

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANGÉLICA CRISTINA SCHERER KLAUCK

**INFLUÊNCIA DOS POLÍMEROS SUPERABSORVENTES NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS**

TOLEDO

2025

ANGÉLICA CRISTINA SCHERER KLAUCK

**INFLUÊNCIA DOS POLÍMEROS SUPERABSORVENTES NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS**

**Influence of superabsorbent polymers on the physical and mechanical
properties of mortars**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Dr. Thiago Alex Hemkemeier.

TOLEDO

2025



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ANGÉLICA CRISTINA SCHERER KLAUCK

**INFLUÊNCIA DOS POLÍMEROS SUPERABSORVENTES NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 14/novembro/2025

Thiago Alex Hemkemeier (Orientador)
Doutor em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo

Alana Dias de Oliveira
Doutora em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo

Narayana Saniele Massocco
Doutora em Geotecnia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo

TOLEDO

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), por fornecer a infraestrutura de pesquisa e ensino. Também, agradeço a todos os professores que me acompanharam nesta jornada acadêmica e contribuíram para a minha trajetória profissional. Ao meu orientador, Prof. Dr. Thiago Alex Hemkemeier, expresse meus agradecimentos por todo o conhecimento compartilhado, pela paciência e assistência em todas as etapas deste trabalho.

Minha profunda gratidão é dedicada aos meus pais, Celso Klauck e Marcia Elena Scherer, que me apoiaram em todos os momentos da graduação, o amor e os valores que me ensinaram foram fundamentais para que eu atingisse meus objetivos. Um agradecimento especial ao meu irmão, Celso Klauck Junior, pelo incentivo constante e auxílio prático nos ensaios laboratoriais e durante os momentos de maior desafio. Às minhas amigas, Isabella Schmitt e Amanda Meurer, à minha colega de trabalho, Eduarda Danner, e especialmente ao meu namorado, Victor Gomes, obrigada por compartilharem os desafios e conquistas. Minha gratidão se estende a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para o meu crescimento no decorrer da graduação. Por fim, agradeço a Deus pela sabedoria, força e resiliência ao longo desses anos.

RESUMO

A busca por melhorias na durabilidade de materiais cimentícios, utilizados na construção civil, tem motivado a utilização de polímeros superabsorventes (PSA) como alternativa para minimizar determinados problemas. Os PSA são materiais capazes de captar e armazenar grandes quantidades de água, atuando como agentes de cura interna e auxiliando nas reações de hidratação do cimento. O estudo foi conduzido a partir dos ensaios de índice de consistência, absorção por capilaridade e por imersão, densidade, índice de vazios e resistência à tração na flexão e à compressão. Foram moldados 27 corpos de prova no total, sendo utilizado 3 traços de argamassa diferentes, os corpos de prova foram analisados aos 28 dias de cura. A metodologia deste trabalho foi do tipo experimental em laboratório, sendo a abordagem da pesquisa quantitativa, em que os dados colhidos por meio de ensaios foram comparados estatisticamente. O estudo constatou que o uso de PSA em argamassas contribuiu com o aumento da porosidade nas idades iniciais, o que pode ser atribuído à água adicional necessária para manutenção da trabalhabilidade das misturas. A presença do PSA B proporcionou um acréscimo de 25,68% de absorção de água e aumento do índice de vazios em 19,26 % em relação ao traço referência (REF). Assim, o que corroborou com esses resultados foi a resistência à compressão reduzida em 7,94%. Por outro lado, tanto a absorção por capilaridade, como as propriedades de densidade não apresentaram diferença significativa com a presença de PSA nos traços. Dessa forma, sugere-se que a adição de PSA pode influenciar as propriedades físicas e mecânicas das argamassas nas idades iniciais (até 28 dias). No entanto, recomendam-se estudos em idades avançadas para averiguar se ocorre a colmatação dos poros e, conseqüentemente, o ganho de resistência.

Palavras-chave: polímeros superabsorventes (PSA); argamassa; permeabilidade; construção civil.

ABSTRACT

The search for improvements in the durability of cementitious materials used in civil construction has motivated the use of superabsorbent polymers (SAPs) as an alternative to minimize certain problems. SAPs are materials capable of capturing and storing large amounts of water, acting as internal curing agents and assisting in the hydration reactions of cement. The methodology of this work was experimental in the laboratory, with a quantitative research approach, in which the data collected through tests were statistically compared. The study was conducted using tests for consistency index, capillary and immersion absorption, density, void index, and flexural and compressive strength. A total of 27 specimens were molded, using 3 different mortar mixes, and the specimens were analyzed at 28 days of curing. The study found that the use of SAPs in mortars contributed to an increase in porosity at early ages, which can be attributed to the additional water needed to maintain the workability of the mixtures. The presence of SAP B provided a 25.68% increase in water absorption and a 19.26% increase in the void index compared to the reference mix (REF). This corroborated the reduced compressive strength by 7.94%. On the other hand, neither capillary absorption nor density properties showed a significant difference with the presence of SAPs in the mixes. Therefore, it is suggested that the addition of SAPs can influence the physical and mechanical properties of mortars at early ages (up to 28 days). However, studies at later ages are recommended to ascertain whether pore clogging occurs and, consequently, a gain in strength.

Keywords: superabsorbent polymers (SAP); mortar; permeability; civil construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração do modo de atuação do PSA após o contato com a água	17
Figura 2 – Processo de formação do hidrogel: (a) PSA seco e (b) expansão do PSA após a hidratação	18
Figura 3 – Etapas do programa experimental.....	23
Figura 4 – (a) Molde preenchido com a primeira camada de argamassa na mesa de adensamento, (b) corpos de prova imediatamente após o preenchimento do molde e (c) corpos de prova em ambiente laboratorial para cura	26
Figura 5 – (a) Peneiras utilizadas no ensaio e (b) peneiras durante o ensaio no agitador mecânico.....	27
Figura 6 – (a) Ensaio de consistência realizado na mesa manual antes e (b) após o espalhamento.....	28
Figura 7 – Ensaio de absorção por capilaridade em desenvolvimento.....	29
Figura 8 – Corpos de prova: (a) na estufa para secagem, (b) imersos em água, (c) em fervura, (d) esfriando e (e) e na balança hidrostática para aferição da massa	30
Figura 9 – Corpo de prova na presa hidráulica para o ensaio de tração na flexão	31
Figura 10 – Corpo de prova na prensa hidráulica para o ensaio de compressão	32
Figura 11 – Corpos de prova após o rompimento por tração na flexão: (a) traço REF, (b) traço PSA A, (c) traço PSA B	38
Figura 12 – Corpos de prova após o rompimento por compressão: (a) traço REF, (b) traço PSA A, (c) traço PSA B	40
Gráfico 1 – Distribuição granulométrica da areia	27
Gráfico 2 – Médias dos resultados de absorção de água por capilaridade	33
Gráfico 3 – Médias dos resultados de absorção de água por imersão e índice de vazios	35
Gráfico 4 – Médias dos resultados de resistência à tração na flexão	37
Gráfico 5 – Médias dos resultados de resistência à compressão	39
Gráfico 6 – Médias dos resultados de densidade de massa aparente	41
Quadro 1 - Resumo de estudos que analisaram o uso de PSA em concretos e argamassas.....	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos PSA fornecidas pelo fabricante	24
Tabela 2 – Materiais utilizados na preparação das argamassas	25
Tabela 3 – Características físicas da areia.....	27
Tabela 4 – Resumo dos dados da ANOVA para a absorção por capilaridade ..	34
Tabela 5 – Massas específica seca, saturada e real.....	36
Tabela 8 – Médias e desvios padrões de resistência à tração na flexão.....	37
Tabela 7 – Médias e desvios padrões de resistência à compressão	39
Tabela 8 – Densidade de massa aparente.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Relação água/cimento
ANOVA	Análises de variância
BASF	<i>Baden Aniline and Soda Factory</i>
CH	Cal Hidratada
CP V ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
GC	Gesso Comercial
GR	Gesso Reciclado
MK	Metacaulim
NBR	Normas Brasileiras
PET	Politereftalato de etileno
PSA	Polímeros Superabsorventes
REF	Referência
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Justificativa	14
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Objetivo geral	14
1.3.2	Objetivos específicos	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Argamassa na Construção Civil	16
2.1.1	Composição das argamassas	16
2.1.2	Propriedades das argamassas	16
2.2	Polímeros superabsorventes na Construção Civil	17
2.3	Permeabilidade e propriedades relacionadas	20
2.4	Ensaio nas argamassas	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1	Materiais	24
3.1.1	Cimento Portland	24
3.1.2	Agregado miúdo	24
3.1.3	Polímeros Superabsorventes	24
3.2	Preparação dos corpos de prova	24
3.3	Testes preliminares	26
3.3.1	Caracterização dos agregados	26
3.3.2	Índice de consistência	28
3.4	Ensaio de absorção	29
3.4.1	Ensaio de absorção por capilaridade	29
3.4.2	Ensaio de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica	29
3.5	Ensaio de resistência mecânica	30
3.5.1	Ensaio de resistência à tração na flexão	31
3.5.2	Ensaio de resistência a compressão	31
3.6	Ensaio da densidade de massa aparente	32
3.7	Análise estatística	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Absorção de água por capilaridade	33

4.2	Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica	34
4.3	Resistência à tração na flexão	36
4.4	Resistência à compressão	38
4.5	Densidade de massa aparente	40
5	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

As argamassas são materiais utilizados em diversos âmbitos da construção civil, responsável por exemplo, pelo assentamento de alvenaria, revestimentos, regularização e reparos. O desempenho desses materiais depende de diversos fatores, como a composição e condições de cura, sendo exigido ao longo do tempo que mantenham suas propriedades adequadas e apresentem durabilidade e resistência (Oliveira; Gonçalves, 2022).

