principalmente por causa do acúmulo de umidade que pode se formar nos poros, facilitando o ataque por agentes químicos e orgânicos, aos quais estão presentes nos fluidos que permeiam o material.

Segundo Salomão (2016, p.14) “as condições de fronteira do elemento construtivo - como a temperatura, umidade relativa, precipitação, pressão do vento e radiação solar - variam com o tempo, contribuindo para a complexidade” do transporte de água em materiais de construção (seja ele cimentício ou não). A autora ainda afirma, que analisando de forma macroscópica, pode-se entender a permeabilidade dos fluidos de forma homogênea, mas quando a análise é realizada em escala microscópica, o processo se caracteriza como heterogêneo, devido a heterogeneidade dos poros no material, evidenciado por mudanças no tamanho e formas dos poros.

A estrutura microscópica de um material, que Salomão (2016) chama de “matriz porosa” e que Freitas *et al.* (2008) chama de “rede aberta de poros”, permite definir diferentes trajetórias, de diversos comprimentos e formas, para os fluidos no interior dessa estrutura, tanto na forma de líquido quanto de vapor, sendo normalmente encontrada nas duas formas simultaneamente. O esquema da figura 2.7 ilustra esse processo.



**Figura 2.7: Transferência de umidade em uma parede porosa. Fonte: Mendes (1997)**

A partir da figura 2.7, observa-se que o espaço poroso do material é preenchido por uma fase líquida e uma fase gasosa, que pode ser composta de ar seco e vapor de água. E, quando o material poroso é composto por partículas sólidas impermeáveis, o transporte de umidade só pode ocorrer através dos poros do material por capilaridade. Neste aspecto, os fenômenos de fixação e transferência de umidade em uma estrutura porosa podem ser divididos em etapas: a difusão, a condensação, a capilaridade e a evaporação (SALOMAO, 2016).

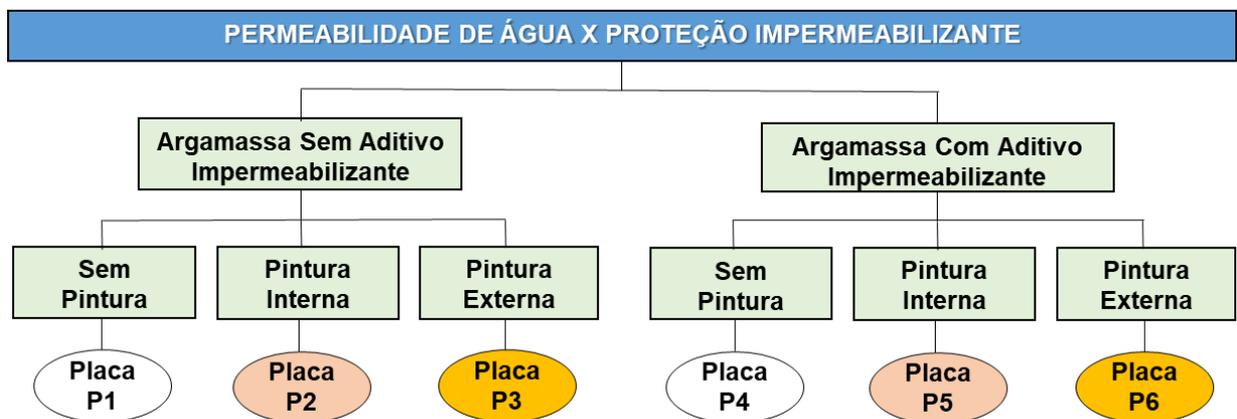
### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os experimentos que foram realizados nessa pesquisa, tiveram como objetivo gerar subsídios para a análise da influência do sistema de proteção impermeabilizante de placas cimentícias produzidas com incorporação de pérolas de EPS, quanto a permeabilidade de água.

O sistema de proteção das placas será composto pela pintura superficial (selador + massa + tinta) de dois tipos de padrão de acabamento (o interno e o externo), assim como de aditivo impermeabilizante hidrofugante.

A pintura com padrão de acabamento interno, foi composta de selador acrílico, massa corrida PVA e tinta acrílica fosca da cor branca (*standart*). Já a pintura com padrão de acabamento externo, foi composta por selador acrílico, massa acrílica e tinta acrílica semibrilho na cor branca (*standart*). O aditivo impermeabilizante hidrofugante utilizado foi o líquido, adicionado na mistura de produção da argamassa.

De modo geral, esta influência foi avaliada a partir da correlação entre o tipo de proteção impermeabilizante e os resultados encontrados nos ensaios de permeabilidade de água nas placas cimentícias (figura 3.1).



**Figura 3.1: Esquema de análise de permeabilidade das placas. Fonte: Autor**

De acordo com a figura 3.1, foram seis configurações de tipos de proteção impermeabilizante nas placas cimentícias com EPS, a saber:

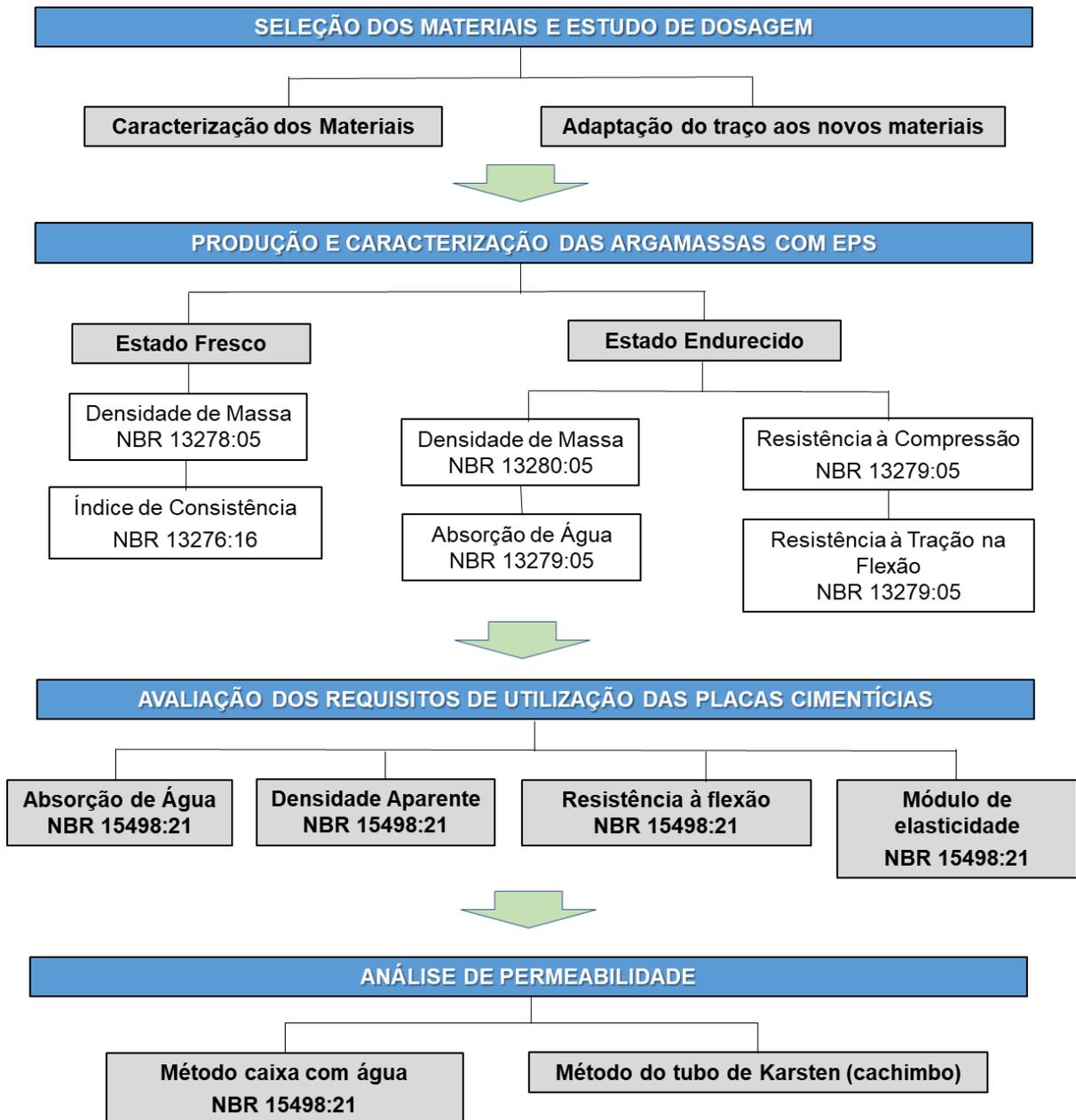
- a) P1: sem aditivo impermeabilizante e sem sistema de pintura (referência);
- b) P2: sem aditivo impermeabilizante, com pintura composta por selador acrílico, massa corrida PVA e tinta acrílica fosca da cor branca;

- c) P3: sem aditivo impermeabilizante, com pintura composta por selador acrílico, massa acrílica e tinta acrílica semibrilho na cor branca;
- d) P4: com aditivo impermeabilizante e sem sistema de pintura (referência);
- e) P5: com aditivo impermeabilizante e com pintura composta por selador acrílico, massa corrida PVA e tinta acrílica fosca da cor branca;
- f) P6: com aditivo impermeabilizante, com pintura composta por selador acrílico, massa acrílica e tinta acrílica semibrilho na cor branca.

Esta pesquisa teve como base o método de confecção de placas cimentícias com incorporação de pérolas de EPS de Silva e Cordeiro (2022), no qual foi utilizado como referência o traço 1:3 (cimento:areia) e o teor de 20 % do volume de agregado miúdo em substituição por pérolas de EPS.

Para alcançar o objetivo que este trabalho se propôs, a primeira etapa experimental foi a caracterização dos materiais constituintes das argamassas. Na segunda etapa, concentrou-se na produção das argamassas, bem como nas suas caracterizações quanto às suas propriedades no estado fresco e endurecido. Foram estudados dois tipos de argamassas, uma sem aditivo impermeabilizante e outra com aditivo impermeabilizante, afim de avaliar o efeito da estrutura porosa do produto no processo de permeabilidade de água no material.

Outra etapa do experimento, consistiu em verificar requisitos de utilização normatizados para placas cimentícias. E por fim, foram realizados experimentos que avaliaram a eficiência das placas quanto a permeabilidade de água. Na figura 3.2, é apresentado um esquema de como ocorreu a análise da permeabilidade nos sistemas estudados.



**Figura 3.2: Planejamento experimental. Fonte: Autor**

Algumas pesquisas já foram realizadas analisando a permeabilidade de revestimentos argamassados pelo método do tubo de Karsten, como os trabalhos de Hermmann et. al (2019), Motta et. al. (2019), Jantsch et. al. (2021) e Pereira (2023). Entretanto, nenhum deles foi realizado com placa cimentícia. Os trabalhos de Dos Santos e Da Silva (2019) e Silva e Cordeiro (2022) analisaram a permeabilidade de placas cimentícias, entretanto, a realizaram pelo método da norma de especificações técnicas para placas cimentícias, a NBR 15498/2021.

### **3.1 PARÂMETROS DA PESQUISA**

Nesta pesquisa, teve-se como parâmetros da experimentação os fatores constantes (fixos), fatores controláveis, os ruídos e as variáveis de resposta.

Desse modo, os fatores fixos, foram:

- a) Traço em massa 1:3;
- b) Teor de incorporação de pérolas de EPS (20 % em relação ao volume de argamassa);
- c) Relação água/cimento ( $a/c = 0,43$ );
- d) Tipo do cimento (CP II – F 32);
- e) Reforço nas placas (Tela hexagonal de polietileno de alta densidade);
- f) Índice de consistência da argamassa (240 mm);
- g) Espessura da placa (15 mm).

Os fatores controláveis são:

- a) Tipos de argamassas: com e sem aditivo impermeabilizante;
- b) Tipos de sistemas de pintura: pintura interna (selador acrílico, massa corrida PVA e tinta acrílica fosca na cor branca) pintura externa (selador acrílico, massa acrílica e tinta acrílica semibrilho na cor branca);

Os ensaios realizados com a argamassa endurecida foram realizados com a idade de 28 dias. E com as placas cimentícias, foram realizados a partir de 31 dias.

Os fatores de ruídos foram as variações de elementos do ambiente, como temperatura e umidade relativa do ar, as quais as placas sofrerão ao longo de todo o período de realização dos testes.

Por fim, obteve-se como variáveis de resposta:

- a) Propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido;
- b) Conformidade dos requisitos de utilização das placas;
- c) Avaliação da eficiência dos sistemas de impermeabilização das placas quanto a permeabilidade de água.

### 3.2 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a constituição das formulações propostas neste trabalho, foram: aglomerante, agregado miúdo, EPS, adesivo, aditivos, tela de reforço e água.

O aglomerante utilizado na pesquisa foi o Cimento Portland CP II-F 32, cujos requisitos são estabelecidos através da NBR 16697 (ABNT, 2018). Dentre os tipos de cimento, este é o que possui disponibilidade no local em que a pesquisa foi realizada.

O CP II-F é um cimento composto, que contém adição de material carbonático proveniente do fíler calcário, o qual varia de 6% à 10% em massa. Esta adição, confere ao cimento menor permeabilidade, sendo ideal para aplicações com presença de água (BATTAGIN; BATTAGIN, 2017). Na tabela 3.1, são apresentadas algumas características físico/químicas do cimento CP II-F 32.

