



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E
ENGENHARIA DE MATERIAIS

Helen Vanessa Ferreira Campos

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE POLÍMEROS SUPERABSORVENTES
E SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO CONVENCIONAL POR RESÍDUOS DE
MADEIRA EM ARGAMASSAS.**

ITAJUBÁ – MG

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E
ENGENHARIA DE MATERIAIS

Helen Vanessa Ferreira Campos

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE POLÍMEROS SUPERABSORVENTES
E SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO CONVENCIONAL POR RESÍDUOS DE
MADEIRA EM ARGAMASSAS.

Defesa de Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais

Área de concentração: Não Metais

Orientadora: Prof.^a Dr^a. Mirian de Lourdes Noronha Motta Melo.

Coorientador: Prof. Dr^a. Valquíria Claret dos Santos

ITAJUBÁ-MG

2024

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo apoio afetivo, psicológico e financeiro que me incentivaram e foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Mírian de Lourdes Noronha Motta Melo e minha coorientadora Prof.^a Dr.^a Valquíria Claret dos Santos, pela assertividade em orientar, em instigar a refletir, estudar e desenvolver. Sou muito grata pela compreensão nos momentos difíceis e, pela disponibilidade e apoio constante, que tanto colaboraram para concretização deste trabalho.

Ao colega de pesquisa Michel por compartilhar tanto sua experiência acadêmica e contribuir com suas ideias inovadoras para o desenvolvimento de minha pesquisa.

Ao Professor Dr. Carlos da UNICAMP por trazer conhecimento e inovação fornecendo um material de tema atual e crescente que tanto contribuíram para a relevância deste estudo.

Ao técnico do laboratório da UNIFEI, Luciano por todo o apoio e suporte na realização dos ensaios.

Ao representante do curso João por contribuir dando o seu melhor, sempre nos ajudando e fazendo nosso curso crescer cada vez mais.

À Universidade Federal de Itajubá pela oportunidade incrível de cursar este mestrado e por todo subsídio e infraestrutura fornecida durante esta jornada.

RESUMO

CAMPOS, H. V. F. **Análise da influência da adição de polímeros superabsorventes e substituição de agregado convencional por resíduos de madeira em argamassas.** Dissertação (Mestrado). UNIFEI, Itajubá – MG, 2024.

Este estudo tem como objetivo investigar a substituição parcial da areia por resíduos de madeira (RDM) em compósitos à base de cimento, buscando mitigar o impacto ambiental decorrente da extração de areia, um recurso não renovável. A introdução aborda a importância da areia nos compósitos cimentícios e os benefícios potenciais da utilização de RDM, como a leveza e as propriedades termoacústicas aprimoradas. No entanto, também se observa uma diminuição na resistência à compressão e na qualidade da mistura devido à maior absorção de água pelos resíduos. Para abordar essas questões, a metodologia incluiu uma análise bibliométrica nas bases de dados Scopus e Web of Science, visando identificar estudos relevantes para futuras pesquisas. Com base nessa revisão, foram formuladas e avaliadas nove formulações de argamassas, que passaram por ensaios de caracterização física e avaliação de desempenho nos estados fresco e endurecido. Os resultados indicam que a incorporação de SAP e RDM impactou as propriedades das argamassas. Notou-se uma redução na massa específica com o aumento da adição e/ou substituição. No estado endurecido, todas as misturas apresentaram diminuição na resistência à compressão, com a adição exclusiva de SAP resultando em menores perdas em comparação às misturas com RDM. As misturas que incluíram resíduos de madeira mostraram maior variação na resistência, sugerindo menor homogeneidade, a qual foi melhorada com a inclusão de SAP. A substituição de areia por RDM não comprometeu significativamente a resistência à tração; no entanto, a combinação de RDM e SAP resultou em decréscimos nessas propriedades. Em conclusão, a pesquisa demonstra que a adição de SAP pode mitigar algumas das desvantagens associadas ao uso de RDM em argamassas, contribuindo para o desenvolvimento de materiais de construção mais sustentáveis e eficientes.

PALAVRAS-CHAVE: argamassa; areia; resíduo de madeira; polímero superabsorvente; SAP; compósito cimentício.

ABSTRACT

CAMPOS, H. V. F. **Analysis of the Influence of Superabsorbent Polymer Addition and Replacement of Conventional Aggregate with Wood Residues in Mortars.**

Dissertation (Master in Engineering). UNIFEI, Itajubá – MG, 2024.

