



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

PAULA GABRIELE VIEIRA PEDROSA FLORIDO

ARGAMASSA MODIFICADA COM ADITIVOS PARA FIXAÇÃO DA
ALVENARIA DE VEDAÇÃO À ESTRUTURA DE CONCRETO:
AVALIAÇÃO DA FLEXIBILIDADE

Recife, PE

2024



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

PAULA GABRIELE VIEIRA PEDROSA FLORIDO

ARGAMASSA MODIFICADA COM ADITIVOS PARA FIXAÇÃO DA
ALVENARIA DE VEDAÇÃO À ESTRUTURA DE CONCRETO:
AVALIAÇÃO DA FLEXIBILIDADE

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Livre Docente Alberto Casado
Lordsleem Júnior

Recife, PE

2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco – Recife

F636a Florido, Paula Gabriele Vieira Pedrosa
Argamassa modificada com aditivos para fixação da alvenaria de vedação à estrutura de concreto: Avaliação da flexibilidade. / Paula Gabriele Vieira Pedrosa – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2024.

99 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Casado Lordsleem Júnior

Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024

1. Argamassa Industrializada. 2. Polímeros. 3. Aditivos. 4. Flexibilidade. 5. Fixação. I. Engenharia Civil – Dissertação. II. Lordsleem Júnior, Alberto Casado (orient.). III. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. IV. Título.

CDD: 690.028

PAULA GABRIELE VIEIRA PEDROSA FLORIDO

**ARGAMASSA MODIFICADA COM ADITIVOS PARA FIXAÇÃO DA
ALVENARIA DE VEDAÇÃO À ESTRUTURA DE CONCRETO:
AVALIAÇÃO DA FLEXIBILIDADE**

BANCA EXAMINADORA:

Orientador

Documento assinado digitalmente
 **ALBERTO CASADO LORDSLEEM JUNIOR**
Data: 28/02/2024 16:02:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alberto Casado Lordsleem Júnior
Universidade de Pernambuco

Examinadores

Documento assinado digitalmente
 **YEDA VIEIRA POVOAS**
Data: 28/02/2024 15:53:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Yêda Vieira Póvoas
Universidade de Pernambuco

Assinado por: **António José Candeias Curado**
Num. de Identificação: 10082069
Data: 2024.02.28 15:07:36+00'00'

Prof. Dr. António José Candeias Curado
Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Recife - PE

2024

AGRADECIMENTOS

A Deus, que esteve comigo em todas as ocasiões me ensinando a ser forte nos momentos de dificuldades.

A minha família, em especial ao meu marido, Gilberto, por todo apoio, compreensão e auxílio infindável.

Ao meu orientador, que contribuiu constantemente para a realização deste sonho, o Prof. Dr. Alberto Casado Lordsleem Jr., pelas contribuições, orientações e apoio constantes durante a caminhada acadêmica.

Ao Prof. Dr. António José Candeias Curado e a Prof.^a Dr.^a Yêda Vieira Póvoas que gentilmente aceitaram o convite de compor a banca e contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Aos Professores do PEC pelos ensinamentos transmitidos. Em especial a Prof.^a Dr.^a Yêda Vieira Póvoas e a Prof.^a Dr.^a Eliana Monteiro, pelas palavras de incentivo e auxílio.

Aos amigos do grupo POLITECH, em especial ao Leonardo do Vale, pelas contribuições, companheirismo e amizade durante a jornada do mestrado.

A todos os amigos que durante todo o processo, contribuíram direta e indiretamente para fazer esse sonho se tornar realidade.

Ao meu avô, José Pedrosa (em memória), meu pai, mãe e irmã, que me incentivaram e inspiraram a escolher, continuar e avançar na construção da carreira como engenheira civil.

“Não te mandei eu? Sê forte e corajoso; não temas, nem te espantes; porque o Senhor teu Deus é contigo, por onde quer que andares.”

Josué 1:9

RESUMO

A alta ocorrência de fissuras na interface entre a parede de alvenaria preenchida e a estrutura de concreto armado é um problema que desafia o processo de construção brasileiro. Visto que a argamassa convencional é um material rígido e pouco deformável, a melhoria da flexibilidade das argamassas é sugerida como uma possível solução. Uma das formas de proporcionar melhor adaptabilidade e versatilidade a este material é a modificação por meio de polímeros. Em vista disso, o presente trabalho visa estudar as propriedades da argamassa industrializada modificada com quatro polímeros e um aditivo plastificante. A metodologia de pesquisa consistiu em uma investigação experimental relacionada às propriedades da argamassa modificada com o copolímero estireno-acrílico (SAE), o copolímero de acetato de polivinila (PVAc), o copolímero de estireno-butadieno (SBR), a cola branca PVA (acetato de polivinila) e o aditivo plastificante sal de álcool graxo etoxilado sulfatado. A caracterização da pesquisa considerou as condições fresca e endurecida, especialmente, em relação à avaliação da flexibilidade, foram realizados ensaios de módulo de elasticidade dinâmico e deformação transversal, além de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados mostraram que houve uma redução do módulo de elasticidade dinâmico de todas as misturas quando comparadas à argamassa de referência sem modificação. Os resultados do ensaio de deformação transversal variam de um mínimo de 0,23 mm (SBR) a um máximo de 0,94 mm (SAE). Com relação ao MEV, as micrografias das amostras com modificações apresentam superfícies mais lisas e menos porosas em relação à argamassa sem modificação. Concluiu-se que, dentre os traços estudados, a substituição com o copolímero estireno-acrílico (SAE) proporcionou o maior ganho de flexibilidade à argamassa industrializada. O desempenho da flexibilidade da argamassa com diferentes teores de aditivos é a principal contribuição desta pesquisa.

Palavras-chave: *Argamassa industrializada; polímeros; aditivos; flexibilidade; fixação.*

ABSTRACT

The high occurrence of cracks at the interface between filled masonry walls and reinforced concrete structures is a challenge in the Brazilian construction process. Considering conventional mortar's rigidity and low deformability, enhancing mortar flexibility is suggested as a potential solution. One approach to providing better adaptability and versatility to this material is through polymer modification. Thus, this study aims to investigate the properties of industrially modified mortar with four polymers and a plasticizing additive. The research methodology consisted of experimental investigation into the properties of mortar modified with styrene-acrylic copolymer (SAE), polyvinyl acetate copolymer (PVAc), styrene-butadiene copolymer (SBR), PVA white glue (polyvinyl acetate), and the plasticizing additive of ethoxylated sulfated fatty alcohol salt. Research characterization considered both fresh and hardened conditions, especially focusing on flexibility evaluation, through dynamic elasticity modulus and transverse deformation tests, as well as scanning electron microscopy (SEM). Results showed a reduction in the dynamic elasticity modulus of all mixtures compared to unmodified reference mortar. Transverse deformation test results ranged from a minimum of 0.23 mm (SBR) to a maximum of 0.94 mm (SAE). SEM analysis revealed smoother and less porous surfaces in modified mortar samples compared to unmodified mortar. It was concluded that among the studied compositions, substitution with styrene-acrylic copolymer (SAE) provided the greatest flexibility enhancement to the industrially produced mortar. The performance of mortar flexibility with varying additive contents is the primary contribution of this research.

Keywords: *Industrialized mortar; polymers; additives; flexibility; fixation.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Fissura na interface alvenaria-estrutura.....	27
Figura 2 — Solicitações impostas às superfícies de alvenaria das edificações.....	28
Figura 3 — Deformação do revestimento na zona de fixação alvenaria-estrutura.....	28
Figura 4 — Gráfico de fissuras em função do elemento.....	29
Figura 5 — Principais polímeros modificadores.....	34
Figura 6 — Classificação dos polímeros.....	35
Figura 7 — Reação dos látex nas argamassas.....	37
Figura 8 — Argamassa sem adição de polímeros (R) x argamassa com adição de polímero (A1).....	38
Figura 9 — <i>String</i> de busca genérica utilizada nas bases de dados.....	39
Figura 10 — Fases da revisão da literatura.....	40
Figura 11 — Fluxograma do programa experimental.....	47
Figura 12 — Ensaio para determinação do índice de consistência.....	54
Figura 13 — Ensaio para determinação do teor de ar incorporado.....	55
Figura 14 — Procedimentos para moldagem dos corpos de prova prismáticos.....	58
Figura 15 — Ensaio de resistência à tração na flexão.....	59
Figura 16 — Ensaio de resistência à compressão.....	60
Figura 17 — Equipamento utilizado para ensaio do módulo de elasticidade.....	60
Figura 18 — Ensaio do módulo de elasticidade dinâmico.....	61
Figura 19 — Processos para confecção dos corpos de prova de deformação transversal.....	63
Figura 20 — Peças para realização do ensaio de deformação transversal.....	64
Figura 21 — Ensaio de deformação transversal.....	65
Figura 22 — Processos para microscopia eletrônica de varredura.....	66
Figura 23 — Comparação percentual entre argamassas com polímeros e argamassa de referência.....	67
Figura 24 — Comparação percentual entre a argamassa com aditivo e argamassa de referência.....	67
Figura 25 — Índice de consistência (mm).....	70
Figura 26 — Densidade de massa no estado fresco (kg/m^3).....	72
Figura 27 — Teor de ar incorporado (%).....	73
Figura 28 — Densidade de massa aparente (kg/m^3).....	75
Figura 29 — Resistência à tração na flexão (MPa).....	77

Figura 30 — Resistência à compressão (MPa).....	78
Figura 31 — Módulo de elasticidade dinâmico (MPa).....	81
Figura 32 — Deformação transversal (mm).....	83
Figura 33 — Micrografias com ampliação de $\times 100$	85
Figura 34 — Micrografias com ampliação de $\times 5000$	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Requisitos para argamassas no estado fresco.....	23
Tabela 2 — Densidade de massa no estado fresco.....	23
Tabela 3 — Requisitos para argamassas de assentamento e fixação no estado endurecido....	24
Tabela 4 — Traços estudados.....	51
Tabela 5 — Resumo dos resultados obtidos.....	68
Tabela 6 — Densidade de massa no estado fresco e teor de ar incorporado.....	72
Tabela 7 — Densidade de massa aparente.....	75
Tabela 8 — Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão.....	76
Tabela 9 — Resultados dos ensaios de resistência à compressão.....	77
Tabela 10 — Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade dinâmico.....	81
Tabela 11 — Resultados dos ensaios de deformação transversal.....	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Classificação das argamassas.....	19
Quadro 2 — Classificação das argamassas segundo a sua função na construção civil.....	20
Quadro 3 — Resumo das principais propriedades das argamassas de assentamento.....	20
Quadro 4 — Resumos das propriedades das argamassas no estado fresco.....	30
Quadro 5 — Resumos das propriedades das argamassas no estado endurecido.....	30
Quadro 6 — Dados extraídos pela revisão da literatura.....	41
Quadro 7 — Dados técnicos da argamassa industrializada.....	48
Quadro 8 — Dados técnicos do látex PVAc.....	49
Quadro 9 — Dados técnicos do látex SAE.....	49
Quadro 10 — Dados técnicos do látex SBR.....	50
Quadro 11 — Dados técnicos da cola branca PVA.....	50
Quadro 12 — Dados técnicos do aditivo plastificante.....	50
Quadro 13 — Procedimento para preparação da mistura.....	53
Quadro 14 — Procedimento para determinação da massa específica do cimento.....	57

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas

PVAc — Copolímero acetato de polivinila

PVA — poliacetato de vinila

SAE — Copolímero estireno-acrílico

MEV — Microscopia Eletrônica de Varredura

MPa — Mega Pascal

SBR — Copolímero estireno-butadieno

AI — Argamassa Industrializada

VA/VeoVa — Copolímero acetato de vinil e versatato

PVC — Policloreto de vinila

AAV — Argamassa para assentamento de unidade de alvenaria sem função estrutural

AAE — Argamassas para assentamento de unidades de alvenaria estrutural

AAF — Argamassas para fixação horizontal de alvenaria

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativa.....	15
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	17
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	17
1.3 Estruturação do texto.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 Argamassas.....	19
2.1.1 <i>Argamassas industrializadas</i>	21
2.1.2 <i>Argamassas de fixação para alvenarias</i>	22
2.2 Manifestações patológicas na argamassa de fixação.....	26
2.3 Propriedades das argamassas industrializadas no estado fresco.....	29
2.4 Propriedades das argamassas industrializadas no estado endurecido.....	30
2.5 Deformação transversal em argamassas.....	31
2.6 Polímeros.....	33
2.6.1 <i>Classificação dos polímeros</i>	34
2.6.2 <i>Adição de polímeros em argamassas</i>	36
2.7 Deformação transversal em argamassas modificadas com polímeros — Revisão da literatura.....	38
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1 Materiais.....	47
3.1.1 <i>Argamassa industrializada</i>	47
3.1.2 <i>Polímeros e aditivo</i>	48
3.2 Métodos.....	52
3.2.1 <i>Preparo da mistura</i>	52
3.2.2 <i>Ensaio no estado fresco</i>	53
3.2.2.1 <i>Determinação do índice de consistência</i>	53
3.2.2.2 <i>Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado</i>	54
3.2.3 <i>Ensaio no estado endurecido</i>	57
3.2.3.1 <i>Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido</i>	57
3.2.3.2 <i>Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão</i>	58

3.2.3.3	<i>Determinação do módulo de elasticidade dinâmico</i>	60
3.2.3.4	<i>Determinação da deformação transversal</i>	62
3.2.3.5	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura</i>	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
4.1	Propriedades no estado fresco	70
4.1.1	<i>Índice de consistência</i>	70
4.1.2	<i>Densidade de massa e teor de ar incorporado</i>	71
4.2	Propriedades no estado endurecido	74
4.2.1	<i>Densidade de massa aparente no estado endurecido</i>	74
4.2.2	<i>Resistência à tração na flexão e à compressão</i>	76
4.2.3	<i>Módulo de elasticidade dinâmico</i>	81
4.2.4	<i>Deformação transversal</i>	82
4.2.5	<i>Microscopia eletrônica de varredura</i>	85
5	CONCLUSÕES	88
5.1	Considerações finais	88
5.2	Considerações para trabalhos futuros	89
	REFERÊNCIAS	91

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Bomediano, Gomes e Fontanini (2020) afirmam que as argamassas convencionais utilizadas nas edificações apresentam baixo desempenho e durabilidade, bem como são mais propícias a falhas de aderência e fissuras. Isso acontece devido à baixa capacidade de absorção de energia das argamassas convencionais que tendem a suceder microfissuração, maior permeabilidade e, com isso, elevada vulnerabilidade aos ataques dos agentes agressivos.

Teixeira (2010), Muci, Netto e Silva (2014) e Tatim Filho (2019) destacam, que no processo construtivo de alvenaria convencional ou de vedação, deve-se atentar à zona de transição de esforços entre as alvenarias de vedação e a estrutura, ou seja, a interface alvenaria-estrutura. Pois, sendo ela responsável por transmitir a deformação do elemento estrutural para as alvenarias, é frequente o aparecimento de fissuras.

A zona de interação entre a alvenaria de vedação e os elementos estruturais de concreto das edificações é objeto de preocupação em razão dos recorrentes casos de manifestações patológicas, como fissuras, nesta área. Assim, a capacidade de absorver deformações, traduzida pela flexibilidade, é uma propriedade necessária para a camada responsável pela fixação da alvenaria ao concreto, usualmente constituída por argamassa.

Concomitantemente, estudos foram realizados para aumentar a flexibilidade das argamassas por meio da modificação com aditivos poliméricos. Combinou-se o desempenho superior das adições poliméricas com a argamassa, gerando novos materiais compósitos multifuncionais à base de cimento (WANG; WANG, 2011; ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2017; BRACHACZEK, 2018; ZHANG; LI; SONG, 2019; YAO *et al.*, 2021).

A argamassa modificada com polímeros assume grande relevância por ser um material composto por uma rede formada por filme polimérico, que pode melhorar as propriedades mecânicas e a durabilidade da argamassa (CHO *et al.*, 2016; MAHERZI *et al.*, 2019).

Segundo Maranhão, Loh e Jonh (2011) e Martínez-López *et al.* (2020), a utilização de

polímeros nas argamassas apresenta potencial de melhoria das propriedades mecânicas, da trabalhabilidade, da retenção de água e da flexibilidade. No contexto do processo construtivo brasileiro, é inestimável a importância da flexibilidade das argamassas no encontro da alvenaria de vedação à estrutura de concreto, etapa da execução denominada de fixação.

Saliente-se que, no Brasil, não existe norma específica vigente para determinar e classificar a flexibilidade das argamassas. Atualmente, no país, uma das formas de avaliar indiretamente a flexibilidade das argamassas se dá por meio da capacidade de absorver deformações, através do módulo de elasticidade dinâmico (ABNT, 2008), onde é possível se determinar a rigidez do material, além disso, observam-se também outras propriedades como as resistências à tração e à compressão (ABNT, 2005d), de modo a se obter as cargas máximas suportadas pela argamassa.

Este estudo adotou a norma europeia EN 12004-1 (CEN, 2017) como referência para analisar a flexibilidade das argamassas. Esta norma estabelece o método de ensaio para determinar a deformabilidade, também conhecida como flexibilidade, e permite a análise do comportamento das argamassas de assentamento industrializadas com adição de polímeros.

Além disso, a crescente industrialização da construção civil evidencia ainda mais a necessidade do uso da argamassa industrializada como alternativa para proporcionar maior agilidade, menor perda de materiais e mais simplicidade ao processo produtivo.

Este material apresenta vantagens técnicas como, por exemplo, o maior controle das quantidades e qualidade dos insumos utilizados, maior homogeneidade, bem como a simplicidade do preparo, sendo apenas necessária a adição de água para uso. Assim, minimiza-se a necessidade de correções, adaptações e outras intervenções na obra, ensejando menor chance de aparecimento de manifestações patológicas nas construções (RACENA, 2012).

O presente trabalho visa analisar a possibilidade de se obter maiores índices de flexibilidade em uma argamassa industrializada por meio da inserção de aditivos poliméricos como o copolímero estireno-acrílico (SAE), copolímero poliacetato de vinila (PVAc), copolímero estireno-butadieno (SBR), cola branca PVA (poliacetato de vinila) e o aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado.

A partir da avaliação do seu comportamento em relação aos ensaios mecânicos, com foco no ensaio de deformação transversal (flexibilidade), visa-se, especialmente, a sua aplicação na zona de fixação da alvenaria com a estrutura, zona alvenaria-estrutura, de modo a minimizar a possibilidade de eventuais manifestações patológicas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em analisar as propriedades físicas e mecânicas, com ênfase na flexibilidade, da argamassa industrializada com adição do copolímero estireno-acrílico (SAE), copolímero poliacetato de vinila (PVAc), copolímero estireno-butadieno (SBR), cola branca PVA (poliacetato de vinila) e o aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado para uso na zona de fixação alvenaria-estrutura.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar as propriedades da argamassa industrializada modificada com copolímero estireno-acrílico (SAE), copolímero poliacetato de vinila (PVAc), copolímero estireno-butadieno (SBR), cola branca PVA (poliacetato de vinila) e o aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado no estado fresco, como: consistência, massa específica e teor de ar incorporado;
- Apresentar as propriedades da argamassa industrializada modificada com copolímero estireno-acrílico (SAE), copolímero poliacetato de vinila (PVAc), copolímero estireno-butadieno (SBR), cola branca PVA (poliacetato de vinila) e o aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado no estado endurecido, como: densidade de massa aparente, resistência à tração na flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade dinâmico e deformação transversal;
- Avaliar, através do ensaio de deformação transversal, a flexibilidade da argamassa industrializada modificada com copolímero estireno-acrílico (SAE), copolímero poliacetato de vinila (PVAc), copolímero estireno-butadieno (SBR), cola branca PVA (poliacetato de

vinila) e o aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado.

1.3 Estruturação do texto

O presente trabalho foi estruturado em cinco capítulos principais. No capítulo 1 apresenta-se uma visão geral do estudo, começando com a justificativa para a pesquisa e detalhando os objetivos gerais e específicos.

O capítulo 2 mostra uma revisão sobre os temas: argamassa industrializada, argamassas de fixação para alvenarias, manifestações patológicas na argamassa de fixação, propriedades das argamassas industrializadas no estado fresco e endurecido, deformação transversal em argamassas, classificação e adição de polímeros em argamassas. Além de uma revisão da literatura acerca do tema deformação transversal em argamassas modificadas com polímeros.

No capítulo 3 estão descritos os materiais selecionados, suas principais características e quantidades utilizadas. Além dos métodos de ensaios selecionados para realização da pesquisa experimental.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados, tanto no estado fresco quanto no endurecido, seguidos de uma discussão detalhada sobre esses resultados estão descritos no capítulo 4.

No capítulo 5 estão apresentadas as conclusões relacionadas a este estudo, destacando as principais descobertas e oferecendo considerações finais. Além disso, são fornecidas sugestões para trabalhos futuros relacionados ao tema e em seguida as referências bibliográficas que auxiliaram na composição e na argumentação desta tese.

Por meio dessa estruturação, busca-se fornecer uma abordagem sistemática e coerente para o desenvolvimento e a apresentação deste estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Argamassas

O conceito exposto pela norma brasileira, NBR 13281, define argamassa como uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, ou adições, que apresenta, propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada) (ABNT, 2005a).

As argamassas podem ser classificadas a partir de uma série de parâmetros, por exemplo, quanto ao tipo de aglomerante, plasticidade e consistência ou quanto à forma de preparo, conforme expresso pelas autoras Carasek (2007) e Morais (2020) no Quadro 1.

Quadro 1 — Classificação das argamassas

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	Argamassa aérea
	Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	Argamassa de cal
	Argamassa de cimento
	Argamassa de cimento e cal
	Argamassa de gesso
	Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	Argamassa simples
	Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	Argamassa seca
	Argamassa plástica
	Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	Argamassa pobre ou magra
	Argamassa média ou cheia
	Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	Argamassa leve
	Argamassa normal
	Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	Argamassa preparada em obra
	Mistura semipronta para argamassa
	Argamassa industrializada
	Argamassa dosada em central

Fonte: Carasek (2007); Morais (2020)

Além disso, as autoras (CARASEK, 2007; MORAIS, 2020) também destacam a classificação das argamassas quanto à função que desempenham nas obras, suas finalidades e aplicações, conforme pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2 — Classificação das argamassas segundo a sua função na construção civil

Critério de classificação	Tipo
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento) — alvenaria de vedação
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso
	Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos	Argamassa de assentamento de placas cerâmicas — colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Fonte: Carasek (2007); Morais (2020).

De forma geral, uma boa argamassa é aquela que apresenta as características adequadas para a sua aplicação, como, por exemplo, uma resistência mecânica compatível com sua finalidade, boa aderência aos materiais a serem unidos, trabalhabilidade para sua aplicação em obra, durabilidade e compatibilidade com as condições ambientais e de uso (CARASEK, 2007; RACENA, 2012).

A autora Carasek (2007) apresenta um resumo, no Quadro 3, das propriedades mais importantes no que tange a argamassa para construção de alvenarias.

Quadro 3 — Resumo das principais propriedades das argamassas de assentamento

Tipo da argamassa	Função	Principais requisitos/propriedades
Argamassa de assentamento de alvenaria (elevação)	<ul style="list-style-type: none"> - Unir as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais; - Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos; - Absorver deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita; - Selar as juntas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e retenção de água); - Aderência; - Capacidade de absorver deformações; - Resistência mecânica.

Fonte: Carasek (2007); Morais (2020)

Os requisitos, classificações e métodos de ensaios para argamassas são descritos nas normativas brasileiras vigentes específicas para o tipo de argamassa e suas respectivas aplicações. No caso das argamassas de assentamento e fixação de alvenaria, foco do presente trabalho, a regulamentação dava-se pela NBR 13281 (ABNT, 2005b) intitulada de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — requisitos, que foi recentemente substituída pelas normas NBR 13281-1 (ABNT, 2023a), para argamassas de revestimento e a NBR 13281-2 (ABNT, 2023b) para argamassas de assentamento e fixação de alvenaria, tratadas nos próximos tópicos.

Pontua-se a importância de entender a distinção entre os tipos de argamassas para se assegurar o uso do tipo correspondente à sua aplicação nas edificações, visto que divergem nas composições químicas. Para o presente trabalho, destaca-se a argamassa tradicional para assentamento de blocos cerâmicos, bem como a de fixação, que tem como principal objetivo transferir as tensões e acomodar as deformações entre os blocos e estruturas (MOHAMED et al., 2007; TATIM FILHO, 2019).

2.1.1 Argamassas industrializadas

Os primeiros registros de utilização das argamassas industrializadas datam do fim do século XIX, na Europa e nos Estados Unidos — EUA. No Brasil, no que lhe concerne, a disseminação de seu uso se deu apenas na década de 1990. A argamassa industrializada apresenta-se como uma mistura pronta, dosada na indústria, necessitando apenas da adição de água nas obras para ser utilizada nos revestimentos, assim como nos serviços de assentamento de alvenarias (SELMO et al. 2002; EUROPEAN MORTAR INDUSTRY ORGANISATION, 2006; SILVA, 2020).

Autores como Antunes (2008) e Silva (2020) destacam como um dos grandes benefícios da utilização das argamassas industrializadas a obtenção da homogeneidade nos traços. Outra vantagem desse material se dá pelo maior controle de qualidade e consumo, evitando desperdício, redução de custos à medida que o traço utilizado na obra é definido corretamente.

Racena (2012) também ressalta as qualidades da homogeneidade e do elevado controle de qualidade na utilização das argamassas industrializadas no canteiro de obras, ao tempo em que evidencia a possibilidade de eliminação de correções, adaptações e outras intervenções na

construção, desde que usada da maneira correta.

Outro conceito importante a se considerar, relativo à otimização na construção civil aplicado à alvenaria de vedação, é o de racionalização construtiva nos canteiros de obras, denominada alvenaria de vedação racionalizada.

Este conceito envolve obter o melhor uso de todos os materiais e recursos relacionados ao processo construtivo da alvenaria de vedação. Nesse sentido, destaca-se a recomendação de uso da argamassa industrializada para o sistema de alvenaria de vedação racionalizada devido à sua uniformidade e homogeneidade (LORDSLEEM JR., 2000).

Assim, o fato de as argamassas industrializadas atualmente comercializadas no mercado brasileiro serem apresentadas em diversos tipos e para variadas finalidades, representa uma resposta à praticidade de sua produção e utilização nas obras.