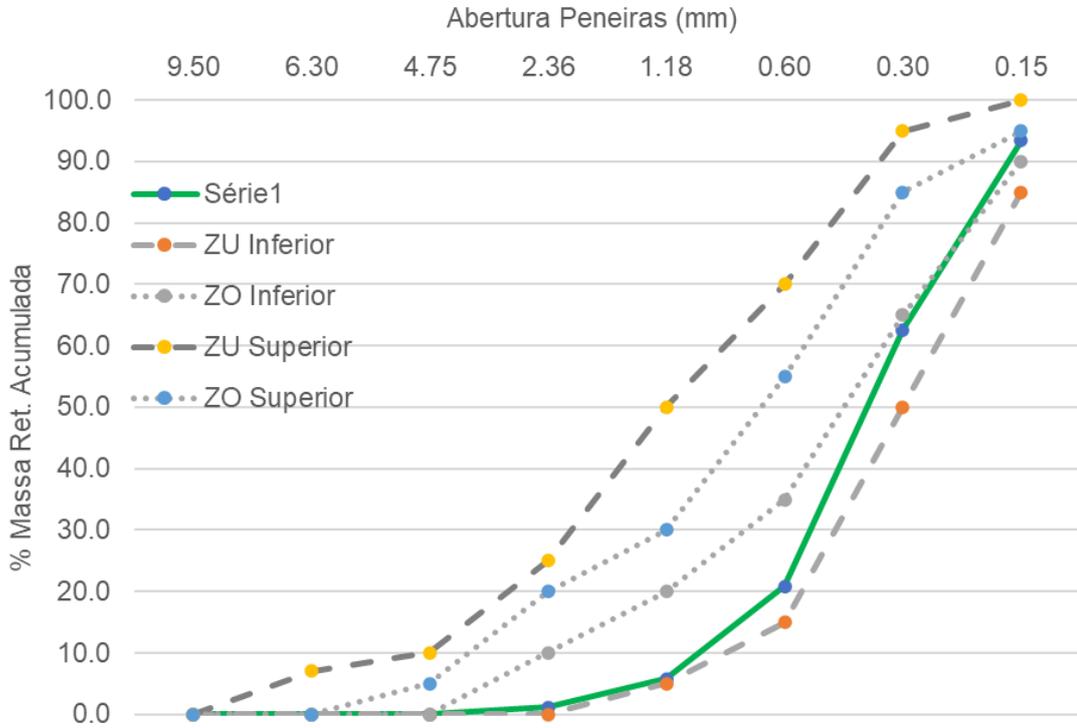
**Tabela 3.1: Características físico/químicas do cimento CP II-F 32. Fonte: NBR16697 (ABNT, 2018)**

<b>Ensaio Físicos</b>	
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	>2600
Tempo de início de pega (h:min)	>1
Tempo de fim de pega (h:min)	<10
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	>32,0
Massa específica absoluta	2,8 ≤ m ≤ 3,2 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C
<b>Ensaio Químicos</b>	
Resíduo insolúvel (%)	<2,5
Teor de SO <sub>3</sub> (%)	<4,0
Teor de MgO (%)	<6,5
Teor de CaO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (%)	-
Equivalente alcalino (%)	-

O agregado miúdo utilizado nesta pesquisa, é uma areia de origem quartzosa disponível na região de Santarém-PA. Ela está disponível em barrancos nos arredores da cidade. Sua caracterização foi realizada por meio de ensaios de composição granulométrica (ABNT, 2022), massa específica (ABNT, 2021d) e massa unitária (ABNT, 2021e).

Seu valor de massa específica encontrado foi de 2,62 g/cm<sup>3</sup>, assim como de massa unitária 1,58 g/cm<sup>3</sup>. Em termos de granulometria, sua dimensão máxima

característica foi de 2,36 mm e, o módulo de finura de 1,84. Na figura 3.3, são apresentadas as características da composição granulométrica.



**Figura 3.3: Curva granulométrica do agregado miúdo**

As pérolas de EPS utilizadas, possuíam diâmetro que variavam entre 2 a 4 mm, como mostra a figura 3.4



**Figura 3.4: Pérolas de EPS utilizadas na pesquisa. Fonte: Autor**

Foi realizada a caracterização quanto à densidade do EPS. Por ser um agregado extremamente leve e, por não haver normas específicas para a caracterização deste ensaio, realizou-se adaptações ao que prescreve a norma NBR 6508 (ABNT, 2014), que trata da determinação da massa específica de grãos que passam na peneira de 4,8 mm. Para isso, lançou-se mão de uma proveta de 500 ml, uma balança de precisão (com precisão de 0,1g) e água.

As pérolas foram inseridas na proveta até o preenchimento de todo o volume e, vedada a abertura com uma placa de vidro, deixando uma pequena abertura para a entrada de água. Logo em seguida, fora inserida a água até preencher todos os espaços vazios. Para calcular a densidade do material, foram determinadas as massas do recipiente e da placa de vidro, assim como da proveta cheia de água, para conhecimento de seu volume, da proveta com as pérolas e, posteriori, do conjunto formado pela proveta cheia de EPS, com os espaços vazios preenchidos pela água (figura 3.5). A densidade obtida das pérolas de EPS foi de  $15 \text{ kg/m}^3$ .



**Figura 3.5: Conjunto de ensaio de densidade das pérolas de EPS. Fonte: Autor**

O material adesivo utilizado, foi do tipo cola branca PVA. O adesivo, tem a finalidade de agregar cimento ao EPS, melhorando a ligação da pasta de cimento com as pérolas, técnica esta utilizada por Ozorio (2016) e Lima *et al.* (2019). A quantidade de adesivo utilizada, seguiu uma proporção de 5 gramas de cola branca para 1 kg de cimento e 440 ml de EPS (ISORECORT, 2023). No processo de mistura da argamassa, o adesivo é dissolvido na própria água de amassamento.

Quanto aos aditivos, foram utilizados dois tipos para a produção das argamassas, um aditivo plastificante de argamassa e um aditivo impermeabilizante para argamassas (ANEXOS A e B).

O aditivo impermeabilizante de argamassa foi adicionado nas misturas dos sistemas de placas P4, P5 e P6. De acordo com o fabricante, este aditivo tem a função de provocar redução na permeabilidade da argamassa por hidrofugação do sistema capilar, deixando-a mais resistente a condições de umidade, infiltração ou pressão de água, além de aumentar a coesão das argamassas, deixando-as mais trabalháveis (WEBER, 2019b). Foi trabalhado com a adição de 4 % do aditivo em relação à massa de cimento.

O aditivo plastificante foi adicionado em todas as argamassas, com e sem impermeabilizante, ou seja, nos sistemas de placas P1, P2, P3, P4, P5 e P6. De acordo com o fabricante, este produto tem a função de incorporar ar com ação plastificante à base de surfactantes, destinado a melhorar a trabalhabilidade e aumentar a durabilidade da argamassa (WEBER, 2019a). Além disso, o produto se apresenta como um líquido isento de cloretos. Foi trabalhado com uma adição de 0,2 % do aditivo em relação à massa de cimento.

Ressalta-se aqui, que o objeto de estudo do trabalho foram os elementos de proteção contra a água (impermeabilizante e pintura). Subintende-se, que a plasticidade proporcionada nas argamassas pelos produtos acima, foram parâmetros fixos, não analisados para a finalidade da pesquisa.

A partir do trabalho de Silva e Cordeiro (2022), foi utilizado como reforço na confecção das placas cimentícias, telas plásticas de polietileno. Segundo Azevedo (2018) e Da Silva (2020), as telas de polietileno de alta densidade obtém melhores resultados de resistência à flexão nos painéis cimentícios, comparado a outros tipos de telas metálicas. Além disso, esta tela se mostra vantajosa em relação a metálica, pelo fato de não sofrer influência de agentes degradadores, como o CO<sub>2</sub> e umidade. Desse modo, foi usado tela de polietileno de alta densidade hexagonal com malha de ½ polegada, como mostra a figura 3.6.



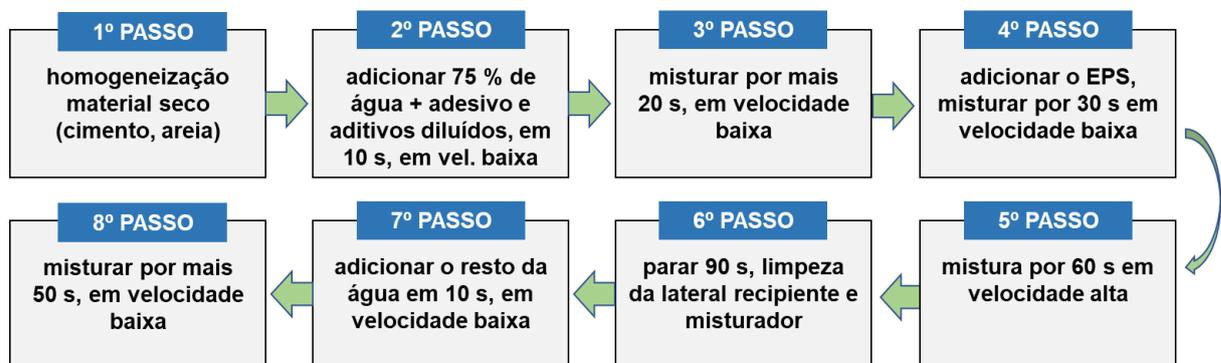
**Figura 3.6: Tela de polietileno de alta densidade. Fonte: Autor**

A água que foi utilizada na pesquisa para a produção das argamassas e, conseqüentemente das placas, é a disponível na rede de abastecimento pública da cidade de Santarém-PA.

### 3.3 MÉTODOS

#### 3.3.1 Produção das argamassas

O procedimento de mistura das argamassas foi executado através do método estabelecido pela NBR 16541 (ABNT, 2016b), com uma adaptação na ordem de inclusão dos materiais de acordo com a proposta de Silva e Cordeiro (2022). Essa adaptação ocorreu, devido à baixa densidade das pérolas de EPS, que não permite realizar uma prévia homogeneização com os demais materiais secos. Na figura 3.7 é apresentado o fluxograma de mistura.



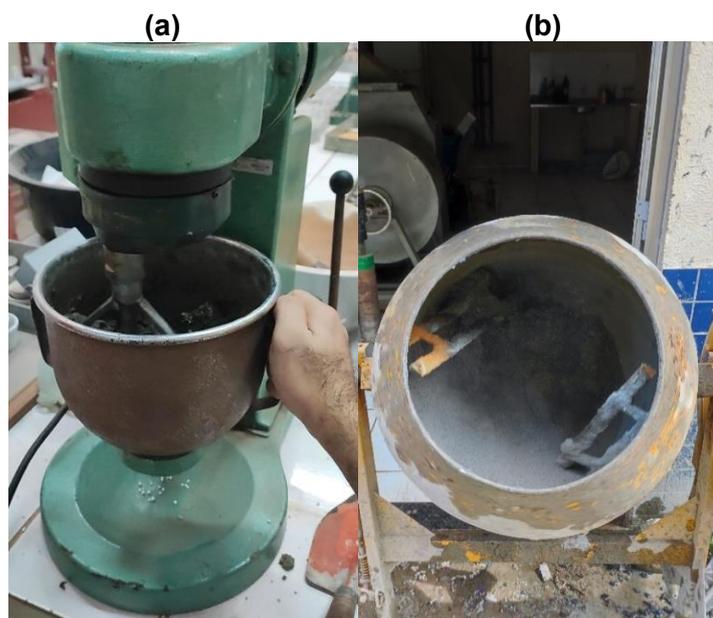
**Figura 3.7: Fluxograma de mistura das argamassas. Fonte: Autor**

O consumo dos materiais utilizados na produção das argamassas está de acordo com a tabela 3.2.

**Tabela 3.2: Traço em massa (kg) das argamassas**

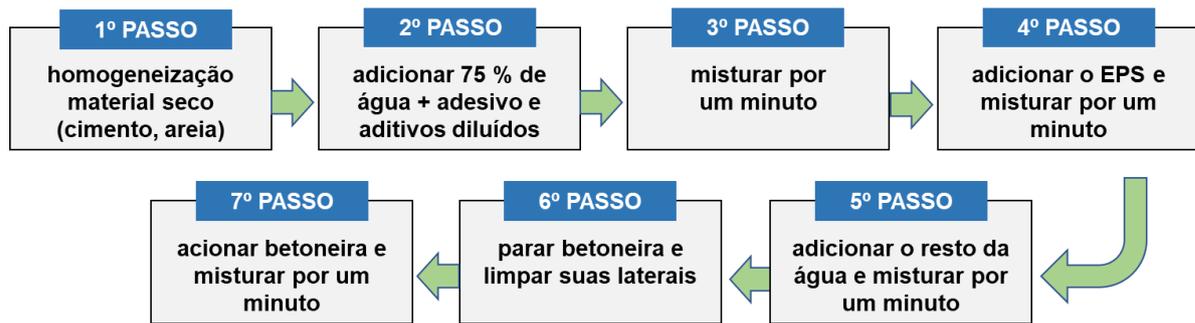
ARGAMASSA	CIMENTO	AREIA	EPS	ADESIVO	ÁGUA	PLASTIF.	IMPERM.
Com Impermeabilizante	1	1,981	0,0066	0,005	0,43	0,002	0,04
Sem Impermeabilizante	1	1,981	0,0066	0,005	0,43	0,002	0

Para a realização dos ensaios de caracterização das argamassas, foi utilizado um misturador descrito na norma NBR 16541 (ABNT, 2016b). Entretanto, para a produção das argamassas em maior volume, para a execução das placas e dos corpos de prova de ensaio no estado endurecido, foi utilizado betoneira de 200 litros (figura 3.8).



**Figura 3.8: (a) Misturador de argamassa e (b) betoneira utilizados na produção de argamassa. Fonte: Autor**

Na betoneira, obedeceu-se a sequência de mistura descrita no esquema da figura 3.9.



**Figura 3.9: Fluxograma de mistura das argamassas. Fonte: Autor**

### 3.3.2 Caracterização das argamassas no estado fresco

Os ensaios que serão descritos a seguir, observaram as propriedades do estado fresco das argamassas produzidas nesse estudo. As argamassas tiveram duas configurações quanto ao uso de produto de impermeabilização: (i) argamassa sem aditivo impermeabilizante hidrofugante e (ii) a argamassa com aditivo impermeabilizante hidrofugante. Vale ressaltar que as duas tiveram a incorporação de pérolas de poliestireno expandido.

O ensaio de densidade das argamassas em seu estado fresco, foi realizado a conforme a norma NBR 13278 (ABNT, 2005a). O procedimento, segundo a norma, consiste em medir a densidade da argamassa em recipiente brevemente calibrado, com seu volume e peso conhecidos, em que pelo menos três medições possam ser realizadas, para se obter uma média representativa. Neste sentido, foi realizado três medições com a argamassa sem impermeabilizante e três com a argamassa com impermeabilizante.

O cálculo da densidade foi realizado a partir da equação 3.1:

$$d = \frac{mc - mv}{vr} \cdot 1000 \quad (3.1)$$

Sendo:

$mc$  é a massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio (g);

$mv$  é a massa do recipiente cilíndrico vazio (g);

$vr$  é o volume do recipiente cilíndrico (cm<sup>3</sup>)

O valor do índice de consistência das argamassas, foi padronizado afim de controlar a relação a/c e da quantidade de aditivos. Para isso, realizou-se ensaio de acordo com a norma NBR 13276 (ABNT, 2016a), na qual tem como procedimento a aplicação da argamassa em um tronco cônico, que é assentado em uma mesa. A

mesa possui um mecanismo de queda livre acionado por uma manivela. A argamassa sofre impactos na mesa, a partir do movimento de queda livre, e é espalhada uniformemente. Depois da realização do procedimento, é realizada uma medição do diâmetro da argamassa espalhada. Esta medida se caracteriza como o índice de consistência (figura 3.10).



**Figura 3.10: Ensaio Índice de consistência das argamassas. Fonte: Autor**

Foi realizado o experimento até que se obteve o valor padronizado para este estudo, de 240 mm de diâmetro, tanto para argamassa sem impermeabilizante quanto para a argamassa com impermeabilizante hidrofugante.