This study aims to investigate the partial replacement of sand with wood residues (RDM) in cement-based composites, seeking to mitigate the environmental impact resulting from the extraction of sand, a non-renewable resource. The introduction addresses the importance of sand in cementitious composites and the potential benefits of using RDM, such as improved lightness and thermoacoustic properties. However, a decrease in compressive strength and mix quality is also observed due to the increased water absorption by the residues. To address these issues, the methodology included a bibliometric analysis in the Scopus and Web of Science databases, aiming to identify relevant studies for future research. Based on this review, nine formulations of mortars were developed and evaluated, undergoing physical characterization tests and performance assessment in both fresh and hardened states. The results indicate that the incorporation of SAP and RDM impacted the properties of the mortars. A reduction in specific mass was noted with increasing addition and/or replacement. In the hardened state, all mixtures exhibited a decrease in compressive strength, with the exclusive addition of SAP resulting in lower losses compared to mixtures with RDM. Mixtures containing wood residues showed greater variation in strength, suggesting lower homogeneity, which was improved with the inclusion of SAP. The replacement of sand with RDM did not significantly compromise tensile strength; however, the combination of RDM and SAP resulted in decreases in these properties. In conclusion, the research demonstrates that the addition of SAP can mitigate some of the disadvantages associated with the use of RDM in mortars, contributing to the development of more sustainable and efficient building materials.

KEYWORDS: mortar; sand; wood residue, superabsorbent polymer; SAP; cementitious composite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Polímero Superabsorvente.....	23
Figura 2: Caracterização e classificação dos resíduos sólidos.	25
Figura 3: Gravimetria dos RSU no Brasil	27
Figura 4: Etapas da Análise bibliométrica	30
Figura 5: Número de publicações ao longo da história	35
Figura 6: Autores com mais publicações (SAP)	35
Figura 7: Autores com mais publicações (Resíduos de madeira)	36
Figura 8: Artigos mais citados (SAP).....	37
Figura 9: Artigos mais citados (Resíduos de madeira).....	37
Figura 10: Palavras-chave mais usadas (SAP)	38
Figura 11: Palavras-chave mais usadas (Resíduos de madeira)	39
Figura 12: Periódicos com mais publicações (SAP)	40
Figura 13: Periódicos com mais publicações (Resíduos de madeira)	40
Figura 14: Áreas de pesquisa da base <i>Scopus</i> (SAP)	42
Figura 15: Áreas de pesquisa da base <i>Scopus</i> (Resíduos de madeira).....	43
Figura 16: Fluxograma do programa experimental do estudo	51
Figura 17: Processo de reciclagem IGTPAN.....	55
Figura 18: Amostra dos resíduos de madeira.....	56
Figura 19: Distribuição Granulométrica dos resíduos de madeira.....	57
Figura 20: Moldes cilíndricos.....	60
Figura 21: Amostras após serem desmoldadas	60
Figura 22: Moldes cilíndricos.....	64
Figura 23: Interface do software SONELASTIC	65
Figura 24: Massa específica e índice de consistência de cada traço.....	70
Figura 25: Teor de ar de cada traço	71
Figura 26: Resistência à compressão máxima.....	73
Figura 27: Reduções na resistência à compressão.....	74
Figura 28: Resistência à tração máxima	76
Figura 29: Módulo de elasticidade dinâmico	77
Figura 30: Gráficos de efeitos principais e Interação (Compressão e Tração).....	80
Figura 31: Gráficos de efeitos principais e Interação (Mod. Elasticidade Dinâmico e Massa Específica)	81
Figura 32: Gráfico de Pareto de efeitos padronizados (Compressão e Tração).....	83
Figura 33: Gráfico de Pareto de efeitos padronizados (Mod. Elasticidade Dinâmico e Massa Específica)	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Densidade de massa no estado fresco para argamassas	17
Tabela 2: Retenção de água para argamassas de revestimento	17
Tabela 3: Retenção de água para argamassas de assentamento e fixação	18
Tabela 4: Classes de uso de argamassas e respectivos critérios de resistência à compressão – Estado endurecido	18
Tabela 5: Limites de composição do cimento Portland	20
Tabela 6: Variações das strings em cada base de dados	32
Tabela 7: Quantidade de artigos encontrados nas buscas	33
Tabela 8: Países com mais citações e posição no Ranking de mais produções (SAP)	41
Tabela 9: Países com mais citações e posição no Ranking de mais produções (Resíduos de Madeira)	41
Tabela 10: Informações sobre os artigos mais relevantes sobre SAP nos últimos 10 anos	49
Tabela 11: Informações sobre os artigos mais relevantes sobre Resíduos de Madeira nos últimos 10 anos	50
Tabela 12: Propriedades do CPlI-F-32.....	52
Tabela 13: Granulometria e características físicas da areia.....	53
Tabela 14: Características do Polímero Superabsorvente usado	54
Tabela 15: Granulometria dos resíduos de madeira	57
Tabela 16: Características do superplastificante.....	58
Tabela 17: Nomenclatura dos traços.....	59
Tabela 18: Traços unitários de argamassa	59
Tabela 19: Quantidade de corpos de prova utilizados por ensaio no estado endurecido.....	63
Tabela 20: Massa específica no estado fresco	67
Tabela 21: Índice de consistência	69
Tabela 22: Resistência máxima a compressão	72
Tabela 23: Relação das variáveis e dos ensaios	79