Diversos estudos e tecnologias desenvolvidas buscam maior durabilidade e melhoria das propriedades de compósitos cimentícios. Um dos problemas enfrentados na construção civil são as fissuras provenientes da retração desses materiais. Nesse contexto, a utilização de polímeros superabsorventes (PSA) possibilita o melhoramento das características das argamassas no que diz respeito aos efeitos de retração (Klemm; Sikora, 2012).

Os PSA são partículas finas com estruturas reticuladas de polímeros hidrofílicos capazes de absorver e reter grande quantidade de água, formando hidrogéis. Ao entrarem em contato com líquidos no processo de mistura de compósitos cimentícios, esses materiais absorvem parte da água presente no meio, resultando na formação de um gel. Assim, os PSA desempenham a função de agentes de cura interna, uma vez que liberam a água lentamente para contribuir com as reações de hidratação das argamassas ou concretos. Com isso, a água retida pelo PSA pode contribuir com a redução dos efeitos de retração da matriz cimentícia, como a incidência de fissuras no estado endurecido das argamassas (Klemm; Do Couto Rosa Almeida, 2016; Klemm; Sikora, 2012).

No entanto, para utilizar PSA em argamassas, diversos autores recomendam a utilização de água adicional ao traço, visto que esse material possui alta capacidade de absorção, o que pode comprometer a trabalhabilidade da mistura. Além disso, o aumento da relação água/cimento (a/c) por conta da água adicional necessária para atuação do PSA pode afetar negativamente as propriedades mecânicas das argamassas produzidas, devido aos vazios remanescentes após as reações de hidratação do cimento (Klemm; Do Couto Rosa Almeida, 2016; Klemm; Sikora, 2012). Tendo em vista que a alta permeabilidade pode afetar a vida útil de compósitos cimentícios, pois favorecem o ingresso de agentes agressivos transportados pelos

poros interconectados, o intuito deste estudo é avaliar as propriedades de absorção por imersão e por capilaridade de argamassas produzidas com a incorporação de PSA (Hemkemeier et al., 2023).

1.2 Justificativa

O controle de permeabilidade de argamassas é essencial para garantir a durabilidade das estruturas, visto que esses materiais devem ser capazes de resistir a agentes agressivos que podem acelerar os processos de degradação. A permeabilidade de compósitos cimentícios está ligada à porosidade, que por sua vez, sofre influência pela quantidade de água de amassamento utilizada nas misturas (Jensen; Hansen, 2001).

Os PSA atuam como agentes de cura interna, pois absorvem parte da água da mistura e a libera gradativamente no processo de hidratação do cimento. Dessa forma, essa liberação gradual reduz problemas de fissuração em decorrência da retração (Klemm; Sikora, 2012; Lee; Wong; Buenfeld, 2016). No entanto, apesar destes benefícios, sua eficiência depende da quantidade de água adicional utilizada nas misturas (Jensen; Hansen, 2001).

Com isso, este estudo justifica-se pela necessidade em avaliar a influência dos polímeros superabsorventes no que diz respeito a capacidade de resistir à esforços mecânicos e de absorção por imersão e por capilaridade de argamassas, propriedades influenciadas pela quantidade de água presente nas misturas (Klemm; Sikora, 2012; Lee; Wong; Buenfeld, 2016).

1.3 Objetivos

Os objetivos geral e específico que conduziram o desenvolvimento deste trabalho estão descritos abaixo.

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é avaliar a influência dos polímeros superabsorventes (PSA) nas propriedades mecânicas e de permeabilidade das argamassas em comparação às convencionais.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Determinar a absorção por capilaridade e por imersão das argamassas com PSA;
- Avaliar o índice de vazios e a densidade das misturas;
- Analisar a influência dos PSA na resistência à tração na flexão e à compressão de argamassas;
- Verificar se os polímeros superabsorventes impactam na porosidade e retenção de água.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção tem a finalidade de apresentar o referencial teórico com os principais conceitos sobre argamassa e os polímeros na construção civil, além de propriedades relacionadas a permeabilidade e ensaios nas argamassas.

2.1 Argamassa na Construção Civil

2.1.1 Composição das argamassas

A NBR 13529 (ABNT, 2013), define como materiais constituintes das argamassas os aglomerantes cal hidratada e virgem, cimento Portland comum e branco, cimento aluminoso e gesso. Em relação aos agregados, são: miúdo, miúdo reciclado e agregado leve.

No entanto, a mistura da pasta (cimento e areia) com agregados miúdos já caracterizam uma mistura de argamassa. Nesse sentido, o cimento tem a função de reagir com a água e resultar em compostos formados pela hidratação, já a areia é importante para garantir a trabalhabilidade, redução de índice de vazios e economia de cimento (Lisboa; Alves; Melo, 2017).

2.1.2 Propriedades das argamassas

As propriedades que têm maior influência sobre o desempenho das argamassas são a trabalhabilidade, aderência, resistência mecânica, capacidade de absorver deformações, retração e retenção de água (Lisboa; Alves; Melo, 2017).

A trabalhabilidade se refere à quão facilmente as argamassas podem ser manuseadas em condições homogêneas, já a aderência aponta a resistência e qualidade da parte que liga a argamassa e o local em que será aplicada (Lisboa; Alves; Melo, 2017).

A resistência mecânica está relacionada aos esforços de tração, compressão e cisalhamento, e é definida pela quantidade de cimento na mistura; essa propriedade remete à vida útil da argamassa. Nesse contexto, a absorção de deformações depende do módulo de elasticidade da argamassa, que é responsável por prevenir o surgimento de fissuras prejudiciais que comprometam sua durabilidade (Lisboa; Alves; Melo, 2017).

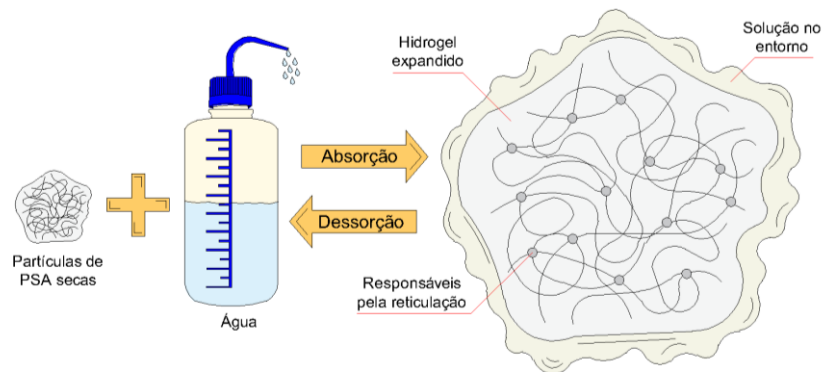
Com relação a retração, ocorre pela diferença de volume da argamassa e é influenciada pela granulometria da areia, que deixa a pasta mais trabalhável. Ainda, a

retenção de água é importante na trabalhabilidade do material, principalmente ao perder água para o meio ou por absorção (Mendonça et al., 2021).

2.2 Polímeros superabsorventes na Construção Civil

Os polímeros superabsorventes (PSA) são materiais constituídos de redes poliméricas que não se dissolvem em água, mas a absorvem e incham, os quais podem ser compostos por copolímeros de ácido acrílico, monômeros como acrilamida ou estireno. Quando entram em contato com solução líquida, suas cadeias poliméricas se hidratam e permitem que os PSA absorvam volumes de água muito maiores que o seu peso e por períodos mais prolongados. Com isso, funcionam como um reservatório de água, atuando como um mecanismo de cura interna (Klemm; Do Couto Rosa Almeida, 2016; Schröfl et al., 2022). Dessa forma, a Figura 1 representa esquematicamente o aumento dos PSA ao serem expostos à água.

Figura 1 – Ilustração do modo de atuação do PSA após o contato com a água



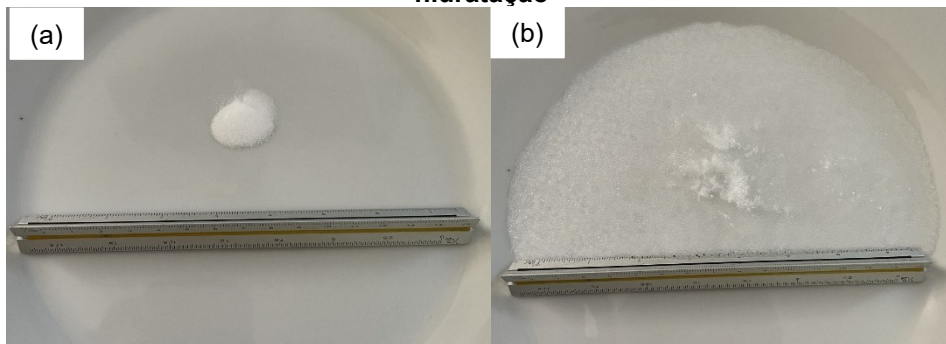
Fonte: Hemkemeier (2024)

Um dos benefícios que o uso de PSA traz aos materiais cimentícios é a redução da retração. Entende-se que a água retida pelos PSA durante o processo de mistura dos compósitos cimentícios é liberada aos poucos, atuando como um agente de cura interna, o que ameniza a autodessecação e conseqüentemente reduz a retração autógena (Klemm; Sikora, 2012).

No entanto, a utilização de PSA influencia diretamente nas propriedades mecânicas, pois ao liberar a água da cura interna, as cavidades que antes continham esse líquido agora são preenchidas por ar. Dessa forma, são formadas zonas vulneráveis e a resistência a flexão pode diminuir (Klemm; Do Couto Rosa Almeida, 2016).