2.1.2 Argamassas de fixação para alvenarias

Caporrino (2018) explica que, conforme o uso da argamassa na construção, o material assume diferentes funções e, quando utilizado na elevação de blocos de alvenaria, é conhecido como argamassa de assentamento.

A norma NBR 13281 (ABNT, 2005a) foi recentemente substituída e dividida em duas partes sendo a norma NBR 13281-1 (ABNT, 2023a), que trata as argamassas para revestimento de paredes e tetos, e a NBR 13281-2 (ABNT, 2023b), criada especificamente para as argamassas para assentamento e fixação de alvenaria. Tal norma não foi utilizada na metodologia tendo em vista a sua recente publicação.

A antiga normativa NBR 13281 (ABNT, 2005a) que estabelecia os requisitos para as argamassas de assentamento e revestimento, ao classificar os tipos de argamassa, descrevia argamassa utilizada para fixação da alvenaria à estrutura de concreto como “argamassa para complementação da alvenaria (encunhamento): argamassa indicada para fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes.” (ABNT, 2005a, p. 2).

A criação da nova norma NBR 13281-2 (ABNT, 2023b), específica para as argamassas de

assentamento e fixação de alvenaria, evidencia a importância do estudo das argamassas para tal uso. Com base nisso, a norma NBR 13281-2 (ABNT, 2023b), que atualmente estabelece os requisitos, critérios e métodos de ensaio para as argamassas de assentamento de alvenaria e para as argamassas destinadas à fixação horizontal de alvenaria de vedação, conceitua a argamassa para fixação horizontal de alvenaria (AAF), como sendo o material utilizado para preenchimento da interface da alvenaria de vedação com a estrutura de concreto (viga ou pilar).

A norma NBR 13281-2 (ABNT, 2023b) apresenta os requisitos para as: argamassa para assentamento de unidade de alvenaria sem função estrutural (AAV), argamassas para assentamento de unidades de alvenaria estrutural (AAE) e argamassas para fixação horizontal de alvenaria (AAF). No que se trata da AAF, foco do presente trabalho, a nova normativa não apresenta, dentre os requisitos especificados para a argamassa no estado fresco, valores numéricos, apenas informativos, como pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 — Requisitos para argamassas no estado fresco

Requisito	Unidade	Critérios por tipos de argamassa			
		AAV	AAE	AAF	Método de ensaio
Retenção de água (U)	%	≥ 85	≥ 80	Informativo	ABNT NBR 13277
Teor de ar incorporado (A)	%	≥ 22	≥ 18	Informativo	ABNT NBR 13278
Tempo de uso	Mín.	Informativo			—

Fonte: Adaptado da NBR 13281-2 (ABNT, 2023b)

Na tabela 2 expõe-se a classificação quanto à densidade de massa no estado fresco consoante a nova norma para argamassas de fixação de alvenaria.

Tabela 2 — Densidade de massa no estado fresco

Classe	Densidade de massa no estado fresco (DF) kg/m ³	Método de ensaio
DF0	DF < 1400	ABNT NBR 13278
DF1	1400 ≤ DF < 1600	
DF2	1600 ≤ DF < 1800	
DF3	1800 ≤ DF < 2000	
DF4	DF ≥ 2000	

Fonte: NBR 13281-2 (ABNT, 2023b)

No que tange às propriedades no estado endurecido, a norma NBR 13281-2 (ABNT, 2023b) apresenta como requisitos para as AAF, AAE e AAV os valores expostos na tabela 3.

Tabela 3 — Requisitos para argamassas de assentamento e fixação no estado endurecido

Requisito	Unidade	Critérios por tipos de argamassa			Método de ensaio
		AAV	AAE	AAF	
Resistência à compressão (fa)	MPa	$2,0 \leq fa < 5,0$	A norma estabelece uma tabela específica para a classificação desse tipo de argamassa	$1,5 \leq fa < 5,0$	ABNT NBR 13279
Variação dimensional (i)	mm/m	$i \geq 0,80$ (retração menor ou igual a 0,80)			ABNT NBR 15261
Resistência potencial de aderência à tração ao substrato (Ri)	MPa	$\geq 0,20$			ABNT NBR 15258

Fonte: Adaptado da NBR 13281-2 (ABNT, 2023b)

Com isso, a atual normativa brasileira, NBR 13281-2 (ABNT, 2023b), não apresenta classificação para propriedades como a resistência à compressão e módulo de elasticidade para as argamassas de fixação. Apesar da norma ter sido atualizada, a flexibilidade e deformabilidade das argamassas de fixação de alvenaria continuam a não ser abordadas pela normativa brasileira.

Lordsleem Júnior (2000) expõe que, após finalizada a etapa de elevação da alvenaria, realiza-se a etapa de fixação, tendo como finalidade, assegurar a junção adequada da alvenaria à estrutura de concreto. O autor destaca que o procedimento de fixação deve ser executado com materiais de elevada capacidade de absorção das deformações visando evitar manifestações patológicas na região.

Outrossim, o autor (LORDSLEEM JÚNIOR, 2000, p.38) aponta que, conforme a necessidade da edificação, três cenários podem se apresentar. Diante disso, propõe possíveis soluções para a fixação da alvenaria, são elas:

- A alvenaria é de contraventamento, sendo a solução o tradicional aperto;
- A alvenaria não é de contraventamento e tem estrutura deformável, sendo a solução a utilização de argamassa com elevada capacidade de deformação;
- A alvenaria não é de contraventamento e tem estrutura pouco deformável, sendo a solução a própria argamassa de assentamento.

Caporrino (2018) apresenta em seu livro que as argamassas de fixação utilizadas na zona de interação da alvenaria de vedação com a estrutura de concreto têm, como função primordial, garantir a fixação da alvenaria à estrutura perfeitamente. A autora continua destacando que a argamassa de fixação deve ser deformável e gerar uma junção flexível, para não proporcionar a transferência das deformações da estrutura para a alvenaria de vedação.

Relativamente à deformabilidade deste material, a autora (CAPORRINO, 2018) explica se tratar da capacidade da argamassa de não apresentar ruptura quando deformada por solicitações diversas, além de apresentar comportamento elástico, ou seja, retornando à sua dimensão original quando cessarem as solicitações impostas.

Vale mencionar que a resiliência, em argamassas, é inversamente proporcional ao valor do módulo de deformação da argamassa, a qual deve apresentar alta plasticidade, aderência e baixo valor do módulo de elasticidade, de maneira a reduzir o aparecimento de fissuração das alvenarias de vedação, permitindo e acomodando pequenas movimentações da estrutura sem fissuras prejudiciais.

Silva *et al.* (2006) recomendam que a fixação da alvenaria à estrutura deve ser flexível, ou seja, deve-se lançar mão de materiais que apresentem grande capacidade de acomodação de deformações. Os autores reforçam que o detalhamento desta região deve ser indicado no projeto de alvenaria de vedação visando reduzir erros na execução e patologias no futuro.

Tatim Filho (2019) reforça em sua pesquisa que a etapa de fixação da alvenaria na estrutura de concreto se destaca por apresentar diversas patologias nas edificações contemporâneas; tais eventos ocorrem em grande maioria na região alvenaria-estrutura oriundas da utilização de materiais que não acomodam as deformações da forma apropriada.

Sayegh (2007) explica que, no passado, as estruturas não sofriam grandes deformações, no entanto, com o desenvolvimento da engenharia e dos materiais de construção, gerando edificações cada vez mais esbeltas, houve necessidade de se atentar para a região da fixação nas construções de concreto e alvenaria, visto que as solicitações das estruturas cresceram e os elementos não acompanharam essa evolução proporcionalmente.

Diante disto, mostra-se essencial redobrar a atenção referente à problemática da região de

fixação das alvenarias às estruturas. Propõe-se, como ponto de partida, o estudo de novos materiais que possuam melhor capacidade de deformação, como uma alternativa para o combate das manifestações patológicas na região. Assim, estudos são realizados para desenvolvimento destes novos materiais compósitos com a modificação das argamassas de cimento com adição de polímeros que melhorem suas propriedades.

Sabbatini (1986) e Casali (2008) (SABBATINI, 1986 *apud* CASALI, 2008, p.25 – 26) pontuam as principais características para uma argamassa de assentamento funcional; dentre elas destacam-se os seguintes pontos:

- A alvenaria de assentamento deve desenvolver resistência adequada para não comprometer a alvenaria da qual faz parte, não devendo, no entanto, ser mais resistente que os componentes que ela une;
- ter adequada aderência aos componentes de modo que a interface resista a esforços cisalhantes e de tração, e prover a alvenaria de juntas estanques à água da chuva;
- ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção na totalidade; e
- ter suficiente resiliência (baixo módulo de deformação) de maneira a acomodar as deformações intrínsecas (retração na secagem e de origem térmica) e as decorrentes de movimentos estruturais de pequena amplitude da parede de alvenaria, sem fissurar.

Com isso, ao se tratar de argamassas de assentamento e fixação de alvenarias, recomenda-se um ponto de equilíbrio entre a deformação e a resistência mecânica. Ou seja, uma argamassa com resistência suficiente para suportar as cargas impostas pela alvenaria e estrutura de concreto, mas que, ao mesmo tempo, apresenta uma deformabilidade capaz de suportar as eventuais movimentações da estrutura sem se romper.

2.2 Manifestações patológicas na argamassa de fixação

De acordo com Carballal Jr. (2019), dentre as manifestações patológicas, uma das mais frequentemente vistas e de fácil detecção nas construções são as fissuras localizadas na interface alvenaria-estrutura, uma fissura típica desta região localizada na parede de alvenaria e a laje de concreto armado pode ser vista na figura 1.

Figura 1 — Fissura na interface alvenaria-estrutura



Fonte: Carballal Jr. (2019)

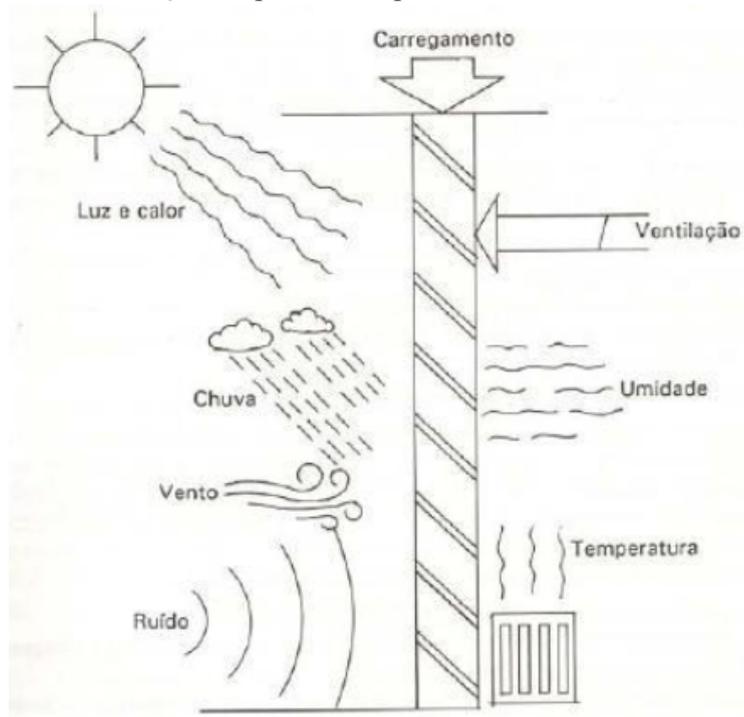
Carballal Jr. (2019) reforça que, dentre as manifestações patológicas mais comuns nas estruturas de concreto encontradas na região de vedação, ou seja, nas paredes de alvenaria, são as fissuras, manchas de infiltração, fissuras na interface concreto x alvenaria e fissura em rodapé devido ao mau engaste do sistema de impermeabilização.

Ao se tratar das fissuras na interface concreto x alvenaria, tal fato pode ser explicado, por se tratar da ligação entre materiais diferentes, ou seja, a alvenaria de vedação e o concreto armado, com propriedades e resistências distintas que tendem a responder às movimentações das estruturas de forma diferente. A comunicação entre os elementos da construção é importante para a estrutura funcionar corretamente à sua função.

Como a argamassa utilizada nesta zona, em sua forma convencional, possui baixa resistência a deformações, ocasionalmente este tipo de patologia aparece (WANG; WANG; YAO, 2012). Destaca-se que o cuidado para o não aparecimento de fissuras nesta região é necessário para que sejam garantidas a estanqueidade, a segurança e o conforto da edificação, tendo em vista que a recuperação de fissuras na zona de interação alvenaria-estrutura exige técnicas complexas e custo elevado, além de se comportar como porta para agentes agressivos (MAZOLINI, 2016).

Teixeira (2010) reforça a ideia que as paredes de alvenaria das edificações possuem diversas solicitações imposta a elas, tanto interna como externamente, como exemplificado na figura 2.

Figura 2 — Solicitações impostas às superfícies de alvenaria das edificações

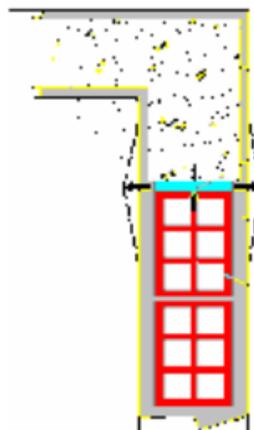


Fonte: Teixeira (2010); Sahade (2005); Cincotto *et al.* (1995)

Diante disso, a ocorrência de fissuras na região alvenaria-estrutura tende a se comportar como meio de entrada para agentes agressivos, como, por exemplo, a umidade, ocasionando outras manifestações patológicas.

Daldon (2008) acrescenta que a fixação de uma parede de alvenaria recebe tensões da estrutura; as respectivas deformações são inferidas por fluência da estrutura (deformações lentas) na região exposta na figura 3.

Figura 3 — Deformação do revestimento na zona de fixação alvenaria-estrutura

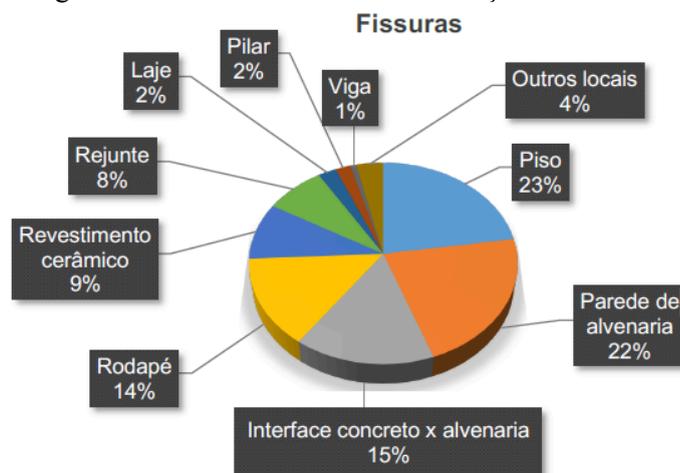


Fonte: Daldon (2008)

Carballal Jr. (2019), em sua pesquisa, destaca que dentre as manifestações patológicas encontradas em edifícios, na cidade do Recife, estado de Pernambuco, com até cinco anos de construídos, as fissuras foram a manifestação patológica com maior recorrência, representando 31,4% do total estudado.

O autor (CARBALLAL JR., 2019) apresenta um gráfico comparativo entre as fissuras e os elementos nos quais foram encontradas, exposto na figura 4.

Figura 4 — Gráfico de fissuras em função do elemento



Fonte: Carballal Jr. (2019)

Conforme as considerações do autor (CARBALLAL JR., 2019), é possível inferir que as fissuras que ocorrem na união entre concreto e alvenaria geralmente se manifestam no material mais fraco, que, neste caso, é a parede de alvenaria. Com base nessa premissa, o autor argumenta que a soma das fissuras presentes na parede (22%) e nas uniões entre concreto e alvenaria (15%) totalizam 37% de fissuras na parede de alvenaria. Embora o autor não tenha especificado se a análise se refere à interface pilar/alvenaria ou laje/alvenaria, é importante ressaltar a relevância dessa região, uma vez que é onde ocorre a maior recorrência de fissuras constatadas em seu estudo.

2.3 Propriedades das argamassas no estado fresco

Revela-se imprescindível a compreensão e o controle das propriedades da argamassa em seu estado fresco, para garantir que os requisitos de cada traço sejam aplicados de maneira adequada na construção. Em vista disto foi elaborado o Quadro 4 que resume de forma clara e objetiva as principais propriedades das argamassas em seu estado fresco.

Quadro 4 — Resumos das propriedades das argamassas no estado fresco

Propriedade	Norma utilizada para medição da propriedade	Definição
Densidade de massa	NBR 13278 (ABNT, 2005)	A densidade de massa das argamassas está ligada ao volume de vazios presente na mistura; tal característica depende da densidade dos componentes da mistura. Está relacionada ao teor de ar incorporado. Quanto maior for o teor de ar incorporado na argamassa, menor será sua densidade final (VIEIRA, 2019).
Teor de ar incorporado	NBR 13278 (ABNT, 2005)	Quantidade de ar retido em determinado volume de argamassa no estado fresco (NAKAKURA, 2004; BAÍA; SABBATINI, 2008; JANTSCH, 2015 <i>apud</i> MORAIS, 2020).
Consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016)	Propriedade relativa à condição da mistura em resistir ao escoamento. Expressa, quantitativamente, quão fluida ou seca está a argamassa em seu estado fresco (PRUDÊNCIO Jr.; OLIVEIRA; BEDIN, 2003; CARASEK, 2007; MORAIS, 2020).

Fonte: Autora (2022)

Ao discorrer sobre as propriedades das argamassas no estado fresco e suas determinadas normativas, propõe-se uma melhor compreensão do comportamento das argamassas logo após sua mistura. Para a adequada classificação destes materiais é necessário não somente analisar as propriedades físicas citadas, mas também as características apresentadas em seu estado endurecido, possibilitando uma análise mais abrangente do material.

2.4 Propriedades das argamassas no estado endurecido

Quanto às propriedades das argamassas no estado endurecido e suas normativas, apresenta-se um resumo no Quadro 5.

Quadro 5 — Resumos das propriedades das argamassas no estado endurecido

Propriedade	Norma utilizada para medição da propriedade	Definição
Resistência mecânica	NBR 13279 (ABNT, 2005)	A resistência mecânica das argamassas é descrita por Nakamura e Cincotto (2004) como a propriedade responsável por descrever a capacidade da argamassa resistir aos esforços impostos, sejam eles de tração, compressão ou cisalhamento (NAKAMURA; CINCOTTO, 2004; JANTSCH, 2015 <i>apud</i> MORAIS, 2020).
Módulo de elasticidade	NBR 15630 (ABNT, 2008)	Vieira (2019) explica que o módulo de elasticidade é a propriedade inversamente proporcional à deformação, ou seja, quanto maior for a deformação ou mais deformável, menor será o valor de seu módulo de elasticidade. Racena (2012) reforça a relação do módulo de elasticidade e a deformação de uma argamassa, explicando que, para as argamassas possuírem a capacidade de absorver as deformações e tensões internas geradas pela movimentação das estruturas, devem apresentar resultados baixos de módulo de elasticidade.
Flexibilidade	EN 12004-1 (CEN, 2017)	Flexibilidade diz respeito à capacidade da argamassa resistir à geração e desenvolvimento de trincas (WANG, 2011).

Fonte: Autora (2022)

De modo geral, entender o comportamento das argamassas tanto no estado fresco como no endurecido auxilia no processo de escolher o material adequadamente frente às solicitações de uso necessárias. O presente trabalho propõe a análise da deformação transversal para a avaliação da flexibilidade das argamassas. Tal método é bem aceito para medição desta propriedade, como será descrito no capítulo posterior. Salienta-se, também, a inexistência de normativa brasileira para medição do parâmetro citado.

2.5 Deformação transversal em argamassas

Wang (2011) conceitua a flexibilidade como a capacidade da argamassa de se deformar e acomodar movimentos da estrutura sem sofrer danos ou fissuras. O autor destaca a grande relevância da propriedade no estudo das argamassas de cimento comum, uma vez que esse material, em sua configuração básica, possui baixa resistência a deformações, o que o impede de satisfazer construções que exigem alta flexibilidade. O autor acrescenta que a medição da deformação transversal das argamassas é um bom método para avaliar a flexibilidade da argamassa modificada com polímero (WANG, 2011).

Autores como Nagomi (2014) e Akiama *et al.* (1997) destacam que, para garantir a adequada aplicação da argamassa consoante o seu uso na edificação, é imprescindível compatibilizar os requisitos da argamassa com a deformação que será requerida em sua utilização, de forma que a argamassa apresente a capacidade adequada de suporte das deformações solicitadas. Desta forma, é indispensável o estudo da deformação transversal, tendo em vista que quanto maior a flexibilidade da argamassa, maior será sua capacidade de se deformar sem cisalhar, evitando fissuras e trincas.

Wang (2014) descreve o ensaio para determinação da deformação transversal como um corpo de prova endurecido em formato de tira, submetido à flexão em três pontos distintos. A partir de um carregamento, são geradas trincas até a ruptura do corpo de prova. Quando a carga atinge o seu pico, é, então, obtido o deslocamento máximo (deformação), nomeado como desempenho de deformação transversal. O princípio deste método é derivado da teoria da mecânica da fratura. Tal método de ensaio foi utilizado em vários países distintos para medição da deformação transversal em argamassas, como na China (WANG, 2014), no Brasil (MARANHÃO; LOH; JOHN, 2011; NOGAMI, 2015) e na Europa.

No Brasil, atualmente, não existe norma regulamentadora para a medição e estudo da flexibilidade nas argamassas. Sendo tal propriedade analisada indiretamente a partir da observação de parâmetros como as resistências à compressão e à tração na flexão (ABNT, 2005d) e a análise do módulo de elasticidade dinâmico (ABNT, 2008).

De acordo com Bauer e Rago (2001), as normas estrangeiras abordam diversas formas para determinar a capacidade das argamassas absorverem deformações; em alguns casos utilizam a nomenclatura de módulo de deformação e em outras, flexibilidade. No Reino Unido, por exemplo, o módulo de deformação é determinado pela normativa BS EN 1015-11 (BSI, 2019), enquanto na Europa se utiliza a EN 12004-1 (CEN, 2017), com o ensaio de deformação transversal para mensuração da flexibilidade nas argamassas.

O presente estudo se propõe a seguir a normativa EN 12004-1 (CEN, 2017) como referência metodológica para investigar a flexibilidade das argamassas. Esta norma europeia estabelece um método claro e eficiente para a obtenção da deformação transversal.

Segundo os autores Wang, Wang e Yao (2012), a relação entre a resistência à compressão e a resistência à flexão é especificada em algumas normativas como o método para caracterizar a flexibilidade da argamassa de cimento na China.

Os EUA e o Canadá também não apresentam normativa nem método específico para a determinação da flexibilidade das argamassas. A deformabilidade das argamassas é mensurada por meio da relação de tensão-deformação, calculadas a partir das cargas axiais e deslocamentos registrados usando a máquina universal de ensaios, descritas pela normativa americana ASTM C109M-20b (ASTM, 2020). As tensões e deformações axiais são calculadas dividindo-se as cargas axiais e os deslocamentos registrados pela área da seção transversal e altura, obtidas a partir das dimensões medidas com um paquímetro (AOCHAROEN; CHOTICKAI, 2021).

Bauer e Rago (2001) defenderam a importância do avanço quanto ao estudo do método mais adequado para a obtenção da flexibilidade das argamassas no meio técnico brasileiro, a fim de que pudesse ser formulada uma norma nacional quanto ao tema tratado, mas de acordo com Nagomi (2014), as normas atualmente disponíveis não conseguem determinar com precisão a flexibilidade das argamassas. Uma breve citação é encontrada nas diretrizes da EN 12004-1

(CEN, 2017), demonstrando o método para obtenção da deformação transversal desses materiais. Bauer e Rago (2001), no que lhe concerne, defendem que a norma europeia EN 12002 (CEN, 2002), atual EN 12004–1 (CEN, 2017), é eficiente para obtenção da flexibilidade em argamassas.

Mesmo sem uma norma nacional específica, que estabeleça os parâmetros com razoável grau de objetividade, é possível inferir que uma alternativa para conceder mais flexibilidade às argamassas de cimento é a adição de polímeros nas misturas, como será discutido nos próximos tópicos.

2.6 Polímeros

Polímeros são macromoléculas formadas pela união de um conjunto de estruturas de menor dimensões, denominadas meros, nos quais essas estruturas se encontram repetidas sucessivamente formando uma cadeia polimérica. Daí se origina o termo polímero como o conjunto de muitos meros repetidos ao longo de uma cadeia polimérica (SOUZA, 2022; SOUZA, 2018; HADDAD; SAMPAIO, 2006).

Canevarolo (2002) e Neto (2021) explicam que os monômeros são a matéria-prima responsável pela produção de um polímero, ou seja, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição.

Vitorino (2019) define que, quando uma cadeia polimérica é formada por ligações de um único tipo de monômero, é chamada de homopolímero. Por outro lado, quando a cadeia polimérica se dá a partir da junção de mais de um tipo de monômero, trata-se de um copolímero.

Estes materiais são utilizados em diversos setores do mercado, em especial na construção civil. Na seara construtiva, eles podem ser encontrados em revestimentos, tintas, adesivos, selantes, materiais compostos, elastômeros e em diversas outras aplicações (SOUZA, 2018; HADDAD; SAMPAIO, 2006).