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ARI = Alta resistência Inicial

a/c = Relação água cimento

ABNT = Associação brasileira de normas técnicas

ASTM = Society for Testing and Materials

CCV = Concreto convencional

cm = Centímetro

CNPq = Conselho Nacional de Pesquisa

CP = Corpo de prova

CPII = Cimento Portland Tipo II

CPV = Cimento Portland Tipo V

E = Módulo de elasticidade

Ed = Módulo de elasticidade dinâmico

Fck = Resistência à compressão do concreto

ISO = International organization for standardization

Kg/dm³ = Quilograma por decímetro cúbico

kg/m³ = Quilograma por metro cúbico

L = comprimento

m²/kg = Metro quadrado por quilograma

ME = Massa específica

min = Minuto

mm = Milímetro

MPa = Mega Pascal

MU = Massa unitária

NBR = Norma brasileira

PIB = Produto interno bruto

RDM = Resíduo de Madeira

SAP = Polímero Superabsorvente

SF = Slump flow test

SPA = Super Plastificante

UNIFEI = Universidade Federal de Itajubá

μm = Micrômetro

ρ_f = Massa específica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Justificativa.....	14
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. Objetivo Geral.....	15
Objetivos Específicos.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. Argamassa - Definição.....	16
2.1.1. Materiais constituintes das argamassas	19
2.1.1.1. Cimento	19
2.1.1.2. Agregados.....	21
2.1.1.3. Água.....	21
2.1.1.4. Aditivos.....	22
2.2. Polímero Superabsorvente – SAP	22
2.2.1. Utilização do SAP em compostos cimentícios.....	23
2.3. Resíduos sólidos.....	25
2.3.1. Resíduos de Madeira	26
2.3.2. Resíduos de Madeira em compósitos cimentícios	28
2.4. Análise bibliométrica	29
2.4.1. Metodologia de Pesquisa	30
2.4.1.1. Delimitação da busca	30
2.4.1.2. Definição das palavras-chave	31
2.4.1.3. Pesquisa nas bases de dados.....	31
2.4.1.4. Formação do banco de dados inicial.....	32
2.4.1.5. Refinamento dos dados obtidos	33
2.4.1.6. Análise dos dados obtidos.....	33
2.4.2. Resultados da Análise Bibliométrica.....	34
2.5. Estado da arte.....	43
3. MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1. Materiais.....	52
3.1.1. Cimento.....	52
3.1.2. Cal	53
3.1.3. Areia.....	53
3.1.4. Polímero Superabsorvente (SAP).....	54

3.1.5.	Resíduo de Madeira.....	55
3.1.6.	Aditivo Superplastificante.....	58
3.1.7.	Água	58
3.2.	Métodos	58
3.2.1.	Ensaio no estado fresco.....	61
3.2.1.1.	Índice de consistência	61
3.2.1.2.	Massa específica aparente.....	61
3.2.1.3.	Densidade de massa e do teor de ar incorporado	62
3.2.2.	Ensaio no estado endurecido.....	62
3.2.2.1.	Resistência à Compressão.....	63
3.2.2.2.	Resistência a tração por compressão diametral	63
3.2.2.3.	Módulo de elasticidade dinâmico.....	63
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
4.1.	Resultados no estado fresco.....	66
4.1.1.	Massa específica.....	66
4.1.2.	Índice de consistência – Ensaio de espalhamento	68
4.1.3.	Teor de ar	70
4.2.	Resultados dos ensaios no estado endurecido.....	71
4.2.1.	Resistência à compressão.....	72
4.2.2.	Resistência à tração	75
4.2.3.	Módulo de elasticidade	77
5.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	79
5.1.	Planejamento de Experimentos (DOE)	79
5.2.	Gráficos de efeitos principais.....	80
5.3.	Gráficos de Pareto	82
6.	CONCLUSÕES.....	84
6.1.	Sugestões para trabalhos futuros	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial e das demandas de infraestrutura capazes de subsidiar o desenvolvimento da sociedade, transformou o setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) num dos maiores responsáveis pela poluição. O impacto ambiental vem desde o início da construção, pela extração de matéria prima e consumo descontrolado de recursos naturais, até o término, com o descarte dos resíduos provenientes de todos os processos construtivos (ABCP, 2021).

A promoção de um desenvolvimento sustentável e o princípio da equidade intergeracional vem como um desafio para as empresas, que buscam meios para alcançar uma postura ecologicamente correta. Neste contexto, nota-se a relevância de se desenvolver alternativas que possam reduzir os impactos ambientais, seja por meio do uso de recursos renováveis, ou, pela utilização de resíduos, transformando-os em uma fonte alternativa para próprio setor que em que foram gerados (BENABED, 2018).