Ainda, a aplicação de PSA deve ser ajustada de acordo com a quantidade de água necessária, pois a argamassa pode sofrer problemas de trabalhabilidade e secagem prematura. Além disso, a dosagem inadequada de água pode levar a perda de coesão, exsudação e até redução da resistência à compressão. Assim, deve-se levar em consideração a capacidade de absorção do polímero e a quantidade corretamente dosada para garantir as propriedades da argamassa (Senff et al., 2015). A Figura 2 ilustra o processo de formação do hidrogel a partir do contato dos PSA com a água. Para efeito de escala, foi utilizado um escalímetro com comprimento de 10 cm como referência visual.

Figura 2 – Processo de formação do hidrogel: (a) PSA seco e (b) expansão do PSA após a hidratação



Fonte: O autor (2025)

Diversos estudos vêm sendo realizados no âmbito da utilização dos PSA em misturas cimentícias a fim de melhorar suas propriedades e desempenho (Hemkemeier, 2024; Klemm; Almeida, 2016; Klemm; Sikora, 2012; Lee; Wong; Buenfeld, 2016; Mechtcherine et al., 2021; Oliveira; Gonçalves, 2022; Schröfl et al., 2022). O Quadro 1 mostra alguns estudos que investigaram a aplicação de PSA em concretos e argamassas. Nele, estão apresentados os títulos dos trabalhos, associados aos respectivos pesquisadores e suas principais conclusões.

Quadro 1 - Resumo de estudos que analisaram o uso de PSA em concretos e argamassas

Estudo	Referência	Síntese dos resultados
<i>The effect of cement type on the performance of mortars modified by superabsorbent polymers</i>	(Klemm; Sikora, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> • O tipo de cimento pode influenciar na retração autógena em argamassas com PSA; • A distribuição de água pode ser alterada pela adição de cinza volante, além de um pequeno aumento na porosidade; • A utilização de PSAs resultou em uma pequena redução da resistência à compressão.
<i>Application of Superabsorbent polymers as novel admixture for cementitious materials</i>	(Klemm; Do Couto Rosa Almeida, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • A adição de PSA em argamassas com escória de alto-forno e cinza volante reduzem a retração autógena; • A resistência a compressão foi inicialmente reduzida, mas essa perda foi compensada pela hidratação da cura interna; • O tipo de SAP e a proporção cimento/areia influenciam a resistência a flexão.
<i>Self-sealing of cracks in concrete using superabsorbent polymers</i>	(Lee; Wong; Buenfeld, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • No selamento de fissuras, os PSAs utilizados em concreto reduziram o fluxo de água em fissuras com até 0,3mm, atingindo até 98% de redução do fluxo; • A resistência mecânica foi conservada com a adição de nitrato de cálcio, que reduziu o inchaço inicial, além de selar fissuras naturais; • Dosagens muito altas de PSA (5 a 13% em massa de cimento) originaram perda de 80 a 87% na resistência a compressão.
<i>Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction — update of RILEM state-of-the-art report</i>	(Mechtcherine et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da retração autógena a partir do uso de PSA, consequentemente, redução de fissuras e consolidação da durabilidade; • As características e composições dos materiais cimentícios utilizados juntamente com os SAP influenciam a resistência a compressão e flexão; • Emprego de PSA podem controlar a autodessecação.

Adição de polímero superabsorvente de poliacrilonitrila na mistura cimentícia com variação de quantidade de água	(Oliveira; Gonçalves, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • As propriedades de resistência não são prejudicadas, desde que o PSA seja inserido na mistura seca de argamassa; • Excesso de água na mistura reduziu a resistência mecânica do material e afetou a qualidade do material.
<i>Recent progress in superabsorbent polymers for concrete</i>	(Schröfl et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • O uso de PSA contribui para a diminuição da retração autógena e plástica; • Aprimoramento da durabilidade do concreto ao congelamento e descongelamento.
Cura interna de compósitos cimentícios ecoeficientes com areia de cinza de bagaço de cana-de-açúcar por meio de polímeros superabsorventes	(Hemkemeier, 2024)	<ul style="list-style-type: none"> • A ação do PSA foi limitada devido à perda de água em ambiente aberto, no entanto, o mais eficiente foi o com menor absorção (redução de 24,78% na retração por secagem); • A areia de cinza do bagaço de cana-de-açúcar com o PSA permitiu uma redução de 28,24% (CP V ARI) e até 119,19% (CP III) na retração autógena; • Redução da resistência a compressão pelo aumento da porosidade ocasionado pela água adicional, contudo os traços alcançaram resistências acima de 35 Mpa igual.

Fonte: O autor (2025)

Com base nos estudos analisados foi possível identificar que a utilização de PSA em compósitos cimentícios é recente. E tendo em vista que esses materiais necessitam de água adicional para sua atuação como redutores de retração, destaca-se a importância de estudos voltados a análise das propriedades relacionadas à permeabilidade.

2.3 Permeabilidade e propriedades relacionadas

A durabilidade de materiais à base de cimento está relacionada à permeabilidade, já que esta é a responsável por determinar a entrada e deslocamento de substâncias no interior dos materiais. Essas substâncias podem ser agentes agressivos, que em contato com a mistura podem prejudicar seu desempenho e vida útil (Pereira et al., 2008).

O índice de vazios é um fator determinante na absorção de água, visto que se trata de poros no material que possuem capacidade de reter água. A absorção de água ocorre quando o elemento entra em contato com ela e penetra nos poros desse material. Essas propriedades influenciam na resistência e durabilidade, dessa forma, quanto menor o índice de vazios menos água irá ser absorvida e maior será a durabilidade do concreto. Portanto, entende-se que o índice de vazios é relevante para a absorção de água e esta afeta diretamente a durabilidade do material, uma vez que interfere no ingresso de agentes agressivos na matriz cimentícia (Mehta; Monteiro, 2014).

Um estudo apresentado por Mendonça et al., (2021) abordou ensaios realizados para analisar a absorção de água por imersão e índice de vazios, com o objetivo de determinar essas propriedades a partir da utilização de Politereftalato de etileno (PET) com concentração de 20% e 30% como agregado miúdo nas argamassas. Os resultados indicaram que a inclusão de PET na mistura foi responsável pelo aumento da absorção de água e do índice de vazios, além de reduzir a massa específica nos estados secos e saturados, sendo esses resultados mais acentuados na substituição com 30% de PET.

O trabalho publicado por Cruz et al., (2019) referiu-se a uma análise de permeabilidade ao ar e absorção de água por capilaridade em argamassas com cal hidratada (CH) e metacaulim (MK), além de gesso comercial (GC) ou gesso reciclado (GR). Verificou-se que a permeabilidade ao ar com a incorporação dos dois tipos de gesso apresentou resultados positivos, que nesse caso era argamassa para revestimentos, e a absorção capilar em argamassas contendo gesso obteve valores superiores em comparação às argamassas com CH e MK.

Uma pesquisa realizada por Malta; Silva; Gonçalves, (2013) teve como objetivo analisar a incorporação de agregado miúdo reciclado em argamassas. Esses agregados foram empregados em concentrações de 25% e 50% em relação ao agregado miúdo natural. Os ensaios realizados foram da mesa de consistência, resistência à compressão axial aos 3, 7 e 28 dias e absorção por imersão aos 28 dias. Os resultados apontaram para a diminuição da resistência e aumento da absorção na substituição parcial dos agregados miúdos naturais pelos reciclados, isso seria explicado pelo aumento da relação água/cimento e conseqüentemente aumento da porosidade, já que a água que está no interior do agregado reciclado não permanece lá.

2.4 Ensaaios nas argamassas

O ensaio de absorção por capilaridade verifica a capacidade da argamassa de absorver água por capilaridade; em contato com a água, esta sobe por dentro dos poros da argamassa. No que se refere à absorção por imersão, é avaliado a quantidade de água que a argamassa é capaz de absorver quando submersa em água por um período específico. Esses ensaios são importantes para determinar a durabilidade e desempenho das argamassas (Mehta; Monteiro, 2014).

O índice de vazios pode ser estabelecido a partir de um ensaio que verifica a proporção do volume de vazios em relação ao volume de sólidos total da amostra. A densidade aparente pode ser medida pela relação entre a massa do material e o volume total da amostra. Esses testes são necessários para entender a permeabilidade, qualidade da mistura e resistência das argamassas (Mehta; Monteiro, 2014).

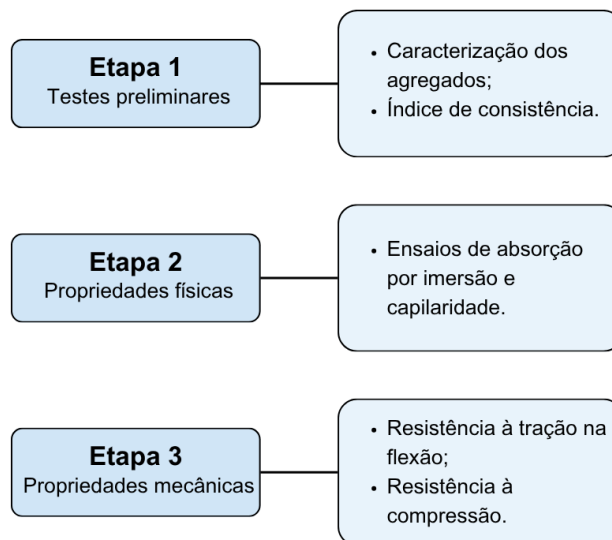
O ensaio de resistência à compressão é utilizado para identificar a capacidade da argamassa de resistir às cargas compressivas. Já a resistência à tração na flexão se refere à resistência de esforços de flexão. A realização desses ensaios é importante para garantir a segurança, desempenho e durabilidade das argamassas (Mehta; Monteiro, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de analisar a influência dos polímeros superabsorventes (PSA) nas propriedades de permeabilidade das argamassas em comparação às convencionais, neste trabalho foi desenvolvido um estudo experimental no laboratório de Materiais de Construção Civil, localizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Toledo – PR.