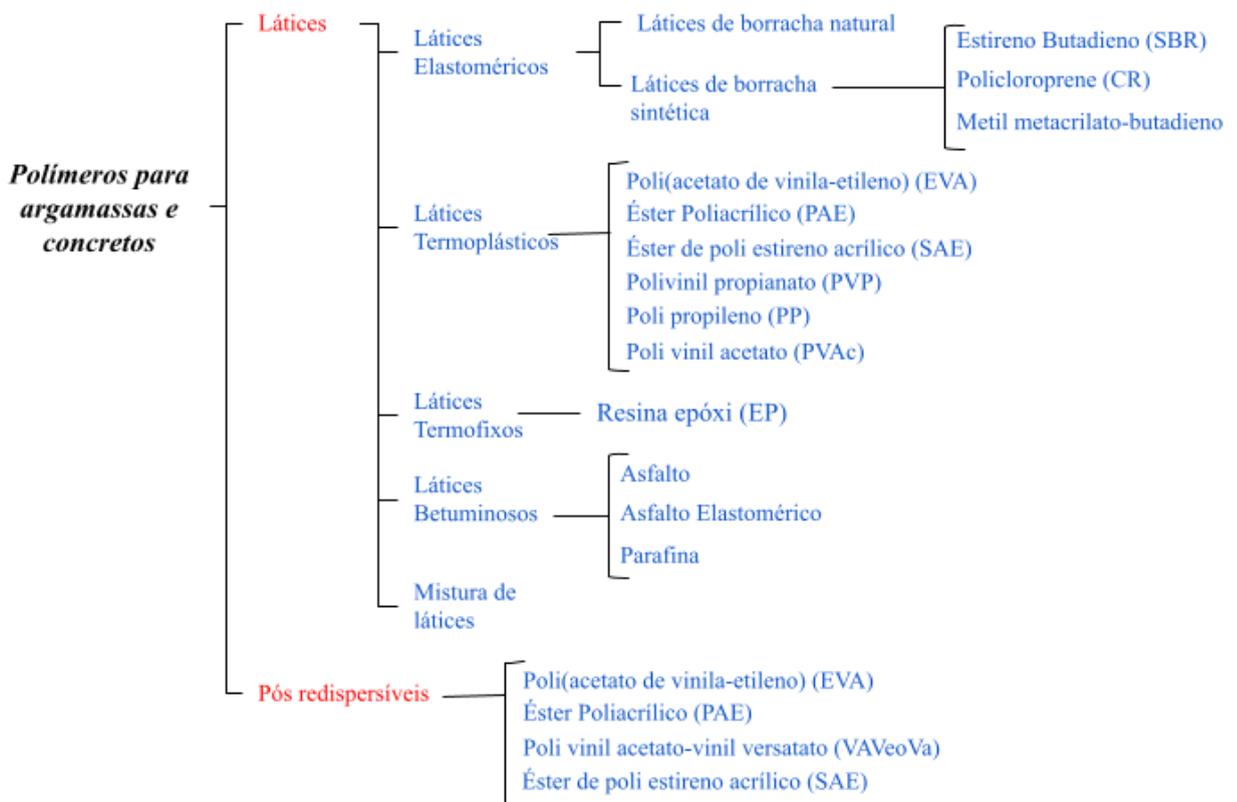
Tendo em vista que os polímeros estão aplicados em diversos materiais na construção civil, o foco da presente pesquisa trata de sua adição nas argamassas de cimento. Diante disso,

mostra-se essencial o esclarecimento dos tipos e características dos polímeros a serem empregados, para se realizar sua adequada utilização.

2.6.1 Classificação dos polímeros

Os autores (MATSUSATO, 2007; NAKAOKA, 2021) utilizaram a classificação de Ohama (1998) referente aos polímeros modificadores de argamassa. Eles dividem esses materiais em quatro categorias, a saber: os látex, pós redispersíveis, polímeros solúveis em água (monômero) e resinas de reação. Dentre os polímeros citados, os autores destacam os látices e os pós redispersíveis como os principais modificadores utilizados nas argamassas (figura 5).

Figura 5 — Principais polímeros modificadores



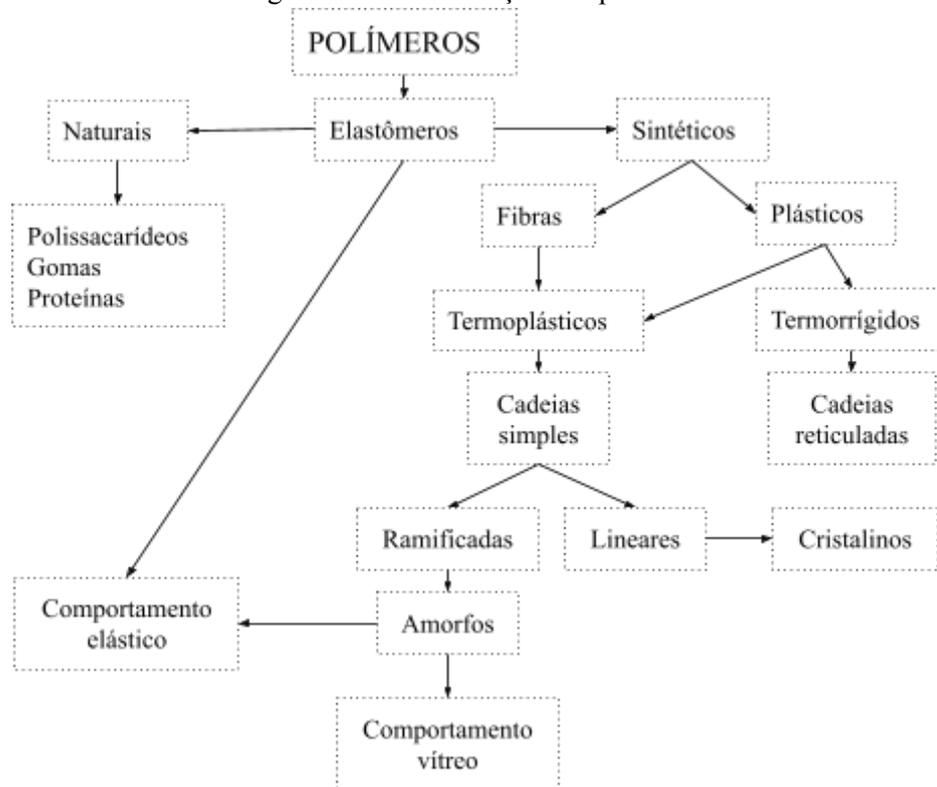
Fonte: Adaptado de Ohama (1998) *apud* Matsusato (2007); Nakaoka (2021)

Canevarolo (2002) e Neto (2021) classificam os polímeros da seguinte maneira (Figura 6):

- Quanto à estrutura química: polímeros de cadeia carbônica e de cadeia heterogênea;
- Quanto ao método de preparação: polímeros de adição e de condensação;

- c) Quanto ao comportamento mecânico: polímeros plásticos, elastômeros e de fibras;
 d) Quanto ao desempenho mecânico: termoplásticos convencionais, termoplásticos especiais, termoplásticos de engenharia (TE), termoplásticos de engenharia especiais.

Figura 6 — Classificação dos polímeros



Fonte: Oliveira (2013) *apud* Vitorino (2019)

Os polímeros pós redispersíveis são pós secos por pulverização a partir de dispersões de látex que, através da mistura com água, produzem uma dispersão estável, exatamente como a dispersão original (MOBARAK *et al.*, 2021; SCHULZE; KILLERMANN, 2001).

Os látex de polímeros ou dispersões de polímeros são caracterizados pelo fato de serem de partículas muito pequenas, tipicamente possuindo 0,05–5 μm de diâmetro, dispersos em meio aquoso. Dentre eles, exemplos comuns de látex sintético incluem acetato de vinil, látex de homo e copolímero, látex de copolímero acrílico e látex de copolímero de estireno butadieno.

No caso dos polímeros naturais, como a borracha natural e látex epóxi, eles não são compatíveis para serem sintetizados por polimerização em emulsão. Derivados de celulose, álcool polivinílico, poliacrilamida são exemplos de polímeros solúveis em água misturados com cimento na forma de pó, com a expectativa de evitar a ocorrência de ressecamento e

melhorar a durabilidade (MOBARAK *et al.*, 2021).

Devido à capacidade de formação do filme polimérico durante o processo de hidratação do cimento, os polímeros, quando adicionados às argamassas, tendem a proporcionar benefícios.

2.6.2 Adição de polímeros em argamassas

Ohama (1998) destaca que a ideia de modificar as argamassas de cimento utilizando polímeros não é novidade, visto que em 1923 fora concedida a primeira patente quanto ao assunto. Apesar de não se tratar de uma ideia recente, muito ainda tem a se estudar quanto ao tema. As pesquisas realizadas no decorrer dos anos comprovam que o assunto está longe de ser esgotado.

Diversos autores concordam e apontam em suas pesquisas que a adição de polímeros à argamassa de cimento proporciona diversas melhorias em suas propriedades, dentre elas, a aderência, a capacidade de absorção de deformações e a resistência ao desgaste por abrasão e à permeabilidade (GODOY; BARROS; 1999; OHAMA, 1998).

Akiama; Medeiros; Sabbatini (1997) relataram duas formas de as argamassas ficarem mais flexíveis: diminuindo a quantidade de cimento da mistura ou adicionando polímeros. Dentre as possibilidades, destacam que a adição de polímeros nas argamassas é mais vantajosa, tendo em conta que, além de aumentar sua capacidade de deformação, gera implemento em sua aderência.

Nakaguma (2014) acrescenta que o implemento de adições poliméricas nas argamassas gera melhor aderência e maior elasticidade a elas, o que resulta numa argamassa com bom desempenho no amortecimento das tensões aplicadas na estrutura.

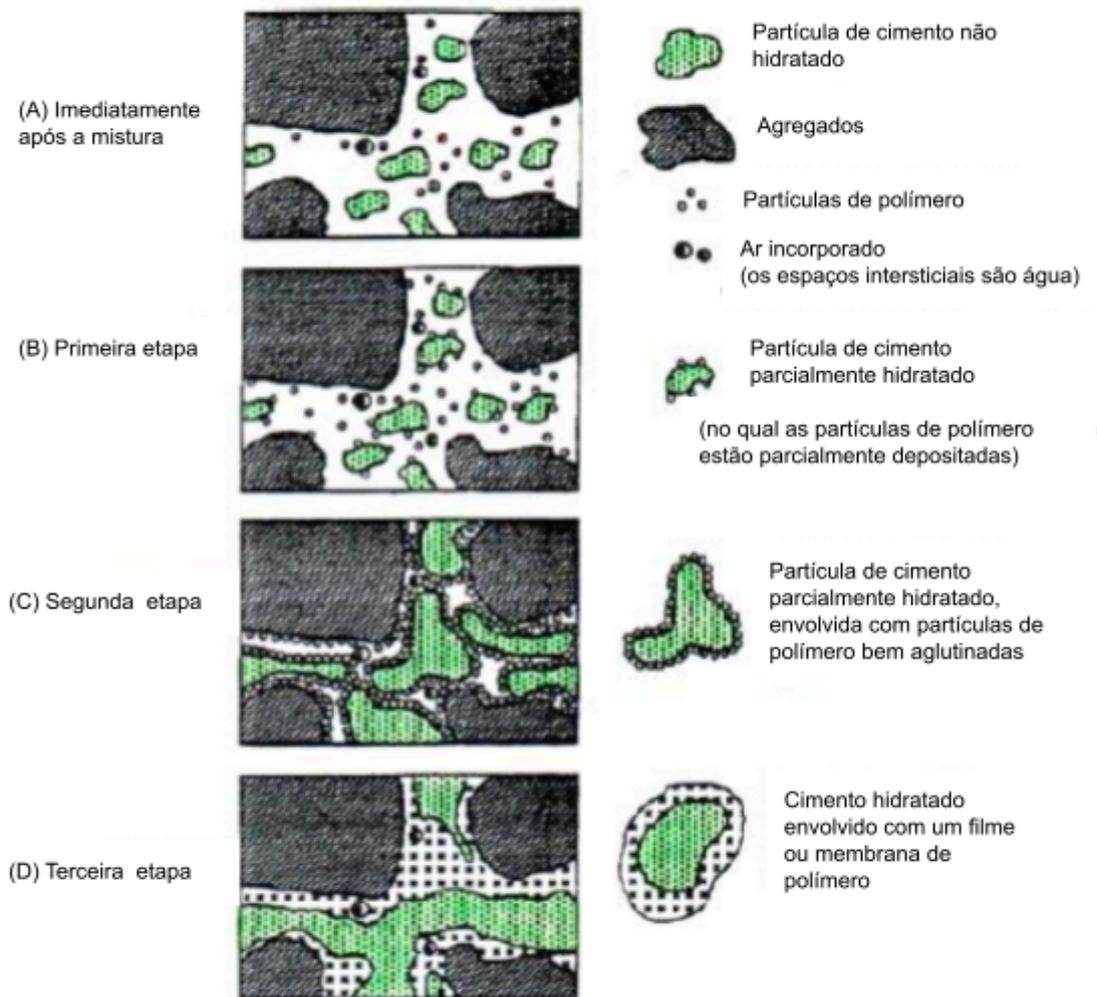
Maranhão, Loh e John (2011) enfatizam que os polímeros, quando adicionados à argamassa convencional em teores controlados, tendem a apresentar melhorias na trabalhabilidade, propriedades mecânicas, adesão, flexibilidade, retenção de água e aos efeitos hidrofóbicos.

Mansur (2007) e Neto (2021) afirmam que a forma mais comumente utilizada para

modificação das argamassas é por meio de látices ou emulsões poliméricas dispersas em meio aquoso.

A reação de formação do filme polimérico no processo de hidratação do cimento, a partir da modificação por látex nas argamassas, foi expressa por Ohama (1998 *apud* Nakaoka, 2021) na figura 7.

Figura 7 — Reação dos látex nas argamassas

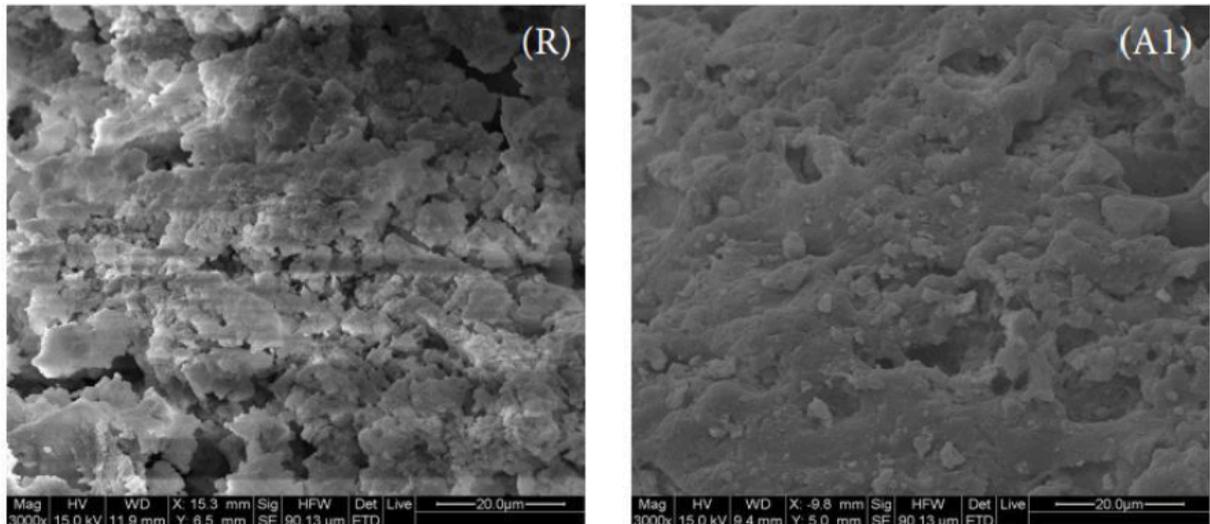


Fonte: Adaptado de Ohama (1998) *apud* Matsusato (2007); Nakaoka (2021)

Wang e Zhang (2015) ao compararem as diferenças presentes na estrutura morfológica, por meio do MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura), de uma argamassa modificada com polímero (A1) e uma sem modificação (R), constataram que a argamassa sem adição polimérica apresenta maior proporção de vazios e fissuras quando comparada à argamassa com adição (figura 8). Tal fato, explicam os autores, se dá devido às propriedades do polímero

adicionado que proporcionou melhorias em alguns comportamentos físicos e mecânicos da argamassa como resistências mecânicas, absorção e permeabilidade.

Figura 8 — Argamassa sem adição de polímeros (R) x argamassa com adição de polímero (A1)



Fonte: Wang e Zhang (2015)

Com base nos diversos benefícios apontados em razão da modificação da argamassa com polímeros, buscou-se afunilar as buscas mediante pesquisas que acrescentassem profundidade ao tema.

2.7 Deformação transversal em argamassas modificadas com polímeros — Revisão da literatura

A partir do tema proposto na pesquisa, foi realizada uma revisão da literatura, baseada no método de revisão sistemática da literatura, de modo a buscar as contribuições das pesquisas acerca do tema de argamassas modificadas com polímeros, com foco nos estudos que avaliaram a deformação transversal.

Os dados foram obtidos pela busca nas bases de dados *Scopus*, *Science Direct*, *Engineering Village*, *Web of Science*, Periódicos CAPES e Google Acadêmico utilizando as palavras-chave “mortar”, “cement mortar”, “transverse deformation”, “flexibility test”, “polymer” e “copolymer”.

Foram considerados aptos para serem utilizados na revisão da literatura, artigos publicados

entre os anos de 2011 e 2021, em inglês, português e espanhol. Apenas foram incluídos aqueles que atendiam aos critérios de inclusão propostos na revisão. Dentre eles, foram selecionados os artigos que apresentassem as seguintes informações: estudos de argamassas modificadas com polímeros, os teores dos polímeros utilizados e o resultado do ensaio de deformação transversal.

A metodologia utilizada para a revisão foi separada em três fases: planejamento, condução e documentação. Na fase de planejamento foi preenchido o protocolo com base na ferramenta START (*State of the Art through Systematic Review*), software criado e disponibilizado gratuitamente pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) (START, 2013) para auxiliar na realização de revisões sistemáticas da literatura.

Nesta etapa, definiu-se a pergunta central da revisão como sendo: “*Quais os benefícios na deformação transversal das argamassas modificadas com polímeros?*”. A partir dela, foram definidas as palavras-chave e descritores a serem utilizados. A *string* de busca genérica gerada pode ser vista na figura 9.

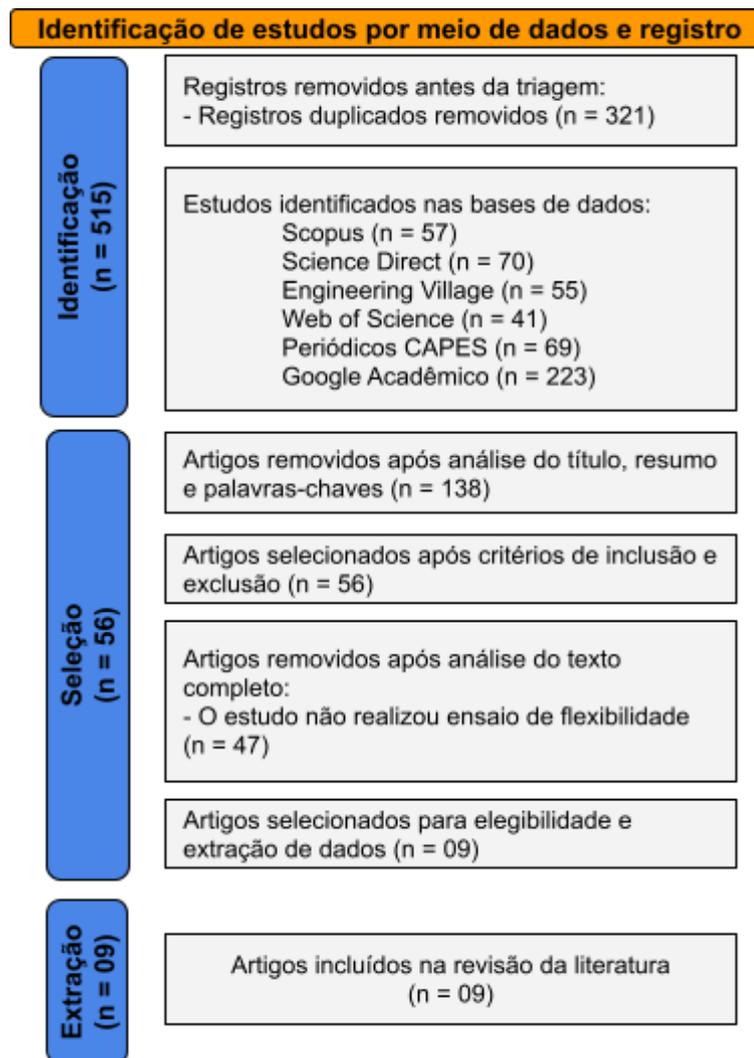
Figura 9 — *String* de busca genérica utilizada nas bases de dados

("Mortar" OR "cement mortar") AND ("flexibility" OR "transverse deformation" OR "flexibility test") AND ("Polymer" OR "acrylic copolymer" OR "vinyl copolymer" OR "copolymer")

Fonte: Autora (2022)

Por sua vez, na fase de condução, foi executada a pesquisa nas bases de buscas propostas e, em seguida, os artigos foram coletados e selecionados após leitura de seu título, resumo e texto completo, segundo os critérios de inclusão e exclusão propostos no protocolo da pesquisa, figura 10.

Figura 10 — Fases da revisão da literatura



Fonte: Autora (2022)

Por fim, na etapa de documentação, sintetizaram-se os dados coletados nos artigos selecionados a partir do formulário de extração de dados estabelecido no protocolo da pesquisa, em seguida, foram documentados os resultados da revisão.

No Quadro 6, é possível observar o resultado da revisão da literatura, em que constam as informações dos nove artigos considerados aptos para a inclusão na revisão da literatura, são elas, as bibliografias nos quais os autores estudam a flexibilidade das argamassas modificadas com polímeros, com base na realização do ensaio de deformação transversal indicado na norma EN 12002 (CEN, 2002), que atualmente é a EN 12004–1 (CEN, 2017).

Quadro 6 – Dados extraídos pela revisão da literatura

Referência	Polímero(s) utilizado	Teores adotados	Efeito na flexibilidade das argamassas modificadas com polímeros
Wang e Wang (2011)	Borracha de estireno-butadieno	5%, 10%, 15% e 20%	A modificação com o látex SBR é eficaz em melhorar a flexibilidade da argamassa. Verificou-se que a deformação transversal aumentou gradualmente à medida que o teor do polímero SBR cresceu. Para o teor máximo proposto de 20% a deformação transversal da mistura com SBR látex chegou próximo aos 3,0 mm, enquanto a argamassa sem modificação não atingiu 1,0 mm.
Maranhão, Loh e John (2011)	Copolímero de vinil acetato etileno e copolímero de vinil acetato de vinil versato	10% e 20%	Todas as argamassas preparadas apresentaram maiores deformações transversais em relação às comerciais. A argamassa com adição de 20% de copolímero de vinil acetato de vinil versato apresentou a maior média quando comparada com os resultados das modificadas pelo copolímero de vinil acetato/etileno. Os resultados apontam que quanto menor a relação, polímero/cimento, menor é a flexibilidade.
Sun <i>et al.</i> (2011)	Emulsão acrílica	15%, 20% e 30%	As três argamassas estudadas apresentaram excelente flexibilidade conforme os parâmetros chineses apresentados. Além disso, foi destacado que o aumento da emulsão de polímero orgânico na mistura proporcionou melhoria na flexibilidade da argamassa.
Wang, Wang e Yao (2012)	Copolímero acetato de vinil e versatato	1%, 3%, 5%, 8%, 10%, 12%, 15% e 20%	Os resultados mostram que quando o teor de polímero foi menor que 8%, a deformação transversal aumentou gradualmente com o aumento da porcentagem adicionada. Entretanto, a deformação transversal aumentou acentuadamente de 1,1 mm para 1,6 mm com o aumento de 8% para 12%, o que indica que o acréscimo do polímero em pó melhorou significativamente a flexibilidade da argamassa de cimento. No entanto, os teores superiores a 12%, a taxa de aumento da deformação transversal diminuiu com o aumento. A tendência mostra uma mudança qualitativa na estrutura da argamassa modificada através da porcentagem de polímero na mistura, aumentando de 8% para 12%. A fase polimérica formou uma estrutura de membrana contínua, o que contribuiu muito para a melhoria da flexibilidade. Concluindo, a adição apresenta ganho de flexibilidade a argamassa de cimento.
Petit e Wirquin (2014)	EVA, copolímero acetato de vinil e versatato, copolímeros à base de acetato de vinil e acetato de vinil puro.	3%	Como o objetivo dos autores não é comparar a tecnologia dos polímeros utilizados, sendo eles não especificados no artigo, e como o teor utilizado é igual para todos os polímeros, destacando que o foco da revisão é apresentar se houve ou não ganho de flexibilidade a partir da deformação transversal, foram comparados os resultados apresentados no artigo de deformação transversal com os parâmetros da norma europeia EN-12002 (CEN, 2002). Assim, conclui-se que as argamassas estudadas apresentaram resultados de deformação transversal de 2,5 mm até 3,4 mm, onde apenas um traço apresentou 2,3 mm de deformação. Segundo a norma, caracteriza-se como argamassa deformável, os resultados $\geq 2,5$ mm e < 5 mm. Concluindo-se que a adição de polímeros na argamassa de cimento resultou num composto deformável.

Quadro 6 – Dados extraídos pela revisão da literatura (continuação)

Referência	Polímero(s) utilizado	Teores adotados	Efeito na flexibilidade das argamassas modificadas com polímeros
Wang (2014)	Látex de estireno butadieno carboxílico	5%, 10%, 15% e, 20%	Foi constatado pelo autor que o látex de estireno butadieno carboxílico aumenta a flexibilidade e a capacidade anti deformante da argamassa de cimento. Os resultados indicam que quando a relação polímero-cimento é de 20%, a maior estudada, é constatado maior flexibilidade e consequentemente há redução da fragilidade da argamassa de cimento modificada com látex de estireno butadieno carboxílico.
Nogami <i>et al.</i> (2015)	Copolímero de éster de ácido acrílico e estireno	20% e 40%	Quando a quantidade de polímero na argamassa foi duplicada, resultou-se em um aumento significativo no desempenho de deformação transversal. Ou seja, a argamassa modificada com 40% do copolímero de éster de ácido acrílico e estireno foi a mais flexível.
Kuleska <i>et al.</i> (2020)	Acrílico, estireno-butadieno, estireno-acrílico, acetato de vinila, acetato de vinila-etileno e acetato de vinila-éster vinílico de ácido versático	1%, 2%, 3%, 4% e 5%	Todos os pós de polímeros redispersíveis em seus variados teores testados, obtiveram valores de deformação transversal superiores aos da argamassa de referência estudada. Destacando o teor de 1% dos polímeros em pós redispersíveis utilizados, nos quais as deformações transversais obtidas variaram de 1,01 a 1,37 mm, e para o teor de polímeros em pós redispersíveis de 5%, 1,78 a 2,13 mm, o que corresponde a um aumento relativo de 69 a 103%. Para a argamassa de referência sem aditivos a deformação transversal foi de 1,05 mm.
Zappile e Resende (2020)	Poliacetato de vinila	2%, 4%, 5% e 10%	Verificou-se que à medida que aumenta o teor de polímero PVAc, aumenta-se a deformação transversal da argamassa colante, evidenciando a influência do teor de polímero nesta propriedade. Os autores concluem que a capacidade de deformação da argamassa estudada é fortemente influenciada pelo teor de polímero PVAc.