A substituição dos agregados tradicionais por resíduos da construção civil, nos compósitos cimentícios, vem como uma alternativa promissora, já que a areia, um dos materiais mais convencionais para essa aplicação, é um recurso não-renovável e de extração degradante em relação ao meio ambiente. Mas para a aderência da reutilização de resíduos no setor AECO, é necessário primeiramente comprovar a viabilidade por meio de resultados viáveis e positivos de ensaios laboratoriais (ABCP, 2021).

Alguns estudos, por exemplo, vêm analisando a viabilidade da utilização de resíduo da madeira (RDM), como o pó de serragem, com o intuito de reduzir o consumo da areia nas construções. Estes estudos demonstram em geral resultados em comuns, que estão diretamente ligados ao teor deste resíduo nas argamassas. Quanto maior a porcentagem do pó de madeira, menor resistência mecânica e massa específica, com uma maior absorção de água e índice de vazios. Apesar destes resultados não serem totalmente positivos, eles se encontram em valores aceitáveis dependendo da aplicação da argamassa. O resultado se revela mais benéfico, quando se analisa a redução no peso próprio, o conforto térmico e acústico adquirido com a substituição, que pode vir a diminuir o consumo de energia com ar-condicionado nas edificações. Também é importante considerar, que o uso do resíduo de madeira

fornece as madeiras e marcenarias, um destino adequado para este pó que, se descartado incorretamente, pode levar a uma contaminação ambiental (FGP, 2022).

Analisando-se os resultados da incorporação dos resíduo de madeira a compósitos cimentícios, a combinação com a recente tecnologia do polímero superabsorvente (SAP), pode ser uma alternativa para controlar a absorção de água do resíduo durante a cura. O SAP têm atraído atenção em todo mundo, sendo amplamente explorado na tecnologia de materiais a base de compósitos cimentícios por seu potencial na aplicação como agente de cura interna e no ramo da hidratação da matriz cimentícia (LUZ, 2012).

A produção de trabalhos científicos relacionados ao tema na última década vem demonstrando um crescimento contínuo, motivando outros pesquisadores na continuidade de novos estudos de sua aplicação. No entanto, muitas vezes se torna uma tarefa árdua a localização de trabalhos publicados em um campo amplo de dados, sendo um ponto fundamental na pesquisa o reconhecimento do atual estado científico do tema (MANZANO, 2021; ONU, 2019; PREILIPPER, 2016).

Deste modo, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um embasamento teórico e experimental, sobre o uso de SAPs associado ao resíduo de madeira, em compósitos a base de cimento. Neste contexto, inicia-se este trabalho com uma revisão bibliográfica e bibliométrica, afim de se levantar os conceitos e informações já consolidadas. Partindo deste ponto, foi possível identificar os melhores caminhos para que essa pesquisa, com base nos principais estudos sobre o tema. Seguindo uma metodologia, foram realizados os ensaios, de acordo com o levantamento da revisão. Por fim, os resultados foram aqui apresentados e discutidos, sendo estes fundamentais para uma conclusão sobre a temática em estudo.

1.1. Justificativa

Diante do panorama mundial de desenvolvimento e meio ambiente, a pertinência desta pesquisa se dá pela necessidade de se criar estratégias para reduzir o impacto ambiental do setor da construção civil. Neste contexto, a escolha do resíduo de madeira se insere com o intuito de substituir parcialmente a areia de argamassas, por se tratar de um recurso não renovável e de extração degradante ao meio ambiente. Para mitigar os efeitos negativos levantados desta substituição, a incorporação do SAP à mistura, propõe equilibrar a absorção de água durante a cura, bem como contribuir com a retração autógena neste processo.

A determinação de uma proporção adequada de materiais constituintes do concreto requer uma atenção cuidadosa ao estudar e dosar a argamassa, uma vez que o concreto é predominantemente composto pela combinação da argamassa, com o agregado graúdo. Portanto, é mais vantajoso realizar ajustes e testes durante a fase de preparação da argamassa, em comparação com a fase de produção do concreto propriamente dita.

Desta forma, esse trabalho visa analisar o comportamento de argamassas com adição de SAP e substituição de agregado miúdo por resíduos de madeira, buscando uma alternativa sustentável que contribua significativamente para o setor da construção civil e para sociedade como um todo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Investigar os efeitos da adição de polímero superabsorvente (SAP) e a substituição de areia por resíduos de madeira (RDM) nas propriedades das argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, visando o desenvolvimento de materiais de construção mais eficientes e sustentáveis.