Os corpos de prova foram confeccionados e submetidos aos ensaios de absorção de água por imersão, absorção de água por capilaridade, resistência à tração na flexão e resistência à compressão, conforme suas respectivas normas técnicas. A abordagem da pesquisa é quantitativa, já que foram colhidos dados numéricos, posteriormente comparados por meio de estatísticas para constatar diferenças nos materiais. O programa experimental desenvolvido está descrito no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 – Etapas do programa experimental



Fonte: O autor (2025)

Na primeira etapa foram realizados os ensaios de caracterização dos agregados miúdos e do índice de consistência, este para definir a relação a/c. Na segunda etapa, o principal enfoque foi nos ensaios que envolvem a permeabilidade dos materiais, foram realizados ensaios de absorção para compreender o comportamento dos materiais de estudo em relação à penetração da água, importante para o desempenho do composto. Na etapa final foram analisadas as propriedades

mecânicas dos corpos de prova, com foco na resistência à tração na flexão e à compressão, a fim de avaliar a capacidade de carga das argamassas.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento da pesquisa serão descritos nas seções seguintes.

3.1.1 Cimento Portland

Foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI), da fabricante Votoran, já que este tipo de cimento não possui adições minerais e apresenta reações mais rápidas.

3.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado nos ensaios foi a areia natural, fornecida pela UTFPR. Realizou-se um ensaio de caracterização a fim de determinar a granulometria da areia, módulo de finura e dimensão máxima de partículas, descrito pela NBR 17054 (ABNT, 2022).

3.1.3 Polímeros Superabsorventes

Foram utilizados dois tipos diferentes de PSA, identificados como A e B. Essas amostras de PSA foram cedidas pela *Baden Aniline and Soda Factory* (BASF) *Construction Additives GmbH* (Trostberg, Alemanha). As características dos PSA utilizados no estudo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dos PSA fornecidas pelo fabricante

PSA	Tipo	d10 / d50 / d90 (µm)	Absorção de água (g/g)
A	Polimerização em gel (partículas trituradas)	15 / 50 / 100	≈ 25
B	Polimerização em suspensão inversa (partículas esféricas)	50 / 90 / 150	≈ 45

3.2 Preparação dos corpos de prova

O embasamento para a preparação dos corpos de prova da argamassa referência (REF) teve como fundamento as quantidades de materiais utilizados por

Hemkemeier et al., (2025). Em sua pesquisa, definiu-se uma consistência plástica de 235 ± 10 mm de espalhamento no ensaio de índice de consistência, realizado na *flow table*. Desta forma, primeiro foi definida a quantidade de água necessária para o traço referência (sem PSA) atingir o espalhamento buscado. Em seguida, a relação água/cimento (a/c) total de cada traço (contendo PSA) foi definida de acordo com a quantidade de água adicional necessária para obter o espalhamento desejado. Isso se fez necessário por conta das diferentes capacidades de absorção de cada polímero avaliado no estudo.

A quantidade de PSA foi estabelecida a partir dos estudos de Klemm, Almeida, Sikora, (2016) e Schröfl et al., (2022), em que se utilizou 0,25% da massa de cimento. A Tabela 2 apresenta as quantidades de materiais utilizados no estudo.

Tabela 2 – Materiais utilizados na preparação das argamassas

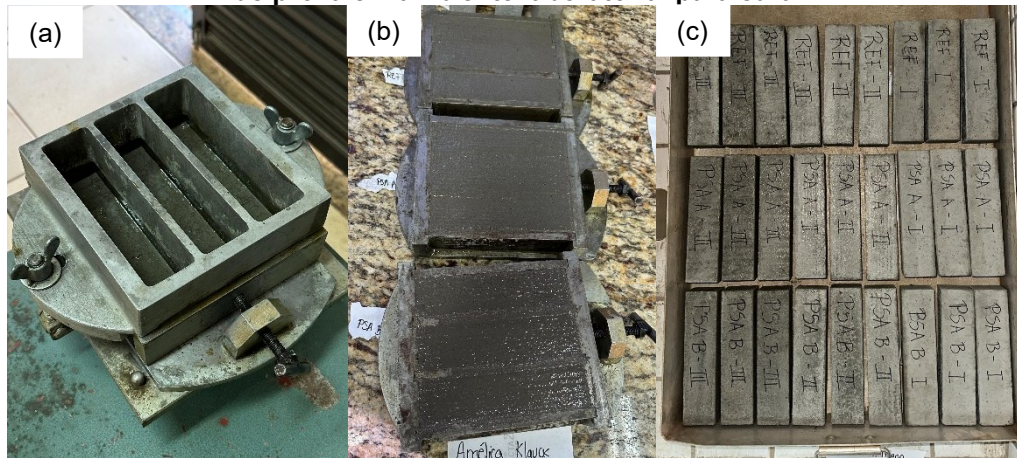
Traço	Cimento CP V ARI (g)	Areia (g)	PSA A (g)	PSA B (g)	Água total (g)	Água adicional (g)
REF	400	1200	-	-	240	-
PSA A	400	1200	1	-	272	32
PSA B	400	1200	-	1	296	56

Fonte: O autor (2025)

Assim, foram definidos 3 traços de argamassas. O primeiro foi a argamassa referência (REF) e os demais foram estabelecidos a partir da presença dos polímeros A e B. Além disso, a proporção de areia utilizada foi de 1:3. A preparação dos corpos de prova ocorreu em ambiente laboratorial, em que a mistura do material foi elaborada de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2025). Deve-se considerar que os PSA foram adicionados na mistura em conjunto com o cimento.

Após a preparação da argamassa, os corpos de prova foram moldados conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005). Depois de preparada, a primeira camada de argamassa foi inserida em cada compartimento do molde e levada à mesa de adensamento, foram aplicadas 30 quedas. Em seguida, a segunda camada foi inserida no molde e novamente adensado com 30 quedas (Figura 4a). Após a finalização do adensamento, os corpos de provas foram rasados com a régua metálica e foram mantidos nos moldes por 48h (Figura 4b). Por fim, depois que foram desmoldados, os corpos de prova permaneceram em ambiente laboratorial até sua cura completa (Figura 4c).

Figura 4 – (a) Molde preenchido com a primeira camada de argamassa na mesa de adensamento, (b) corpos de prova imediatamente após o preenchimento do molde e (c) corpos de prova em ambiente laboratorial para cura



Fonte: O autor (2025)

Dessa forma, para analisar as propriedades de permeabilidade no estado endurecido foram moldados 27 corpos de prova prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm) no total, sendo analisados aos 28 dias de cura para todos os traços. Foram preparados 3 corpos de prova por vez e não 2 como sugerido pela NBR, já que os moldes comportam 3 corpos de prova, dessa forma, o adensamento ficou uniformizado. A escolha por corpos de prova prismáticos se deu devido a necessidade de compatibilizar os ensaios de imersão e capilaridade.

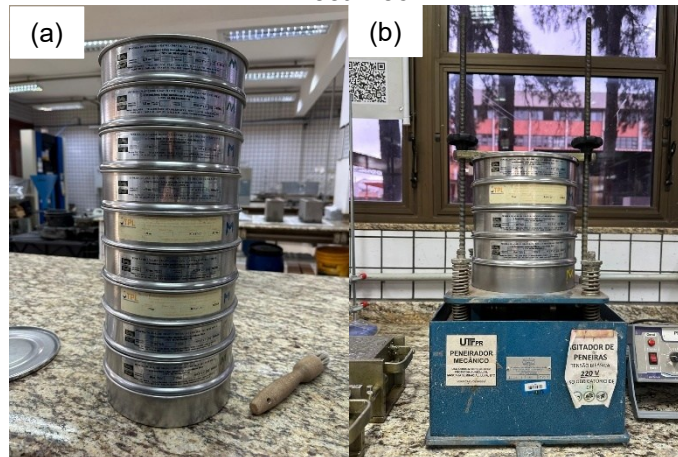
3.3 Testes preliminares

Para o desenvolvimento do trabalho realizaram-se dois testes preliminares, sendo o de caracterização dos agregados e o de índice de consistência, conforme apresentado a seguir.

3.3.1 Caracterização dos agregados

O agregado miúdo utilizado na composição das argamassas foi a areia. Para sua caracterização, determinou-se a granulometria da areia, módulo de finura e dimensão máxima de partículas, em conformidade com a NBR 17054 (ABNT, 2022). O ensaio foi realizado em laboratório, em que duas amostras de 1 kg cada foram submetidas às peneiras 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 µm, 300 µm e 150 µm de abertura, e ao agitador mecânico, como demonstra a Figura 5. Posteriormente, todas as massas foram aferidas.