Fonte: Autora (2022)

Ao investigar a ação dos polímeros na deformação transversal das argamassas, é possível concluir que os autores (WANG; WANG, 2011; MARANHÃO; LOH; JOHN, 2011; SUN *et al.*, 2011; WANG, 2014; NOGAMI *et al.*, 2015; KULESKA *et al.*, 2020; ZAPPILE; RESENDE, 2020) concordam que a modificação com polímeros na argamassa de cimento resulta em ganho de flexibilidade. Entretanto, este ganho depende da escolha adequada das dosagens dos polímeros na mistura.

Sobre tal afirmação, Sun *et al.* (2011) explicam, a partir dos resultados encontrados pela modificação da argamassa com emulsão acrílica, que a emulsão polimérica reage com o cimento na presença de água, formando um material compósito composto por poro capilar, fases de cimento e polímero. O cimento e o polímero podem ser ligados através da interação de interface entre as partículas inorgânicas e poliméricas. Assim se formou o filme de polímero com estrutura de rede, o que fez com que os grãos do cimento fossem unidos firmemente. A emulsão acrílica polimérica pode fornecer água para a reação de hidratação do cimento, melhorando sua taxa de hidratação. Após a solidificação, o polímero pode obstruir os poros capilares dos grãos de cimento e diminuir significativamente a porosidade. A argamassa flexível preparada exibiu não apenas a alta resistência às intempéries e resistência dos materiais inorgânicos, mas também excelente flexibilidade e resistência ao impacto.

Wang, Wang e Yao (2012) também concluíram que a fase polimérica formou uma estrutura de membrana contínua na mistura, o que muito contribuiu para a melhoria da flexibilidade da argamassa com a adição de copolímero, acetato de vinil e versatato (VA/VeoVa).

Os teores de polímero utilizados pelos autores (WANG; WANG, 2011; MARANHÃO; LOH; JOHN, 2011; SUN *et al.*, 2011; WANG, 2014; NOGAMI *et al.*, 2015; KULESKA *et al.*, 2020; ZAPPILE; RESENDE, 2020) variaram entre de 1% e 40% em relação à massa de cimento utilizada nas misturas.

A partir da revisão, também foi possível constatar a predominância da utilização dos polímeros por meio de látex (WANG; WANG, 2011; SUN *et al.*, 2011; PETIT; WIRQUIN, 2014; WANG, 2014; NOGAMI *et al.*, 2015; ZAPPILE; RESENDE, 2020) e pós redispersíveis (MARANHÃO; LOH; JOHN, 2011; WANG; WANG; YAO, 2012; KULESKA *et al.*, 2020). Tal fato encontra-se em concordância com a afirmação dos autores Matsusato (2007) e Nakaoka (2021), que destacam a utilização dos látex e pós redispersíveis como os

principais tipos e mais comumente utilizados meios de modificação das argamassas com polímeros.

Com base nos resultados obtidos através da revisão da literatura, na qual foi realizada busca específica a partir da proposta do estudo, pode-se constatar a utilização do ensaio de deformação transversal como método para determinar a flexibilidade em argamassas modificadas com polímeros sendo utilizada em países como a China (WANG; WANG, 2011; SUN *et al.*, 2011; WANG; WANG; YAO, 2012; WANG, 2014), Brasil (MARANHÃO; LOH; JOHN, 2011; NOGAMI *et al.*, 2015; ZAPPILE; RESENDE, 2020), Polônia (KULESKA *et al.*, 2020) e França (PETIT; WIRQUIN, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo descreve o programa experimental realizado no sentido de avaliar a flexibilidade de uma argamassa industrializada modificada com copolímero estireno-acrílico (SAE), copolímero poliacetato de vinila (PVAc), copolímero estireno-butadieno (SBR), cola branca PVA (poliacetato de vinila), todos látices termoplásticos, seguindo a classificação proposta por Ohama (1998) e utilizada pelos autores Matsusato (2007) e Nakaoka (2021), além do aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado.

Foram utilizados onze traços a serem estudados na pesquisa. Para cada polímero e aditivo propôs-se um traço em adição e outro em substituição à parte da água utilizada nas misturas, sendo constante a quantidade de argamassa industrializada.

Denominou-se as misturas estudadas como:

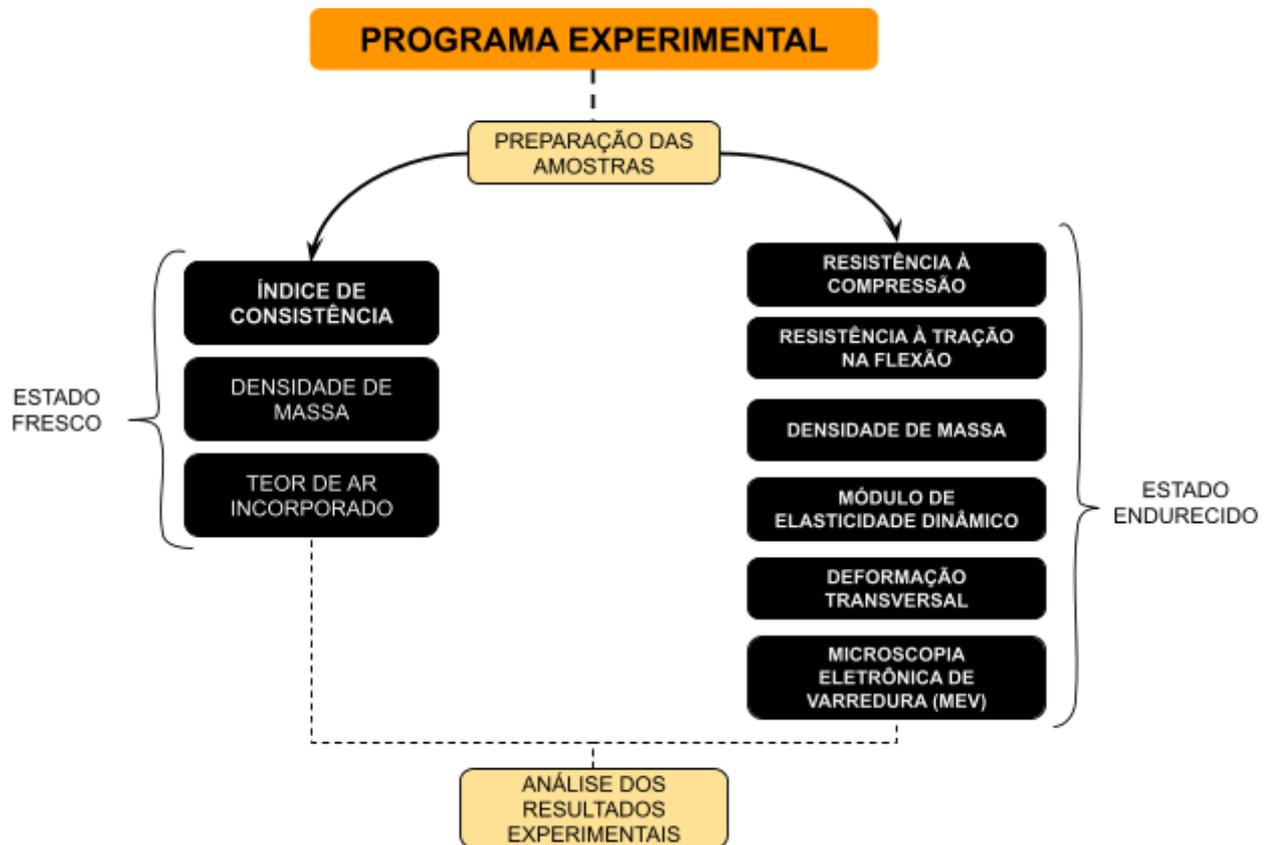
- **REF:** traço de referência, composto pela argamassa industrializada sem adição dos polímeros;
- **SAE — adição:** Composto pela argamassa industrializada com adição de 4% do copolímero estireno-acrílico em relação ao volume de materiais secos da mistura, somado a quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;
- **SAE — substituição:** Constituído pela argamassa industrializada e 4% do copolímero estireno-acrílico em relação a volume de materiais secos da mistura em substituição a parte da quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;
- **PVAc — adição:** Preparado com a argamassa industrializada e 5% do copolímero poliacetato de vinila em relação a volume de materiais secos da mistura, somado a quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;
- **PVAc — substituição:** Feito com a argamassa industrializada e adição de 8% do copolímero poliacetato de vinila em relação ao volume de materiais secos da mistura em substituição a parte da quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;

- **SBR — adição:** Composto pela argamassa industrializada com adição de 8% do copolímero estireno-butadieno em relação ao volume de materiais secos da mistura, somado a quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;
- **SBR — substituição:** Constituído pela argamassa industrializada e 5% do copolímero estireno-butadieno em relação a volume de materiais secos da mistura em substituição a parte da quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;
- **PVA — adição:** Preparado com a argamassa industrializada e 5% de cola branca PVA em relação a volume de materiais secos da mistura, somado a quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;
- **PVA — substituição:** Feito com a argamassa industrializada e adição de 5% de cola branca PVA em relação ao volume de materiais secos da mistura em substituição a parte da quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;
- **C — adição:** Preparado com a argamassa industrializada e 0,08% do aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado em relação a volume de materiais secos da mistura, somado a quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;
- **C — substituição:** Feito com a argamassa industrializada e adição de 0,08% do aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado em relação ao volume de materiais secos da mistura em substituição a parte da quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência.

Destaca-se que para a realização do programa experimental considerou-se a normativa NBR 13281 (ABNT, 2005a), uma vez que a publicação da normativa NBR 13281-1 (ABNT, 2023a) foi posterior à realização dos ensaios, sendo utilizada no presente trabalho para o fim informativo.

Definido os traços, desenvolveu-se o fluxograma esquemático do programa experimental exposto na figura 11.

Figura 11 — Fluxograma do programa experimental



Fonte: Autora (2022)

As misturas foram realizadas nas dependências da POLI-UPE, nos laboratórios LACC (Laboratório Avançado de Construção Civil) e LMCC (Laboratório de Materiais de Construção Civil), assim como os ensaios de consistência, densidade de massa (estado fresco e endurecido), teor de ar incorporado, índice de consistência, resistência à tração na flexão e à compressão e para determinar a flexibilidade foi realizado o ensaio de deformação transversal. O ensaio do módulo de elasticidade dinâmico foi realizado no LABTAG (Laboratório de Tecnologia dos Aglomerantes) da Universidade Federal de Pernambuco — UFPE. Os ensaios do MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) foram feitos no INTM (Instituto Nacional de Tecnologia Em União e Revestimento de Materiais) da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

3.1 Materiais

3.1.1 Argamassa industrializada

Para o desenvolvimento deste trabalho foi selecionada e utilizada uma Argamassa

Industrializada (AI) de uso geral, tendo em vista as vantagens do seu uso em comparação a argamassa preparada em obra (SILVA, 2020).

Seguindo a determinação do fabricante deve-se adicionar água em quantidades de 2,9 a 3,1 litros por saco para aplicação. No presente trabalho foi utilizado a dosagem 3,1, litros por saco de 20 kg, ou seja, 155 ml/kg.

Os dados técnicos da argamassa selecionada, disponibilizados pelo fabricante em sua ficha técnica, podem ser observados no Quadro 7. Conforme os dados fornecidos pelo fabricante, a argamassa atende aos requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005), sendo classificada pelas seguintes classes: P4; M4; R3; D4.

Quadro 7 — Dados técnicos da argamassa industrializada

Propriedade	Índice		Método de ensaio
Resistência à compressão (MPa)	P4	4,0 a 6,5	NBR 13279 (ABNT, 2005)
Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³)	M4	1400 a 1800	NBR 13280 (ABNT, 2005)
Resistência à tração na flexão (MPa)	R3	1,5 a 2,7	NBR 13279 (ABNT, 2005)
Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)	D4	1600 a 2000	NBR 13278 (ABNT, 2005)

Fonte: Votorantim (2022)

A argamassa foi selecionada visto que se trata de uma argamassa de uso geral indicada para assentamento de blocos de alvenaria, utilizada também na fixação da alvenaria a estrutura, atendendo a proposta da pesquisa, além de ser largamente utilizada e facilmente encontrada na região do Recife–PE, Brasil.

3.1.2 Polímeros e o aditivo

Os polímeros utilizados para modificação da argamassa industrializada trata-se de produtos prontos para uso classificados pelos fabricantes em seus respectivos manuais técnicos como: copolímero vinílico, copolímero acrílico, copolímero estireno-butadieno, cola branca PVA e um aditivo plastificante.

Cada polímero estudado foi selecionado com base em literaturas específicas de argamassas

modificadas com polímeros, onde os autores destacam os benefícios das adições às propriedades das argamassas. (WANG R.; WANG P., 2011; SUN *et al.*, 2011; MARANHÃO; LOH; JOHN, 2011; WANG; WANG; YAO, 2012; PETIT; WIRQUIN, 2014; WANG, 2014; NOGAMI *et al.*, 2015; ZAPPILE; RESENDE, 2020; KULESKA *et al.*, 2020).

O aditivo plastificante utilizado no presente trabalho foi escolhido por se tratar de um material indicado pelo fabricante para uso na argamassa de assentamento de blocos. Sendo possível realizar comparações entre o aditivo utilizado atualmente nas obras e a adição dos polímeros à argamassa industrializada (MC BAUCHEMIE, 2022).

Neste estudo foi utilizado um aditivo látex copolímero vinílico, especificado pelo fabricante como sendo um copolímero poliacetato de vinila (PVAc), que no presente trabalho será intitulado PVAc, cujas especificações, de acordo com informações fornecidas na ficha técnica, encontram-se descritas no Quadro 8.

Quadro 8 — Dados técnicos do látex PVAc

Características	Dados
Densidade (g/cm³)	1,02
pH	4 a 5
Estado	Emulsão
Base química	Copolímero vinílico

Fonte: Vedacit (2022)

O outro polímero selecionado consiste no copolímero acrílico, descrito pelo fabricante como sendo um copolímero estireno-acrílico (SAE), denominado na presente pesquisa como SAE, cujas especificações fornecidas na ficha técnica estão expostas no Quadro 9.

Quadro 9 — Dados técnicos do látex SAE

Características	Dados
Densidade (g/cm³)	0,95 a 1,05
pH	7 a 9
Estado	Emulsão
Base química	Copolímero acrílico

Fonte: Quimicryl (2022)

O polímero estireno-butadieno (SBR) selecionado, intitulado como SBR, estão com as

especificações do produto apresentadas no Quadro 10, conforme descrito na ficha técnica.

Quadro 10 — Dados técnicos do látex SBR

Características	Dados
Densidade (g/cm³)	1,001 a 1,003
pH	8,5 a 10
Estado	Emulsão
Base química	Estireno-butadieno

Fonte: Viapol (2022)

Também foi ensaiada a adição de cola branca PVA, que no presente trabalho será chamado como PVA, as informações técnicas do produto estão expostas no Quadro 11.

Quadro 11 — Dados técnicos da cola branca PVA

Características	Dados
Densidade (g/cm³)	1,01
pH	4 a 5
Estado	Emulsão
Base química	Poliacetato de vinila

Fonte: Henkel (2022)

Por fim, foi adicionado na pesquisa o aditivo plastificante e estabilizador para argamassa de assentamento e reboco, referenciado como C, e dados técnicos apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 — Dados técnicos do aditivo plastificante

Características	Dados
Densidade (g/cm³)	1,00
pH	8
Estado	Emulsão
Base química	Sal de álcool graxo etoxilado sulfatado

Fonte: MC Bauchemie (2022)

Para definição de cada mistura a ser feita e avaliada partiu-se de um percentual inicial baseado na quantidade indicada por cada fabricante, assim, foram estabelecidos para cada tipo de polímero dois traços: um em substituição, ou seja, foi adicionado a quantidade do aditivo recomendada pelo fabricante em substituição a parte da quantidade de água estabelecida pelo

fabricante da argamassa de referência, e o outro traço em adição, isto é, a quantidade de aditivo estipulada pelo fabricante do aditivo, foi somada a medida de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência.

Destaca-se que, conforme o manual do fabricante do copolímero estireno-acrílico, SAE, e do aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado, a indicação da quantidade de aditivo se dá em relação ao quantitativo de materiais secos na mistura.

Enquanto para o copolímero poliacetato de vinila, PVAc, e o copolímero estireno-butadieno, SBR, a quantidade deve ser dimensionada em relação à quantidade de água presente na mistura.

No que se refere a adição da cola branca PVA, o teor foi selecionado com base nos ensaios realizados anteriormente pelos autores, Pedrosa *et al.* (submetido à publicação), onde o teor de 5% apresentou os melhores resultados para objetivo da presente pesquisa.

As quantidades dos materiais utilizados juntamente aos seus respectivos teores são exibidos na tabela 4. A medida de argamassa utilizada em cada traço foi constante, tendo em vista a determinação da NBR 16541 (ABNT, 2016a, p. 1-2) que diz:

“Para a preparação de argamassas frescas a serem utilizadas em ensaios de caracterização do material, deve-se usar, para cada mistura com água, 2,5 kg com aproximação de 1,0 g de material seco (massa de argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros, no caso de argamassa dosada em obra).

A quantidade de água utilizada tomada como base foi o volume indicado pela fabricante da argamassa industrializada, que variou conforme a quantidade dos polímeros adicionados.

Tabela 4 — Traços estudados

Identificação do traço	Classificação do polímero	Relação polímero/materiais secos(%)	Massa da água da mistura (g)	Massa do polímero (g)	Massa dos materiais secos (g)
Referência	-	0	387,5	-	2500
SAE — Adição	SAE	4	387,5	100	2500
SAE — Substituição	SAE	4	287,5	100	2500
PVAc — Adição	PVAc	8	387,5	198	2500
PVAc — Substituição	PVAc	5	258,3	129	2500
SBR — Adição	SBR	8	387,5	193,8	2500

Tabela 4 — Traços estudados (continuação)

Identificação do traço	Classificação do polímero	Relação polímero/materiais secos(%)	Massa da água da mistura (g)	Massa do polímero (g)	Massa dos materiais secos (g)
SBR — Substituição	SBR	5	258,3	129,2	2500
C — Adição	*	0,08	387,5	2	2500
C — Substituição	*	0,08	385,5	2	2500
PVA — Adição	PVA	5	387,5	125	2500
PVA — Substituição	PVA	5	262,5	125	2500

* A mistura foi modificada com um aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado, segundo fabricante, não se classificando como polímero.

Fonte: Autora (2022)

3.2 Métodos

A mistura da argamassa foi realizada segundo a NBR 16541 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Preparo da mistura para a realização de ensaios (ABNT, 2016a).

Para a argamassa no estado fresco foram feitos os ensaios de determinação do índice de consistência, conforme a norma NBR 13276 (ABNT, 2016b), densidade de massa e do teor de ar incorporado, conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005c).

No estado endurecido foram realizados ensaios de densidade de massa aparente, NBR 13280 (ABNT, 2005b), resistência à compressão e tração na flexão, NBR 13279 (ABNT, 2005d), módulo de elasticidade dinâmico, NBR 15630 (ABNT, 2008), deformação transversal segundo à norma europeia EN 12004-1 (CEN, 2017b) e MEV cujos métodos de execução dos ensaios são descritos a seguir.

3.2.1 Preparo da mistura

Inicialmente realizou-se a separação dos materiais conforme as quantidades determinadas para cada traço a ser estudado. Para todos os traços foram utilizados 2,5 kg da argamassa industrializada anidra, seguindo a instrução da norma utilizada. Para os líquidos dos traços, suas respectivas medidas de água e dos polímeros foram misturados à água de amassamento antes de serem inseridos no preparo das argamassas.

Posteriormente o preparo da mistura foi realizado em concordância com a NBR 16541 (ABNT, 2016a) que instrui como deve ser realizado o preparo da argamassa. Tal procedimento pode ser observado no Quadro 13.

Quadro 13 — Procedimento para preparação da mistura

Processos		
1		Pesar a massa 2,5 kg de argamassa anidra e colocar no misturador.
2		Acionar o misturador na velocidade baixa e adicionar 75% da água de mistura à argamassa nos 10 s iniciais, misturando até completar o tempo de 30 s, desde o acionamento do misturador;
3		Mudar para velocidade alta e misturar por mais 60 s;
4		Parar o misturador, retirar a pá de mistura e raspar toda a superfície interna e da pá, em um intervalo de 90 s;
5		Acionar o misturador na velocidade baixa e adicionar o restante da água (25%) em 10 s, continuando a mistura até completar 30 s mais o tempo indicado pelo fabricante ou até completar 60 s na ausência desta informação.

Fonte: ABNT (2016a)

Realizado o procedimento, prosseguiu-se para a realização dos ensaios das argamassas no estado fresco, ou seja, logo após a mistura.

3.2.2 Ensaios no estado fresco

3.2.2.1 Determinação do índice de consistência

A NBR 13276 (ABNT, 2016b) institui que o ensaio deve ser realizado logo após o preparo da argamassa. Segundo o método estabelecido, a argamassa deve ser colocada no molde tronco cônico e preenchida em três camadas sucessivas com alturas aproximadamente iguais. Em cada camada deve-se aplicar, respectivamente, quinze, dez e cinco golpes com o soquete, de forma que a argamassa fique distribuída de maneira uniforme em cada uma delas.

Com o molde devidamente preenchido, retirá-lo cuidadosamente e realizar 30 quedas, acionadas pela manivela da mesa, em 30 segundos de maneira constante. Finalizado o procedimento deve-se medir três diâmetros distintos da argamassa espalhada sobre a mesa, conforme figura 12. Obtido os resultados, calcular a média e indicar o índice de consistência da argamassa estudada.

Figura 12 — Ensaio para determinação do índice de consistência



Fonte: Autora (2022)

3.2.2.2 Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado

Conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005c) que trata do ensaio de densidade de massa específica, é necessário para a realização do ensaio uma balança com resolução de 0,1 gramas, um recipiente rígido, cilíndrico e de material não absorvente, uma espátula e uma placa de vidro plana.

De posse dos materiais necessários é obrigatório a calibração do recipiente cilíndrico para correta execução do ensaio que se dá pesando o recipiente vazio com a placa de vidro em cima e em seguida registrando a sua massa (mv). Feito isso, deve-se encher o recipiente com água destilada e registrar seu volume (vr), e então colocar a placa de vidro sobre o recipiente

para não deixar bolhas de ar sob a placa e pesar novamente o recipiente, registrando sua massa (m_a). De posse dessas informações é possível calcular o volume do recipiente a partir da diferença das massas.

Após a calibração do recipiente e a preparação da argamassa deve-se colocar a argamassa fresca no cilindro formando três camadas de alturas aproximadamente iguais. A cada camada adicionada é indicado aplicar 20 golpes com a espátula na posição vertical, fazendo-a penetrar na superfície da camada imediatamente inferior. Feitas as camadas efetua-se três quedas do recipiente de uma pequena altura para evitar vazios entre a argamassa e a parede do recipiente (figura 13). E imediatamente após, pesar e registrar a massa do recipiente com a argamassa (m_c).

Figura 13 — Ensaio para determinação do teor de ar incorporado



Fonte: Autora (2022)

Com os dados obtidos, a NBR 13278 (ABNT, 2005c), instrui, utilizar para calcular a densidade de massa da argamassa (d) no estado fresco, a Equação 1:

$$d = \frac{m_c - m_v}{v_r} \times 1000 \quad (1)$$

Onde, m_c se trata da massa do recipiente contendo a argamassa no estado fresco, expresso em gramas, m_v sendo a massa do recipiente de ensaio vazio e v_r o volume do recipiente utilizado para o ensaio. Tal resultado deve ser expresso em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3) e arredondado ao inteiro mais próximo.

Em seguida, a norma (ABNT, 2005c) determina que o teor de ar incorporado (A) da mistura deve ser calculado a partir da Equação 2:

$$A = 100 \left(1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (2)$$

Onde d a densidade da massa da argamassa em g/m^3 e d_t a densidade de massa teórica da argamassa também expressa em g/m^3 . Seu resultado deve ser exposto em porcentagem arredondando ao número inteiro mais próximo.

Seguindo a recomendação da normativa (ABNT, 2005c), ainda se faz necessário, para o caso das argamassas industrializadas, o cálculo da densidade de massa teórica por meio da Equação 3:

$$d_t = \frac{m_s + m_{\text{água}}}{\frac{m_s}{\gamma_s} + m_{\text{água}}} \quad (3)$$

Onde:

m_s é a massa da argamassa anidra, em gramas;

$m_{\text{água}}$ é a massa de água que compõem a argamassa fresca em gramas;

γ_s é a massa específica da argamassa anidra, determinada conforme a NM 23 (ANM, 2000).

Diante do exposto foi realizado ensaio para determinação da massa específica da argamassa industrializada anidra por meio da normativa NM 23 — Cimento portland, o ensaio da massa específica e outros materiais em pó — Determinação da massa específica (ANM, 2000), descrito no Quadro 14.

Quadro 14 — Procedimento para determinação da massa específica do cimento

Processos	
1	Encher o frasco volumétrico de “ <i>Le Chatelier</i> ” com querosene até o nível compreendido entre zero e 1 cm ³ e em seguida secar o vaso acima do líquido adicionado;
2	Colocar o frasco de “ <i>Le Chatelier</i> ” no banho termorregulador em posição vertical e mantê-lo submerso durante no mínimo 30 min, para equalização das temperaturas dos líquidos do frasco e do banho;
3	Registrar a primeira leitura (V1) com aproximação de 0,1 cm ³ ;
4	Tomar uma massa conhecida do material em ensaio que provoque o deslocamento do líquido no intervalo compreendido entre as marcas de 18 cm ³ e 24 cm ³ , da escala graduada do frasco de “ <i>Le Chatelier</i> ”. Adicioná-la em pequenas porções de forma que não ocorra aderência de material nas paredes internas do frasco, acima do nível do líquido;
5	Tampar o frasco e girá-lo em posição inclinada, ou suavemente em círculos horizontais, até que não subam bolhas de ar para a superfície do líquido e registrar a leitura final (V2);
6	Calcular a massa específica do material pela fórmula presente na Equação 4.