Objetivos Específicos

Este estudo contempla os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a influência da incorporação de SAP e RDM nas propriedades físicas das argamassas no estado fresco, especialmente na massa específica.
- Avaliar o impacto da adição de SAP e RDM nas propriedades mecânicas das argamassas no estado endurecido, incluindo resistência à compressão e à tração e módulo de elasticidade.
- Investigar a relação entre a proporção de adição/substituição de SAP e RDM e o comportamento da mistura.
- Proporcionar um aprofundamento de uma temática inovadora, para o desenvolvimento de materiais sustentáveis na construção civil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para formar uma base teórica sobre o uso de Polímeros Superabsorventes (SAP) e Resíduos de Madeira (RDM) em compósitos cimentícios, é fundamental realizar uma revisão bibliográfica abrangente e uma análise bibliométrica detalhada. A revisão bibliográfica consistirá na busca e análise crítica de normas e estudos relevantes publicados em periódicos científicos, conferências e outras fontes acadêmicas. Serão identificados os principais temas, métodos experimentais, resultados e conclusões abordados nos estudos existentes.

Além disso, a análise bibliométrica envolverá a coleta e a avaliação de dados bibliográficos quantitativos, como o número de publicações, autores mais citados, periódicos mais relevantes, palavras-chave mais frequentes, entre outros. Isso permitirá uma compreensão mais detalhada do estado atual das pesquisas relacionadas ao uso de SAP e RDM em compósitos cimentícios, bem como identificar lacunas e tendências na literatura científica sobre o tema.

Desta forma, a revisão bibliográfica deste estudo se divide em cinco etapas principais, sendo elas:

1. Definição de argamassa e seus materiais constituintes;
2. Contextualização sobre os polímeros superabsorventes (SAP), definições e suas propriedades;
3. Contextualização sobre os resíduos de madeira (RDM), definições e suas características;
4. Análise Bibliométrica acerca dos objetos de estudos em compósitos cimentícios;
5. Estado da arte sobre o uso do SAP e resíduo de madeira em compósitos cimentícios.

2.1. Argamassa - Definição

Definida pela norma ABNT NBR 13529:2013, a argamassa é caracterizada como uma composição homogênea constituída por agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, podendo conter aditivos ou adições minerais. De forma simplificada, pode-se descrever a argamassa como uma mistura de cimento e/ou cal,

areia e água, podendo incluir aditivos para aprimorar suas propriedades. Sua principal função é servir como um agente de ligação para unir os materiais utilizados na construção.

Na normatização brasileira existem duas normas referentes a argamassas, para a definição dos requisitos e métodos de ensaio. A ABNT NBR 13281-1:2023 define parâmetros para argamassas de revestimento de tetos e paredes, enquanto a ABNT NBR 13281-2:2023, se restringe a normatização para argamassas de assentamento e fixação de alvenaria.

No estado fresco da argamassa de revestimento, a ABNT NBR 13281-1:2023 define classificações de acordo com a retenção de água e a densidade da massa. (Tabela 1 e Tabela 2). Se tratando de argamassas de assentamento e fixação assentamento, as classificações de densidade são as mesmas, porém são estabelecidos parâmetros diferentes, quanto a retenção de água, pela ABNT NBR 13281-2:2023 (Tabela 3).

Tabela 1: Densidade de massa no estado fresco para argamassas

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: ABNT NBR 13281-1:2023

Tabela 2: Retenção de água para argamassas de revestimento

Classe	Retenção de água (u) %	Método de ensaio
U0	U < 70	ABNT NBR 13277
U1	70 ≤ U < 80	
U2	80 ≤ U ≤ 90	
U3	U > 90	

Fonte: ABNT NBR 13281-1:2023

Tabela 3: Retenção de água para argamassas de assentamento e fixação

Requisito	Unidade	Critérios por tipo de argamassa		
		AAV	AAE	Método de ensaio
Retenção de água (U)	%	≥ 85	≥ 80	ABNT NBR 12277
Teor de ar incorporado (A)	%	≤ 22	≤ 18	ABNT NBR 12278

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 13281-2:2023

Todo o processo experimental da determinação do índice de consistência de argamassas de revestimento e assentamento, é detalhado na ABNT NBR 13276:2016. Este índice permite a comparação da consistência, fluidez e trabalhabilidade de diferentes traços. De acordo com a norma, o índice deve ser calculado por meio da média aritmética das três medidas de diâmetro do espelhamento da massa.

A ABNT NBR 13276:2016 também traz em seu texto, as resistências à compressão, para cada classe de uso de argamassas de assentamento e fixação, conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 4: Classes de uso de argamassas e respectivos critérios de resistência à compressão – Estado endurecido

Classe de uso	Classe de resistência à compressão da argamassa (f_a) MPa
AAV	$2,0 \leq f_a < 5,0$
AAE5	$2,0 \leq f_a < 8,0$
AAE8	$8,0 \leq f_a < 12,0$
AAE12	$12,0 \leq f_a < 16,0$
AAE16	$16,0 \leq f_a < 20,0$
AAE20	$20,0 \leq f_a < 24,0$
AAEE (especial)	$f_a \geq 24,0$
AAF	$1,5 \leq f_a < 5,0$

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 13276:2016

Para Melconian (2018), a aplicação de uma força axial em uma peça gerará tração ou compressão. A tração resulta quando o sentido é dirigido ao exterior da peça, e compressão ao interior.