Figura 5 – (a) Peneiras utilizadas no ensaio e (b) peneiras durante o ensaio no agitador mecânico



Fonte: O autor (2025)

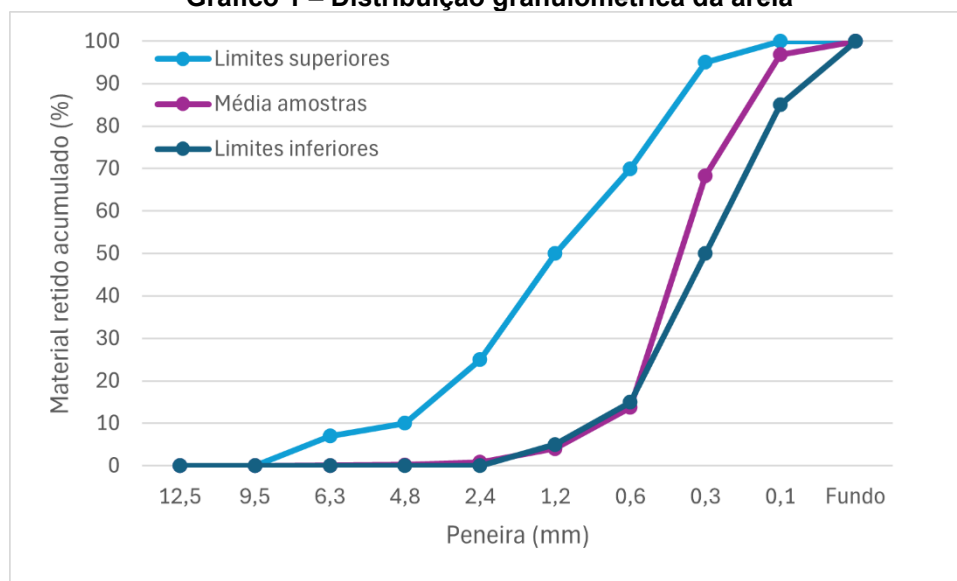
As características físicas da areia utilizada encontram-se na Tabela 3, e a distribuição granulométrica está apresentada na Gráfico 1.

Tabela 3 – Características físicas da areia

Parâmetros	Areia
Dimensão máxima característica (mm)	1,19
Módulo de finura	1,84

Fonte: O autor (2025)

Gráfico 1 – Distribuição granulométrica da areia



Fonte: O autor (2025)

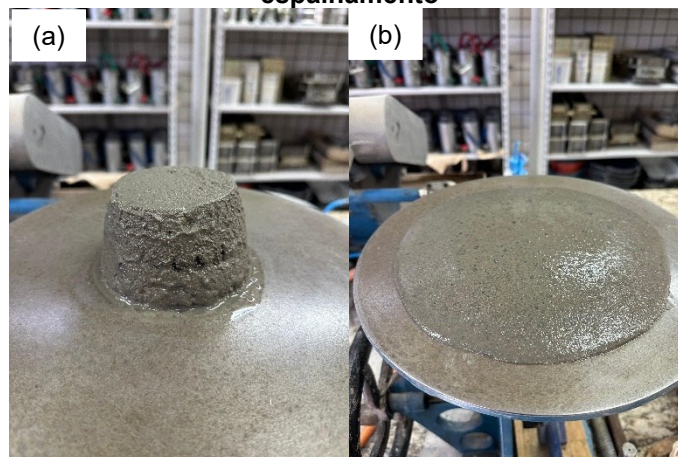
No Gráfico 1, além da média das amostras, estão inseridos os limites utilizáveis superiores e inferiores, estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2022).

3.3.2 Índice de consistência

No estado fresco, foi realizado um teste preliminar de índice de consistência, determinado pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Este processo foi necessário para definir a relação a/c necessária para garantir a trabalhabilidade desejada. Isso pois, a consistência se refere à fluidez e/ou teor de umidade da argamassa no estado fresco, o que reflete a sua deformabilidade.

Para isso, foi utilizada a mesa manual de consistência, a qual teve sua superfície limpa para receber o molde tronco cônico, que foi preenchido em três camadas iguais de argamassa, compactadas com 15, 10 e 5 golpes cada, com o uso de um soquete. Assim que finalizada a compactação, utilizou-se uma régua metálica para rasar a superfície e posteriormente a mesa foi limpa novamente. Depois, o molde foi retirado e a manivela da mesa foi manuseada de forma que no intervalo de 30 segundos foram realizados 30 golpes devidamente cronometrados. Dessa forma, após efetuados os golpes, mediu-se o espalhamento da argamassa em três direções diferentes, resultando em uma média do espalhamento final, conforme a Figura 6.

Figura 6 – (a) Ensaio de consistência realizado na mesa manual antes e (b) após o espalhamento



Fonte: O autor (2025)

Esse ensaio foi realizado para cada traço de argamassa, a fim de ajustar a relação a/c com o acréscimo de PSA, na proporção já definida previamente. Ainda, os espalhamentos resultantes ficaram dentro dos valores esperados.

3.4 Ensaios de absorção

O estudo avaliou a absorção de água por capilaridade e por imersão, a fim de analisar o comportamento das amostras em relação à penetração de água. Assim, as propriedades relacionadas à absorção de água puderam ser verificadas.

3.4.1 Ensaios de absorção por capilaridade

Para os testes de absorção por capilaridade, descritos pela NBR 15259 (ABNT, 2005), foram moldados 3 corpos de prova para cada traço, totalizando 9 corpos de prova para este ensaio. Os ensaios ocorreram após 28 dias de cura, em condições controladas, a fim de garantir a uniformidade na comparação dos diferentes traços estudados.

Os corpos de prova foram dispostos em uma bandeja com uma lâmina de água de 5 ± 1 mm, no fundo da bandeja foi utilizada uma malha metálica para garantir o contato da base do corpo de prova com a água. A Figura 7 demonstra o ensaio em andamento.

Figura 7 – Ensaio de absorção por capilaridade em desenvolvimento



Fonte: O autor (2025)

As massas foram aferidas antes do início do ensaio, aos 10 min, 90 min, 24 h, 48 h e 72 h. Depois de cada aferição os corpos de prova voltaram para a bandeja.

3.4.2 Ensaios de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica

A determinação do índice de vazios, da absorção de água por imersão e da massa específica, foi realizada conforme a NBR 9778 (ABNT, 2009). Foram moldados 3 corpos de prova para cada traço, ao todo 9 corpos de prova para este ensaio. Os resultados foram aferidos aos 28 dias de cura e obtidos a partir das massas da

amostra nos estados seco, saturado e imerso, conforme os procedimentos indicados na norma.

Após a cura completa dos corpos de provas, primeiramente estes foram levados para a estufa a 105 ± 5 °C por 72h (Figura 8a). Quando completo esse processo, as massas dos corpos de prova foram aferidas e eles foram levados para a imersão em água por mais 72h (Figura 8b). Posteriormente, as massas foram novamente aferidas e os corpos de prova foram levados para a fervura por 5h (Figura 8c). Após a fervura, os corpos de prova permaneceram esfriando até que a água atingisse a temperatura ambiente (Figura 8d), depois de esfriados, as massas dos corpos de prova foram registradas com o auxílio de uma balança hidrostática (Figura 8e).

Figura 8 – Corpos de prova: (a) na estufa para secagem, (b) imersos em água, (c) em fervura, (d) esfriando e (e) e na balança hidrostática para aferição da massa



Fonte: O autor (2025)

3.5 Ensaio de resistência mecânica

A resistência mecânica foi analisada por meio de ensaios à tração na flexão e à compressão axial, descrita na NBR 13279 (ABNT, 2005). Foram moldados 3 corpos

de prova para cada traço, totalizando 9 corpos de prova. Primeiramente, cada corpo de prova foi submetido ao ensaio de tração por flexão. Em seguida, as duas metades obtidas foram utilizadas para o ensaio de resistência à compressão, conforme estabelecido pela norma. Os corpos de prova foram rompidos aos 28 dias de cura.

3.5.1 Ensaio de resistência à tração na flexão

Para o ensaio de resistência à tração na flexão os corpos de prova foram dispostos em uma prensa hidráulica, da marca EMIC, modelo GR048, com capacidade máxima de 300 kN. Os corpos de prova foram posicionados de modo que a face rasada permanecesse isolada, ou seja, sem contato com os apoios e o dispositivo que aplica a carga. Na Figura 9 tem-se o corpo de prova disposto na prensa hidráulica para a aplicação da carga.

Figura 9 – Corpo de prova na prensa hidráulica para o ensaio de tração na flexão



Fonte: O autor (2025)

3.5.2 Ensaio de resistência a compressão

Depois que os corpos de prova foram rompidos no ensaio de resistência à tração na flexão, suas metades foram reutilizadas para o teste de resistência a compressão. Logo, resultou em 18 amostras para analisar. A Figura 10 apresenta uma das metades do corpo de prova na prensa hidráulica.

Figura 10 – Corpo de prova na prensa hidráulica para o ensaio de compressão



Fonte: O autor (2025)

3.6 Ensaio da densidade de massa aparente

Para este ensaio realizou-se a aferição das massas dos corpos de prova após os 28 dias de cura. Foram utilizados os mesmo corpos de prova reservados para os ensaios de resistência mecânica.

3.7 Análise estatística

Com base nos resultados obtidos nos ensaios, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) a fim de determinar se houve diferença estatística significativa entre os valores que foram encontrados, para isso, determinou-se um nível de significância de 0,05. Quando comprovada a diferença significativa, os dados foram submetidos ao Teste de Tukey para identificar quais os pares responsáveis por esse resultado.

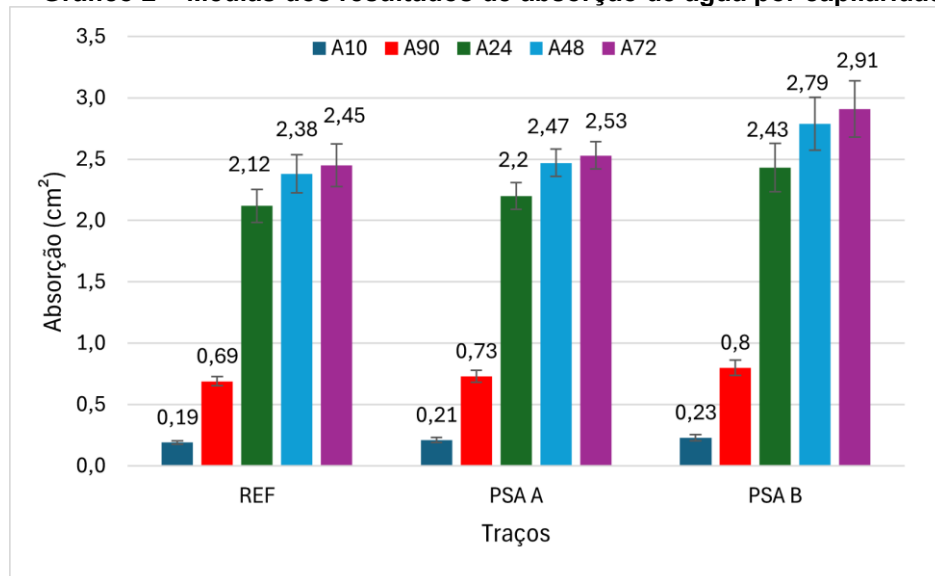
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão descritos os resultados obtidos a partir dos ensaios laboratoriais realizados.