Fonte: ANM (2000)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

Onde:

ρ é a massa específica do material ensaiado, em g/cm³;

m é a massa do material ensaiado, em g;

V é o volume deslocado pela massa do material ensaiado ($V_2' - V_1'$), em cm³;

V_1' e V_2' , são os valores corrigidos de V_1 e V_2 , respectivamente, a partir da calibração da escala do frasco volumétrico, em cm³.

3.2.3 Ensaios no estado endurecido

3.2.3.1 Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido

O ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido descrito NBR 13280 (ABNT, 2005b) consiste em definir a massa e o volume dos corpos de prova aos 28 dias, com o auxílio de uma balança com resolução de 0,1 g e paquímetro com resolução de 0,1 mm. A partir disso, é calculada a densidade de massa aparente no estado endurecido expressa na Equação 5:

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{m}{V} \times 1000 \quad (5)$$

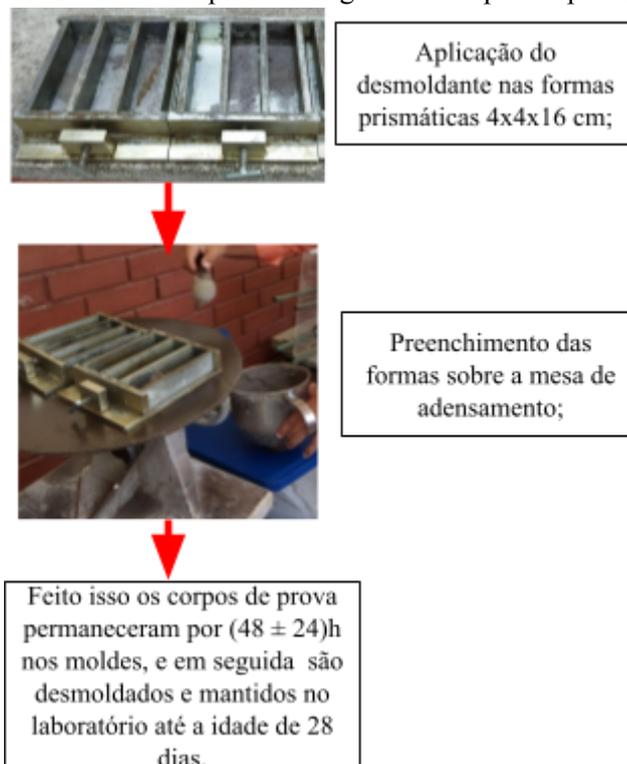
3.2.3.2 Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

Realizada a mistura em concordância com a NBR 16541 (ABNT, 2016a) é realizada a moldagem dos corpos de prova a serem utilizados nos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão (NBR 13279 — ABNT, 2005d), densidade de massa aparente (NBR 13280 — ABNT, 2005b) e módulo de elasticidade dinâmico (NBR 15630 — ABNT, 2008).

A moldagem deve ser realizada em moldes prismáticos metálicos abertos com paredes removíveis divididos em compartimentos de 4 cm x 4 cm x 16 cm. Imediatamente após o preparo da mistura, com o molde prismático devidamente fixado na mesa de adensamento por queda, são preenchidas duas camadas com a argamassa, sendo em cada uma delas efetuadas trinta quedas da mesa em 30 segundos (Figura 14).

Após estes processos, os corpos de prova devem permanecer de 24h a 48h nos moldes e após esse período, desmoldados. Em seguida são mantidos nas condições de laboratório até se completar 28 dias após a moldagem, para cura do material, e então seguem para realização dos ensaios propostos (ABNT, 2005d).

Figura 14 — Procedimentos para moldagem dos corpos de prova prismáticos



Para o ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão, foram moldados e ensaiados três corpos de prova para cada traço estudado seguindo a recomendação da norma (ABNT, 2005d). Os ensaios foram realizados no LACC (Laboratório Avançado de Construção Civil) da Universidade de Pernambuco-UPE com a máquina de ensaio universal EMIC DL-30000 fabricada pela empresa Instron Brasil Equipamentos Científicos Ltda.

Para o ensaio de tração na flexão é realizada uma marcação no meio do corpo de prova inteiro e em seguida posicionado entre os dois apoios de forma que o ponto que aplicará a carga esteja alinhado com a marcação realizada, conforme Figura 15. Em seguida deve ser dado o comando no software da prensa TESC e após o rompimento do corpo de prova é gerado o relatório do ensaio pelo programa com a carga de ruptura e o gráfico do ensaio.

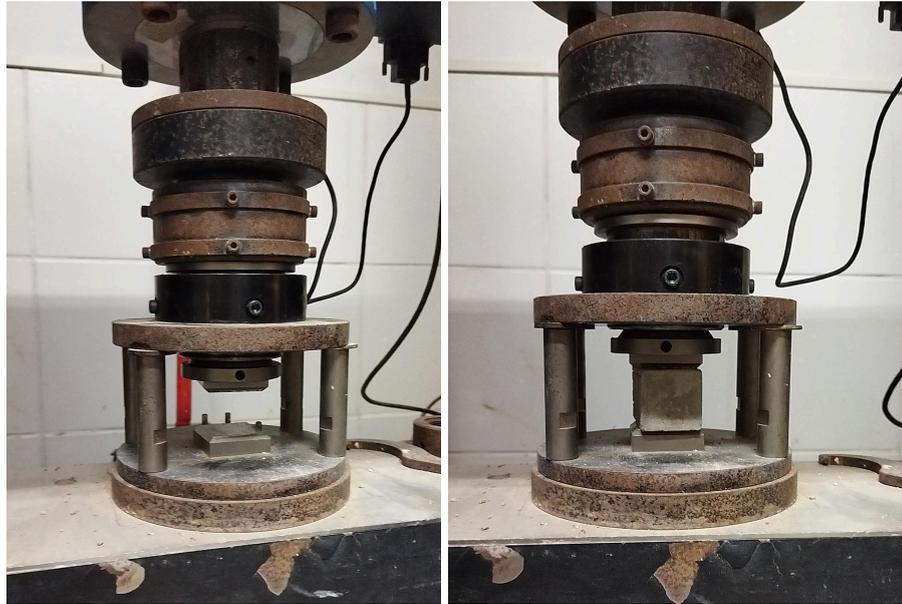
Figura 15 — Ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Autora (2022)

Após o rompimento dos corpos de prova à tração na flexão são utilizadas as metades dos três corpos de prova ensaiados para o ensaio de resistência à compressão. As partes são posicionadas no dispositivo de apoio da máquina de ensaio, de modo que a face rasada não fique em contato com o dispositivo de apoio nem com o dispositivo de carga, figura 16. Depois é acionado o software da prensa que comanda o ensaio e gera o relatório e o gráfico do ensaio.

Figura 16 — Ensaio de resistência à compressão

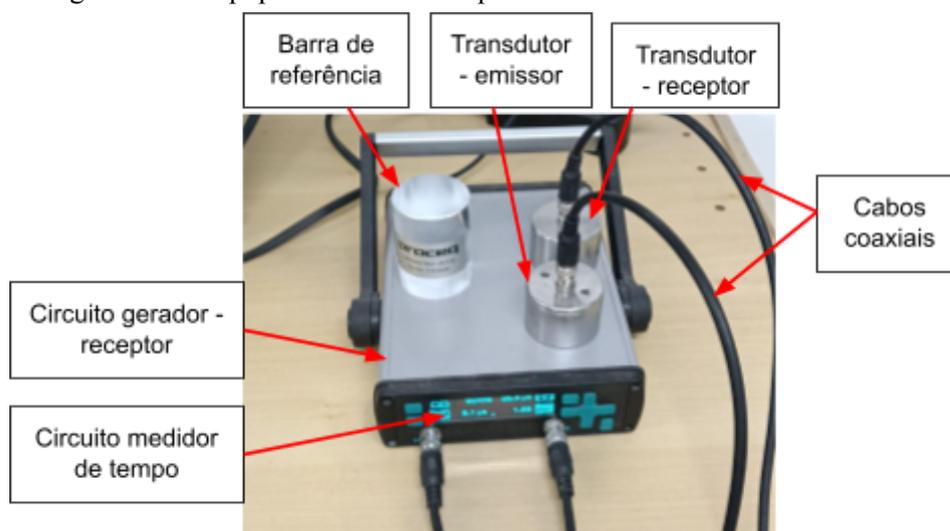


Fonte: Autora (2022)

3.2.3.3 Determinação do módulo de elasticidade dinâmico

A determinação do módulo de elasticidade dinâmico descrito pela NBR 15630 (ABNT, 2008) é realizado por meio da propagação de onda ultra-sônica pelo corpo de prova onde, com o auxílio do aparelho de ultrassom da marca proceq (Figura 17), mediu-se o tempo de percurso da onda pela amostra.

Figura 17 — Equipamento utilizado para ensaio do módulo de elasticidade



Fonte: Autora (2022)

Para a propagação ideal da onda se faz necessário a utilização de gel nas extremidades do

corpo de prova em contato com os transdutores, figura 18. Inicialmente, é preciso calibrar o equipamento por meio da barra de referência e então colocar os transdutores centralizados nas faces do corpo de prova prismático. Em seguida, devem ser realizadas três leituras em cada corpo-de-prova e considerar a menor encontrada e registrar o menor tempo apresentado para cada leitura.

Figura 18 — Ensaio do módulo de elasticidade dinâmico



Fonte: Autora (2022)

O ensaio foi realizado em três corpos de prova na idade de 28 dias no LABTAG (Laboratório de Tecnologia dos Aglomerantes) da Universidade Federal de Pernambuco — UFPE.

Com os dados das leituras calcula-se o módulo de elasticidade dinâmico por meio da Equação 6:

$$E_d = V^2 \rho \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu} \quad (6)$$

Onde:

E_d é o módulo de elasticidade dinâmico (MPa);

V é a velocidade de propagação da onda ultrassônica (mm/μs);

ρ é densidade de massa aparente, kg/m³;

μ é o coeficiente de Poisson. Adota-se nesta equação o valor de 0,2.

3.2.3.4 Determinação da deformação transversal

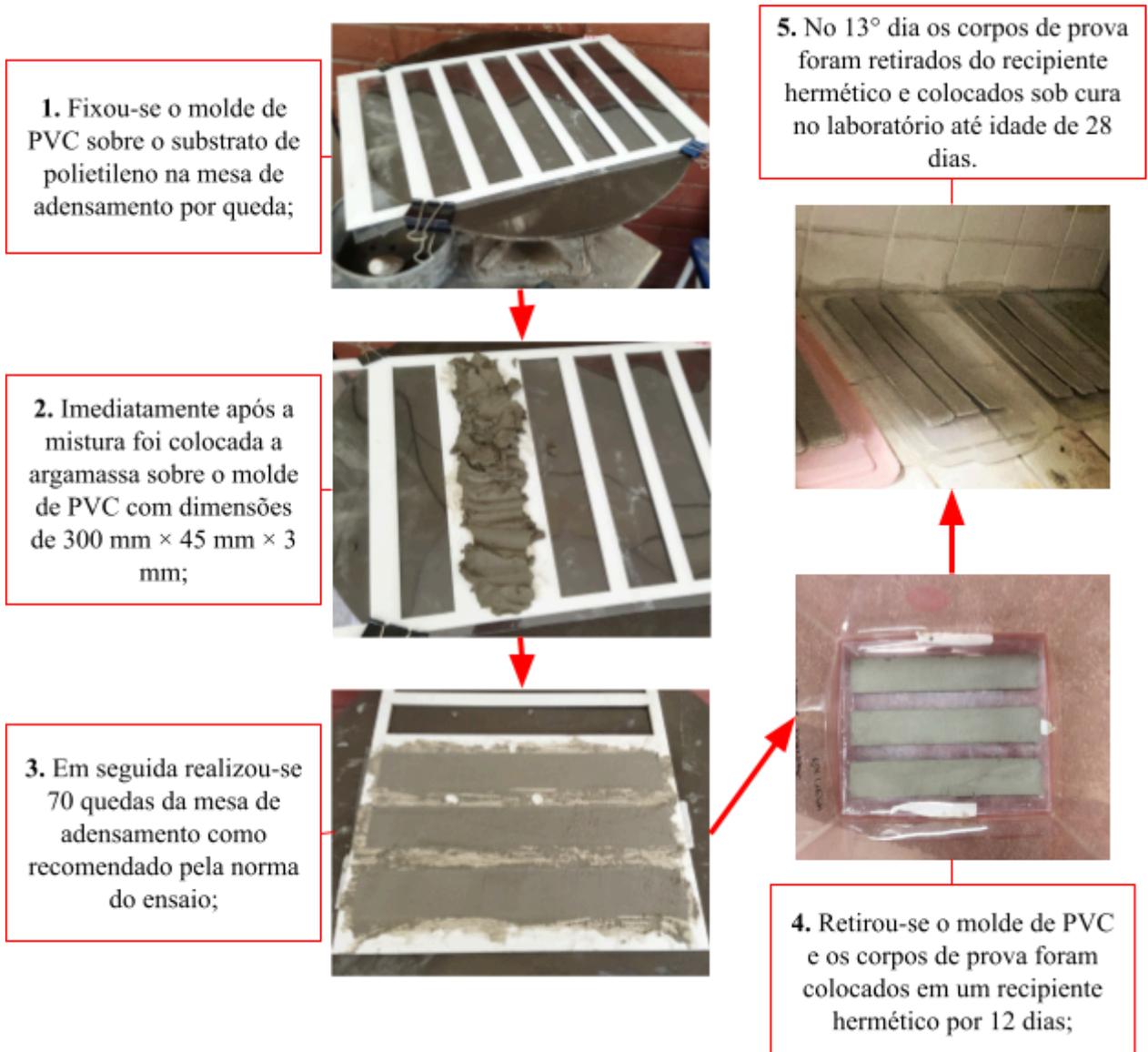
Para determinação da flexibilidade nos traços estudados, optou-se pela utilização do ensaio de deformação transversal, uma vez que tal método é aceito por diversos autores para avaliar a flexibilidade de argamassas modificadas com polímeros (MATSUSATO, 2007; MARANHÃO; LO; JOHN, 2011; SUN *et al.*, 2011; WANG; WANG, 2011; WANG; WANG; YAO, 2012; NOGAMI *et al.*, 2015; PETIT; WIRQUIN, 2014; WANG, 2014; ZAPPILE; RESENDE, 2020; KULESKA *et al.*, 2020; NAKAOKA, 2021).

Por não existir norma brasileira relativa à determinação da deformação transversal em argamassas, a fim de determinar a flexibilidade, foi utilizada a norma europeia EN 12004-2 (CEN, 2017) com adaptações citadas posteriormente. Dado que a EN 12004-1 (CEN, 2017) é direcionada para o estudo de argamassas colantes classificando-as, em termos de deformação transversal, em “deformável” quando são obtidos valores entre 2,5 — 5,0 mm e “altamente deformável” quando os valores são iguais ou superiores a 5,0 mm.

O método de ensaio descrito na EN 12004-2 (CEN, 2017) tem por finalidade mensurar a deformabilidade das argamassas adesivas medindo a flecha, em mm, provocada pela aplicação de uma carga de flexão no centro de um corpo de prova com dimensões de $(300 \pm 1) \text{ mm} \times (45 \pm 1) \text{ mm} \times (3 \pm 0,05) \text{ mm}$ até sua ruptura.

Foi utilizado um molde de PVC com espaço para 6 corpos de prova nas dimensões de $300 \pm 1 \text{ mm} \times 45 \pm 1 \text{ mm} \times 3 \pm 0,05 \text{ mm}$ fixado à mesa de adensamento sobre um filme de polietileno, conforme descrito na EN 12004-1 (CEN, 2017), o processo para moldagem dos corpos de prova podem ser observados na figura 19.

Figura 19 — Processos para confecção dos corpos de prova de deformação transversal



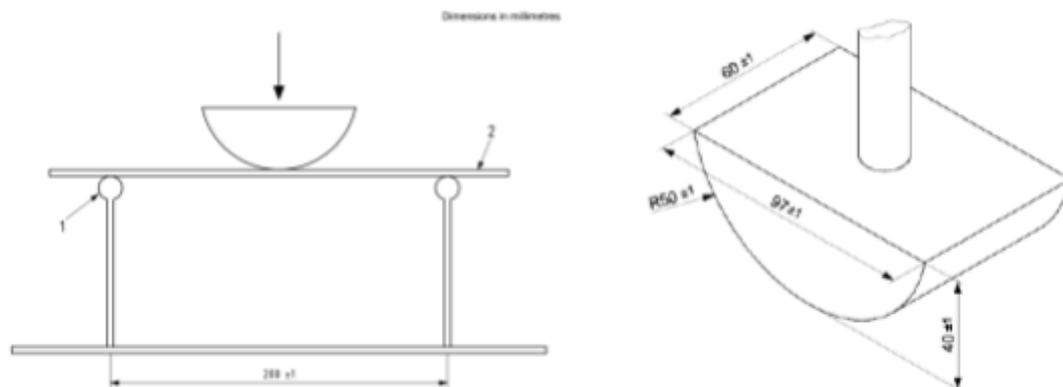
Fonte: Autora (2022)

Foi realizada uma adaptação do processo de moldagem dos corpos de prova do ensaio supracitado. A normativa europeia indica que, feito o processo de preenchimento e moldagem dos corpos de prova com o molde de PVC, descrito na figura 19, dever-se-ia colocar um segundo modelador sobre os corpos de prova, ilustrado na normativa como molde B (molde liso, rígido e de material não absorvente), com peso capaz de exercer uma força de $(100 \pm 0,1)$ N na área da seção transversal de (290×45) mm por 48h. Tal procedimento não foi realizado, visto que após a retirada do molde de PVC os corpos de prova obtiveram as dimensões necessárias. Destaca-se que os demais processos seguiram os procedimentos descritos na norma europeia.

Após a cura por 28 dias no laboratório, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de deformação transversal, para determinar a flexibilidade dos traços estudados. Cada amostra foi apoiada em dois suportes cilíndricos, acoplado a base da prensa EMIC DL3000, com diâmetro de $10 \pm 0,1$ mm, espaçados 200 ± 1 mm entre eixos e com comprimento mínimo de 60 mm. Em seguida foi aplicada carga no corpo de prova, por meio de um acessório metálico, fixado na prensa EMIC DL3000, ilustrado na figura 20. Todas as peças foram confeccionadas seguindo as especificações da EN 12004-1 (CEN, 2017), para a realização do ensaio como pode ser observado na figura 20.

Figura 20 — Peças para realização do ensaio de deformação transversal

Peças para realização do ensaio descrita na EN 12004-1 (CEN, 2017):



Peças confeccionadas para realização do ensaio:



Fonte: Autora (2022)

Firmado os acessórios à prensa, deve-se posicionar o corpo de prova centralizado nos apoios e em seguida aproximar a peça o máximo possível da amostra, definindo o ponto de início do ensaio conforme figura 21.

A norma EN 12004-1 (CEN, 2017) define que a velocidade de aplicação da carga sobre a amostra deve ser de 2 mm/min até a ruptura do corpo de prova.

Figura 21 — Ensaio de deformação transversal



Fonte: Autora (2022)

Ocorrida a ruptura do corpo de prova, o resultado do ensaio de deformação transversal se dá pela deformação máxima suportada até o rompimento da amostra, tal valor é expresso em milímetro. A norma determina que tal processo seja realizado em no mínimo três corpos de prova para cada traço estudado.

3.2.3.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

A fim de analisar a morfologia das argamassas modificadas com polímeros juntamente aos seus subprodutos por meio da superfície de fratura dos corpos de provas das argamassas, propõe-se a análise microscópica das amostras a partir da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) consiste na utilização de um microscópio capaz de realizar a análise das características microestruturais, morfológicas, estruturais e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida, a partir de um feixe de elétrons (LIRA, 2017; DEDAVID, GOMES e MACHADO, 2007).

Barreto (2014) explica que é necessário revestir as amostras com uma camada condutora fina para evitar cargas eletrostáticas que podem causar danos à imagem. Tal ponto se faz necessário, pois, as amostras de argamassas à base de cimento apresentam baixa condutividade térmica e elétrica. Seguindo a metodologia proposta, estima-se realizar as análises no microscópio eletrônico.

Para a realização da microscopia eletrônica de varredura (MEV), selecionou-se, com base nos melhores resultados apresentados no ensaio de deformação transversal proposto, as amostras nos quais foram realizados o MEV.

O procedimento de preparação da amostra para o MEV, consistiu em colocar um pedaço do corpo de prova de cada traço selecionado em um porta-amostra e, em seguida, realizar a metalização com ouro palladium, por meio do metalizador da Marca Quorum, Modelo SC7620, por cerca de seis minutos.

Feito isso, os porta-amostras foram colocados no aparelho e em seguida no vácuo dentro do MEV de bancada, da marca Tescan, Modelo Mira3. Na sequência, foi realizada a captura das imagens da microestrutura das argamassas ensaiadas, conforme exposto na figura 22.

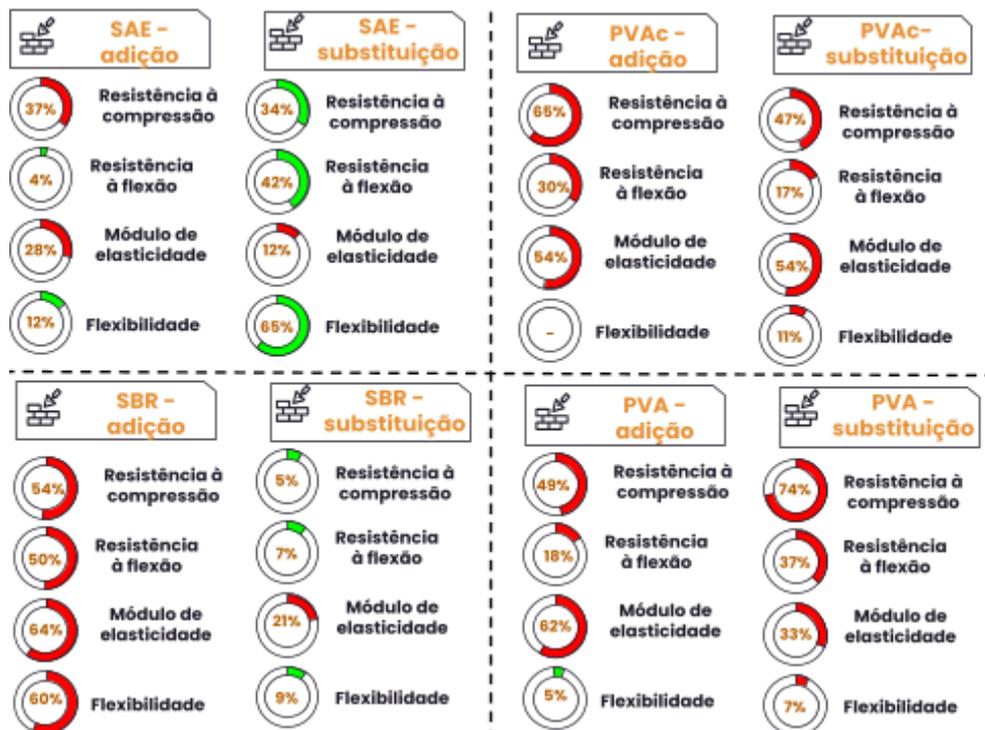
Figura 22 — Processos para microscopia eletrônica de varredura



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são examinados os resultados dos ensaios realizados na argamassa industrializada modificada com quatro polímeros e o aditivo plastificante, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Uma síntese dos resultados é apresentada na Tabela 5 para posterior discussão. Além disso, as Figuras 23 e 24 exibem comparações percentuais dos resultados das argamassas modificadas com polímeros e com o aditivo plastificante, respectivamente, no estado endurecido, em relação ao traço de referência.