De acordo com a ABNT NBR 13281-2:2023, a classificação da resistência à compressão das argamassas é determinada com base na carga máxima suportada na compressão axial. Baseando-se nesta carga, classifica-se as argamassas como AAV (argamassa de vedação), AAE (argamassa de assentamento) ou AAF (argamassa para fixação horizontal, encunhamento).

A ABNT NBR 7222:2011 trata da determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de argamassas. A norma não define classificações, mas descreve os métodos de ensaios.

A relação entre tensão (seja compressão, ou tração) e deformação elástica de uma peça resulta em uma constante de proporcionalidade denominada módulo de Young, também denominado módulo de elasticidade (E). Quanto maior for este módulo, maior a rigidez, ou resistência do material à deformação. (CALLISTER et al, 2018)

O módulo de elasticidade da argamassa pode ser determinado pelo método de propagação ultrassônica, por meio dos métodos de ensaios prescritos pela ABNT NBR 15630:2008.

2.1.1. Materiais constituintes das argamassas

2.1.1.1. Cimento

De acordo com Botelho et al (2015), o cimento Portland é uma mistura de clínquer (proveniente da trituração de calcário e argila) e gesso (um aglomerante) capaz de retardar a aglutinação, quando o cimento é umedecido. Quando se mistura à água, o cimento se torna plástico e adquire característica colante. Se a adição de água for exagerada, a mistura pode perder sua resistência ótima.

A ABNT NBR 16697:2018 define parâmetros para a composição de diversos tipos de cimentos, variando-se a porcentagem de clínquer, sulfatos, escórias de alto forno e material carbonático (Tabela 5).

Tabela 5: Limites de composição do cimento Portland

Designação	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Composição (porcentagem em massa)			
				Clínquer + Sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland Comum	CP I	25, 32 ou 40 ^a	RS ^c ou BC ^d	95-100	0-5		
	CP I-S			90-94	0	0	6-10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto forno	CP II-E			51-94	6-34	0	0-15
Cimento Portland composto com material pozolânico	CP II-Z			71-94	0	6-14	0-15
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F			75-89	0	0	11-25
Cimento Portland de alto forno	CP III			25-65	35-75	0	0-10
Cimento Portland pozolânico	CP IV			45-85	0	15-50	0-10
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V ^e	ARI ^b		90-100	0	0	0-10
Cimento Portland Branco	Estrutural	25, 32 ou 40 ^a		75-100	-	-	0-25
	Não estrutural	-	-	50-74	-	-	20-50

a As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade em MPa

b O Cimento CP V-ARI apresenta resistência à compressão de 14 MPa em 1 dia, e 28 MPa em 28 dias

c O sufixo RS significa resistência a sulfatos

d O sufixo BC significa baixo calor de hidratação

e No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos.

Fonte: Adaptado de NBR16697:2018

2.1.1.2. Agregados

A ABNT NBR 7211:2022 define agregados como grãos minerais duros, estáveis e duráveis, que resultam da britagem de rochas. Os agregados para concreto se constituem de uma distribuição granulométrica de agregados graúdos e miúdos naturalmente, ou intencionalmente, da mistura de agregados britados e areia natural ou britada.

Para o uso de materiais, os quais não há antecedentes de desempenho, devem ser realizados estudos experimentais, por profissional habilitado, que comprovem a obtenção de uma mistura de qualidade satisfatória (ABNT NBR 7211:2022).

Para a caracterização granulométrica do agregado a ABNT NBR 7211:2022 também se utiliza de alguns termos, como:

- Dimensão máxima característica: grandeza correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira na qual está retido 5% da massa do agregado.
- Módulo de finura: Soma das porcentagens de massas retidas acumuladas, nas peneiras da série normal, dividida por 100.
- Série normal de peneiras: peneiras de aberturas que variam de 75 mm a 150 μm .
- Agregado graúdo: grãos passantes pela peneira de 75 mm de abertura e ficam retidos na peneira de malha de 4,75 mm.
- Agregado miúdo: grão que passam pela peneira de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm .

2.1.1.3. Água

A água deve estar em conformidade com a ABNT NBR 15900-1:2009, que estabelece requisitos para que a água possa ser utilizada em argamassas. Resumidamente a água tratada, proveniente do abastecimento público, se adequa aos requisitos, não precisando ser ensaiada.

2.1.1.4. Aditivos

Os aditivos podem ser utilizados tanto para concreto, quanto para argamassa, com o objetivo de modificar as propriedades da mistura, seja no estado fresco ou endurecido. Geralmente são adicionados em quantidades não superiores a 5% da massa total (ABNT NBR 11768:2019).