### **3.3.3 Caracterização das argamassas no estado endurecido**

Os ensaios que serão descritos a seguir, tiveram o intuito de avaliar as propriedades do estado endurecido das argamassas produzidas nesse estudo. Como já visto, foram duas configurações de argamassa: (i) argamassa sem aditivo impermeabilizante hidrofugante e (ii) a argamassa com aditivo impermeabilizante hidrofugante.

Vale ressaltar, que todos os corpos de prova desta etapa, passaram por processo de cura úmida por um período de 28 dias, período este que grande parte das reações químicas de cura acontecem (NEVILLE, 2016).

O ensaio que visou caracterizar a densidade das argamassas em seu estado endurecido, foi realizado em conformidade com a norma NBR 13278 (ABNT, 2005a).

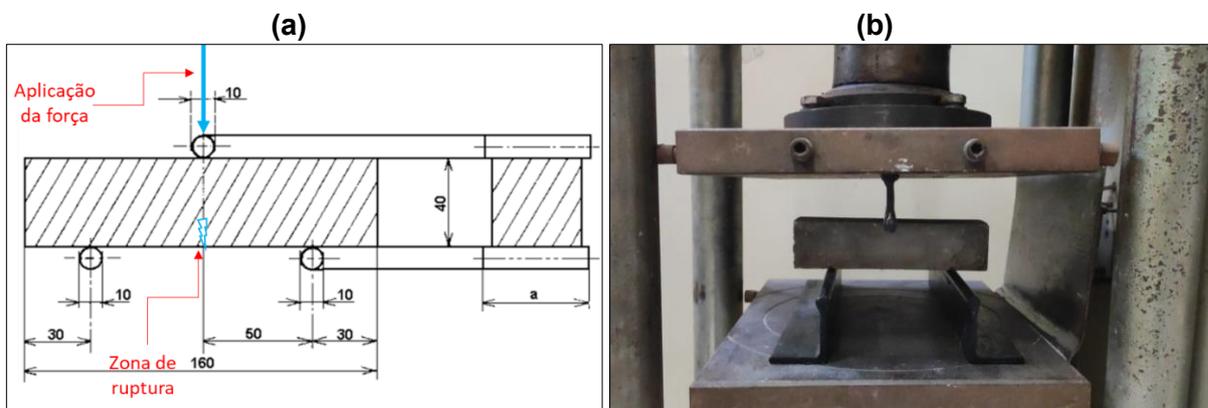
Foram utilizados seis corpos de provas (CP's) para cada tipo de configuração de argamassa, os quais foram moldados no processo de produção das argamassas. Foram aferidas as dimensões dos CP's com paquímetro, a fim de obter o volume, e

sua massa foi obtida com balança de precisão da ordem de 0,1 g. O cálculo de densidade de massa foi realizado por uma razão simples entre o volume e a massa de cada CP.

Também foi realizado ensaio para caracterizar a porcentagem de absorção de água das argamassas no estado endurecido. Foram coletadas as massas úmidas dos CP's, após a cura de 28 dias. Posteriormente, as amostras foram submetidas a secagem por 48 horas a 60 °C e, coletadas suas massas secas. A porcentagem de absorção de água foi calculada a partir da relação entre a diferença de massa seca e massa úmida pela massa seca.

Foi medida a resistência à tração na flexão das argamassas. Os corpos de prova utilizados neste ensaio, foram moldados em conformidade com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005b), em formato prismático com dimensões de 40 x 40 x 160 mm.

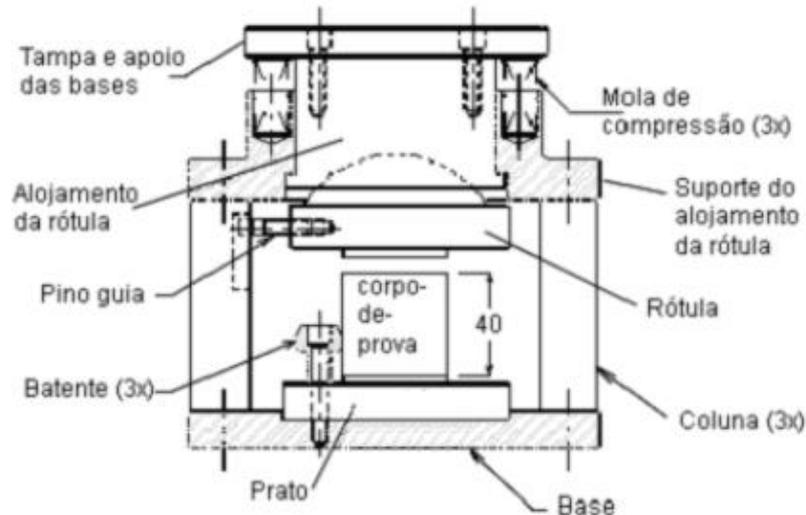
Esta norma preconiza a moldagem de pelo menos três corpos de prova, por idade de análise. Por isso, foram moldados seis CP's para cada tipo de argamassa, totalizando 12 CP's neste ensaio. A figura 3.11, ilustra o esquema de realização do ensaio segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005b), e a instrumentalização realizada nos CP's deste estudo.



**Figura 3.11: a) Esquema de realização do ensaio segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005b); (b) Instrumentalização de realização do ensaio. Fonte: Autor**

Foi realizado também, o ensaio de resistência à compressão axial das argamassas. Os corpos de prova utilizados neste ensaio, foram moldados em conformidade com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005b), em formato prismático. Os CP's utilizados podem ser os rompidos no ensaio de resistência a tração na flexão,

haja vista que a base de rompimento é de 40 x 40 mm, como mostra a figura 3.12 a seguir.



**Figura 3.12: Esquema de rompimento no ensaio de resistência a compressão segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005b)**

Esta norma preconiza para este ensaio a análise de pelo menos três corpos de prova, por idade. Por isso, foram utilizados seis CP's para cada tipo de argamassa, totalizando 12 CP's. Na figura 3.13 é ilustrado a instrumentalização da realização deste ensaio.



**Figura 3.13: Rompimento de CP's ensaio de resistência a compressão. Fonte: Autor**

### **3.4 AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS DE UTILIZAÇÃO DAS PLACAS CIMENTÍCIAS**

Os ensaios que serão descritos a seguir, têm o intuito de avaliar as propriedades construtivas das placas cimentícias com incorporação de poliestireno expandido. Neste, foram observadas suas propriedades com o que prescreve a norma técnica NBR 15498 (ABNT, 2021b), e comparadas com as propriedades obtidas nos resultados do trabalho de Silva e Cordeiro (2022).

Apesar da utilização do modelo de placas proposto por Silva e Cordeiro (2022), houve distinção de materiais que compõem o compósito, pela disponibilidade dos insumos do local onde será realizado a pesquisa. Por isso, mesmo mantendo os parâmetros fixos de análise, fez-se necessária a avaliação dos requisitos de utilização prescritos pela norma.

Além disso, todos os corpos de prova desta etapa, passaram por processo de cura úmida por um período de 28 dias. Aqui, ainda não foi levado em consideração o sistema de pintura, somente a utilização ou não do aditivo impermeabilizante hidrofugante. Os requisitos de utilização observados, foram: densidade aparente, absorção de água, resistência à flexão e módulo de elasticidade.

Quanto à densidade aparente, objetivou-se caracterizar a densidade das placas cimentícias de acordo com a NBR 15498 (ABNT, 2021b). Esta norma não fixa valores de densidade das placas cimentícias para serem aptas ao uso, entretanto exige que o fabricante especifique na documentação técnica o seu valor. Desse modo, não há impedimento quanto a essa propriedade para uso na aplicação da presente pesquisa para placas com incorporação de EPS.

O ensaio foi realizado na idade de 28 dias, em seis corpos de prova para cada tipo de argamassa produzida, com dimensões de 250 x 250 x 15 mm, totalizando doze placas ensaiadas neste parâmetro. O cálculo de densidade aparente foi realizado por uma razão simples entre massa e volume de cada placa cimentícia. As dimensões das placas foram medidas com paquímetro de precisão da ordem de 0,01 mm, e suas massas obtidas em balanças de precisão da ordem de 0,1 g.

O parâmetro de absorção de água foi obtido a partir da correlação entre densidades aparentes dos corpos de prova saturados e secos (ABNT, 2025b). Após

os 28 dias de cura, foi realizada a medição da massa úmida dos corpos de prova que estavam saturados. Logo após, as placas passaram por processo de secagem, obtendo-se assim sua massa seca. A partir da obtenção das duas massas, foi realizado o cálculo de acordo com a equação 3.2:

$$abs = \frac{mu - ms}{ms} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Sendo:

*abs* é a absorção de água (%);

*mu* é a massa úmida (g); e

*ms* é a massa seca (g).

Em relação a temperatura de secagem, a norma estabelece uma temperatura de 100° C no intervalo de 24 horas. Devido a utilização do EPS, necessitou-se de uma adaptação, visto que as pérolas de poliestireno expandido presentes nas placas, poderiam sofrer danos. Desse modo, foi adotado uma temperatura de 60°C em estufa, durante um tempo de 48 horas (Silva e Cordeiro, 2022). Foram submetidos ao ensaio seis CP's para cada tipo de argamassa, totalizando doze placas.

Quanto à resistência a flexão e módulo de elasticidade, caracterizou-se a resistência mecânica e a rigidez das placas. Foram utilizados corpos de prova com dimensões de 250 x 250 x 15 mm, e testados com apoios distantes um do outro 215 mm, como recomenda a norma, mostrado na figura 3.14.

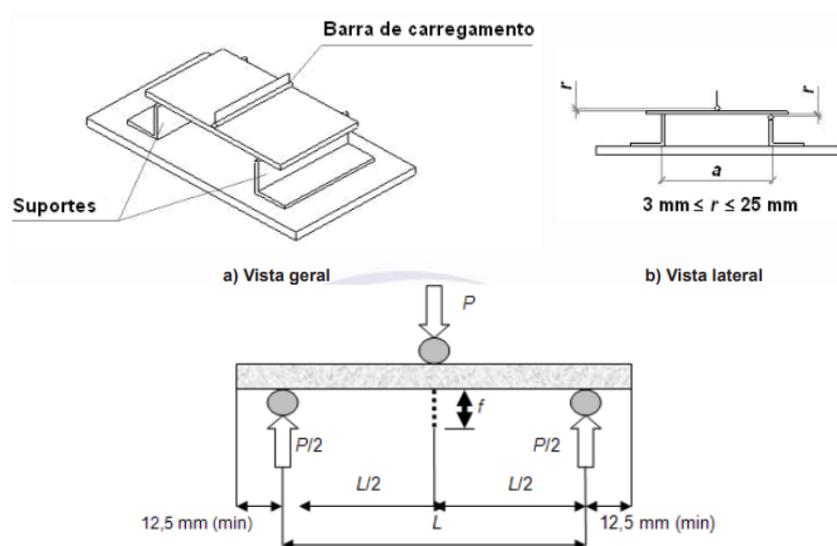


Figura 3.14: Esquema de realização do ensaio. Fonte: NBR 15498 (ABNT, 2021b),

Conforme indicação da NBR 15498 (ABNT, 2021b), a determinação da resistência à flexão será realizada em CP's na condição de equilíbrio, com o objetivo de classificá-los de acordo com os valores de resistência alcançados. Outrossim, para atingir a condição de equilíbrio, os CP's foram mantidos por 3 dias a condições de temperatura e umidade ambiente após o período de cura úmida.

Foram utilizados seis CP's para cada tipo de argamassa estudada, totalizando doze corpos de prova. Os valores de resistência a flexão e de módulo de elasticidade foram calculados a partir das equações 3.3 e 3.4, respectivamente (ABNT, 2021b).

$$Rf = \frac{3Pmáx \cdot L}{2b \cdot e^2} \quad (3.3)$$

Sendo:

$Rf$  é a resistência à tração na flexão (MPa);

$Pmáx$  é a carga de ruptura por flexão (N);

$L$  é a distância entre eixos dos suportes (mm);

$b$  é a largura do corpo de prova (mm);

$e$  é a espessura média do corpo de prova (mm).

$$E = \frac{F \cdot I_s^3}{4 \cdot b \cdot e^3 \cdot f} \quad (3.4)$$

Sendo:

$E$  é o módulo de elasticidade (MPa);

$F$  é a carga de carregamento abaixo do limite de proporcionalidade (N);

$I_s$  é a distância entre eixos dos suportes (mm);

$b$  é a largura do corpo de prova (mm);

$e$  é a espessura média do corpo de prova (mm);

$f$  é o deslocamento correspondente à carga  $F$  (mm).

As dimensões das placas foram medidas com paquímetro de precisão da ordem de 0,01 mm. Já a distância entre os apoios, foi medida a partir de régua graduada, e o deslocamento correspondente às cargas submetidas nas placas, foi medido com relógio comparador digital da ordem de 0,01 mm. A figura 3.15 evidencia a instrumentalização deste ensaio.



Figura 3.15: Instrumentalização do ensaio de resistência a flexão e módulo de elasticidade. Fonte: Autor

### 3.5 AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO IMPERMEABILIZANTES NAS PLACAS

Os ensaios que serão descritos a seguir, tiveram o intuito de analisar os sistemas de proteção impermeabilizante das placas cimentícias com incorporação de poliestireno expandido. Foram observadas de duas formas: pelo método da caixa com água (ABNT, 2021b) e pelo método do tubo Karsten (LNEC, 2002).

Para estes ensaios, todos os corpos de prova passaram por processo de cura úmida por um período de 28 dias. Em seguida, passaram por processo de secagem ao ar livre por 24 horas. E, finalmente passaram pelo processo de acabamento com os materiais do sistema de pintura. A figura 3.16 apresenta um fluxograma de como ocorreu o processo de aplicação do sistema de pintura nas placas.

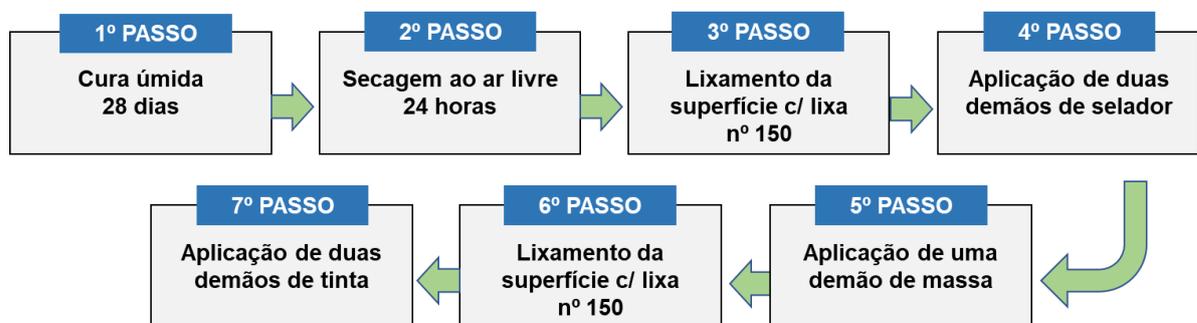


Figura 3.16: Fluxograma da aplicação do sistema de pintura nas placas. Fonte: Autor

Na tabela 3.3 são apresentadas as especificações de uso dos materiais utilizados no sistema de pintura, de acordo com o seu fabricante.