4.1 Absorção de água por capilaridade

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005), em que as médias das absorções (A) dos traços REF, PSA A e PSA B, nos períodos de 10 min, 90 min, 24 h, 48 h e 72 h são apresentadas no Gráfico 2. Os coeficientes de capilaridade (C) referente aos 10 e 90 min dos traços REF, PSA A e PSA B, foram, respectivamente, 8, 8,35 e 9,19.

Gráfico 2 – Médias dos resultados de absorção de água por capilaridade



Fonte: O autor (2025)

Ao longo do ensaio observou-se um aumento gradual na absorção de água. Assim, tem-se que o traço REF teve os menores valores, o que sugere menor porosidade, já os traços PSA A e PSA B apontaram maiores absorções, o que demonstra que a adição de PSA pode ter aumentado a permeabilidade do material, já que foi necessário utilizar água adicional para esses traços. O aumento apresentado pelo PSA A foi de 3,27% e o PSA B de 18,78%, ambos em relação ao traço REF.

Para avaliar se existe diferença considerável entre os resultados, foi realizada a análise de variância. Os resultados da ANOVA estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resumo dos dados da ANOVA para a absorção por capilaridade

Corpo de prova	A ₁₀	A ₉₀	A _{24h}	A _{48h}	A _{72h}
F	1,9	3,322034	3,290839	5,141483	5,837504
Valor – P	0,2295	0,106855	0,108452	0,050033	0,039118

Nota: O valor de F crítico foi de 5,1432.

Fonte: O autor (2025)

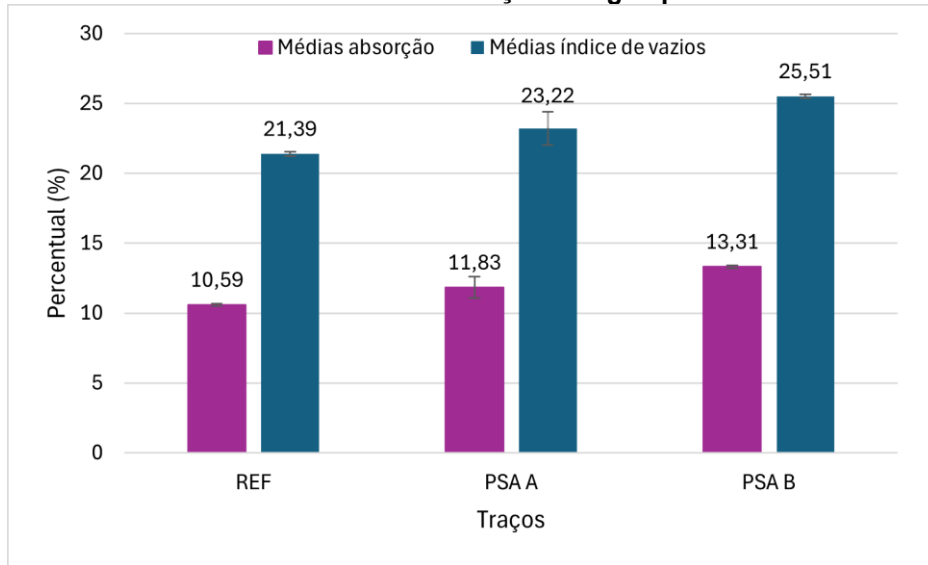
Assim, observa-se na tabela acima que somente a absorção no tempo de 72h apresenta diferença significativa, já que o valor de P ficou menor que o nível de significância de 0,05, também, o valor de F foi maior que o F crítico. Ao aplicar esses dados no Teste de Tukey, para identificar os pares que apresentaram essa diferença estatística, tem-se que a diferença entre os traços PSA B e REF é a responsável pelo resultado.

Além disso, a ANOVA também foi aplicada para o coeficiente de capilaridade, que não apresentou diferença significativa entre os dados. Os valores de F, P e F crítico foram, respectivamente, 4,07887, 0,076115 e 5,143253.

Dessa forma, percebe-se a semelhança entre os três traços, que mesmo contendo os PSA, somente apresentaram diferença significativa na absorção no tempo de 72h, já que os PSA liberam água de forma gradual, e a matriz cimentícia passa por um processo de liberação da pressão interna e estabilização dos poros ao longo do tempo. Com isso, é possível afirmar que a necessidade de água adicional ao traço para a efetiva utilização dos polímeros superabsorventes não afetou negativamente os compósitos cimentícios produzidos. Isso demonstra que a cura interna proporcionada pelos PSA é eficaz, como observado nos estudos de Mechtcherine et al. (2021).

4.2 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

Nesse ensaio, realizado conforme a NBR 9778 (ABNT, 2009), foram obtidos os dados das massas secas, saturada imersa e saturada de cada corpo de prova. A partir desses dados calculou-se a absorção por imersão (A) e o índice de vazios (I_v) dos corpos de prova, apresentados na Gráfico 3.

Gráfico 3 – Médias dos resultados de absorção de água por imersão e índice de vazios

Fonte: O autor (2025)

Para a propriedade de absorção por imersão também foi realizada a ANOVA, em que se constatou que existe diferença significativa entre os dados, já que o valor o valor de P foi 0,00105, sendo menor que o nível de significância estabelecido de 0,05 e o valor de F igual a 26,51, maior que o F crítico de 5,14. Visto isso, aplicou-se o Teste de Tukey, que indicou diferença por pares entre os traços PSA A e REF, PSA B e REF, e PSA B e PSA A como os responsáveis por essa diferença significativa.

Os resultados de índice de vazios também foram submetidos a ANOVA. O valor P foi 0,001042, F resultou em 26,59 e o F crítico 5,14. Portanto, existe diferença significativa entre os dados. Ao realizar o Teste de Tuckey foi possível observar esse comportamento evidenciado pela diferença entre os traços PSA A e REF, PSA B e REF, e PSA B e PSA A, igual aos traços que apresentaram diferença para a absorção por imersão.

Desse modo, o traço com adição de PSA B resultou na maior absorção (25,68%), o que justifica o maior índice de vazios. Observa-se que absorção por imersão foi maior com o aumento da relação a/c, consequência da água adicional. Além disso, o índice de vazios apresentou comportamento proporcional à absorção de água por imersão, sendo menor nos traços com menores valores de absorção por imersão. Em relação ao traço REF, a mistura com PSA A evidenciou um acréscimo de 8,56%, enquanto a mistura com PSA B registrou um aumento de 19,26%. Esse resultado pode estar associado ao aumento da porosidade, resultante da evaporação da água nos traços.

Por fim, essa análise apontou que a adição de PSA, e conseqüentemente água adicional no traço, interfere nesses parâmetros. Isso ocorre porque, apesar da variação no volume total de poros permeáveis à água entre os traços, a configuração dos poros interligados que possibilitam o transporte capilar mantém-se semelhante (Mechtcherine et al., 2021).

Também, estão apresentadas na Tabela 5 as respectivas massas específicas seca (ρ_s), saturada (ρ_{sat}) e real (ρ_r), calculadas de acordo com os dados colhidos.

Tabela 5 – Massas específica seca, saturada e real

Corpo de prova	ρ_s	ρ_{sat}	ρ_r
REF – 1	2,02	2,23	2,56
REF – 2	2,02	2,23	2,57
REF – 3	2,02	2,24	2,58
PSA A – 1	2,00	2,22	2,56
PSA A – 2	1,94	2,18	2,56
PSA A – 3	1,95	2,18	2,56
PSA B – 1	1,92	2,17	2,57
PSA B – 2	1,91	2,17	2,58
PSA B – 3	1,92	2,17	2,57

Fonte: O autor (2025)

Para a massa específica real, o valor de P foi de 0,11, F igual a 3,25 e F crítico igual a 5,14. Dessa forma, não houve diferença significativa entre os dados analisados. Esse resultado indica que a incorporação dos PSA e, conseqüentemente, da água adicional não modificou a densidade do material.