Figura 23 — Comparação percentual entre argamassas com polímeros e argamassa de referência



Fonte: Autora (2023)

Figura 24 — Comparação percentual entre a argamassa com aditivo e argamassa de referência



Fonte: Autora (2023)

Tabela 5 — Resumo dos resultados obtidos

Identificação do traço	Descrição do traço	Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)	Teor de ar incorporado (%)	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	Deformação transversal (mm)
Referência	Traço de referência, composto pela argamassa industrializada sem adição dos polímeros	1584	30	1848	2,38	8,03	14873	0,57
SAE — Adição	Composto pela argamassa industrializada com adição de 4% do copolímero estireno-acrílico em relação ao volume de materiais secos da mistura, somado a quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência	1711	27	1842	2,47	5,05	10678	0,64
SAE — Substituição	Constituído pela argamassa industrializada e 4% do copolímero estireno-acrílico em relação ao volume de materiais secos da mistura, em substituição a parte da quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência	1817	23	1822	3,38	10,75	13080	0,94
PVAc — Adição	Preparado com a argamassa industrializada e 8% do copolímero poliacetato de vinila em relação ao volume de materiais secos da mistura, somado a quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência	1649	27	1812	1,67	2,80	6860	-
PVAc — Substituição	Feito com a argamassa industrializada e adição de 5% do copolímero poliacetato de vinila em relação ao volume de materiais secos da mistura, em substituição a parte da quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;	1572	35	1474	1,97	4,27	6791	0,51
SBR — Adição	Composto pela argamassa industrializada com adição de 8% do copolímero estireno-butadieno em relação ao volume de materiais secos da mistura, somado a quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;	1774	22	1601	1,20	3,49	5425	0,23
SBR — Substituição	Constituído pela argamassa industrializada e 5% do copolímero estireno-butadieno em relação ao volume de materiais secos da mistura, em substituição a parte da quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência	1906	21	1816	2,54	8,42	11698	0,62

Tabela 5 — Resumo dos resultados obtidos (continuação)

Identificação do traço	Descrição do traço	Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)	Teor de ar incorporado (%)	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	Deformação transversal (mm)
C — Adição	Preparado com a argamassa industrializada e 0,08% do aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado em relação ao volume de materiais secos da mistura, somado a quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;	1854	18	1707	1,74	6,11	9395	0,76
C — Substituição	Feito com a argamassa industrializada e adição de 0,08% do aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado em relação ao volume de materiais secos da mistura, em substituição a parte da quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência.	1778	22	1733	1,92	6,58	9872	0,61
PVA — Adição	Preparado com a argamassa industrializada e 5% de cola branca PVA em relação ao volume de materiais secos da mistura, somado a quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;	1742	23	1601	1,94	4,10	5695	0,60
PVA — Substituição	Feito com a argamassa industrializada e adição de 5% de cola branca PVA em relação ao volume de materiais secos da mistura em substituição a parte da quantidade de água estabelecida pelo fabricante da argamassa de referência;	1843	23	1751	1,51	2,06	10040	0,53

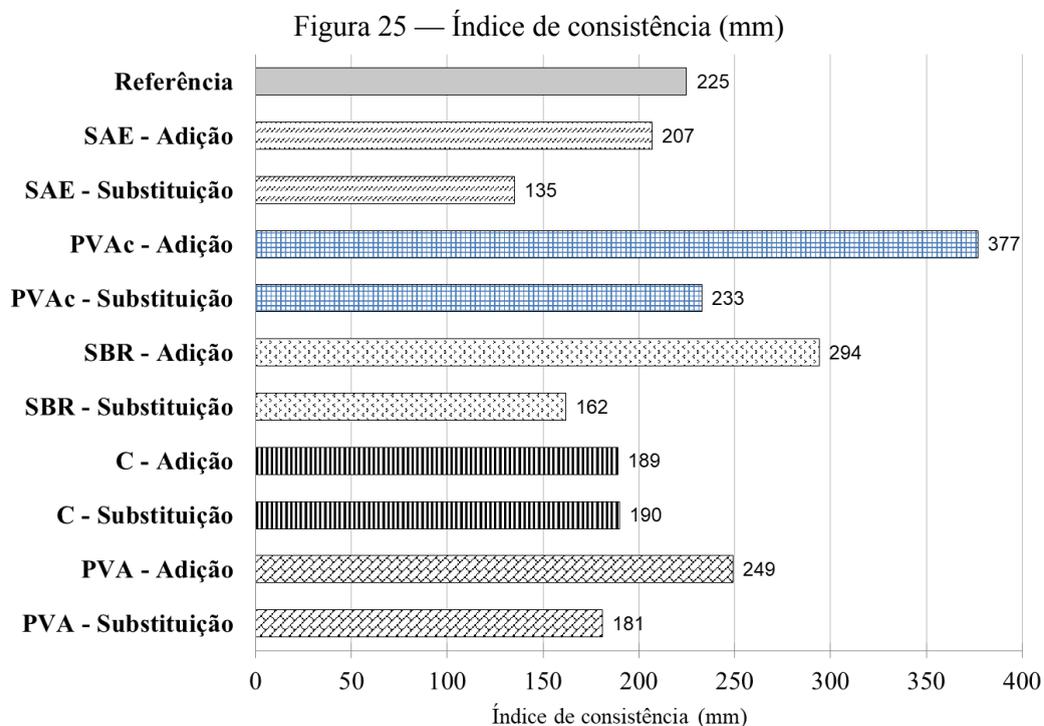
Fonte: Autora (2023)

4.1 Propriedades no estado fresco

As argamassas no estado fresco foram submetidas aos ensaios para determinação do índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado conforme a metodologia presente na normalização brasileira.

4.1.1 Índice de consistência

Os resultados obtidos no ensaio de determinação do índice de consistência, relativos aos traços estudados, podem ser observados no gráfico da figura 25.



Fonte: Autora (2022)

Carasek (2007) classifica as argamassas quanto à sua consistência em: argamassa seca, quando ainda existe o atrito entre as partículas dos agregados gerando uma massa áspera; argamassa plástica, quando a pasta aglomerante está em contato com a superfície dos agregados, gerando uma estrutura pseudo-sólida; e argamassa fluida, ou seja, as partículas de agregado estão imersas no interior da pasta aglomerante, sem coesão interna e com segregação, gerando uma argamassa líquida que se espalha sobre a base, sem permitir a execução adequada do trabalho.

Com base nisto, a argamassa com 8% de adição do copolímero poliacetato de vinila (PVAc— adição) que apresentou o maior índice de consistência, de 377 mm, pode ser classificada como argamassa fluida. Tal comportamento pode ser justificado pelo fato do traço conter a maior quantidade de líquidos dentre as misturas estudadas.

O traço com o copolímero poliacetato de vinila em adição resultou no maior aumento do índice de consistência, ou seja, apresentou a maior fluidez quando comparado aos demais traços estudados. Tal comportamento pode ser explicado devido ao aumento da viscosidade das argamassas na fase líquida, por conta da vedação gerada pela formação de filmes muito finos e impermeáveis (OHAMA, 1998).

No que se refere ao traço SAE — substituição que teve o menor índice de consistência, 135 mm, após a realização do ensaio o traço apresentou aparência firme, descrito na classificação de Carasek (2007) como uma argamassa seca.

Os demais traços, referência (REF), SAE — adição, PVAc — substituição, SBR — adição e substituição, C — adição e substituição e PVA — adição e substituição que apresentaram valores entre 162 e 294 mm, podendo ser classificados como argamassas plásticas de acordo com Carasek (2007), apresentando aspecto visual pseudo-sólido.

Cabe destacar que tal propriedade não pode ser avaliada isoladamente, sendo principalmente o equilíbrio entre a trabalhabilidade da argamassa e sua resistência mecânica o indicado para a obtenção de uma argamassa de fixação satisfatória. Tendo em vista que o objetivo é obter uma argamassa com trabalhabilidade suficiente para ser facilmente aplicada e moldada, mas que também possua a resistência mecânica adequada para suportar as cargas e esforços que serão aplicados a ela durante a sua vida útil.

4.1.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

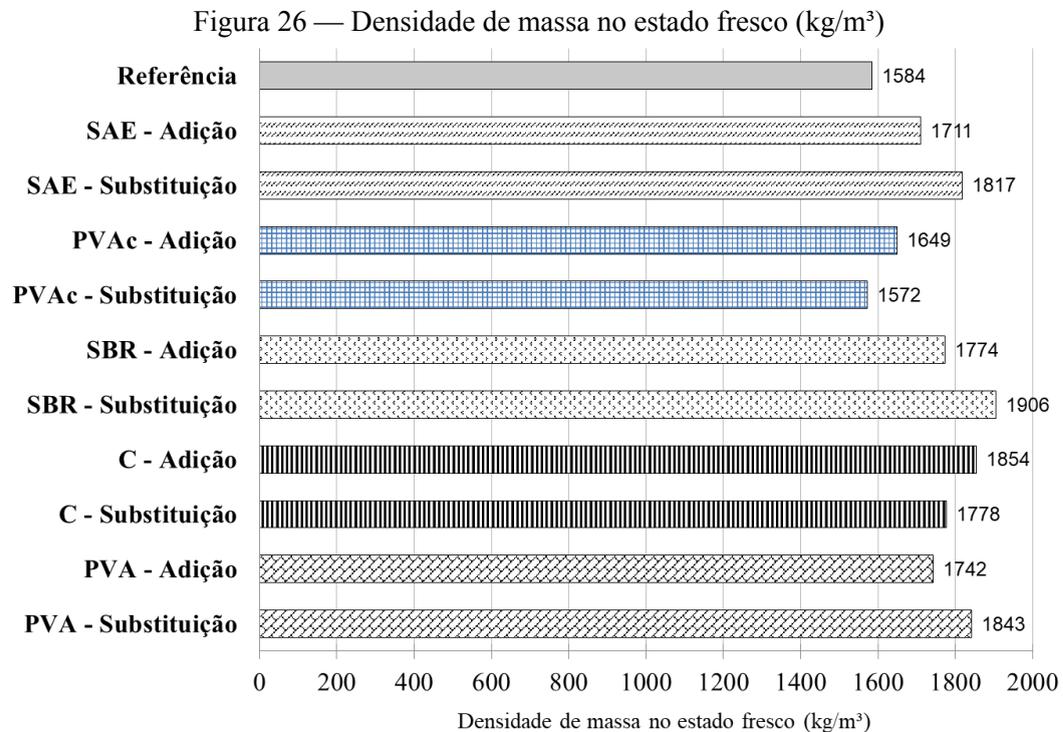
Os resultados obtidos no ensaio de determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado, realizados conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005a), encontram-se expostos na tabela 6 e no gráfico da figura 26 e 27.

Tabela 6 — Densidade de massa no estado fresco e teor de ar incorporado

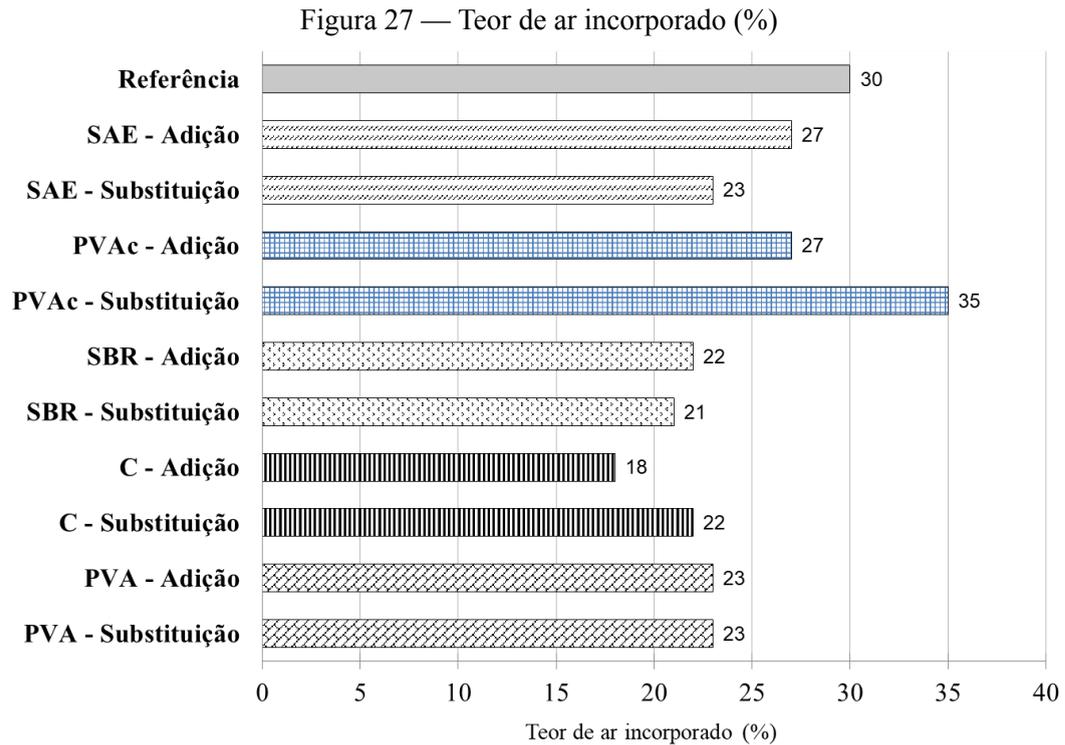
Identificação do traço	Classificação do polímero	Relação polímero / materiais secos (%)	Quantidade de líquidos (água+polímero) (g)	Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)	Teor de ar incorporado (%)
Referência	-	0	387,5	1584	30
SAE — Adição	SAE	4	487,5	1711	27
SAE — Substituição	SAE	4	387,5	1817	23
PVAc — Adição	PVAc	8	585,13	1649	27
PVAc — Substituição	PVAc	5	387,5	1572	35
SBR — Adição	SBR	8	581,25	1774	22
SBR — Substituição	SBR	5	387,5	1906	21
C — Adição	*	0,08	389,5	1854	18
C — Substituição	*	0,08	387,5	1778	22
PVA — Adição	PVA	5	512,5	1742	23
PVA — Substituição	PVA	5	387,5	1843	23

* A mistura foi modificada com um aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado, segundo fabricante, não se classificando como polímero.

Fonte: Autora (2022)



Fonte: Autora (2022)



Fonte: Autora (2022)

Segundo Carasek (2007), as argamassas que apresentam valores de densidade de massa abaixo de $1,40 \text{ g/cm}^3$ classificam-se como argamassas leves, enquanto as com valores entre $1,40$ e $2,30 \text{ g/cm}^3$ são classificadas como argamassas normais e pesadas, quando maiores que $2,30 \text{ g/cm}^3$. Tanto o traço de referência como os com adições apresentaram resultados entre $1,57$ e $1,91 \text{ g/cm}^3$, sendo assim as argamassas estudadas enquadram-se como normais indicadas para o assentamento de blocos.

Constatou-se que houve aumento nas densidades de massa aparente e reduções dos teores de ar incorporados às misturas, exceto no traço PVAc — substituição, em relação à argamassa de referência, sem modificação. No entanto, como mencionado anteriormente, tais resultados ainda ficam nos critérios considerados normais para as argamassas de assentamento.

A densidade de massa varia com os materiais constituintes da argamassa e com o teor de ar incorporado, porção de ar contida na argamassa. Quanto menor a massa específica, mais leve será a argamassa, conseqüentemente, será mais trabalhável a longo prazo (CARASEK, 2007).

Fato também observado por Seabra *et al.* (2009) e Silva (2020) onde explicam que algumas adições poliméricas favorecem o surgimento de pequenas bolhas de ar, além de promover a

estabilidade das bolhas na argamassa.

Dentre as argamassas modificadas, PVAc — substituição, resultou na menor densidade de massa, o que já era esperado, tendo em vista que o teor de ar incorporado à mistura foi o mais elevado dentre os traços quando comparados à argamassa de referência. Dessa forma, tal adição polimérica tornou a argamassa mais leve e conseqüentemente mais trabalhável.

Constatou-se que os traços C — adição e substituição uma redução do teor de ar na argamassa, comportamento compatível com o constatado pelos autores, Wu (2015), Wetzel e Arend (2015) e Khudhair, Youbi e Elharfi (2017), ou seja, houve a diminuição da porosidade, conseqüentemente, a redução do teor de ar incorporado nas misturas ao se comparar com o traço de referência.

Kanning (2013) explica que não necessariamente a argamassa com menor densidade de massa e maior teor de ar incorporado, considerada mais trabalhável, é a melhor opção visto que tal fato pode acarretar redução da resistência mecânica devido à baixa ligação entre pasta/agregado; cabe analisar as propriedades em conjunto objetivando a aplicação nas obras.

4.2 Propriedades no estado endurecido

No estado endurecido, as argamassas foram submetidas a ensaios para determinação da densidade de massa aparente, de resistência à tração na flexão e à compressão, do módulo de elasticidade dinâmico e flexibilidade a partir do ensaio de deformação transversal.

4.2.1 Densidade de massa aparente no estado endurecido

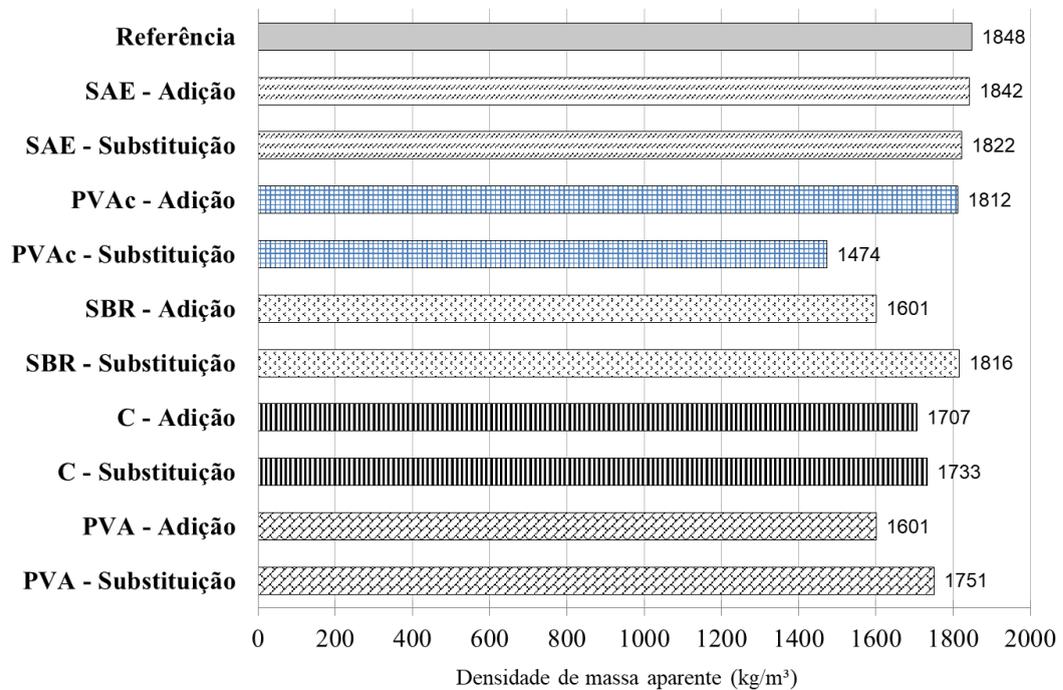
Os resultados obtidos no ensaio de determinação da densidade de massa aparente, realizado conforme especificações da NBR 13280 (ABNT, 2005b), encontram-se expostos na tabela 7 e no gráfico da figura 28.

Tabela 7 — Densidade de massa aparente

Identificação do traço	Classificação do polímero	Relação polímero/materiais secos(%)	Densidade de massa aparente (estado endurecido) (kg/m ³)
Referência	-	0	1848
SAE — Adição	SAE	4	1842
SAE — Substituição	SAE	4	1822
PVAc — Adição	PVAc	8	1812
PVAc — Substituição	PVAc	5	1474
SBR — Adição	SBR	8	1601
SBR — Substituição	SBR	5	1816
C — Adição	*	0,08	1707
C — Substituição	*	0,08	1733
PVA — Adição	PVA	5	1601
PVA — Substituição	PVA	5	1751

* A mistura foi modificada com um aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado, segundo fabricante, não se classificando como polímero.

Fonte: Autora (2022)

Figura 28 — Densidade de massa aparente (kg/m³)

Fonte: Autora (2022)

Os resultados da densidade de massa aparente no estado endurecido foram utilizados para calcular o módulo de elasticidade dos traços de argamassa. Ao comparar a densidade no

estado fresco com a densidade no estado endurecido, observou-se um aumento na densidade para o traço de referência, bem como para as misturas SAE (adição e substituição) e PVAc — adição. Essa tendência sugere que a compactação dos materiais e a evaporação da água de amassamento contribuíram para esse aumento na densidade da argamassa.

Por outro lado, nos traços PVAc (substituição), SBR, PVA e C (tanto na adição quanto na substituição), foi observada uma redução na densidade após o endurecimento. Isso indica que os polímeros influenciaram a estrutura da argamassa, resultando em uma distribuição mais uniforme dos materiais. É importante ressaltar que cada tipo de polímero possui características específicas e interage de forma diferente com os demais materiais da argamassa, o que pode influenciar nos resultados observados.

4.2.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

Os valores de resistência à tração na flexão (Tabela 8) e à compressão (Tabela 9) foram representados pelo valor médio de três e seis corpos de prova prismáticos, respectivamente, para cada composição.

Tabela 8 - Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão

Identificação do traço	Classificação do polímero	Relação polímero /materiais secos (%)	Resistência à tração na flexão (MPa)					
			CP 1	CP 2	CP 3	Média	Desvio padrão	Desvio padrão relativo %
Referência	-	0	2,51	2,21	2,42	2,38	0,15	6,47
SAE — Adição	SAE	4	2,59	2,45	2,38	2,47	0,11	4,33
SAE — Substituição	SAE	4	3,31	3,36	3,46	3,38	0,08	2,26
PVAc — Adição	PVAc	8	1,70	1,68	1,62	1,67	0,04	2,49
PVAc — Substituição	PVAc	5	1,96	2,08	1,88	1,97	0,10	5,11
SBR — Adição	SBR	8	1,11	1,23	1,26	1,20	0,08	6,61
SBR — Substituição	SBR	5	2,71	2,17	2,73	2,54	0,32	12,51
C — Adição	*	0,08	1,84	1,76	1,62	1,74	0,11	6,40
C — Substituição	*	0,08	1,86	1,98	1,93	1,92	0,06	3,14
PVA — Adição	PVA	5	2,03	1,96	1,84	1,94	0,10	4,95
PVA — Substituição	PVA	5	1,43	1,59	1,52	1,51	0,08	5,31

* A mistura foi modificada com um aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado, segundo fabricante, não se classificando como polímero.

Fonte: Autora (2022)

Tabela 9 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão

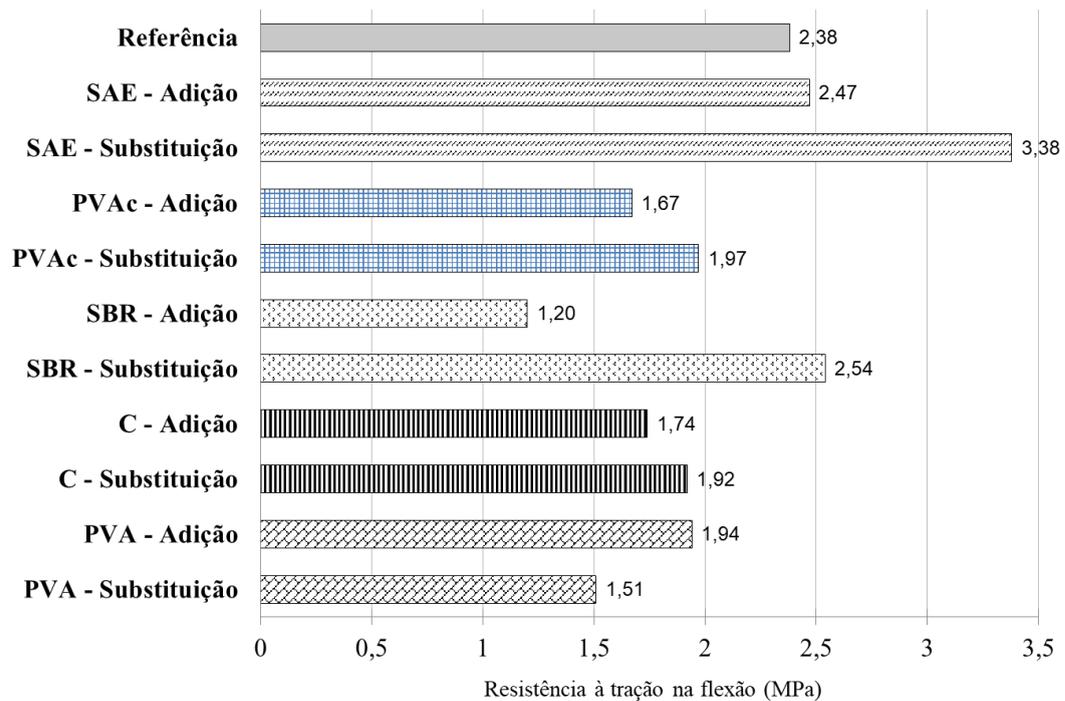
Identificação do traço	Classificação do polímero	Relação polímero /materiais secos (%)	Resistência à compressão (MPa)								Desvio padrão	Desvio padrão relativo %
			CP 1.1	CP 1.2	CP 2.1	CP 2.2	CP 3.1	CP 3.2	Média			
Referência	-	0	8,76	8,85	8,31	7,67	7,82	6,76	8,03	0,78	9,75	
SAE — Adição	SAE	4	5,40	5,33	4,75	5,04	4,58	5,20	5,05	0,33	6,45	
SAE — Substituição	SAE	4	11,30	10,77	10,65	10,94	10,84	10,02	10,75	0,42	3,92	
PVAc — Adição	PVAc	8	2,80	2,77	2,87	2,80	2,77	2,79	2,80	0,04	1,30	
PVAc — Substituição	PVAc	5	4,23	4,19	4,29	4,25	4,51	4,17	4,27	0,12	2,89	
SBR — Adição	SBR	8	3,36	3,53	3,42	3,50	3,59	3,54	3,49	0,08	2,43	
SBR — Substituição	SBR	5	8,45	8,07	8,85	8,42	8,49	8,24	8,42	0,26	3,12	
C — Adição	*	0,08	6,97	6,43	5,90	5,97	5,66	5,75	6,11	0,50	8,14	
C — Substituição	*	0,08	6,34	6,70	7,03	6,57	6,61	6,21	6,58	0,29	4,36	
PVA — Adição	PVA	5	4,38	4,27	3,94	4,16	3,95	3,88	4,10	0,20	4,97	
PVA — Substituição	PVA	5	1,78	1,93	2,20	2,47	2,11	1,88	2,06	0,25	12,24	

* A mistura foi modificada com um aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado, segundo fabricante, não se classificando como polímero.

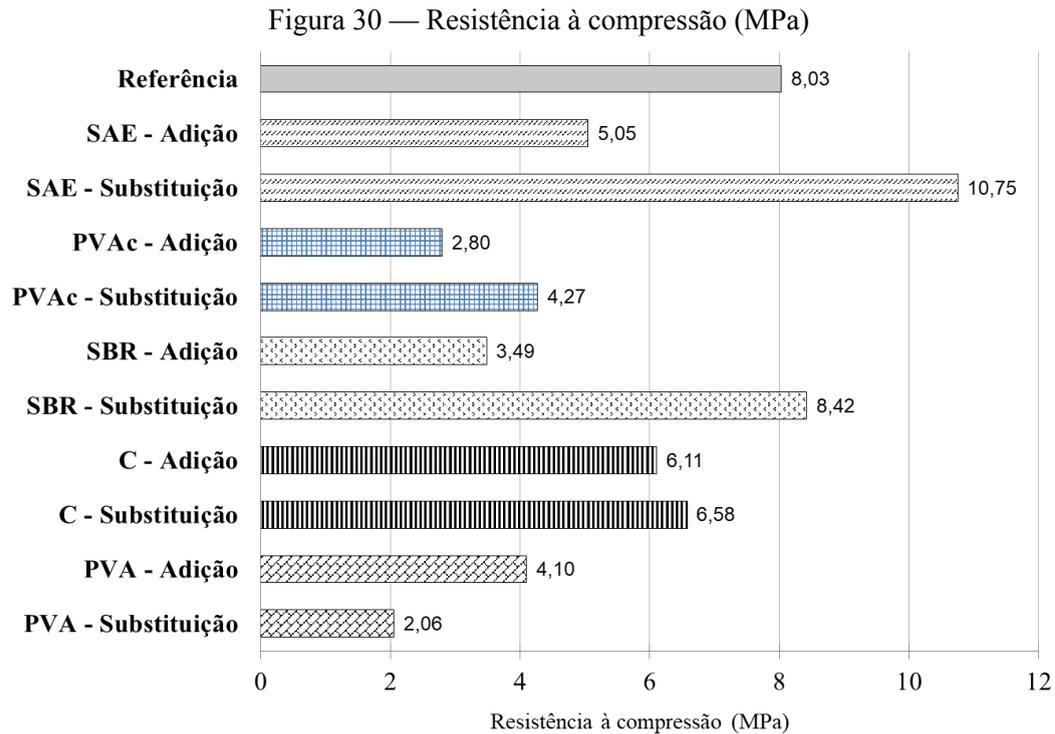
Fonte: Autora (2022)

Nos gráficos exibidos na figura 29 e 30 são expostos os resultados das resistências à tração na flexão e à compressão, respectivamente.