**Tabela 3.3: Especificações dos materiais de pintura (EUCATEX, 2024)**

<b>MATERIAL</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>
Selador Acrílico	Superfície: Uso externo e interno Diluição: pronto para uso; Aplicação: Rolo de lã, trincha e pincel; Demãos: 2 com intervalo de 4 horas entre as demãos.
Massa corrida PVA	Superfície: Uso interno; Diluição: pronto para uso; Aplicação: Desempenadeira e Espátula de aço; Demãos: 1 a 3 com intervalo de 2 horas entre as demãos.
Massa acrílica	Superfície: Uso externo; Diluição: pronto para uso; Aplicação: Desempenadeira e Espátula de aço; Demãos: 1 a 3 com intervalo de 4 horas entre as demãos.
Tinta Acrílica Fosca (Standard)	Superfície: Uso externo e interno Diluição: Com água de 50% a 80% em todas as demãos; Aplicação: Rolo de lã, trincha e pincel; Demãos: 2 a 3, com intervalo de 4 horas entre as demãos.
Tinta Acrílica Semibrilho (Standard)	Superfície: Uso externo e interno Diluição: Com água de até 20% em todas as demãos; Aplicação: Rolo de lã, trincha e pincel; Demãos: 2 a 3, com intervalo de 4 horas entre as demãos.

Foram utilizados dois conjuntos de placas, uma com dimensão de 25 x 25 cm e outra com 50 x 60 cm de superfície acabada. A quantidade dos materiais utilizados no sistema de pintura foi controlada, a fim de manter uniformidade nos CP's analisados. A tabela 3.4, mostra a quantidade de cada material utilizado na pintura das placas

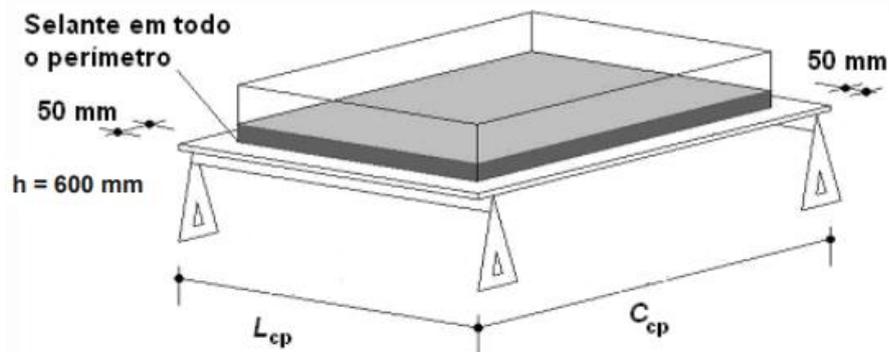
**Tabela 3.4: Quantidade de material aplicado a cada uma das placas**

<b>MATERIAL</b>	<b>Placa 25 X 25 cm</b>	<b>Placa 50 x 60 cm</b>
Selador acrílico	15 g/demão	70 g/demão
Massa PVA	80 g/demão	290 g/demão
Massa acrílica	80 g/demão	290 g/demão
Tinta fosca	10 g/demão	70 g/demão
Tinta acrílica semibrilho	10 g/demão	70 g/demão

O Método da caixa com água (ABNT, 2021b), visa caracterizar a permeabilidade de água das placas cimentícias. A permeabilidade pode ser definida

como a propriedade que governa a taxa de fluxo de um líquido para o interior de um sólido poroso. Em pasta endurecida de cimento, o tamanho dos poros e a sua continuidade a qualquer ponto irão controlar o coeficiente de permeabilidade durante o processo de hidratação (DA SILVA, 2020).

O teste empregado pela NBR 15498, consiste em selar uma caixa sobre o corpo de prova, em que é submetido a um nível de água de 20 mm, sobre pressão atmosférica, e observar visualmente o transporte de água pela espessura da placa. Como critério de aceitação da placa cimentícia, do lado oposto a lâmina de água não pode ocorrer a presença de gotas de água, após o tempo de 24 horas. A figura 3.17 ilustra o esquema de realização do experimento de acordo com a ABNT (2021b).



**Figura 3.17: Esquema de realização do experimento. Fonte: NBR 15498 (ABNT, 2021b),**

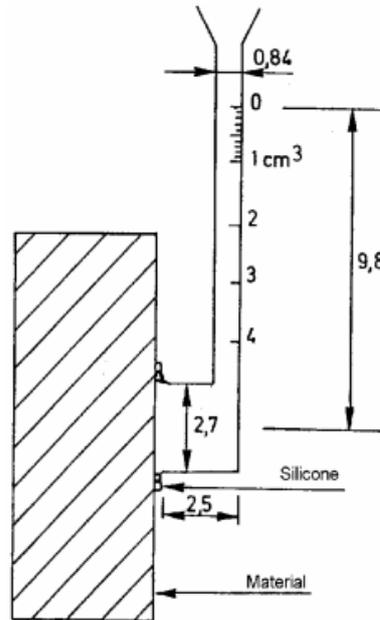
Para esse experimento, foram utilizados corpos de provas com dimensões de 15 x 500 x 600 mm. A caixa do experimento foi fabricada com vidro e, o material usado para selar o perímetro, foi silicone acético transparente (figura 3.18). Antes da execução do experimento, os CP's foram submetidos a condicionamento, nos quais foram conservados ao abrigo do sol, da chuva e do vento durante o período de três dias, em temperatura e umidade ambiente (ABNT, 2021b; DA SILVA, 2020). Foram utilizados dois corpos de prova por cada sistema proposto para análise, totalizando doze corpos de prova nesse ensaio.



**Figura 3.18: Instrumentalização do ensaio de permeabilidade pelo método da caixa.**  
**Fonte: Autor**

O ensaio de permeabilidade pelo método do tubo de Karsten é um método simples e amplamente utilizado para medir a permeabilidade superficial de materiais sólidos, como concreto, argamassa, pedras e revestimentos. O Tubo de Karsten tem por objetivo quantificar o volume de água absorvido por uma superfície de área conhecida em um determinado período. Os resultados obtidos são tratados graficamente ou qualitativamente, permitindo a obtenção de noções sobre a capacidade de impermeabilização à água da superfície analisada. Deste modo, é possível caracterizar a argamassa quanto à resistência à passagem de água e prever seu grau e sensibilidade de deterioração em serviço (LNEC, 2002; MAGALHÃES; VEIGA; PINA DOS SANTOS, 2008; MEDES *et al.*, 2017; JANTSCH *et al.*, 2021).

Também chamado de cachimbo, o tubo Karsten pode ser utilizado para analisar superfícies verticais e horizontais. É feito de vidro, e possui suas extremidades abertas. Na realização do ensaio uma extremidade permanece aberta e a outra é fixada à superfície do material analisado. A conexão se dá com adesivo selante, geralmente de silicone ou outro material impermeável que assegura a fixação do tubo à superfície, evitando vazamentos. O tubo ainda possui uma régua graduada, para monitorar o nível de água no tubo. A área superficial de absorção é de 5,067 cm<sup>2</sup> (LNEC, 2002; APPS, 2011). A figura 3.19 mostra o tubo utilizado nesta pesquisa.



**Figura 3.19: Tubo Karsten utilizado em superfície vertical. Fonte: Magalhães, Veiga e Pina Dos Santos (2008)**

O ensaio ocorre com a fixação do tubo na superfície de ensaio totalmente na vertical e, com o preenchimento de água até a marca de referência do tubo. É observado a estabilização do nível de água no tubo, e depois cronometrado tempos em que é anotado a absorção de água da superfície analisada. De acordo com Magalhães, Veiga e Pina dos Santos (2008) e APPS (2011) o ensaio pode ser realizado com o tempo máximo de 60 minutos, em que se observa leituras de absorção em 2, 5, 10, 20, 30 e 60 minutos. Nos estudos de Jantsch *et al.* (2021) realizou-se o ensaio até o tempo de 120 minutos, com leituras intermediárias. E, no estudo de Alves *et al.* (2023), realizou-se o ensaio até o tempo de 240 minutos, com leituras intermediárias.

Nesta pesquisa, realizou-se leituras até o tempo de 240 minutos, com leituras intermediárias de 2, 5, 10, 30 e 60 minutos. Utilizou-se este tempo, haja vista que as leituras nos tempos iniciais não se observaram absorções representativas.

A análise de absorção de água pode ocorrer qualitativamente, pela evolução da absorção de água no decorrer do tempo, ou quantitativamente avaliando um “coeficiente de absorção” de água, calculado de várias formas. Segundo Apps (2011), pode-se calcular o coeficiente de absorção de água a baixa pressão, pela equação 3.5.

$$C_{abs} = \frac{X \cdot 10^{-3}}{d^2 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{t}\right)} \quad (3.5)$$

Sendo:

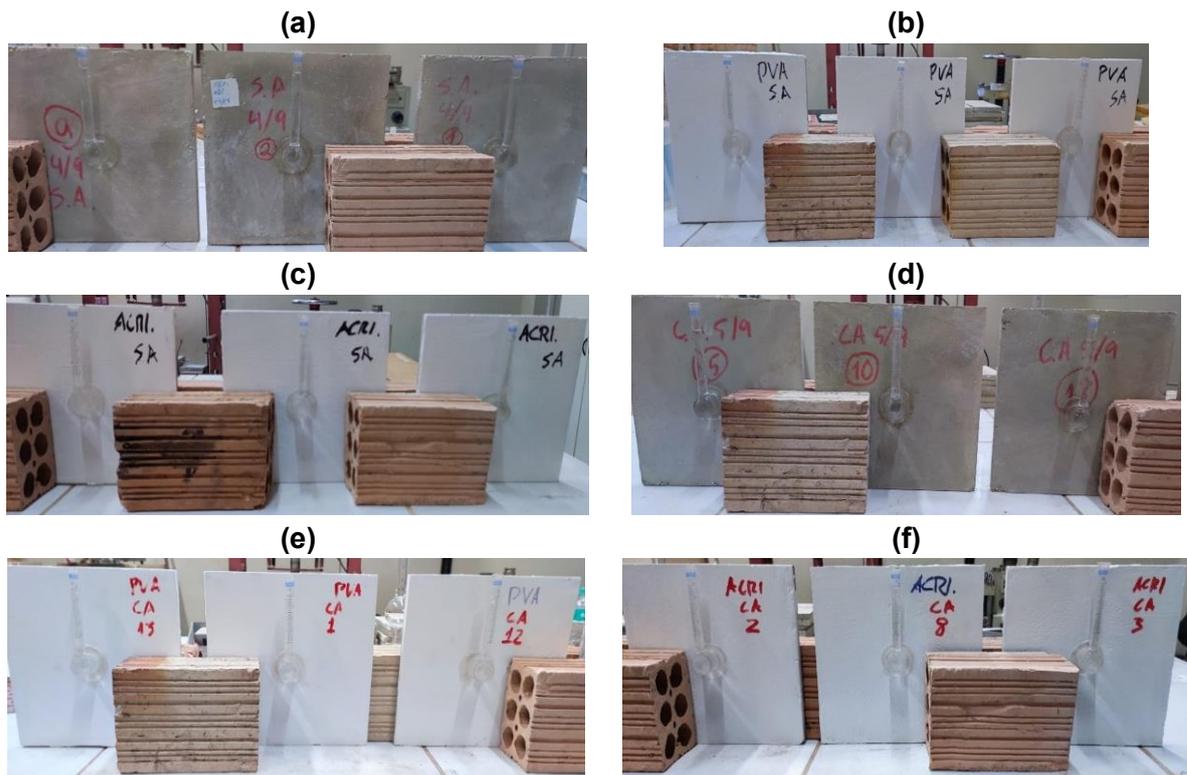
$C_{abs}$  é o coeficiente de absorção de água da camada superficial ( $\text{kg}/[\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}}]$ );

$X$  é a quantidade de água absorvida (ml);

$d$  é o diâmetro da superfície em que é feita a penetração de água (mm);

$t$  é a duração da leitura (h).

Nesta pesquisa foram realizadas três leituras por configuração de análise, ou seja, três leituras em P1, P2, P3, P4, P5 e P6. Foi utilizado uma placa de 250 x 250 x 15 mm para cada leitura, totalizando 18 placas. Foi utilizado adesivo de silicone como material selante e um cronometro para marcação do tempo das leituras. A figura 3.20 mostra o esquema em que se deu o experimento.



**Figura 3.20: Esquema de realização do experimento com Tubo Karsten nas placas (a) P1: sem impermeabilizante e pintura; (b) P2: sem impermeabilizante com pintura interna; (c) P3: sem impermeabilizante com pintura externa; (d) P4: com impermeabilizante sem pintura; (e) P5: com impermeabilizante e com pintura interna; (f) P6: com impermeabilizante e com pintura externa. Fonte: Autor**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO E ESTADO ENDURECIDO

Na tabela 4.1, são apresentados os resultados da caracterização das argamassas no estado fresco, quanto à densidade de massa. O parâmetro de índice de consistência, foi fixado para ambas as argamassas.

**Tabela 4.1: Densidade de massa das argamassas no estado fresco. Médias seguidas por letras distintas apresentam diferenças entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância**

ARGAMASSA	CP	DENSIDADE DE MASSA (g/cm <sup>3</sup> )	MÉDIA ± DESVIO PADRÃO	COEF. DE VARIAÇÃO (%)
Com impermeabilizante	1	1.78	1.83 ± 0.04 a	2
	2	1.84		
	3	1.85		
Sem impermeabilizante	1	1.71	1.69 ± 0.02 b	1
	2	1.68		
	3	1.68		

Em média, foi observado que argamassa com aditivo impermeabilizante apresentou densidade de massa 8,3% maior em relação à argamassa sem aditivo (diferença de 0,14 g/m<sup>3</sup>). Isso sugere, que a primeira argamassa, em seu estado fresco, conseguiu maior adensamento na mistura.

Na Tabela 4.2 é observado, através da análise de variância (ANOVA), que a aplicação do impermeabilizante exerce influência significativa nos resultados de densidade de massa no estado fresco.