4.3 Resistência à tração na flexão

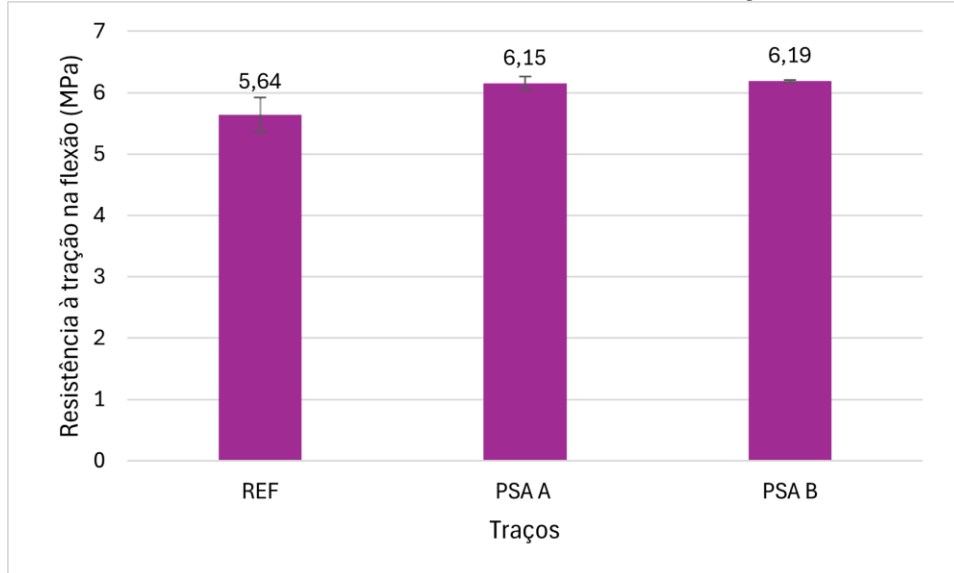
Seguindo a NBR 13279 (ABNT, 2005), os valores da resistência à tração na flexão (R_f), as médias dos resultados e desvios padrões, aos 28 dias, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 6 – Médias e desvios padrões de resistência à tração na flexão

Corpo de prova	R _f (MPa)	Média R _f (MPa)	Desvio absoluto máximo R _f (MPa)
REF – 1	5,39		
REF – 2	5,92	5,64	0,28
REF – 3	5,60		
PSA A – 1	6,06		
PSA A – 2	6,13	6,15	0,11
PSA A – 3	6,26		
PSA B – 1	6,21		
PSA B – 2	6,86	6,19	0,02
PSA B – 3	6,16		

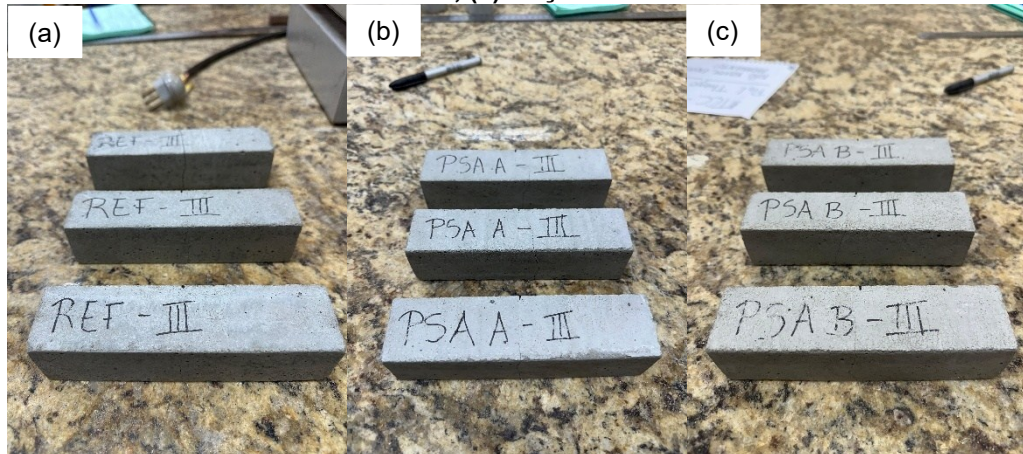
Fonte: O autor (2025)

A fim de facilitar a comparação dos dados, o Gráfico 4 apresenta os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova. Na Figura 11 tem-se os corpos de prova após o rompimento por tração na flexão.

Gráfico 4 – Médias dos resultados de resistência à tração na flexão

Fonte: O autor (2025)

Figura 11 – Corpos de prova após o rompimento por tração na flexão: (a) traço REF, (b) traço PSA A, (c) traço PSA B



Fonte: O autor (2025)

Neste ensaio, a ANOVA demonstrou que houve diferença significativa entre os resultados encontrados. O valor de P foi 0,03759, F igual a 5,955 e F crítico igual a 5,14. Assim, ao submeter os dados ao Teste de Tukey, foi possível indicar que essa diferença foi resultante da comparação entre os traços PSA B e REF.

A partir dessas informações é possível afirmar que o traço com adição do PSA B foi o que apresentou melhores resultados para a resistência à tração por flexão, com um aumento de 9,75% em relação ao traço REF, visto que foi o único que apresentou diferença significativa. Isso pode ser atribuído ao efeito de reter água de amassamento e promover a reação de hidratação do cimento prolongada, como explicado por Klemm; Sikora, (2012).

4.4 Resistência à compressão

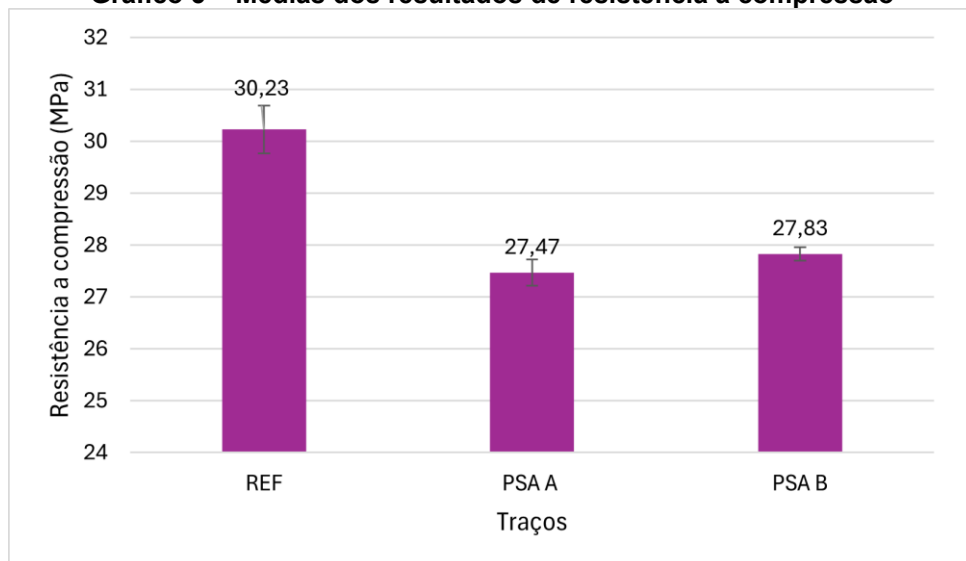
Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão, realizado de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Médias e desvios padrões de resistência à compressão

Corpos de prova	R _c (MPa)	Média R _c (MPa)	Desvio absoluto máximo R _c (MPa)
REF – 1	30,58	30,55	
REF – 2	31,19	29,77	30,23
REF – 3	31,79	30,01	
PSA A – 1	28,42	28,64	
PSA A – 2	24,71	27,51	27,47
PSA A – 3	27,22	27,67	
PSA B – 1	27,81	28,7	
PSA B – 2	27,69	27,93	27,83
PSA B – 3	25,81	27,87	

Fonte: O autor (2025)

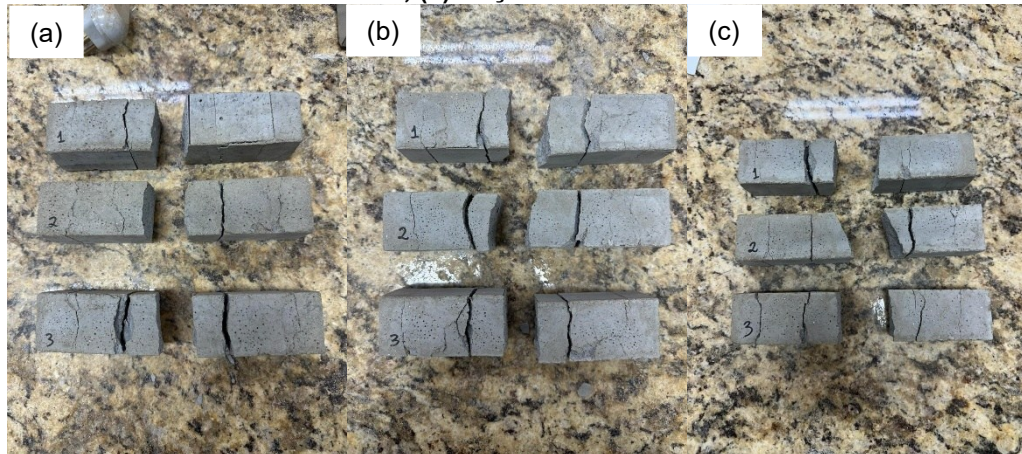
Para facilitar compreensão e comparação dos dados obtidos, elaborou-se o Gráfico 5.

Gráfico 5 – Médias dos resultados de resistência à compressão

Fonte: O autor (2025)

Comparando esses dados, é possível verificar que o traço referência apresentou resultados de resistência à compressão mais elevados. A utilização do PSA A proporcionou uma redução de 9,13% aos 28 dias, enquanto o PSA B 7,94%. Na Figura 12 tem-se os corpos de prova após o rompimento por compressão.

Figura 12 – Corpos de prova após o rompimento por compressão: (a) traço REF, (b) traço PSA A, (c) traço PSA B



Fonte: O autor (2025)

Da mesma forma que nos ensaios anteriores, foi realizada a ANOVA. Os valores resultantes de P, F e F crítico foram, respectivamente, 0,000129, 17,25 e 3,68, o que apontou diferença significativa entre os dados. Assim, esses dados foram submetidos ao Teste de Tukey, o qual indicou que a diferença estava presente ao comparar os traços PSA A e REF, e PSA B e REF.

Logo, essa análise mostrou que houve semelhança entre os resultados de PSA A e PSA B, mesmo utilizando água suplementar em diferentes quantidades. Esse comportamento pode ser justificado pela hidratação do cimento mais demorada, em que a água foi liberada lentamente e pode ter contribuído com a colmatação dos poros a longo prazo. Da mesma forma, Klemm e Sikora (2012) e Klemm e Almeida (2016) observaram em seus estudos que os resultados foram semelhantes no que diz respeito ao uso de PSA em diferentes traços.