Em relação aos tipos de aditivos, a ABNT NBR 16826:2020 os classificam em três tipos:

- Incorporador de ar: pó ou líquido capaz de incorporar bolas de ar para melhor trabalhabilidade, coesão e espalhamento da argamassa;
- Polimérico auxiliador de aderência e flexibilidade: polímero em pó ou em emulsão/dispersão que proporciona a argamassa melhor aderência e deformação;
- Retentor de água: confere ao estado fresco da argamassa, redução da evaporação, exsudação da água. Conseqüentemente há uma maior capacidade de retenção hídrica ligadas a bases absorventes e ação do meio ambiente.

Já a ABNT NBR 13529:2013 apresenta sucintamente mais três tipos de aditivos:

- Hidrofugante: capaz de reduzir a absorção de água por capilaridade;
- Espessante: proporciona maior viscosidade a mistura;
- Acelerador/retardador de pega: altera a velocidade de pega do aglomerante utilizado.

2.2. Polímero Superabsorvente – SAP

No mercado, existe uma diversidade de polímeros derivados de diferentes compostos químicos, entre os quais se destacam os polímeros superabsorventes (SAPs), uma classe de polímeros conhecidos por sua alta afinidade com a água. Inicialmente desenvolvidos na década de 1980 para a indústria de higiene, especialmente para fraldas descartáveis (Schröfl; Mechtcherine; Gorges, 2012), esses polímeros ganharam destaque devido à sua capacidade de absorver grandes

quantidades de líquido sem dissolução, o que resultou em amplas aplicações industriais em todo o mundo.

Atualmente, essa propriedade específica despertou interesse também no mercado agrícola e na construção civil, especialmente no uso de SAPs em compósitos à base de cimento, devido às vantagens significativas oferecidas por essas partículas superabsorventes (Al-Hubboubi et al., 2018). Na Figura 1 mostra uma amostra de SAP durante o processo de pesagem.

Figura 1: Polímero Superabsorvente



Fonte: Autora, 2024

2.2.1. Utilização do SAP em compostos cimentícios

Na indústria da construção civil, os Polímeros Superabsorventes (SAPs) foram introduzidos como facilitadores da cura interna de pastas de cimento para controlar a retração em 2001 (Jensen, O.M.; Hansen, 2001). Devido ao seu potencial para diversas aplicações no setor, há uma quantidade significativa de pesquisas e desenvolvimentos em andamento, visando mitigar ocorrências de problemas patológicos (Shim; Hong; Choi, 2018).

A cura envolve a promoção da hidratação do cimento e implica no controle da temperatura e da umidade. A manutenção da temperatura constante durante o

processo de ganho de resistência evita fissuras decorrentes da retração (Bentz; Lura; Roberts, 2005).

A cura interna incorpora materiais durante a mistura que atuam como agentes de cura de longo prazo. Estes podem ser, por exemplo, agregados leves sob condições especiais de umidade ou aditivos adicionados ao concreto, como os próprios SAPs (Jensen, Ole Mejlhede; Lura, 2006).

A retração autógena resulta da perda de água pelo concreto fresco durante a hidratação do cimento. Quando o SAP é incorporado ao concreto, ele absorve parte da água de mistura, liberando-a durante a hidratação para reduzir a retração. Estudos (Snoeck et al., 2012) indicam que a adição de SAP aos materiais à base de cimento forma inclusões cheias de água que gradualmente liberam umidade durante a hidratação do cimento, promovendo uma hidratação mais eficiente e reduzindo a retração autógena.

De acordo com Lura et al. (2012), em muitas aplicações, os polímeros superabsorventes (SAPs) foram introduzidos na mistura de concreto na forma seca. Quando as partículas secas de PSA entram em contato com a água durante a mistura do concreto, elas absorvem rapidamente a água, formando cavidades cheias de líquido. A taxa e a quantidade de líquido absorvido pelo SAP dependem tanto da natureza do SAP quanto da composição da pasta de cimento ou concreto, especialmente da configuração da solução porosa. À medida que o SAP atinge seu tamanho final, ele forma inclusões estáveis cheias de líquido, que são subsequentemente aspiradas para os poros capilares menores e consumidas durante a hidratação do cimento. O SAP permanece na forma de poros vazios na pasta de cimento.

Pesquisadores estão explorando as possibilidades e limitações do uso de SAPs em compósitos cimentícios, especialmente em argamassas e concretos, para mitigar problemas patológicos (Snoeck; De Belie, 2016) (Rodrigues et al., 2022). Acredita-se que os compósitos cimentícios modificados por SAPs têm grande potencial e serão amplamente adotados em breve (Rodrigues et al., 2022; Schroefl et al., 2012).