**Tabela 4.2: Análise de variância para o ensaio de densidade das argamassas no estado fresco**

	SQ	GL	MQ	F	VALOR-P
Entre grupos	0.028	1	0.02837	30.516	0.00524
Erro	0.004	4	0.00093		
Total	0.032	5			

Nos trabalhos de Gava, Gasques e Rigo (2016) e Salomão (2016), a introdução de aditivos impermeabilizantes hidrofugantes na mistura da argamassa, não causou o efeito significativo do aumento de densidade, em relação à referência.

Já no trabalho de Aleixo (2018), obteve-se aumento significativo da densidade de massa no estado fresco, quando inserido aditivo impermeabilizante na argamassa. O autor observou, que com a adição do impermeabilizante, obteve-se experimentalmente maior coesão e compactação entre os materiais na mistura, diminuindo consideravelmente a porcentagem de poros na argamassa fresca, elevando conseqüentemente sua densidade.

Os valores alcançados de densidade de massa, estão próximos aos encontrados na literatura. No trabalho de Da Silva (2020), no qual a presente pesquisa se baseia, a média da densidade de massa da argamassa com teor de 20 % de EPS, foi de 1,93 g/cm<sup>3</sup>. O trabalho Baptista Junior (2019), que também realizou testes com placas cimentícias com incorporação de EPS (com traço de 1:3 e 15 % de substituição de areia), não analisou a massa específica de suas respectivas argamassas no estado fresco. Em trabalhos que analisaram apenas a incorporação do EPS em argamassas de revestimentos (com teores próximos ao da presente pesquisa), como o de Carvalho (2019), Becker (2020), Farias (2021) e Leão (2021), alcançou-se valores de densidade de massa abaixo que se obteve nessa pesquisa. Entretanto, estes últimos adotaram a utilização de outros proporcionamento de materiais, além da utilização da Cal.

Os resultados em relação às características das argamassas no estado endurecido, são apresentados na tabela 4.3. Foram analisados parâmetros fundamentais para o desempenho, como densidade de massa, absorção de água, resistência à compressão e resistência à tração na flexão.

**Tabela 4.3: Estatística descritiva dos resultados dos ensaios com argamassas no estado endurecido**

PARAMETRO	IMPERMEABILIZANTE	MÉDIA ± DESVIO PADRÃO	COEF. DE VARIAÇÃO (%)
Densidade de massa (g/cm <sup>3</sup> )	COM	1,79 ± 0,02	1
	SEM	1,83 ± 0,02	1
Absorção de água (%)	COM	6,93 ± 1,17	17
	SEM	5,84 ± 0,37	6
Resistência a compressão (MPa)	COM	23,5 ± 2,32	10
	SEM	19,52 ± 2,75	14

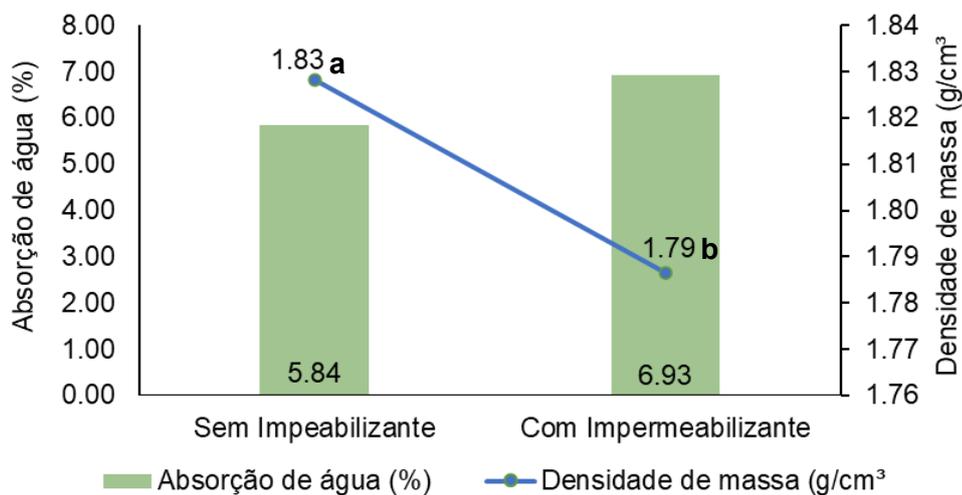
PARAMETRO	IMPERMEABILIZANTE	MÉDIA ± DESVIO PADRÃO	COEF. DE VARIAÇÃO (%)
Resistência a tração na flexão (MPa)	COM	5,12 ± 0,42	8
	SEM	5,09 ± 0,3	6

Na Tabela 4.4 é observado, através da análise de variância (ANOVA), que a aplicação do aditivo impermeabilizante exerce influência significativa nos resultados de densidade de massa no estado endurecido.

**Tabela 4.4: Análise de variância para o ensaio de densidade das argamassas no estado endurecido**

	SQ	GL	MQ	F	VALOR-P
Entre grupos	0.005	1	0.00521	9.55224	0.01143
Erro	0.005	10	0.00055		
Total	0.011	11			

Conforme observado na figura 4.1, foi constatado que a argamassa com aditivo impermeabilizante obteve média de densidade de massa maior que a sem impermeabilizante, e que a diferença entre as densidades é significativa, de acordo com o teste Tukey ao nível de 5 % de significância.



**Figura 4.1: Gráfico de correlação entre a densidade de massa e a porcentagem de absorção de água das argamassas no estado endurecido. Médias seguidas por letras distintas apresentam diferenças entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância**

Esperava-se que a densidade de massa para a argamassa com impermeabilizante fosse maior do que a sem, haja vista que o aditivo tem como função

de causar diminuição dos poros na estrutura cimentícia. O que se percebeu, foi o efeito contrário, pois além da diminuição de densidade, houve um aumento na porcentagem de absorção de água.

Este comportamento de aumento na porcentagem de absorção de água por aplicação de aditivo impermeabilizante na mistura da argamassa, também foi percebido nos trabalhos de Gava, Gasques e Rigo (2016) e Aleixo (2018). No primeiro trabalho, apenas um tipo de aditivo de quatro analisados, em um determinado traço, reduziu a absorção em relação à referência. E no trabalho de Aleixo (2018), apenas um tipo de aditivo de três analisados, conseguiu reduzir a absorção de água em relação à referência. Os autores sugerem que alguns aditivos hidrofugantes também atuam como incorporadores de ar, e que se houver a incorporação de ar de forma não adequada, podem se formar micro poros na estrutura cimentícia aumentando a porcentagem de absorção de água.

Conforme esperado, a densidade de massa e a porcentagem de absorção de água são inversamente proporcionais, ou seja, quanto menor a densidade, maior a concentração de poros na estrutura do compósito cimentício e maior a sua facilidade em absorver água (BERTOLINE, 2010).

A resistência à compressão mostrou um aumento na presença do aditivo, atingindo uma média de 23,50 MPa, em comparação com os 19,52 MPa da argamassa sem aditivo. Mesmo apresentando diferença nos resultados de resistência à compressão, observa-se na tabela 4.5, através da análise de variância (ANOVA), que a aplicação do aditivo impermeabilizante não influenciou significativamente nessa diferença.

**Tabela 4.5: Análise de variância do ensaio de resistência à compressão**

	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>VALOR-P</b>
Entre grupos	23.825	1	23.82532	3.67371	0.12776
Erro	25.941	4	6.48536		
Total	49.767	5			

Quanto à resistência à tração na flexão, observou-se que os valores foram semelhantes entre os dois tipos de argamassa, com 5,12 MPa para a argamassa com aditivo impermeabilizante e 5,09 MPa para a sem. A pequena diferença, sugere que a

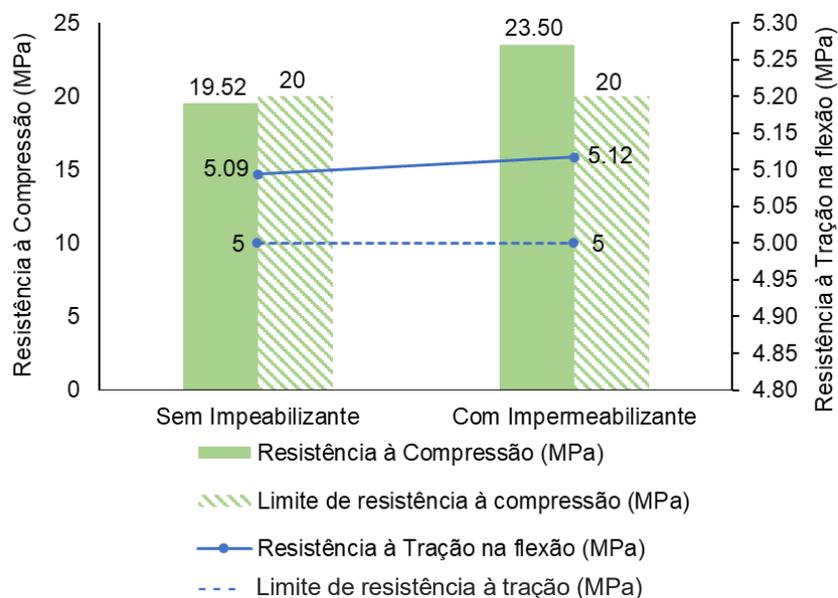
adição do impermeabilizante não teve impacto significativo nesta propriedade, como é observado na tabela 4.6, a partir da análise de variância (ANOVA),

**Tabela 4.6: Análise de variância do ensaio de resistência à tração na flexão**

	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>VALOR-P</b>
Entre grupos	0.001	1	0.00082	0.00608	0.94161
Erro	0.542	4	0.13559		
Total	0.543	5			

Os valores obtidos nos ensaios de resistência a compressão e resistência à tração na flexão observados na literatura, foram maiores dos que obtidos na presente pesquisa. Para resistência à compressão, observou-se no trabalho de Junior (2019) 23,67 MPa, e no trabalho de Da Silva (2020) 20,26 MPa. Em relação à resistência a tração na flexão, observou-se no trabalho de Da Silva (2020) 5,65 MPa.

A partir da figura 4.2, observa-se que a argamassa com aditivo impermeabilizante obteve média de resistência à compressão e à tração na flexão maiores do que o esperado. Entretanto, a argamassa sem impermeabilizante, obtiveram médias de resistência somente à tração na flexão maior que o esperado.



**Figura 4.2: Gráfico de correlação entre a resistência à compressão e resistência à tração das argamassas no estado endurecido**

Quanto a influência do impermeabilizante no ganho ou perda de resistência, esperava-se que este pudesse ocorrer, mas não de forma significativa. Os trabalhos de Gava, Gasques e Rigo (2016), Aleixo (2018) e Almeida *et al.* (2023), assim como nesta pesquisa, obteve-se melhora nos valores de resistência, com a implementação do aditivo impermeabilizante, mas não de forma significativa.

## 4.2 AVALIAÇÃO DAS PLACAS CIMENTÍCIAS COM EPS

Os resultados apresentados na tabela 4.7, fornecem uma análise das propriedades físicas das placas ensaiadas, considerando a influência da presença do aditivo impermeabilizante. Foram avaliados os parâmetros de densidade aparente, absorção de água, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade.

**Tabela 4.7: Estatística descritiva dos resultados dos ensaios físicos com as placas**

PARAMETRO	IMPERMEABILIZANTE	MÉDIA ± DESVIO PADRÃO	COEF. DE VARIAÇÃO (%)
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	COM	1,72 ± 0,03	2
	SEM	1,73 ± 0,06	4
Absorção de água (%)	COM	4,89 ± 0,74	15
	SEM	4,19 ± 0,65	15
Resistência à tração na flexão (MPa)	COM	3,4 ± 0,4	12
	SEM	3,41 ± 0,36	11
Módulo de elasticidade (GPa)	COM	3,57 ± 0,7	20
	SEM	4,06 ± 1,16	28

Obteve-se como valor médio de densidade aparente para as placas com aditivo impermeabilizante, um valor muito próximo à média para as placas sem aditivo. Isso sugere que a adição do impermeabilizante não influenciou significativamente na densidade das placas. O desvio padrão e o coeficiente de variação apresentaram valores baixos, indicando baixa dispersão e uniformidade nos resultados obtidos.

Na Tabela 4.8, a partir da análise de variância (ANOVA), observa-se a não significância da aplicação do impermeabilizante nos resultados de densidade aparente.

**Tabela 4.8: Análise de variância do ensaio de densidade aparente das placas**

	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>VALOR-P</b>
Entre grupos	0.000	1	0.00027	0.10548	0.75204
Erro	0.025	10	0.00254		
Total	0.026	11			

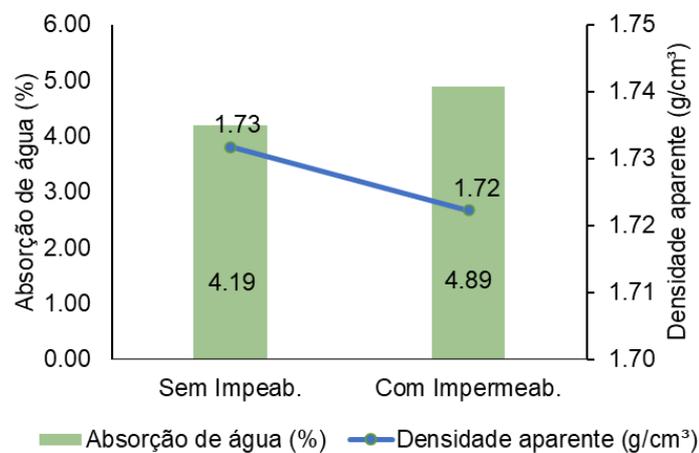
Em relação à absorção de água, as placas contendo impermeabilizante apresentaram uma média de 4,89%, enquanto aquelas sem aditivo registraram um valor inferior, de 4,19%. O que já era esperado, haja vista que nos ensaios com os CP's de argamassa no estado endurecido, obteve-se o mesmo comportamento.

Na Tabela 4.9, a partir da análise de variância (ANOVA), observa-se que a aplicação do impermeabilizante também não influencia significativamente nos resultados de absorção de água.

**Tabela 4.9: Análise de variância do ensaio de absorção de água das placas**

	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>VALOR-P</b>
Entre grupos	1.450	1	1.45046	2.99347	0.11428
Erro	4.845	10	0.48454		
Total	6.296	11			

Na figura 4.3, observa-se a correlação entre os parâmetros densidade aparente e absorção de água, em relação a presença ou não de aditivo impermeabilizante na constituição das placas.

**Figura 4.3: Gráfico de correlação entre densidade aparente e % de absorção de água**

A NBR 15498, não estipula valores mínimos de densidade aparente e de porcentagem de absorção de água (ABNT, 2021b). Entretanto, nos trabalhos de Baptista Junior (2019) e Da Silva (2020), obteve-se valores de densidade aparente maiores dos que os obtidos nessa pesquisa, 1,92 g/cm<sup>3</sup> e 1,85 g/cm<sup>3</sup> respectivamente. Em relação à porcentagem de absorção de água, se obteve em Baptista Junior (2019) 7,9 %, e em Da Silva (2020) 3,54 %.