Figura 29 — Resistência à tração na flexão (MPa)



Fonte: Autora (2022)



Fonte: Autora (2022)

A partir dos resultados expostos é possível observar que o traço SAE — substituição apresentou aumento de cerca de 42% em relação ao traço de referência, o traço SAE — adição também apresentou ganho de resistência, porém, menos expressivo, cerca de 3,78%, em relação ao da argamassa sem adições.

Wang, Wang e Yao (2013) estudaram a influência da emulsão estireno-acrílico na resistência à flexão de argamassa cimentícia com diferentes dosagens, e os resultados mostraram que a resistência à flexão da argamassa modificada com emulsão estireno-acrílica também foi bastante melhorada.

Zhang, Li e Song (2019) também observaram esse ganho de resistência à flexão com a adição do copolímero estireno-acrílico e explicam que tal fato pode ser atribuído a desidratação do polímero e a formação do filme polimérico que torna a matriz de cimento mais densa e aos compostos polímero-cimento que ligam os cristais e preenchem os poros.

Ambos os traços com adição do copolímero estireno-acrílico apresentaram aumentos na resistência à tração na flexão em relação à argamassa sem adição, demonstrando que a adição do estireno-acrílico tornou a argamassa industrializada estudada mais resistente aos esforços de flexão.

Nas adições do copolímero poliacetato de vinila foram constatadas perdas de resistência à tração na flexão, em PVAc — adição percebeu-se uma queda de resistência à tração de 29,83% e em PVAc — substituição de 17,23% quando comparados ao traço de referência estudado. Tais alterações eram esperadas, visto que os traços apresentaram baixas densidades de massas e elevados teores de ar incorporado, apontando para reduções nas resistências mecânicas (VIEIRA, 2019).

No que tange a resistência à compressão dos corpos de prova prismáticos estudados, observou-se que apenas no traço SAE — substituição houve aumento de resistência, que se deu em 34% em relação ao traço de referência. Enquanto nos traços SAE — adição, PVAc — adição, PVAc — Substituição foram verificadas reduções de, respectivamente, 37,11%, 65,13% e 46,82%, nas resistências à compressão.

Ohama (1998), uma referência no que tange a argamassas modificadas com polímero, enfatiza que, em geral, a argamassa modificados com látex mostram um aumento notável na resistência à tração ou flexão, mas nenhuma melhora na resistência à compressão em comparação com a argamassa de cimento comum. Isto é interpretado em termos da contribuição de alta resistência à tração pelos próprios polímeros e uma melhora geral na ligação hidrófugo-agregado de cimento.

Souza e Sousa (2019) também encontraram os menores resultados para resistência à compressão e à tração para argamassa composta por PVAc, poliacetato de vinila, ao comparar com a argamassa de controle em seu estudo.

Demonstrando assim que nos critérios de resistência à tração na flexão e à compressão o traço SAE — substituição apresentou os maiores ganhos de resistências mecânicas quando comparado a argamassa de referência sem adição de polímeros.

As argamassas modificadas com o poliacetato de vinila (PVAc) que apresentaram os menores valores de resistência à compressão e à tração na flexão quando contrapostos aos resultados do traço de referência (REF), também foram constatadas por Souza (2018).

Nas adições com o copolímero estireno-butadieno, constatou-se perda de resistência à tração na flexão no traço SBR — adição de 49,58% enquanto no traço SBR — substituição ocorreu

aumento de resistência de 6,72% quando comparados ao traço de referência estudado. Enquanto na resistência à compressão o traço SBR — adição houve redução de 53,54% e no SBR — substituição ganho de resistência de 4,86% em relação à argamassa sem modificação. Considerando os resultados obtidos, o traço com a substituição de 5%, SBR — substituição, apresentou aumento nas resistências mecânicas estudadas, tais ganhos também foram obtidos por Wang (2014).

Nas misturas com o aditivo plastificante houve perda de resistência à tração na flexão e à compressão em todos os teores. Quanto às reduções na resistência à tração em C — adição foi de 26,90% e em C — substituição, 19,33%. Para as resistências à compressão as reduções foram de, 23,91% para C — adição e 18,06% para C — substituição quando comparados a argamassa de referência.

Para os traços com a cola branca PVA constataram-se reduções tanto na resistência à tração na flexão como na resistência à compressão em todos os traços estudados. Tendo, à tração na flexão, perda de 18,49% em PVA — adição e 36,55% em PVA — substituição. Nas resistências à compressão as diminuições foram de 48,95% em PVA — adição e 74,35% em PVA — substituição.

A nova norma, NBR 13281-2 (ABNT, 2023b), publicada posteriormente à realização dos ensaios, estabelece que a resistência à compressão para argamassa de fixação deve estar entre 1,5 e 5,0 MPa. Apesar de ter sido publicada após os ensaios, os resultados indicam que os traços PVAc — adição e substituição, SBR — adição e PVA — adição e substituição, obtiveram resistência à compressão compatível para argamassa de fixação da alvenaria. A argamassa industrializada, utilizada como traço de referência, apresentou resistência à compressão de 8,03 MPa, excedendo em 60,6% o valor máximo permitido pela norma.

Portanto, considerando a norma NBR 13281-2 (ABNT, 2023b), as adições supracitadas proporcionaram a argamassa industrializada de referência valores adequados de resistência à compressão para argamassa de fixação da alvenaria, conforme os critérios estabelecidos pela nova normativa.

4.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico

Os valores resultantes do módulo de elasticidade dinâmico podem ser observados na tabela 10 e no gráfico (Figura 31). A partir do valor médio de três corpos de prova prismáticos moldados para cada traço, aos 28 dias de cura, considerando as menores leituras de cada, de acordo com norma do ensaio.

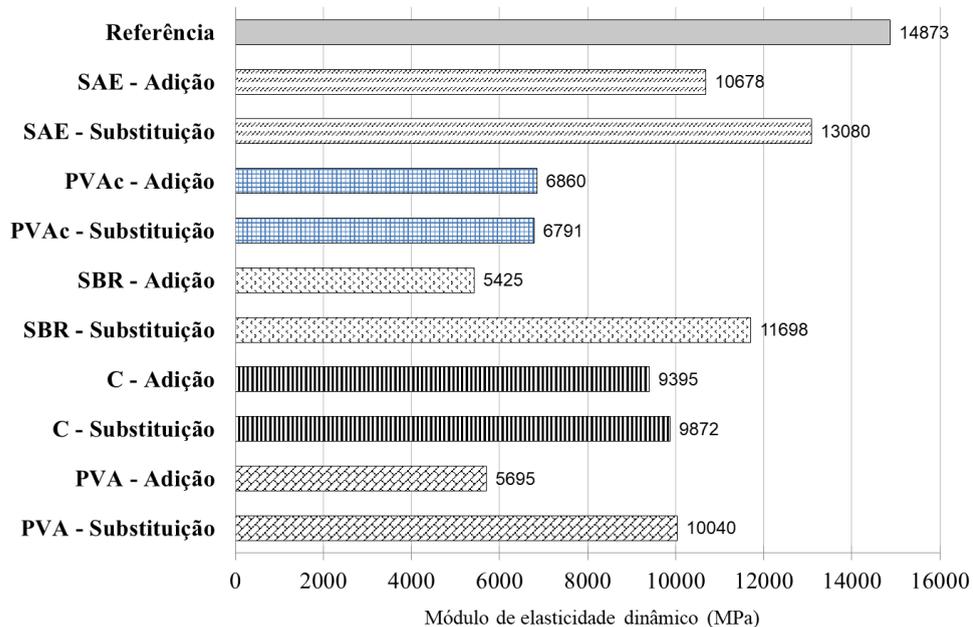
Tabela 10 — Resultados dos ensaios do módulo de elasticidade dinâmico

Identificação do traço	Classificação do polímero	Relação polímero /materiais secos (%)	Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)					
			CP 1	CP 2	CP 3	Média	Desvio padrão	Desvio padrão relativo %
Referência	-	0	16246	13548	14824	14873	1349,80	9,08
SAE — Adição	SAE	4	10737	10687	10612	10678	62,85	0,59
SAE — Substituição	SAE	4	12737	12997	13505	13080	390,76	2,99
PVAc — Adição	PVAc	8	6989	7016	6575	6860	246,88	3,60
PVAc — Substituição	PVAc	5	6676	6887	6810	6791	106,58	1,57
SBR — Adição	SBR	8	5452	5357	5467	5425	59,34	1,09
SBR — Substituição	SBR	5	11642	11642	11811	11698	97,81	0,84
C — Adição	*	0,08	10343	9332	8510	9395	918,13	9,77
C — Substituição	*	0,08	9303	10438	9874	9872	567,38	5,75
PVA — Adição	PVA	5	5746	5615	5724	5695	69,97	1,23
PVA — Substituição	PVA	5	8851	10352	10917	10040	1067,58	10,63

* A mistura foi modificada com um aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado, segundo fabricante, não se classificando como polímero.

Fonte: Autora (2023)

Figura 31 — Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)



Fonte: Autora (2023)

No contexto do módulo de elasticidade dinâmico, todas as composições examinadas demonstraram uma diminuição em relação à argamassa sem adição, indicando que a inclusão dos polímeros e do aditivo resultou em uma redução geral do módulo de elasticidade. Isso sugere uma maior capacidade das argamassas modificadas em absorver deformações.

As misturas com o poliacetato de vinila resultaram em reduções de 53,88% em PVAc — adição e 54,34% para PVAc — substituição. As misturas com estireno-acrílico apresentaram reduções de 28,21% para SAE — adição e 12,06% para SAE — substituição. Os traços com o estireno-butadieno mostraram reduções de 63,52% em SBR — adição e 21,35% em SBR — substituição, enquanto as misturas com o aditivo plastificante registraram reduções de 36,83% em C — adição e 33,62% para C — substituição. Por fim, as reduções das misturas com a cola branca PVA foram de 59,89% para PVA — adição e 32,50% em PVA — substituição. Todas as porcentagens mencionadas referem-se aos valores das misturas em comparação com a argamassa de referência.

Entre as modificações, observa-se que a mistura com adição o estireno-butadieno (SBR — adição) e com a cola branca PVA (PVA — adição) apresentaram as maiores reduções no módulo de elasticidade. Isso indica que, para esse parâmetro, os traços apresentam os módulos de elasticidade mais eficazes em termos de redução da rigidez da argamassa e melhoria da sua capacidade de absorção de deformações.

4.2.4 Deformação transversal

Os resultados da flexibilidade das argamassas obtidas por meio do ensaio de deformação transversal, EN 12004-1 (CEN, 2017) podem ser vistos na tabela 11.

Tabela 11 — Resultados dos ensaios de deformação transversal

Identificação do traço	Classificação do polímero	Relação polímero /materiais secos (%)	Deformação transversal máxima (mm)					
			CP 1	CP 2	CP 3	Média	Desvio padrão	Desvio padrão relativo %
Referência	-	0	0,59	0,55	0,58	0,57	0,02	3,81
SAE — Adição	SAE	4	0,63	0,63	0,65	0,64	0,01	1,71
SAE — Substituição	SAE	4	0,99	0,92	0,90	0,94	0,05	5,26
PVAc — Adição	PVAc	8	-	-	-	-	-	-
PVAc — Substituição	PVAc	5	0,50	0,51	0,52	0,51	0,01	1,36

Tabela 11 — Resultados dos ensaios de deformação transversal (continuação)

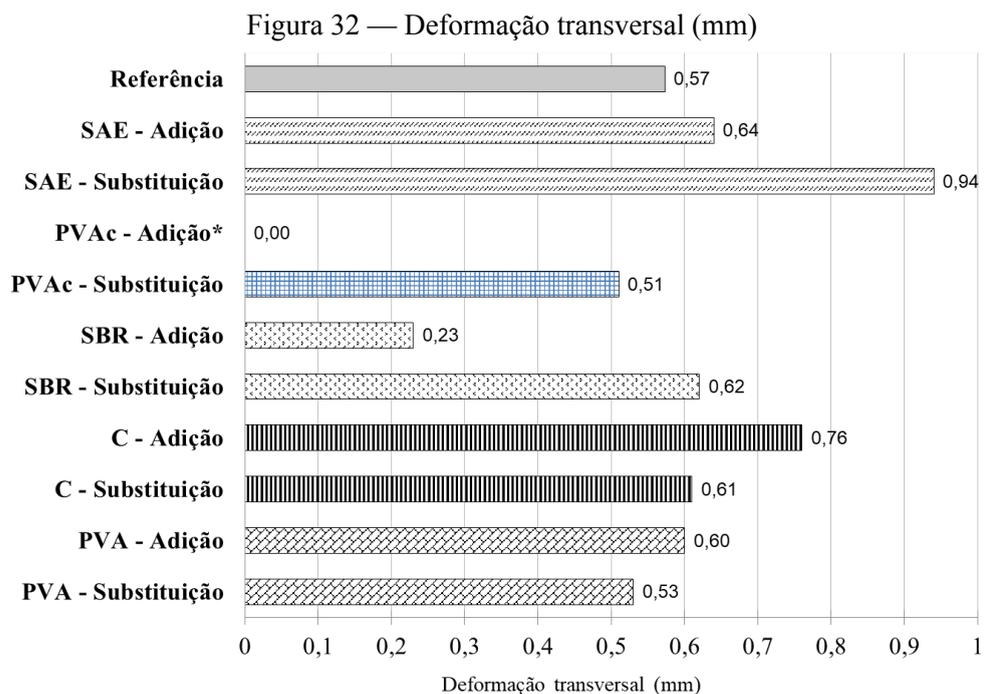
Identificação do traço	Classificação do polímero	Relação polímero /materiais secos (%)	Deformação transversal máxima (mm)					Desvio padrão	Desvio padrão relativo %
			CP 1	CP 2	CP 3	Média			
SBR — Substituição	SBR	5	0,68	0,63	0,56	0,62	0,06	9,67	
C — Adição	*	0,08	0,83	0,74	0,72	0,76	0,06	7,43	
C — Substituição	*	0,08	0,57	0,68	0,59	0,61	0,06	9,17	
PVA — Adição	PVA	5	0,70	0,50	0,61	0,60	0,10	16,61	
PVA — Substituição	PVA	5	0,48	0,58	0,53	0,53	0,05	9,41	

* A mistura foi modificada com um aditivo plastificante composto por sal de álcool graxo etoxilado sulfatado, segundo fabricante, não se classificando como polímero.

Fonte: Autora (2022)

No traço PVAc — adição, os corpos de prova moldados e curados conforme descrito na metodologia exibiram extrema fragilidade e ruptura ao serem removidos da base de polietileno. Isso inviabilizou a realização do teste de ruptura na prensa, conforme planejado, resultando na impossibilidade de obter valores mensuráveis para a deformação transversal. Portanto, os resultados dessa condição não são adequados para o estudo.

O gráfico exposto na figura 32 apresenta os resultados do ensaio de deformação transversal nas demais argamassas estudadas.



Fonte: Autora (2022)

Verifica-se que a deformação transversal, ou flexibilidade, resultante da argamassa sem modificação foi de 0,57 mm, desta forma não atingiu a exigência mínima da EN 12004-1 (CEN, 2017a), destinada para análises de argamassas colantes, para ser classificada como deformável, visto que a norma classifica como deformáveis (S1) as argamassas que apresentam deformação transversal entre 2,5 mm e 5 mm e altamente deformável (S2) quando maiores ou iguais a 5 mm. Tal resultado era esperado devido à especificidade da normativa escolhida ser para argamassas colantes.

Constataram-se reduções na deformação transversal em SBR — adição (59,65%), PVAc — substituição (11,53%) e PVA — substituição (7,02%). Por outro lado, foram registrados aumentos para os traços SAE — substituição (64,91%), SAE — adição (12,28%), SBR — substituição (8,77%), PVA — adição (5,26%) e para os traços com o aditivo plastificante, C — adição (33,33%) e C — substituição (7,02%). Todos os valores percentuais foram calculados em relação aos resultados da argamassa de referência.

Considerando esses resultados, nota-se que o ganho de flexibilidade obtido com a modificação do copolímero estireno-acrílico, nos traços SAE — adição e SAE — substituição, estão em linha com o estudo de Nogami et al. (2015). Esse estudo também evidenciou um aumento na capacidade de deformação e desempenho das argamassas com a adição do mesmo polímero. Portanto, com base nos resultados apresentados, os traços com estireno-acrílico se destacam, especialmente o traço SAE — substituição, como a melhor modificação em termos de ganho de flexibilidade.

Além disso, outros estudos, como os de Zhang, Li e Song (2019); Wang, Wang e Yao (2013) e Sun *et al.* (2011) também apontaram o aumento da flexibilidade aos 28 dias na argamassa modificada com estireno-acrílico quando comparada à argamassa controle.

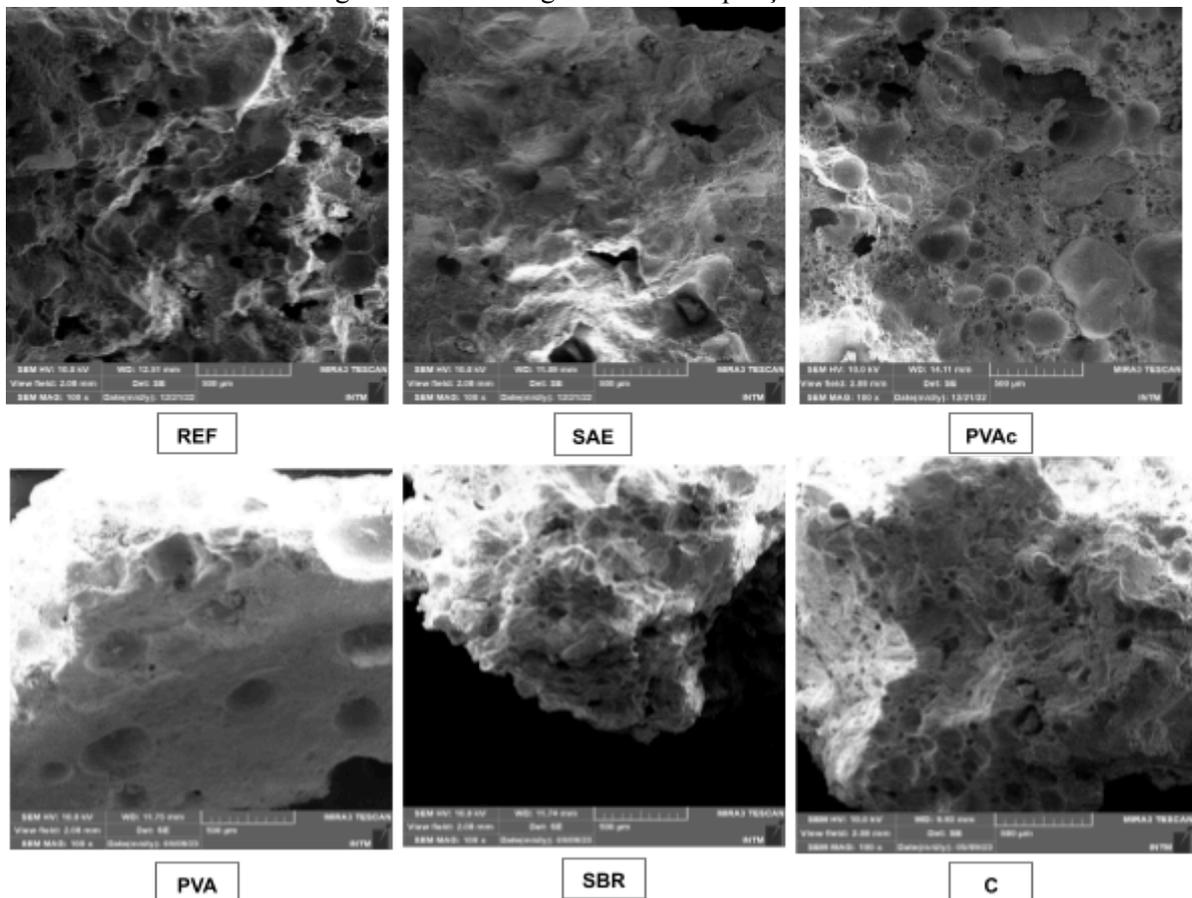
Outro estudo relevante foi conduzido por Kulesca *et al.* (2020), que investigaram a influência dos copolímeros estireno-acrílico e poliacetato de vinila, além de outros polímeros, na formulação de argamassas colantes. Eles observaram que a inclusão do copolímero estireno-acrílico em diferentes proporções (1%, 2%, 3%, 4% e 5%) resultou em aumentos expressivos na deformação transversal. Esses aumentos variaram de 19% para a inclusão de 1% até 103% para a inclusão de 5%, em comparação com o traço de referência.

4.2.5 Microscopia eletrônica de varredura

Dentre as amostras estudadas, foram selecionados para cada polímero e para o aditivo um traço, seja em adição ou substituição, que apresentou os maiores resultados no ensaio de deformação transversal. Essas amostras foram escolhidas para a realização da microscopia eletrônica de varredura, visando analisar o impacto das modificações na microestrutura da argamassa industrializada em estudo.

Por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi possível observar a superfície das amostras estudadas, de modo a refletir se houve alteração na microestrutura das argamassas modificadas em comparação com a sem modificação. Dessa forma, foram ensaiadas amostras dos traços SAE — substituição, PVAc — substituição, PVA — substituição, SBR — substituição, C — adição e no traço de referência (REF) composto apenas pela argamassa industrializada. As micrografias resultantes, com ampliações de $\times 100$ e $\times 5.000$, podem ser observadas nas figuras 33 e 34, respectivamente.

Figura 33 — Micrografias com ampliação de $\times 100$



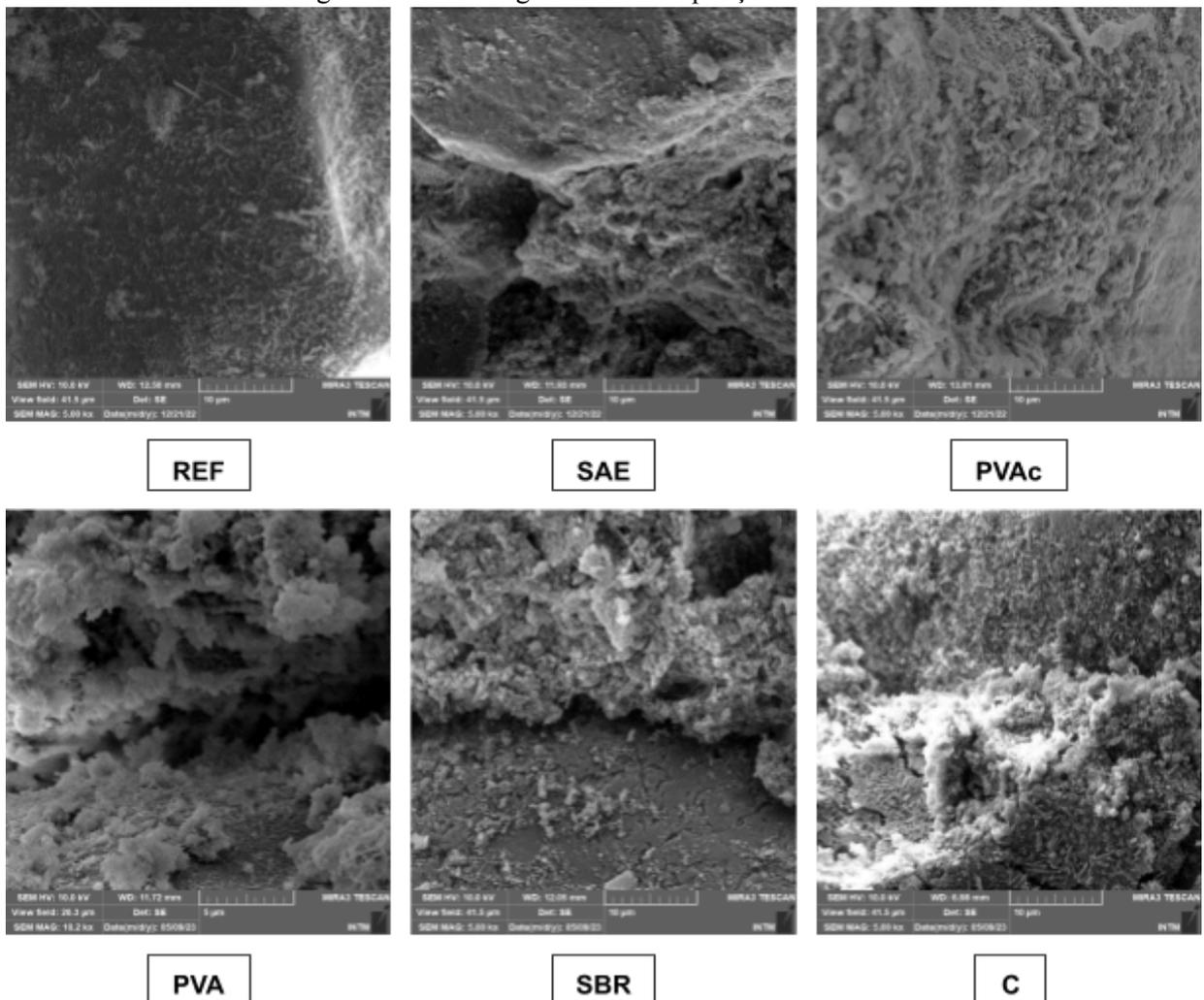
Fonte: Autora (2023)

Nas micrografias realizadas com ampliação de 100×, apresentadas na figura 31, observa-se que a argamassa de referência apresenta uma superfície com elevada quantidade de poros e fissuras. Por outro lado, as argamassas modificadas exibem uma menor proporção de vazios e fissuras em comparação com a argamassa sem modificação. Segundo os autores Wang e Zhang (2015), esse fenômeno ocorre devido à formação do filme polimérico nas argamassas modificadas. Sendo a modificação com a cola branca PVA (PVA), a amostra com superfície mais uniforme.