Desse modo, essa diferença significativa, juntamente com a redução da resistência à compressão dos traços com adição de PSA, pode estar relacionada com o aumento da porosidade do material.

4.5 Densidade de massa aparente

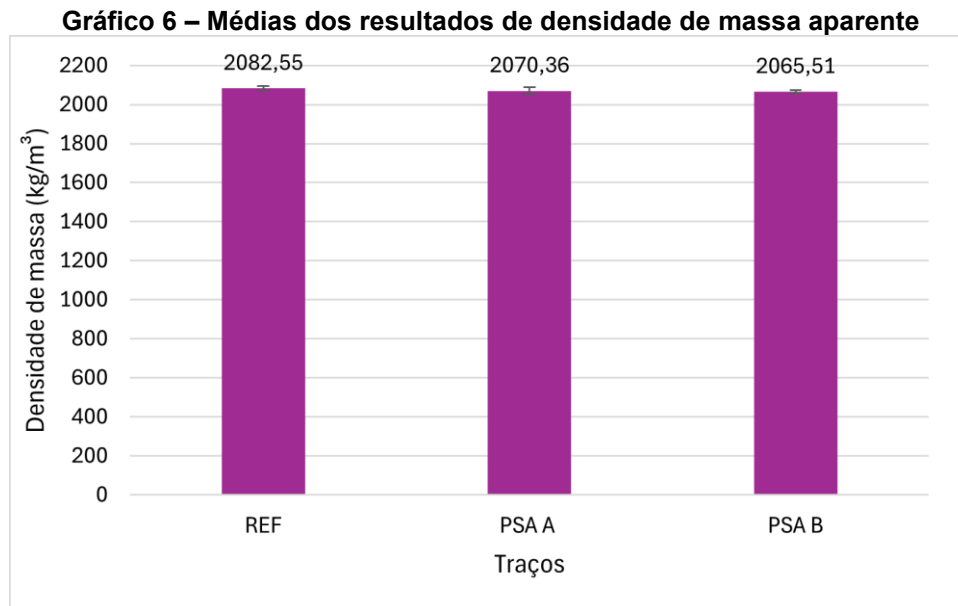
Na Tabela 8 tem-se os dados das massas dos corpos de prova e a densidade de massa, estabelecida a partir da NBR 13280 (ABNT, 2005). O volume dos corpos de prova foi de 256 cm³, ou 0,000256 m³.

Tabela 8 – Densidade de massa aparente

Corpo de prova	Massa (g)	$\rho_{\text{máx}}$ (g/cm ³)	$\rho_{\text{máx}}$ (kg/m ³)	Média $\rho_{\text{máx}}$ (kg/m ³)
REF – 1	535,09	2,09	2090,20	2082,55
REF – 2	535,00	2,09	2089,84	
REF – 3	529,31	2,07	2067,62	
PSA A – 1	525,82	2,05	2053,98	2070,36
PSA A – 2	535,28	2,09	2090,94	
PSA A – 3	528,94	2,07	2066,17	
PSA B – 1	526,90	2,06	2058,20	2065,51
PSA B – 2	528,63	2,06	2064,96	
PSA B – 3	530,78	2,07	2073,36	

Fonte: O autor (2025)

A fim de facilitar a comparação dos dados, o Gráfico 6 apresenta as médias dos resultados do ensaio de densidade de massa aparente.



Fonte: O autor (2025)

Ao submeter os dados de massa aparente à ANOVA observa-se que não houve diferença significativa entre eles, isso pois o valor de P foi de 0,3650, F igual a 1,197 e F crítico igual a 5,143.

Dessa forma, a análise estatística indicou que a adição dos PSA, e consequentemente da água suplementar nos traços que o contêm, não influenciou esta propriedade. Visto isso, apesar dos PSA afetarem a porosidade do material, o volume e massa não tiveram alteração expressiva.

5 CONCLUSÃO

Diante do estudo realizado, é possível afirmar que os objetivos propostos foram alcançados. As análises experimentais e estatísticas permitiram entender a influência dos polímeros superabsorventes (PSA) nas propriedades analisadas das argamassas.

As análises mostraram que, aos 28 dias, houve aumento da porosidade em função dos vazios internos gerados pela água adicional. Essa característica influenciou a absorção por imersão, especialmente na mistura com PSA B, que apresentou acréscimo de 25,68% em relação ao traço referência (REF). Esse resultado está associado ao aumento do índice de vazios, que também apontou um aumento de 8,56% do PSA A, seguido pelo PSA B com 19,26 %, em relação ao REF. Além disso, a resistência a compressão também foi influenciada, apresentando redução nos resultados, sendo o traço com PSA B o mais prejudicado (redução de 7,94%).

No ensaio de absorção por capilaridade, somente no tempo de 72h observou-se diferença significativa, com acréscimo de 18,78% para o PSA B em relação ao REF, evidenciando o aumento das propriedades de permeabilidade. No entanto, nos demais tempos não houve constatação de diferença significativa, então, os traços com adição de PSA não influenciaram na absorção por capilaridade.

No que se refere a resistência à tração na flexão, o traço com PSA B apresentou um desempenho superior de 9,75% em relação ao REF. Isso se deve à hidratação prolongada no cimento gerada pelos PSA e à redução as microfissuras. Por outro lado, a ação dos PSA não influenciou nas propriedades de densidade de massa aparente e massa específica. Embora o índice de vazios tenha aumentado, não foi o suficiente para modificar a densidade das amostras.

Com base nos resultados encontrados, conclui-se que os PSA influenciam nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas, levando em consideração os resultados de ensaios até 28 dias. Neste período, a adição desses materiais aumenta a porosidade e resistência à tração na flexão, e reduzem a resistência a compressão.

Considerando que os PSA liberam água de forma gradual, sugere-se estudos futuros para avaliar o desempenho dos compósitos cimentícios em idades mais avançadas. Isso pois, a lenta hidratação pode melhorar as propriedades físicas e mecânicas a longo prazo, equilibrando os resultados obtidos nas idades iniciais.

REFERÊNCIAS

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, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro, 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia.** Rio de Janeiro, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054: Agregados — Determinação da composição granulométrica — Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2022a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2022b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2025.

CRUZ, Túllio Alexandre Mustafé da *et al.* Avaliação da permeabilidade ao ar e absorção capilar de argamassas de cal, metacaulim e gesso. **WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS**, v. 2, 2019.

HEMKEMEIER, Thiago A. *et al.* Repair mortars with water treatment plant sludge (WTPS) and sugarcane bagasse ash sand (SBAS) for more eco-efficient and durable constructions. **Journal of Cleaner Production**, v. 386, 1 fev. 2023.

HEMKEMEIER, Thiago A. *et al.* Autogenous Shrinkage and Mechanical Properties of Eco-Efficient Cementitious Composites Modified by Superabsorbent Polymers. **Springer**, RILEM Bookseries. v. 59, n. Proceedings of the 7th International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, p. 223–232, 2025.

HEMKEMEIER, Thiago Alex. **Cura interna de compósitos cimentícios ecoeficientes com areia de cinza de bagaço de cana-de-açúcar por meio de polímeros superabsorventes**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2024.

JENSEN, Ole Mejlhede; HANSEN, Per Freiesleben. Water-entrained cement-based materials I. Principles and theoretical background. **Cement and Concrete Research**, v. 31, p. 647–654, 2001.

KLEMM, Agnieszka; ALMEIDA, Fernando C. R. Application of Superabsorbent polymers as novel admixture for cementitious materials. **Concrete Plant International**, p. 38–46, 2016.

KLEMM, Agnieszka J.; ALMEIDA, Fernando C. R.; SIKORA, Karol S. Application of superabsorbent polymers (SAP) in cementitious materials with blended cements. **Concrete Plant International Journal**, v. 4, p. 50–58, 2016.

KLEMM, Agnieszka Joanna; SIKORA, Karol S. The effect of cement type on the performance of mortars modified by superabsorbent polymers. **ResearchGate**, jan. 2012.

LEE, H. X. D.; WONG, Hong S.; BUENFELD, Nick R. Self-sealing of cracks in concrete using superabsorbent polymers. **Cement and Concrete Research**, v. 79, p. 194–208, jan. 2016.

LISBOA, Ederval S.; ALVES, Edir S.; MELO, Gustavo H. A. G. **Materiais de construção: concreto e argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: SAGAH, 2017.

MALTA, Juliana Oliveira; SILVA, Vanessa Silveira; GONÇALVES, Jardel Pereira. Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 176–188, 2013.

MECHTCHERINE, Viktor *et al.* Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction—update of RILEM state-of-the-art report. **Materials and Structures**, v. 54, n. 2, 1 abr. 2021.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MENDONÇA, A. M. G. D. *et al.* Avaliação da absorção de água e índice de vazios de argamassas incorporadas com politereftalato de etileno. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, p. 26877–26887, 2021.

OLIVEIRA, Maria Rosária de; GONÇALVES, Erika Peterson. Adição de polímero superabsorvente de poliacrilonitrila na mistura cimentícia com variação de quantidade de água. **Revista Univap**, v. 28, n. 57, 19 abr. 2022.

PEREIRA, V. M. *et al.* Análise fluido-dinâmica do escoamento em ensaio de permeabilidade ao ar de argamassas preparadas com cimento Portland de alto-forno. **Cerâmica**, v. 54, n. 330, p. 160–166, jun. 2008.

SCHRÖFL, Christof *et al.* Recent progress in superabsorbent polymers for concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 151, jan. 2022.

SENF, L. *et al.* Development of mortars containing superabsorbent polymer. **Construction and Building Materials**, v. 95, p. 575–584, 1 out. 2015.