De acordo com Bertolini (2010) Isaia (2017) e Baia (2019), quando menor a densidade do material, significa que este possui mais poros em sua estrutura, o que o possibilita ter maior probabilidade de absorção de água. Entretanto, a disposição e interconexão entre os poros, influencia diretamente na capacidade de absorção.

Em relação à resistência à tração na flexão, obteve-se valor médio levemente superior para as placas sem impermeabilizante (3,41 MPa) em comparação com aquelas contendo o aditivo (3,40 MPa). Essa diferença é pequena, indicando que a presença do impermeabilizante não alterou de forma significativa a resistência mecânica do material, como mostra a tabela 4.10.

**Tabela 4.10: Análise de variância do ensaio de resistência à tração na flexão**

	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>VALOR-P</b>
Entre grupos	0.000	1	0.00030	0.00208	0.96451
Erro	1.465	10	0.14646		
Total	1.465	11			

De acordo com a norma técnica, as placas se enquadraram no valor de resistência a tração na flexão da categoria A e B, classe 1, com um valor de resistência podendo variar entre 3,2 MPa e 4,8 MPa (ABNT, 2021b). No trabalho de Da Silva (2020), as placas com o mesmo teor de EPS, tiveram valores de 4,79 MPa de resistência à tração na flexão, e no trabalho de Baptista Junior (2019) com teor de 15 % de EPS, 7,31 MPa. Isso indica que as placas da presente pesquisa obtiveram menor desempenho em relação a este parâmetro.

Os valores médios do módulo de elasticidade indicam que as placas sem aditivo impermeabilizante apresentam uma rigidez superior (4,06 GPa) em relação às placas com aditivo (3,57 GPa). Porém, essa diferença, de acordo com a análise de variância (ANOVA) realizada na tabela 4.11, não é significativa.

**Tabela 4.11: Análise de variância do ensaio de módulo de elasticidade**

	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>VALOR-P</b>
Entre grupos	0.636	1	0.63624	0.66287	0.43656
Erro	8.638	9	0.95983		
Total	9.275	10			

Esperava-se uma evolução dos parâmetros físicos das placas com a aplicação do aditivo impermeabilizante, haja vista que o impermeabilizante deveria promover uma melhora na distribuição dos componentes da argamassa, reduzindo segregações e formação de poros, que comprometem a uniformidade estrutural do compósito. Essa melhora era esperada principalmente no parâmetro de porcentagem de absorção de água. Entretanto, em conformidade com os resultados encontrados nos parâmetros físicos das argamassas no estado endurecido, não houve diferença significativa na aplicação do aditivo impermeabilizante.

Salomão (2016) discute que em alguns casos, alguns impermeabilizantes hidrofugantes, possuem a característica de incorporar ar na mistura do material. Isso pode acarretar em formação de poros na estrutura cristalina do material, causando diminuição de sua densidade e aumento da porcentagem de absorção de água. Entretanto, esses poros podem estar desorganizados, ou seja, sem interconexões. Por isso, um material que sofre com o ar incorporado produzido pelo impermeabilizante, pode sofrer com a permeabilidade de água, parâmetro este que será analisado no próximo item.

### ***4.3 EFEITO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO NO MECANISMO DE TRANSPORTE DE ÁGUA NAS PLACAS CIMENTÍCAS COM EPS***

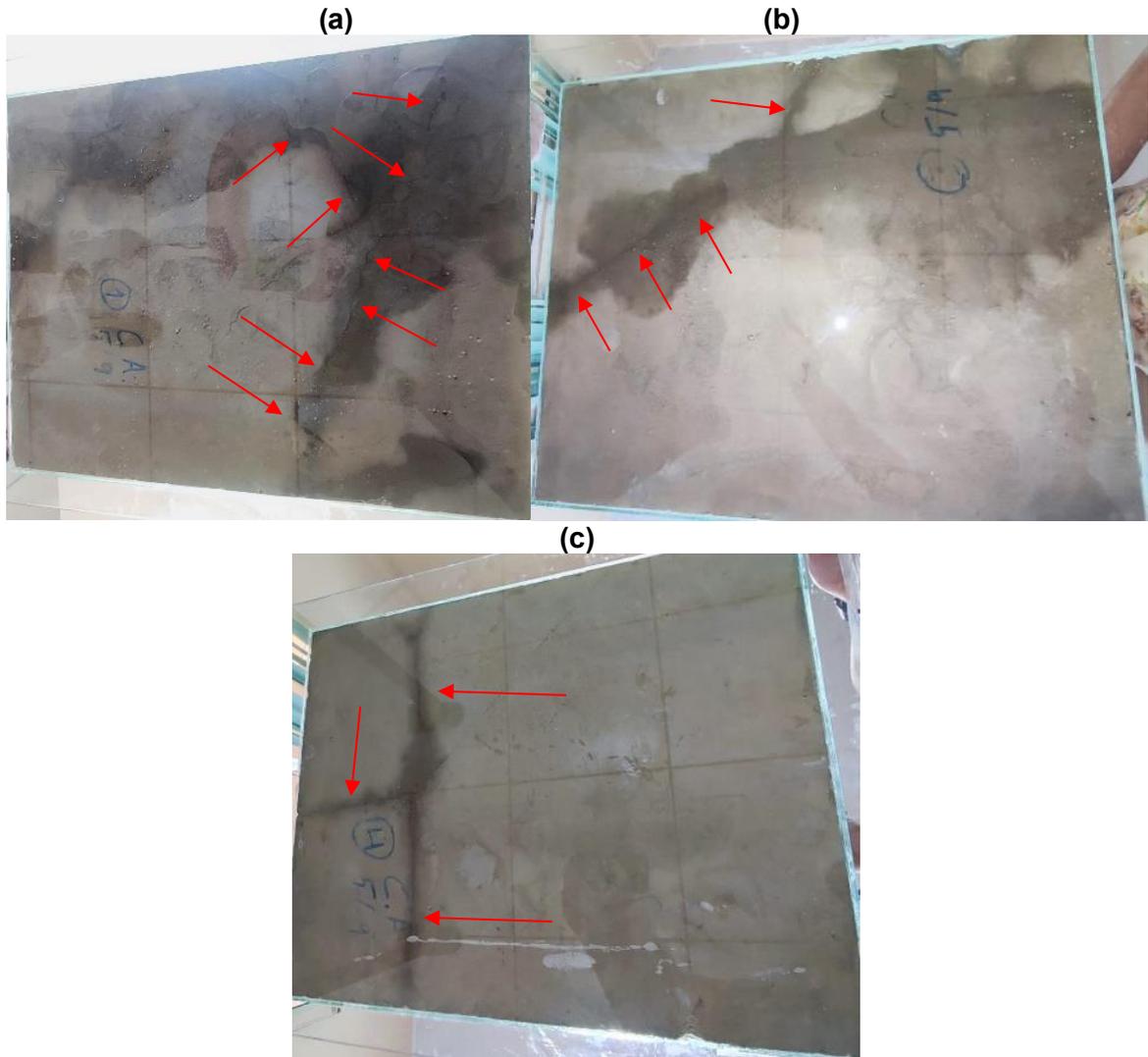
Os resultados apresentados na tabela 4.12, mostram os resultados alcançados com o ensaio de permeabilidade de acordo com a NBR 15498 (ABNT, 2021b), pelo método da caixa de vidro. Neste ensaio, a norma técnica estabelece que as placas, ao final do ensaio, não apresentem nem traços de umidade e nem formação de gotas na sua superfície inferior da placa.

**Tabela 4.12: Resultado do ensaio de permeabilidade com caixa**

<b>PLACA</b>	<b>TRAÇOS DE UMIDADE</b>	<b>FORMAÇÃO DE GOTAS DE ÁGUA</b>
P1	NÃO	NÃO
P2	NÃO	NÃO
P3	NÃO	NÃO
P4	NÃO	NÃO
P5	NÃO	NÃO
P6	NÃO	NÃO

Todas as placas sem aditivo impermeabilizante (P1, P2 e P3) e com aditivo impermeabilizante (P4, P5 e P6), não apresentaram traços de umidade ou formação de gotas de água na superfície inferior de ensaio. Isso demonstra, que no período de realização do ensaio (24 h), as placas passaram no requisito de permeabilidade da norma técnica.

Entretanto, no procedimento de realização do ensaio, algumas placas foram acometidas por fissuras no processo de desforma. Ainda assim, realizou-se o ensaio no período determinado, afim de se observar a eficiência das placas, mesmo com as fissuras. Como esperado, estas apresentaram traços de umidade e formação de gotas de água na superfície inferior de ensaio, por isso estas não passaram no quesito de permeabilidade da norma técnica, como mostra a figura 4.4. Ressalta-se que estas placas, possuíam aditivo impermeabilizante em sua argamassa constituinte.



**Figura 4.4: Placas com passagem de água (a) P4, (b) P5 e (c) P6. Fonte: Autor**

Este resultado vai de encontro ao apresentado nos trabalhos de Baptista Junior (2019) e Da Silva (2020), que também avaliaram a permeabilidade de placas cimentícias com incorporação de EPS pelo método da norma técnica NBR 15498 (ABNT, 2021b). Nos trabalhos dos autores, todas as placas, mesmo sem qualquer tipo de sistema impermeabilizante, passaram no requisito da norma quanto a permeabilidade e, não apresentaram nem traços de umidade e nem gotas de água na superfície inferior do ensaio. Vale ressaltar que os autores testaram argamassas referências (sem EPS) e com vários teores de EPS.

Os autores Carvalho (2017), Becker (2020) e Leão (2021) discutem sobre a característica do EPS em aumentar o índice de vazios na argamassa, e consequentemente, a absorção de água. Isso ocorre, segundo Carvalho (2017), pelo

formato das pérolas de EPS (predominantemente lisa e angular) e pela composição granulométrica linear, a qual desfavorece o empacotamento das partículas. Entretanto, Carvalho (2017) fala que a inserção de EPS aumenta a dimensão dos poros, mas diminui suas interconexões, diminuindo assim, a permeabilidade do material.

Disto isso, conclui-se que a incorporação do impermeabilizante não influencia significativamente na permeabilidade das placas a curto prazo (tempo previsto pelo método do ensaio). Além disso, o EPS nas placas, mesmo aumentando os poros na argamassa e conseqüentemente a capacidade de absorção de água pelas placas, pode diminuir a permeabilidade de água.

Os resultados relacionados ao ensaio de permeabilidade pelo método do tubo Karsten, estão apresentados na tabela 4.13. Neste ensaio, foram avaliados a quantidade de água absorvida e o coeficiente de absorção de água, correspondentes ao tempo de 240 minutos.

**Tabela 4.13: Resultado do ensaio de permeabilidade tubo Karsten**

PLACA	CP	QUANT. DE ÁGUA ABSORVIDA (ml)	MÉDIA	COEF.DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (Kg/m <sup>2</sup> .√h)	MÉDIA
P1	1	1,5	0,83	0,74	0,41
	2	0		0,00	
	3	1		0,49	
P2	1	2	2,00	0,99	0,99
	2	2		0,99	
	3	2		0,99	
P3	1	0	0,67	0,00	0,33
	2	1		0,49	
	3	1		0,49	
P4	1	5,5	2,50	2,71	1,23
	2	0,5		0,25	
	3	1,5		0,74	
P5	1	1,5	1,50	0,74	0,74
	2	1		0,49	
	3	2		0,99	
P6	1	0,5	0,67	0,25	0,33
	2	1		0,49	
	3	0,5		0,25	

A análise da quantidade de água absorvida, revela alterações entre os tratamentos aplicados nas placas testadas. As placas P3 e P6 foram as que tiveram

menores absorções (0,67ml), indicando que o sistema de pintura externa possuiu maior eficiência na impermeabilização das placas. Já as placas P4, P2, e P5 apresentaram as maiores médias de absorção (2,5 ml, 2,0 ml e 1,5 ml, respectivamente), o que indica que essas placas apresentaram maior número de poros e, conseqüentemente, menor eficiência quanto à permeabilidade de água.

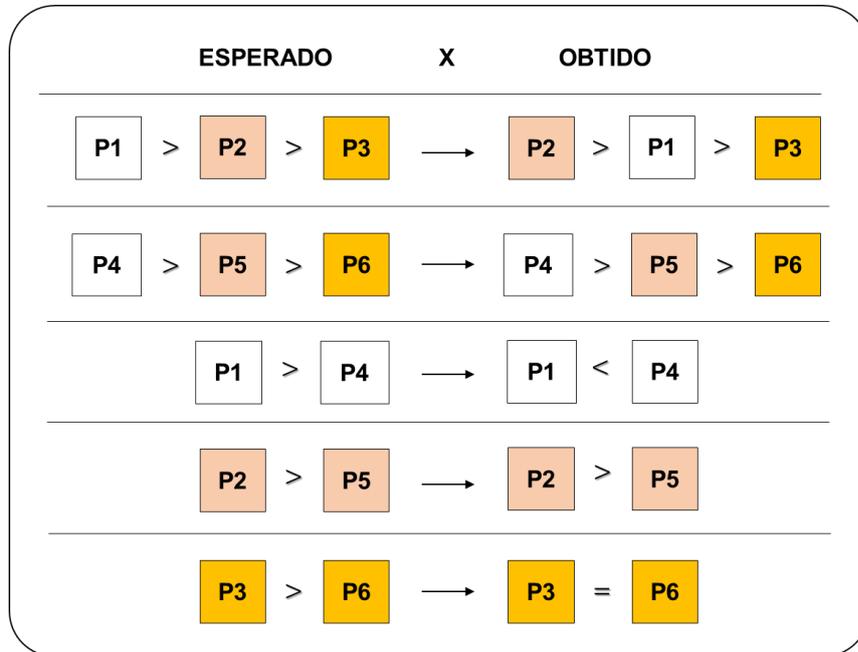
Ao considerar o coeficiente de absorção de água, observa-se uma tendência semelhante. A placa P4 apresentou o maior coeficiente (1,23 Kg/m<sup>2</sup>.h), demonstrando que a absorção de água ocorre de forma mais rápida nela. A placa P2 também exibiu um coeficiente elevado (0,99 Kg/m<sup>2</sup>.h), o que demonstra sua maior permeabilidade. As placas P1 e P5 apresentaram coeficientes intermediários (0,41 Kg/m<sup>2</sup>.h e 0,74 Kg/m<sup>2</sup>.h), indicando que sua estrutura permite uma taxa moderada de absorção. Por outro lado, as placas P3 e P6 registraram os menores valores (0,33 Kg/m<sup>2</sup>.h), caracterizando placas com menor taxa de permeabilidade.