Ohama (1998) explica que no processo de hidratação de argamassas modificadas com polímero, as partículas de polímero depositam-se na superfície das partículas de cimento parcialmente hidratadas. Com a evaporação da água, as partículas de polímero se espalham e envolvem as partículas de cimento e os agregados, formando uma estrutura monolítica que aumenta a resistência mecânica, reduz a permeabilidade e melhora a trabalhabilidade da argamassa. Ou seja, as partículas de polímero atuam como uma matriz que liga as partículas de cimento entre si e aos agregados, formando uma estrutura mais resistente e impermeável.

Além disso, observa-se que o traço PVAc também continha incorporadores de ar em sua fórmula, o que pode ser constatado pelo seu elevado resultado de teor de ar incorporado. Apesar do PVAc ter incorporado mais ar do que a argamassa de referência, a deformação transversal resultante praticamente não foi afetada, o que indica que a adição do polímero PVAc contribuiu para manter a flexibilidade da argamassa.

Por fim, nota-se que o aditivo plastificante utilizado no traço C - adição comportou-se conforme o esperado, contribuindo para a diminuição da porosidade da argamassa, como evidenciado em sua micrografia quando comparado com o traço de referência. Nesse sentido, autores como Wu (2015), Wetzel e Arend (2015) e Khudhair, Youbi e Elharfi (2017) também atribuem outros benefícios associados ao aditivo como o aprimoramento da impermeabilização, diminuição da porosidade, a redução da absorção por capilaridade e por imersão.

Figura 34 — Micrografias com ampliação de $\times 5000$ 

Fonte: Autora (2023)

Nas micrografias com ampliação de 5000x, ao analisar a superfície da microestrutura da argamassa sem adição, é possível identificar a presença de incorporador de ar, evidenciado pela quantidade de poros visíveis e pelo aspecto rugoso. Por outro lado, as amostras com adição de polímeros apresentam superfícies mais lisas e menos porosas.

Ao examinar as micrografias das argamassas retiradas de pontos aleatórios dos corpos de prova, nota-se que a superfície do traço de referência (REF) é mais lisa do que a dos traços com modificação. Esse fato pode ser explicado pela presença dos polímeros nas argamassas, resultando no aumento da compacidade, o que conseqüentemente torna a argamassa mais resistente e flexível.

5 CONCLUSÕES

5.1 Considerações finais

As argamassas industrializadas, tanto com quanto sem aditivo, não atingiram a deformação transversal mínima exigida pela norma EN 12004-1 (CEN, 2017), destinada à análise de argamassas colantes. Esses resultados eram esperados, considerando que a normativa se aplica especificamente a argamassas colantes.

Entretanto, a avaliação da flexibilidade em argamassas industrializadas, com e sem adição de polímeros, por meio do ensaio de deformação transversal conforme a norma EN 12004-1 (CEN, 2017), demonstrou-se um método viável para mensurar e comparar essa propriedade em argamassas de assentamento e fixação.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que, no estado fresco, a adição do copolímero poliacetato de vinila (PVAc) resultou em argamassas mais fluidas, enquanto outras adições proporcionaram consistências variadas, desde argamassas plásticas até secas. As densidades de massa aparente permaneceram nos critérios normais para argamassas de assentamento, com algumas variações relacionadas às diferentes formulações.

No estado endurecido, observaram-se variações nas propriedades das argamassas modificadas. O copolímero estireno-acrílico (SAE) e o estireno-butadieno (SBR), em substituição, mostraram-se eficazes na melhoria da resistência à tração na flexão, à compressão e deformação transversal, além de redução no módulo de elasticidade dinâmico. Enquanto as modificações com copolímero poliacetato de vinila (PVAc — adição e substituição), estireno-butadieno (SBR — adição), estireno-acrílico (SAE — adição), cola branca PVA (PVA — adição e substituição), juntamente com o aditivo plastificante (C — adição e substituição), ao analisar os resultados globais, mostraram perdas na resistência mecânica da argamassa.

Todas as formulações modificadas apresentaram uma redução no módulo de elasticidade dinâmico em comparação com a argamassa de referência, indicando uma maior capacidade de absorção de deformações.

A análise microscópica revelou diferenças na microestrutura das argamassas modificadas em comparação com a argamassa de referência. A presença de poros e fissuras foi reduzida nas argamassas modificadas, sugerindo uma maior compactidade e resistência. Os polímeros e aditivos plastificantes contribuíram para a formação de uma matriz mais densa, melhorando a resistência mecânica e flexibilidade das argamassas.

Considerando o objetivo geral do estudo de verificar as propriedades físicas e mecânicas da argamassa industrializada com as adições propostas, com ênfase na flexibilidade para uso na zona de fixação alvenaria-estrutura, constatou-se que o traço que apresentou os resultados mais satisfatórios foi o traço SAE — substituição. Sendo o traço que apresentou o maior valor de deformação transversal, além dos maiores ganhos nas resistências mecânicas, junto a redução do módulo elasticidade quando comparado ao traço de referência estudado, demonstrando a maior flexibilidade para uso na região de fixação alvenaria-estrutura.

Conclui-se que, por meio dos resultados obtidos, que as modificações, podem melhorar as propriedades, em especial a flexibilidade, da argamassa industrializada para uso na região de fixação da alvenaria à estrutura de concreto. No entanto, a eficácia de cada modificação depende da formulação específica e de seus teores de adição.

5.2 Considerações para trabalhos futuros

Durante a realização deste trabalho verificou-se a necessidade da realização de mais estudos sobre a flexibilidade em argamassas modificadas com polímeros para uso na fixação da alvenaria à estrutura de concreto. Além de outras questões, que não puderam ser respondidas por esta pesquisa, se tornaram evidentes, ressaltando a importância de explorar mais essa área. Portanto, sugerem-se alguns temas complementares as contribuições desse estudo para trabalhos futuros dentro desta área:

- Recomenda-se expansão do programa experimental com um número maior de corpos de provas a fim de se realizar análises estatísticas mais robustas;
- Sugere-se a investigação da flexibilidade das argamassas modificadas com polímeros em corpos de prova de alvenaria e elementos de concreto, a fim de simular as tensões na zona de fixação da alvenaria de vedação, proporcionando uma compreensão mais

abrangente do comportamento desses materiais em aplicações reais;

- Recomenda-se a realização do programa experimental em contexto de obra, visando analisar a viabilidade prática das modificações das argamassas com polímeros, considerando os desafios e as demandas específicas encontradas em ambientes reais de construção;
- Exploração da modificação das argamassas com novos tipos de polímeros, ampliando assim a literatura sobre o tema e possibilitando a identificação de novas formulações que possam melhorar ainda mais as propriedades das argamassas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

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: ABNT, 2005b.

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: ABNT, 2005c.

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: ABNT, 2005d.

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 uma onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

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: ABNT, 2016a.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-1**: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios — Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-2**: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios — Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 2023b.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ANM, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C109/C109M-20b**: standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens) Philadelphia, 2020.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 1015 – 11**: Methods of Test for Mortar for Masonry — Part 11: Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortar, 2019.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 12002**: Adesivos para Piastral - Determinação da Deformação Transversal de Adesivos Selantes e Cimento. Bruxelas: CEN, 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 12004-1**: Versão Portuguesa — Cola para ladrilhos. Parte 1: Requisitos, avaliação e verificação da regularidade do desempenho, classificação e marcação. Bruxelas: CEN, 2017.

ANTUNES, A.C. **Avaliação comparativa entre argamassa produzida na obra e industrializada para execução de revestimento de fachada**: estudo de caso de edifício de múltiplos pavimentos. Monografia (Programa de Pós-Graduação) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Recife, 2008.

AKIAMA, S.Y.; MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H. Flexibilidade de adesivos de argamassa. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. 1997. Salvador. **Anais [...]** Salvador: Ceta/Antac, 1997.

AOCHAROEN, Y.; CHOTICKAI, P. Compressive mechanical properties of cement mortar containing recycled high-density polyethylene aggregates: Stress–strain relationship. **Case Studies in Construction Materials**, dez. 2021. v. 15, p. e00752.

BARRETO, M. F. O. **Caracterização micro-nanoestrutural e química de argamassas de cimento Portland**. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2014.

BAUER, R. J. F.; RAGO, F. Normalização de argamassas colantes para assentamento de argamassas para rejuntamento de placas cerâmicas. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Brasil, 2001.

BOMEDIANO, K. S.; GOMES, C. E. M.; FONTANINI, P. S. P. Propriedades da argamassa modificada com polímeros redispersíveis de etileno-acetato de vinila (EVA). **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, 2020. Disponível em: [dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300437](https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300437). Acesso em: 02 mar. 2022.

BRACHACZEK, W. Shaping mortar parameters in terms of their tendency to form shrinkage cracks. **Solid State Phenomena**, v. 276, 2018. Disponível em: [10.4028/www.scientific.net/SSP.276.210](https://www.scientific.net/SSP.276.210). Acesso em: 10 set. 2022.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. **Ciência dos polímeros**. Artiliber Editora, São Paulo, v. 24, 2002.

CAPORRINO, C. F. **Patologia em alvenarias**. Oficina de Textos, São Paulo, 2018, 2 ed.

CARASEK, H. Argamassas. In: G. C. Isaia. (Org.). **Materiais de Construção Civil**. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto — IBRACON, 2007, v. 1.

CARBALLAL JR., J. L. **Manifestações patológicas em edificações na Região Metropolitana do Recife**: levantamento e análise de materiais e métodos de reparo ou reforço estrutural. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de

Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

CHO, Y. I.; HONG, K. N.; KIM, M. S.; PARK, J. K. Effect of Curing Temperature on Mechanical Properties of Polymer Mortar for Urgent Repairing. **Journal of the Korean Society of Safety**, vol. 31, n. 5, 2016. Disponível em: koreascience.or.kr/article/JAKO201632747974638.page. Acesso em: 02 abr. 2022.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. K. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995.

DALDON, M. **Fatores que podem estar contribuindo para o aparecimento de manifestações patológicas na zona de encunhamento de paredes em obras de Porto Alegre**. 2008. TCC (Graduação) — Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. EdiPUCRS, Porto Alegre, 2007.

EUROPEAN MORTAR INDUSTRY ORGANIZATION – EMO. **History**. 2006. Disponível em: <http://www.euromortar.com>. Acesso em: 10 jan. 2022.

GODOY, E. H. P.; BARROS, M. S. B. **Diretrizes para produção de contrapisos estanques**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP (BT/PCC/268) — Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, p. 36. 2000. Disponível em: bit.ly/327JhRx. Acesso em: 18 ago. 2021.

HADDAD, M.; SAMPAIO, R. A. **Polímeros** — Propriedades, Aplicações e sustentabilidade na construção civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

HENKEL Ltda. **Ficha técnica da Cascola Cascorez Universal**. Brasil, 2020. Disponível em: dm.henkel-dam.com/is/content/henkel/sds-br-fispq-cascola-cascorez-universal. Acesso em: 15 jan. 2023.

JANTSCH, A. C. A. **Análise do desempenho de argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

KANNING, R. C. **Utilização da cinza de folha de bananeira como adição de argamassas de cimento Portland**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) — Escola de Engenharia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

KHUDHAIR, M. H. R.; ELYOUBI, M. S.; ELHARFI, A. Study of the influence of a high water-reducing super plasticizer and accelerator of setting time on the physical properties and mechanical performance of mortars and concretes. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**, 2017. ISSN 0975-8585.

KULESZA, M.; DEBSKI, D.; FANGRAT, J.; MICHALAK, J. Efeito de pós poliméricos redispersíveis nas propriedades mecânicas selecionadas de argamassas cimentícias de camada fina. **Cimento Wapno Beton**, v. 25, n. 3, pág. 168 – 177, 2020.

LIRA, M. O. **Aplicação da MEV na investigação da distribuição de partículas de PET micronizado em argamassa para revestimento e assentamento**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. **Execução e inspeção de alvenaria racionalizada**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

MATSUSATO, M. **Estudo do comportamento de argamassas colantes com aditivação de látex acrílico**. 2007. 107 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

MAHERZII, W.; ENNAHAL, I.; BENZERZOUR, M.; MAMMINDY-PAJANY, Y.; NOR-EDINE, A. Study of the polymer mortar based on dredged sediments and epoxy resin: Effect of the sediments on the behavior of the polymer mortar. **Powder Technology**, vol. 361, 2019. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591019309337. Acesso em: 05 jun. 2022.

MANSUR, A. A. P. **Mecanismos Físico-Químicos de aderência na interface argamassa modificada com polímeros/cerâmica de revestimento**. 2007. Dissertação (Doutorado) - Escola de Engenharia da UFMG.

MARANHÃO, F. L.; LOH, K.; JOHN, V. M. The influence of moisture on the deformability of cement–polymer adhesive mortar. **Construction and Building Materials**, v. 25, 2021. Disponível em: sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061810006811?casa_token=yGCiFAiEFKsAAAAA:XBkZxd5tg6_BeqD1K5nHaQ0VVf1owJGp0DTHt1aJjnp9k7CJMFJ3if8eg34QXDRZ7GD SATfJ5vc. Acesso em: 21 fev. 2022.

MARTÍNEZ-LÓPEZ, M.; MARTÍNEZ-BARRERA, G.; SALGADO-DELGADO, R.; GENCEL, O. Recycling polypropylene and polyethylene wastes in production of polyester based polymer mortars. **Construction and Building Materials**, v. 274, 2020. Disponível em: [Doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121487](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121487). Acesso em: 20 fev. 2022.

MC-Bauchemie Brasil. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos do Centripor alvenaria**. Brasil, 2022. Disponível em : [intranet.infobasys.com.br/Produto_FSM/MC_Bauchemie/FSM.nsf/AllDocID/59D1A36F478AE3DC0325885000512D39/\\$File/769F639869A0B02183257EF500613052_Revisao_6.pdf?OpenElement](http://intranet.infobasys.com.br/Produto_FSM/MC_Bauchemie/FSM.nsf/AllDocID/59D1A36F478AE3DC0325885000512D39/$File/769F639869A0B02183257EF500613052_Revisao_6.pdf?OpenElement): 20 jan. 2023.

MOBARAK, M. B.; HOSSAIN, M. S.; MAHMUD, M.; AHMED, S.. Redispersible polymer powder modified cementitious tile adhesive as an alternative to ordinary cement-sand grout. **Heliyon**, v. 7, n. 11, 2021.

MOHAMED, G.; ROMAN, H. R.; RIZATTI, E.; ROMAGNA, R. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 1ª ed. ISAIA, Geraldo Cechella –

Cap. 32 – Alvenaria Estrutural, p. 1045-1075, São Paulo: IBRACON, 2007.

MORAIS, S. C. **Avaliação de propriedades da argamassa estabilizada para revestimento em função do tempo de estabilização.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Recife, 2020.

MUCI, D. W. S.; NETTO, J. R. B.; SILVA, R. A. **Sistemas de recuperação de fissuras da interface alvenaria de vedação-estrutura de concreto:** comparativo entre os processos executivos e análise de custo - Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

Disponível em:

files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/SISTEMAS_DE_RECUPERA%C3%87%C3%83O_DE_FISSURAS_DA_INTERFACE_ALVENARIA_DE_VEDA%C3%87%C3%83OESTRUTURA_DE_CONCRETO_COMPARATIVO_ENTRE_OS_PROCESSOS_EXECUTIVOS_E_ANALISE_DE_CUSTO.pdf. Acesso em: 20 fev. 2022.

NAKAGUMA, R. Ligação alvenaria-estrutura. **Revista Técnica**, São Paulo. Pini, ano 12, ed. 88. 2014.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento.** São Paulo: EDUSP, 2004. 20p. (Série Boletim Técnico BT/PCC/359).

NAKAOKA, F. N. U. **Avaliação da viabilidade técnica e econômica de argamassas colantes ACI com aditivo pronto para uso à base de látex acrílico.** Monografia (Programa de Pós-Graduação lato-sensu em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

NOGAMI, L.; PARAGUASSÚ, A. B.; RODRIGUES, J. E.; RIBEIRO, R. P. Adhesive mortars for stone plate bonding. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 1. Berlim, 2015. Disponível em: link.springer.com/article/10.1007/s10064-014-0708. Acesso em: 08 mar. 2022.

NETO, C. R. O. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassas incorporadas com polímero.** Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021. Disponível em: dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/23693. Acesso em: 04 set. 2022.

OHAMA, Y. Polymer-based admixtures. **Cement and Concrete Composites**, v.20, p.189 – 212, 1998.

OLIVEIRA, M. POLÍMEROS: o que são, suas aplicações e as áreas de formações técnicas e acadêmicas. *In: SEMANA DE POLÍMEROS*, 7., 2013, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: Instituto Macromoléculas, UFRJ, 2013.

ONUAGULUCHI, O.; BANTHIA, N. Durability performance of polymeric scrap tire fibers and its reinforced cement mortar. **Materials and Structures**, vol. 50, n. 2, p. 158 – 165, 2017.

Disponível em: link.springer.com/article/10.1617/s11527-017-1025-7. Acesso em: 08 mar. 2022

PEDROSA, P. G. V.; LORDSLEEM Jr., A. C.; VALE, L. J. S.; LOPES, H. M. R.; PÓVOAS, Y. V. Fissuração na fixação da alvenaria de vedação à estrutura de concreto: influência dos polímeros PVA e acrílico nas propriedades da argamassa. **Submetido à publicação.**

PETIT, J.; WIRQUIN, E. Caracterização da resistência ao impacto de argamassas látex-cimento para sistemas de isolamento externo. **Avanços na pesquisa do cimento**, v. 26, n. 1, p. 21 – 28, 2014.

PRUDÊNCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L. BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Editora Gráfica Palloti. 2003.

QUIMICRYL S/A. **Ficha técnica do Baucryl 5000**. Brasil, 2018. Disponível em: quimicryl.tecnologia.ws/wp-content/uploads/2010/04/BAUCRYL-5000_BT.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa**. 2 ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

ROQUE, A. J. S. **Mosteiro de São Salvador de Palme: contributo para a história e reabilitação** Dissertação de mestrado. Universidade de Lusófona de humanidade e tecnologias. 2012. Disponível em: <http://recil.grupolusofona.pt/handle/10437/3915>. Acesso em: 08 abr. 2022.

RIUNNO, V.; MU ELLI. How Flexible Are "Flexible" Mortars ? **Tile & Decorative Surfaces**, v. 42, n. 6, p. 44–54, 1992.

SAYEGH, S. Última Fiada. **Revista Técnica**, São Paulo, mar. 2007.

SAHADE, R. F. **Avaliação de sistemas de recuperação de fissuras em alvenaria de vedação**. 2005. 169 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.

SCHULZE, J.; KILLERMANN, O. Long-term performance of redispersible powders in mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 31, n. 3, p. 357 – 362, 2001.

SEABRA, M. P.; PAIVA, H.; LABRINCHA, J. A.; FERREIRA, V. M. Admixtures effect on fresh state properties of aerial lime-based mortars. **Construction and Building Materials**, v. 23, p. 1147-1153, 2009.

SELMO, S. M. S.; NAKAKURA, E. H.; MIRANDA, L. F. R.; MEDEIROS, M. H. F.; SILVA, C. O. **Propriedades e especificações de argamassas industrializadas de múltiplo uso**. Boletim Técnico, Escola Politécnica da USP, BT/PCC/310, São Paulo, 2002.

SILVA, J. L. **Influência dos tipos de misturadores e tempo de mistura nas propriedades de argamassas de múltiplo uso**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Recife, 2020.

SILVA, R. C.; GONÇALVES, M. O.; ALVARENGA, R. C. S. S. Alvenaria racionalizada.

Revista Técnica. São Paulo. Julho, 2006. Disponível em:
<<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo285542-1.aspx>>. Acesso em: 02 mai. 2022.

SOUZA, M. H. B. **Influência do polímero superabsorvente em argamassas autoadensáveis para empreendimentos hidráulicos.** Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Hídrica) Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2022.

SOUZA, M. H. **Análise de argamassas de reparo de base polimérica.** Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá) Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

SOUZA, M. H.; SOUZA, R. A. (2019). Análise de argamassas de reparo compostas por copolímero vinílico, PVA e SBR. **Revista ALCONPAT.** 9 (3), pp. 277 – 287. Disponível em: [dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.330](https://doi.org/10.21041/ra.v9i3.330). Acesso em: 25 ago. 2021.

START (State of the Art through Systematic Review). Versão: 3.0.3 BETA. São Carlos, São Paulo: UFSCAR. 2013. Disponível em: lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool. Acesso em: 25 ago. 2021.

SUN, S. A.; FEI, Y. W.; XIAO, Y. P., YANG, H. W. e ZONG, Z. M. Preparação de argamassa flexível de polímero-cimento. **Advanced Materials Research.** Vol. 299, p. 708 – 711. Trans Tech Publicações Ltda. 2011.

TATIM FILHO, Y. S. **Estudo das interfaces das estruturas de concreto armado entre vigas/lajes e alvenaria com blocos cerâmicos.** Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) — Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul, de Santa Cruz do Sul, 2019. Disponível em: repositorio.unisc.br/jspui/handle/11624/3315. Acesso em: 08 set. 2022.

TEIXEIRA, C. H. **Fissuras na interface da alvenaria de vedação com estruturas de concreto armado: recomendações para técnicas de prevenção.** Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) — Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: lume.ufrgs.br/handle/10183/28549. Acesso em: 04 set. 2022.

VAZ, C. E. **Avaliação de desempenho de argamassa modificada: com areia de pet.** 88p. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Alegrete, 2016.

VEDACIT S/A. **Ficha técnica do Bianco.** Brasil, 2022. Disponível em: vedacit.com.br/para-voce/produtos-e-solucoes/adesivos/bianco. Acesso em: 15 jun. 2022

VIAPOL Ltda. **Ficha técnica do Viafix chapisco.** Brasil, 2013. Disponível em: viapol.com.br/media/388334/ft-viafix-chapisco-19-02-15.pdf. Acesso em: 21 jan. 2023

VITORINO, S. F. **Desenvolvimento de argamassa colante polimerizada para aplicação de revestimentos cerâmicos em fachadas.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019.

VOTORANTIM, Cimentos Brasil S.A. **Ficha técnica da Votomassa massa pronta**. Brasil, 2022. Disponível em: votorantimcimentos.com.br/wp-content/uploads/2015/12/56-ficha-tecnica.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022

VIEIRA, R. S. **Estudo de argamassas industrializadas para assentamento de alvenaria estrutural de bloco de concreto**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

WANG, J. Q. Mechanics Performance of Cement Mortar Modified by Carboxylic Styrene Butadiene latex. In: **Advanced Materials Research**. Trans Tech Publications Ltd., 2014. p. 141-144. Disponível em: scientific.net/AMR.908.141. Acesso em: 09 ago. 2022.

WANG, R.; ZHANG, L. Mechanism and durability of repair systems in polymer-modified cement mortars. **Advances in Materials Science and Engineering**, 2015.

WANG, R.; YAO, L.; WANG, P. Mechanism analysis and effect of styrene-acrylate copolymer powder on cement hydrates. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 538-544, 2013.

WANG, R.; WANG, P.; YAO, L. Effect of redispersible vinyl acetate versatate copolymer powder on the flexibility of cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 27, n. 1, p. 259-262, 2012. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811004041?casa_token=ojBoOeAVjkAAAAA:LpIsVJgdzeW52EmH7hZk_4AWH-O1dY-kqPmAqxWfWUBghiLNGLTZd9WT8cr2hvgExIDJH3p2dVM. Acesso em: 08 mar. 2022.

WANG, Y.; CUI X.; WANG, L.; ZHANG, H.; LI J.; SONG, S.; REN B. Influence on Styrene-acrylic Emulsion and PVA Fiber on Mechanical Properties of Cement Mortar and Its Strengthening Mechanism. **Materials review**. v. 27, 2013. Disponível em: caod.oriprobe.com/articles/40827918/Influence_on_Styrene_acrylic_Emulsion_and_PVA_Fib_e.htm. Acesso em: 08 ago. 2022.

WANG, R.; WANG, P. M. Action of redispersible vinyl acetate and versatate copolymer powder in cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 11. 2011.

WETZEL, A.; AREND, J. Adsorbance of superplasticizers on concrete additives: microstructural in-situ experiments. 15th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials. Delft, The Netherlands: [s.n.]. **Proceedings**. 2015.

WU, B. et al. Study on the Performance on Some Admixture of Sulphoaluminate Cement Waterproof Mortar. **Applied Mechanics and Materials**, v. 740, p. 47-50, 2015.

WU, Y. Y.; MA, B. G.; WANG, J.; ZHANG, F. C.; JIAN, S. W. Study on Interface Properties of EVA-Modified Cement Mortar. **Advanced Materials Research**, p. 250-253, 875-880. 2011. Doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.250-253.875

YAO, A; REN, B.; NING, Y.; LV, Y. VAE modified mortar mechanical properties. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TRAFFIC TRANSPORTATION AND CIVIL ARCHITECTURE*, 4., 2021, Suzhou. **Anais [...]**. Suzhou: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2021. p. 553-556. Disponível em: ieeexplore.ieee.org/document/9654504. Acesso em: 08 set. 2022.

ZAPPILE, J.; RESENDE, M. A influência de polímeros na aderência e flexibilidade da argamassa colante. *In: Encontro nacional de tecnologia no ambiente construído*, **Anais [...]** p. 1-8, 2020.

ZHANG, X; LI, G; SONG, Z. Influence of styrene-acrylic copolymer latex on the mechanical properties and microstructure of Portland cement/Calcium aluminate cement/Gypsum cementitious mortar. **Construction and Building Materials**. v. 227, 2019. Disponível em: [10.1016/j.conbuildmat.2019.08.047](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.08.047). Acesso em: 03 set. 2022.