Analisando os dois parâmetros apresentados na tabela 4.11, pelo ponto de vista de eficiência de impermeabilização, esperava-se que as placas sem impermeabilizante, tivessem maiores valores de absorção que as placas com o aditivo. Além disso, esperava-se que o tratamento superficial com pintura externa fosse mais efetivo que o com pintura interna, que por sua vez, fosse mais efetivo que as placas sem sistema de pintura.

Na figura 4.5, apresenta-se um esquema que resume os resultados esperados *versus* os resultados alcançados em relação aos valores médios de quantidade de água absorvida pelas placas, pelo método do tubo Karsten.

No trabalho de Gava, Gasques e Rigo (2016), em que analisaram o efeito de diferentes impermeabilizantes em revestimentos de argamassa, observou-se que alguns aditivos impermeabilizantes analisados, não provocaram reduções significativas nas propriedades de absorção de água das argamassas, provocando em alguns casos, até aumento dos índices de absorção. Os autores possuem como hipótese, que nestes casos, o impermeabilizante atuou alterando as propriedades da argamassa em relação a quantidade e tamanho dos poros e suas interconexões. Freitas *et al.* (2008) e Bertoline (2010), sugerem que não só o tamanho e quantidade de poros interferem na permeabilidade do material e, que esta propriedade, também está relacionada a interconexão entre entre eles. Salomão (2016) cita ainda, a possibilidade de o impermeabilizante incorporar ar na mistura da argamassa,

acarretando assim em formação de poros e conseqüente absorção de água. Como visto, se a disposição dos poros estiver interconectada, há um aumento na permeabilidade do material.



**Figura 4.5: Esquema sobre o resultado dos valores médios de absorção de água esperados versus alcançados pelas placas**

Avaliando as médias de absorção de água de todas as placas estudadas, de acordo com a análise de variância (ANOVA) realizada na tabela 4.14, observou-se que não houve significância entre os valores obtidos.

**Tabela 4.14: Análise de variância do ensaio de resistência à tração na flexão**

	SQ	GL	MQ	F	VALOR-P
Entre grupos	8.903	5	1.78056	1.29495	0.32884
Erro	16.500	12	1.37500		
Total	25.403	17			

Outrossim, quando se faz um comparativo entre as placas P1 e P4, as quais possuem superfícies sem sistema de pintura, diferenciando-se apenas pela presença do aditivo impermeabilizante, os resultados mostram que a P4 absorveu mais água do que a P1, apresentando também, maior coeficiente de absorção. Isso indica, que o aditivo impermeabilizante não foi eficiente em reduzir a absorção de água, podendo

ter até alterado a estrutura da argamassa, incorporando ar a mistura, permitindo formação de poros, aumentando assim sua permeabilidade. Já a P1, sem impermeabilizante, demonstrou menor capilaridade, sugerindo que a ausência de aditivo, pode ter mantido sua estrutura mais densa e impermeável.

Comparando as placas P2 e P5, cujas foram submetidas ao sistema de pintura com padrão interno, a P2, sem impermeabilizante, apresentou maior absorção de água que a P5, indicando que o impermeabilizante na P5, reduziu sua permeabilidade, como se esperava. A pintura interna, por sua vez, não impediu completamente a absorção de água, mas influenciou na redução da absorção comparado com a placa sem pintura.

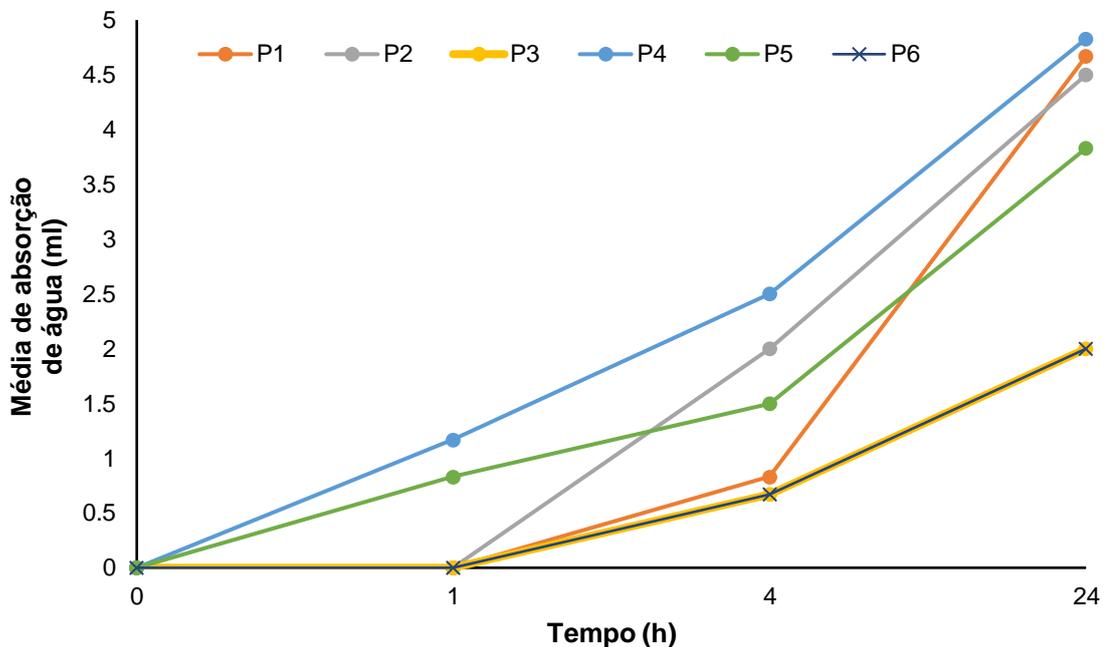
Quando se realiza a comparação entre as placas P3 e P6, as quais foram revestidas com sistema de pintura com padrão externo, ambas apresentaram os mesmos valores de absorção de água e coeficiente de absorção, independente de uma ser com aditivo impermeabilizante e outra não. Isso sugere que a pintura externa foi altamente eficaz na redução da permeabilidade, independentemente da presença do aditivo, indicando que o revestimento externo foi o fator determinante na resistência à penetração da água.

Mendes *et al.* (2017) percebeu em seu estudo, que a tinta acrílica de uso externo reduziu a permeabilidade dos seus corpos de prova em até 90 % em relação ao revestimento sem tinta. Neste caso, revestimentos a base de cimento e cal.

Pedry (2020) e Barbosa (2021), que estudaram a influência dos tipos de tintas em revestimentos de argamassa quanto ao processo de carbonatação, observaram efeitos parecidos. O primeiro constatou em um período de 190 dias, que a tinta acrílica de acabamento semibrilho reduziu em 78 % o avanço da carbonatação em comparação ao revestimento sem tinta e, que a tinta acrílica com acabamento fosco, reduziu o avanço em 70 %. Já Barbosa (2021), observou uma redução de até 3,6 vezes para argamassas com pintura acrílica semibrilho, e de até 2,5 vezes para argamassas com proteção acrílica de acabamento fosco. Isso demonstra, que as tintas influenciaram positivamente na estrutura porosa dos revestimentos, tanto superficialmente quanto internamente e, que as tintas acrílicas de acabamento semibrilho tem maior eficiência que as tintas de acabamento fosca, como observado na presente pesquisa.

De acordo com Isaia (2017) o fator que traz influencia na composição e textura das tintas e conseqüentemente, na sua permeabilidade, são os seus pigmentos. A quantidade de pigmentos é caracterizada pela fração volumétrica do pigmento, denominada de PVC. Quanto maior a porcentagem de PVC, mais a tinta será porosa e permeável. As tintas acrílicas semibrilho, possuem valor de PVC entre 15 % a 30 %, e as tintas acrílicas foscas, possuem valor de PVC entre 35 % a 45 %.

O gráfico apresentado na figura 4.6, ilustra a média da quantidade de água absorvida ao longo do tempo (até 24 horas) para as seis diferentes placas, evidenciando variações na capacidade de absorção entre os materiais analisados



**Figura 4.6: Gráfico das médias de absorção de água pelas placas até 24 horas**

Observando o gráfico, nota-se que todas as amostras apresentam um aumento progressivo na absorção de água em relação ao tempo que foi coletado as informações, demonstrando um comportamento esperado para materiais com capacidade de retenção hídrica, como é o caso de placas cimentícias. Entretanto, observa-se variação na taxa de absorção, o que denota as diferenças estruturais ou de composição, oriundas pela presença ou não de aditivo impermeabilizante das argamassas e, pelo padrão do sistema de pintura.

A placa P4 se destaca pela maior absorção ao longo de todas as faixas temporais do gráfico. Já os gráficos das placas P6 e P3, destacam-se por

apresentarem a mesma taxa de absorção ao longo do tempo e, por atingirem valores inferiores quando comparados as demais placas, até mesmo em maiores períodos de análise. Em contrapartida, as placas P1, P2 e P5 apresentam um crescimento mais expressivo na absorção, no período de 4 a 24 horas, comparado as demais.

Comparando esses resultados com os observados nos trabalhos de Aleixo (2018) e de Almeida *et al.* (2023), que também realizaram o ensaio de permeabilidade em revestimentos de argamassa pelo método do tubo Karsten, estes obtiveram leituras de absorção de água consideráveis antes dos 60 primeiros minutos de ensaio (até acima de 2,5 ml). Já no estudo de Alves *et al.* (2023), que analisou a influência de aditivos em painéis de concreto, também só obteve medições consideráveis a partir de 60 minutos.

Bertoline (2010) disserta, que além da interconexão dos poros presente na estrutura do material, a abertura dos poros na superfície externa também influencia em sua permeabilidade. Quando se tem poros grandes na superfície, as interações entre o líquido e o material geram uma depressão que atrai a água para o interior do próprio poro, caracterizado por forças de interação maiores e por ângulos gota/superfície mais agudos. O contrário acontece com materiais de menor rugosidade em sua superfície, há a formação de poros menores e a força de interação entre a água e a superfície, também são menores.

Almeida *et al.* (2023) realizou esta análise em seu trabalho, e observou que a angulação da gota tem certa variabilidade à medida que se muda a região de aplicação. Possivelmente, isto ocorre pela falta de uniformidade, bem como pela rugosidade e porosidade da superfície das amostras. Os autores perceberam forças de interação, entre gota de água e superfície, com intensidades próximas, tanto em suas amostras referências quanto nas amostras com aditivo misturado no material. Observaram, também, forças de interação (gota de água/superfície) menores em amostras quando o aditivo foi aplicado apenas na superfície com a argamassa já endurecida.

Característica essa também, observada nos trabalhos de Gava, Gasques e Rigo (2018), de Aleixo (2018) e de Alves *et al.* (2023). Todos eles observaram maior capacidade impermeável em amostras na qual o aditivo foi aplicado superficialmente, comparado as amostras que o aditivo foi aplicado na mistura do compósito.

Nesta pesquisa, também foi observado esse efeito, em que houve maior eficiência quanto a impermeabilidade das placas com o sistema de impermeabilização aplicado superficialmente, pelos sistemas de pintura interna e externa. Outrossim, o sistema de impermeabilização aplicado na mistura da argamassa (aditivo impermeabilizante hidrofugante) não gerou influência significativa na eficiência quanto a impermeabilidade a água das placas.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho, demonstraram que os sistemas de proteção impermeabilizantes avaliados, provocaram diferentes efeitos na permeabilidade de água em placas cimentícias com EPS. Observou-se que o aditivo impermeabilizante hidrofugante, obteve influência no aspecto físico das argamassas e das placas e, que os sistemas de pintura têm um papel preponderante na capacidade de impermeabilização das placas.

Em relação a atuação do aditivo impermeabilizante na argamassa no estado endurecido, os resultados indicaram que sua utilização melhorou a resistência à compressão, mas também aumentou sua absorção de água, o que é um tanto quanto contraditório, haja vista que este último aspecto indica aumento no número de poros no compósito cimentício. Em relação a resistência à tração na flexão, sua influência foi limitada, sugerindo que outros fatores estruturais podem ter um papel predominante nessa propriedade. Assim, a escolha pelo uso do aditivo deve considerar o equilíbrio entre resistência mecânica e durabilidade frente à absorção de água, dependendo das condições de exposição da argamassa.

A adição do aditivo, no aspecto físico das placas, não teve impacto significativo em todos os parâmetros analisados, mantendo um equilíbrio nos parâmetros de densidade aparente e de resistência à tração na flexão. Entretanto, observou-se uma leve piora na absorção de água e o módulo de elasticidade das placas. Estes resultados indicam que o impermeabilizante pode ter incorporado ar na mistura da argamassa, aumento assim o número de poros no material, refletindo na maior absorção de água e na diminuição de sua rigidez.

Sobre a influência dos sistemas de pintura na permeabilidade das placas, conclui-se que o sistema de padrão externo, possui maior eficiência impermeável que o padrão interno. No sistema de pintura de padrão externo, obteve-se menores índices de absorção de água e coeficiente de permeabilidade, o que indica que este é mais indicado para aplicações em ambientes expostos à umidade, pois têm maior resistência à penetração de água e conseqüente maior resistência à degradação.

Observou-se também, que o ensaio de permeabilidade com a técnica do tubo Karsten mostrou alta variabilidade nos resultados, comparado à técnica da caixa de vidro expressa na norma NBR 15498 (ABNT, 2021b). O que demonstra que esta

técnica é mais sensível à variabilidade dos materiais empregados, aos agentes ambientais envolvidos e a instrumentalização realizada. Entretanto, quando se pretende analisar apenas se a placa é permeável ou não, sem dar atenção à variabilidade envolta dos materiais que se pretendem analisar, o ensaio de acordo com a norma técnica, se aplica.

Estudos adicionais podem ser conduzidos para compreender melhor os mecanismos envolvidos nas alterações de densidade das argamassas, quando se inclui o aditivo impermeabilizante, realizando-se análises microestruturais e testes de durabilidade a longo prazo. Outrossim, pode-se realizar comparações com um maior número de tipos de aditivos impermeabilizantes, incluindo os que são aplicados superficialmente, além de variados tipos de tintas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química: Comissão Setorial de EPS. O que é EPS. Disponível em: <https://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>. Acesso em: 19 de set de 2023.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15630: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: **Grãos que passam na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16541: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro, 2016b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos – Classificação**, Rio de Janeiro, 2018.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11702:2021 **Tintas para construção civil - Tintas, vernizes, texturas e complementos para edificações não industriais - Classificação e requisitos**. Rio de Janeiro, 2021a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15498: **Chapas cimentícias reforçadas com fios, fibras, filamentos ou telas — Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2021b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: **Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE**. 5 ed. Rio de Janeiro, 2021c.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916:2021 **Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021d.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16972:2021 **Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. Rio de Janeiro, 2021e.

ACEPE - Associação Industrial do Poliestireno Expandido. Propriedades e Qualidades. Disponível em: <https://acepe.pt/> Acesso em: 19 de set de 2023.

ALEIXO, I. V. **Avaliação da influência de diferentes aditivos hidrofugantes nas propriedades das argamassas de revestimentos de paredes**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/13974>. Acesso em: 12 dez 2024.

ALMEIDA, B. L.; MELO, B. S. C.; ALEIXO, A. F. N. P.; FARIAS, L. DE S.; PAES, I. N. L. Impermeabilidade de argamassas de revestimento com hidrofugantes adicionados à mistura e como proteção superficial. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, v. 14, 2023. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbta/article/view/4797>. Acesso em: 10 dez 2024.

ALVES, F. E. Z., GURKEWICZ, R. P., ZANCAN, E. C., NIEVES, L. J. J., & ANTUNES, E. G. P. (2023). Study of waterproofed concrete panels with silicate-based permeability reducing admixtures. **Revista ALCONPAT**, 13(2), 175-191. Disponível em: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i2.643>. Acesso em: 10 dez 2024.

APPS, C. A. C. P. Avaliação da variabilidade da técnica de ensaio do tubo de Karsten na medição da permeabilidade à água líquida em revestimentos de ladrilhos cerâmicos e argamassas. **Instituto Superior Técnico, Lisboa**, v. 108, 2011. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/mec/dissertacao/2353642368244>. Acesso em: 21 jan. 2025.

BARBOSA, M. C. et al. **Efeito da proteção superficial (pintura imobiliária) na difusão e captura de CO<sub>2</sub> em argamassas de revestimento**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/30258>. Acesso em: 23 nov 2023.

BATTAGIN, A. F.; BATTAGIN, I. L. da S. Cimento Portland. Argamassas. In: ISAIA, GERALDO C. (org.). **Materiais de construção civil e Princípios de Ciência dos Materiais**. 3° ed. ed. p. 761–792. São Paulo, IBRACON, 2017. Disponível em: [https://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/Revista\\_Concreto\\_73.pdf](https://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_73.pdf). Acesso em: 20 abr. 2024

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. Vol. 2, 6º ed. Editora Livros Técnicos e Científicos. São Paulo, 2019.

BECKER, P. F. B. **Desempenho mecânico e termoacústico de argamassas isolantes para revestimento de edificações'** 13/12/2020 123 f. Mestrado em ENGENHARIA CIVIL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, Joinville Biblioteca Depositária: Biblioteca Universitária da UDESC. Disponível em:  
[https://www.udesc.br/arquivos/cct/id\\_cpmenu/706/2020\\_12\\_14\\_Patricia\\_Fernanda\\_Bergmann\\_Becker\\_16172002604327\\_706.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/706/2020_12_14_Patricia_Fernanda_Bergmann_Becker_16172002604327_706.pdf). Acesso em: 18 mar 2025.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, v. 2, 2010.

BRASILIT - Saint-Gobain. Placa cimentícia. Disponível em:  
<https://www.brasilit.com.br/node/17>. Acesso em: 20 abr. 2024.

CARVALHO, C. H. R. **Estudo de concreto com poliestireno expandido reciclado**. 2017. Disponível em <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21050>. Acesso em: 18 mar 2025.

CASSAR, B. C. **Análise Comparativa De Sistemas Construtivos Para Empreendimentos Habitacionais: Alvenaria Convencional X Light Steel Frame**. 2018. - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

CATOIA, T. **Concreto ultraleve® estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.18.2012.tde-19122012-104222>. Acesso em: 25 mar. 2024.

DA SILVA, J. A.; SANTOS, V. D. O.; VIANA, D. F.; ARAÚJO, R. S. Concreto reciclado: a importância de inserção de práticas sustentáveis para reduzir os impactos ambientais e econômicos da construção civil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 17, p. e230111739180-e230111739180, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39180>. Acesso em: 15 jan. 2025.

DA SILVA, M. W. M. **Placas cimentícias produzidas com a incorporação de pérolas de poliestireno expandido (EPS)**. 2020. Disponível em:  
<https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/13522>. Acesso em: 19 de set de 2023.

DOS SANTOS, L. A.; DA SILVA, J. S. Análise mecânica de placa cimentícia com adição de resíduos de borracha. **REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA**, v. 11, n. 4, 2019. Disponível em:  
<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/14213>. Acesso em: 04 jan. 2025.

FARIAS, S. M. DE. **Argamassa para revestimento com adição de resíduos de EPS'** 23/05/2021 100 f. Mestrado em ENGENHARIA CIVIL Instituição de Ensino: ATITUS EDUCAÇÃO S.A, Passo Fundo Biblioteca Depositária:

<https://www.imed.edu.br/sobre-a-biblioteca-1/biblioteca-online/repositorio-digital-pgtec>. Acesso em 18 mar 2025.

FORTUNATO, L. R.; PARSEKIAN, G. A.; JUNIOR, A. N. CO<sub>2</sub> capture of concrete units for pavement through accelerated carbonation cure. **International Journal of Masonry Research and Innovation**, v. 7, n. 3, p. 233-265, 2022.

FREITAS, V. P. et al. Discussing the durability assessment of cement mortars-A contribution for a prediction model. In: **11th International Conference on Durability of Building Materials and Components**, 11DBMC. 2008.. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/91173>. Acesso em: 21 jan. 2025.

GAVA, G. P.; GASQUES, E. G. F.; RIGO, E. Avaliação da influência de aditivos hidrofugantes/impermeabilizantes nas propriedades das argamassas. **Ciência, Inovação e Tecnologia**, p. 52, 2016. Disponível em: <https://goo.su/uyCo>. Acesso em: 10 dez. 2024.

HERRMANN, T. D., MOHAMAD, G., LIMA, R. C. A. D., SANTOS NETO, A. B. D. S., & LÜBECK, A. (2019). Estudo de caso do desempenho de estanqueidade à água de argamassas e hidrorrepelentes-Parte I. **Matéria (Rio de Janeiro)**, 24, e12516. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190004.0841>. Acesso em: 28 nov. 2024.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3<sup>o</sup>ed. V. 2. São Paulo, IBRACON, 2017.

ISORECORT. Pérolas em EPS. Disponível em: <https://www.isorecort.com.br/perolas/> Acesso em: 19 de set de 2023.

JANTSCH, A. C. A.; MOHAMAD, G.; SCHMIDT, R. P. B.; ANTONIAZZI, J. P.; LÜBECK, A. **Avaliação do comportamento de revestimentos em argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 81-99, jan./mar. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100495>. Acesso em: 02 jan 2025.

JUNIOR, G. B. **Placa cimentícia com resíduos de poliestireno expandido (EPS): estudo das propriedades físicas e mecânicas'** 28/03/2019 94 f. Mestrado em ENGENHARIA CIVIL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, Vitória Biblioteca Depositária. Disponível em: <http://www.biblioteca.ufes.br/>. Acesso em: 18 mar 2025.

LEAO, L.S. **Influência do tipo de EPS e método de mistura nas propriedades de argamassas de revestimento'** 19/09/2021 undefined f. Mestrado em ENGENHARIA CIVIL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, Uberlândia Biblioteca Depositária. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/33538/1/InfluenciatipoEPS.pdf>. Acesso em: 18 mar 2025.

LIMA, L. M. S.; DOURADO, J. N. S.; GOMES, S. A.; SOUSA, L. H. S.; MELO JUNIOR, J. C. Implementação do EPS em estrutura de concreto. In: **VII Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia**, 2019. Anais. Manaus, AM.

LNEC, revestimento de paredes. Ensaio de absorção de água sob baixa pressão. Lisboa. Laboratório nacional de engenharia civil. 2002

MAGALHÃES, A.; VEIGA, M. R.; PINA DOS SANTOS, C. Metodologia de diagnóstico de anomalias devidas à humidade em paredes antigas. 2008. Disponível em: <https://repositorio.lnec.pt/jspui/handle/123456789/13243>. Acesso em: 21 jan. 2025.

MAIA, L. C. **Comparativo da eficiência do método de aplicação de impermeabilizante em quartzito no processo de beneficiamento de rocha ornamental**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/2975>. Acesso em: 15 jan. 2025.

MALAGRINO, T. R. S. **Polímeros: uma visão geral da síntese à caracterização**. Livro Eletrônico. 2020.

MARCONATO, F. A. **Análise do comportamento de argamassa com incorporação de poliestireno expandido**. TCC. Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Joinville. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/237822>. Acesso em: 02 mar. 2024.

MAAROUI, M.; ABAHRI, K.; HACHEM, C. EL; BELARBI, R. Characterization of EPS lightweight concrete microstructure by X-ray tomography with consideration of thermal variations. **Construction and Building Materials**, v. 178, p. 339–348, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.142>. Acesso em: 20 fev 2024.

MAZONI, E. M. **Caracterização física e mecânica de concreto leve com EPS reciclado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2019. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7383>. Acesso em: 01 abr 2024.

MENDES, N. **Modelos para Previsão da Transferência de Calor e de Umidade em Elementos Porosos de Edificações**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. Disponível em: [https://labeeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE\\_Nathan\\_Mendes.pdf](https://labeeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Nathan_Mendes.pdf). Acesso em: 21 dez 2024.

MENDES, T. S. G., LAUAR, M. T., MENDES, B. C., LOPES, M. M. S., ISHIHARA, M. K., & FASSONI, D. P. **Comparativo de permeabilidade entre tintas acrílica e à base de solo em argamassa de cal**. Anais, 72º Congresso Anual da ABM. ISSN 2594-5327 vol. 72, num. 1. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://abrir.me/AboWj>. Acesso em: 21 dez 2024.

MOTTA, L. M., ANTUNES, E. G. P., ROMAN, H. R., & VITALI, L. L. (2019). Análise do módulo de elasticidade e permeabilidade de argamassas de rejuntamento para uso em ambientes internos úmidos. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil Unesc-CIVILTEC**, 2(1), 55-59. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18616/civiltec.v2i1.5341>. Acesso em: 04 jan. 2025.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª Edição. Bookman Editora, 2016

OSVALDO, Hibrán; BERTOLINI, Lima. Construção via obras secas como fator de produtividade e qualidade. Hibrán Osvaldo Lima Bertolini. 2013.

OZÓRIO, B. P. M. **Concreto leve com pérolas de EPS: estudo de dosagens e de características mecânicas**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEDRY, G. R. et al. **Avaliação do Efeito da Proteção Superficial (Pintura) na Captura de CO<sub>2</sub> devido à Carbonatação de Argamassas de Revestimento**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/items/331ced7a-9745-499f-bc58-48608f6f5c57>. Acesso em: 03 dez. 2023.

PEREIRA, V. K.N. **Estudo de caso do desempenho e das patologias da argamassa industrializada com aplicação projetada**. 2023. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/37128>. Acesso em: 21 dez. 2024.

PIRES, C. L. et al. **Utilização de resíduos de EPS em argamassa para chapisco com substituição parcial do agregado miúdo**. 2023. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/tede/4740/4/DS%20-%20Ciro%20Leite%20Pires.pdf>. Acesso em: 19 de set de 2023

PRADO, R. et al. O CONCRETO LEVE PRODUZIDO COMO ADIÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS): UMA REVISÃO DA LITERATURA. In: **Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais**. 2020. Disponível em: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/142/118>. Acesso em: 19 de set de 2023.

QUARTZOLIT. Ficha de informações de segurança de produtos Químicos, Tecplus 1. 2022. Disponível em: [https://www.quartzolit.weber/files/br/2023-02/FISPQ\\_tecplus\\_1\\_qtz\\_jan.2023.pdf](https://www.quartzolit.weber/files/br/2023-02/FISPQ_tecplus_1_qtz_jan.2023.pdf). Acesso em: 21 dez 2024.

RANJBAR, M. M.; MOUSAVI, S. Y. Strength and durability assessment of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, v. 48, n. 4, p. 1001–1011, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0210-6>. Acesso em: 23 nov 2023

RAMLI SULONG, N. H.; MUSTAPA, S. A. S.; ABDUL RASHID, M. K.. Application of expanded polystyrene (EPS) in buildings and 93 constructions: A review. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 20, p. 1–11, 2019 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/app.47529>. Acesso em: 20 dez. 2024.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. DA S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 4ª edição, Editora UFMG, Minas Gerais. 2013.

RYSDYK, A. D. R. **Avaliação da permeabilidade ao vapor de água em argamassas produzidas com aditivo cristalizante**. Trabalho TCC, Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Feevale, 2021.

SALOMÃO, M. C. de F. **Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água**. 2016. [247] f., il. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26512/2016.12.T.22750>. Acesso em: 12 dez 2024

SANTOS, B. B. DOS. **O uso do poliestireno expandido (EPS) na construção civil**. Trabalho de TCC na Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/44059>. Acesso em: 21 jan. 2025.

SILVA, S. F. M. DA; MEIRA, S. A.; PESSÔA, J. R. DE C.; ASSIS, J. T. **Influência da estrutura dos poros na resistência à compressão de argamassas com incorporação de EPS**. XII ECTM – Encontro de Ciências e Tecnologia de Materiais. UFU, 2021.

SILVA, M. W. M. da; CORDEIRO, L. de N. P. Potencial uso de pérolas de EPS em argamassas para a produção de placas cimentícias. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 27, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/GTcr7fGHFv9d3fdbz8KWZdJ/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 19 de set de 2023.

SNIC – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO, 2024. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminaresver.php?id=92#:~:text=Com%20esse%20resultado%2C%20o%20setor,2%2C8%25%20em%202022>. Acesso em: 20 abr. 2024.

SPINI, G. P. et al. **Efeito do método de mistura nas propriedades de argamassas com poliestireno expandido**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/32299/1/EfeitoM%c3%a9todoMistura.pdf>. Acesso em: 19 de set de 2023.

Weber, Saint-Gobain. Catálogo técnico: Aditivo plastificante quartzolit. 2019a. Disponível em: [https://www.quartzolit.weber/files/br/2017-11/aditivo\\_plastificante\\_quartzolit.pdf](https://www.quartzolit.weber/files/br/2017-11/aditivo_plastificante_quartzolit.pdf). Acesso em: 23 nov 2023.

Weber, Saint-Gobain. Catálogo técnico: Tecplus 1 quartzolit. 2019b. Disponível em: [https://www.quartzolit.weber/files/br/2018-01/tecplus\\_1\\_quartzolit.pdf](https://www.quartzolit.weber/files/br/2018-01/tecplus_1_quartzolit.pdf). Acesso em: 23 nov 2023.

**ANEXOS****ANEXO A – FICHA TÉCNICA ADITIVO PLASTIFICANTE QUARTZOLIT****ANEXO B – FICHA TÉCNICA ADITIVO IMPERMEABILIZANTE TECPLUS 1  
QUARTZOLIT**

**ANEXO A – FICHA TÉCNICA ADITIVO PLASTIFICANTE QUARTZOLIT**





**ANEXO B - FICHA TÉCNICA ADITIVO IMPERMEABILIZANTE TECPLUS 1  
QUARTZOLIT**