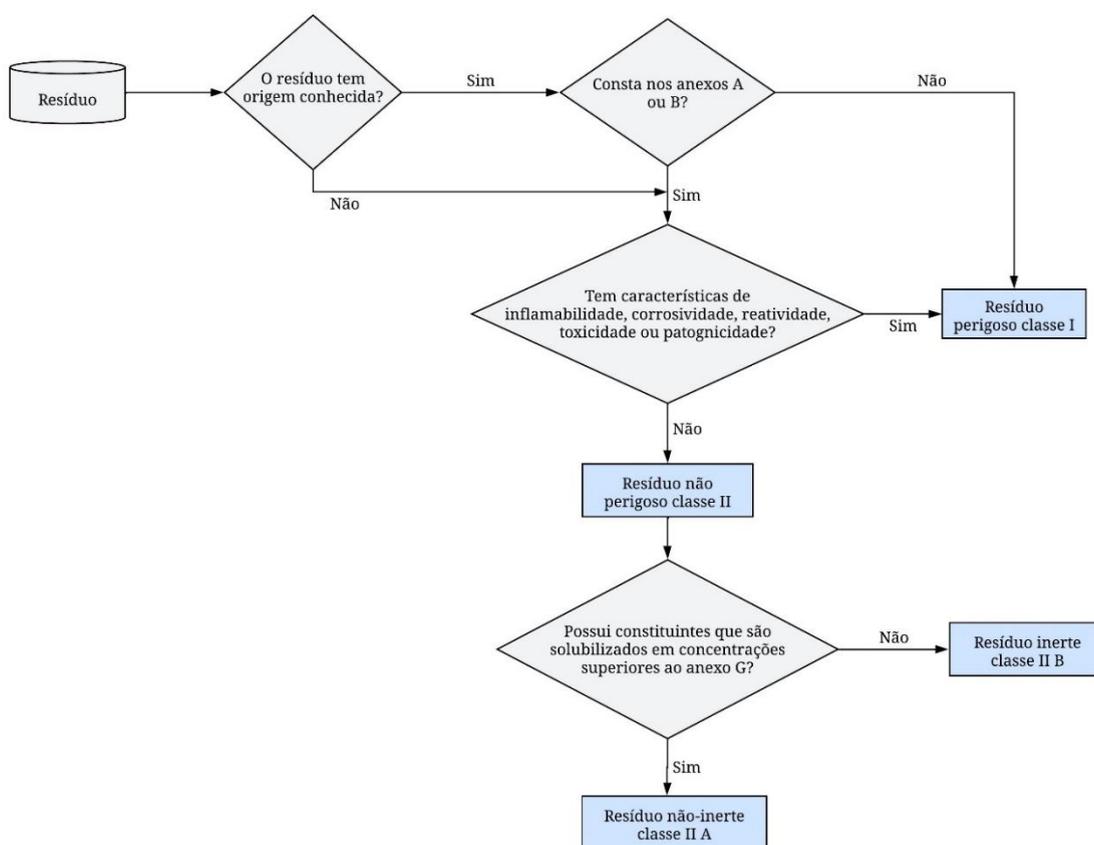
2.3. Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos são descartes no estado sólido, ou semi-sólido, resultantes de atividades industriais, domiciliares, hospitalares, comerciais, agrícolas, serviços e varrição, incluindo lodos e líquidos que não podem ser lançados na rede pública, sem tratamento (Brasil, 2010; ABNT NBR 10004:2004).

Os resíduos sólidos são classificados pela ABNT NBR 10004:2004 em duas classes. Na classe I, estão os resíduos perigosos (aqueles que possuem característica de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade). Já na classe II, encontram-se os resíduos não perigosos, que de acordo com sua concentração de solubilização, podem ainda subdividir-se em classe II A, não inertes; e classe II B, inertes (Figura 2).

Em relação a aplicação dos resíduos sólidos como agregado para argamassas e concretos, a ABNT NBR 15116:2021 foi criada para regulamentar o uso destes materiais. A norma apresenta métodos de ensaios para verificação dos requisitos estabelecidos para os agregados reciclados.

Figura 2: Caracterização e classificação dos resíduos sólidos.



Neste contexto, os agregados reciclados são definidos pela ABNT NBR 15116:2021 como um “material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção classe A...” (2021, p. 2). Esta classe A citada pela norma é estabelecida pela Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2002), que divide os resíduos da construção civil em cinco classes:

- Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Estão nesta classe os resíduos de construção, demolição, reformas e reparos, de edificações e pavimentações, ou ainda de processos de fabricação e/ou demolição de pré-moldados de concreto.
- Classe B: resíduos recicláveis de outros destinos, como: plásticos, papéis, papelões, metais, vidros, madeiras, entre outros.
- Classe C: resíduos passíveis de reutilização e não há tecnologia para reciclagem.
- Classe D: resíduos perigosos oriundo da construção, tais como: tintas, solventes, óleos, entre outros.
- Classe E: Resíduos contendo amianto, exigindo cuidados especiais em todo seu gerenciamento.

2.3.1. Resíduos de Madeira

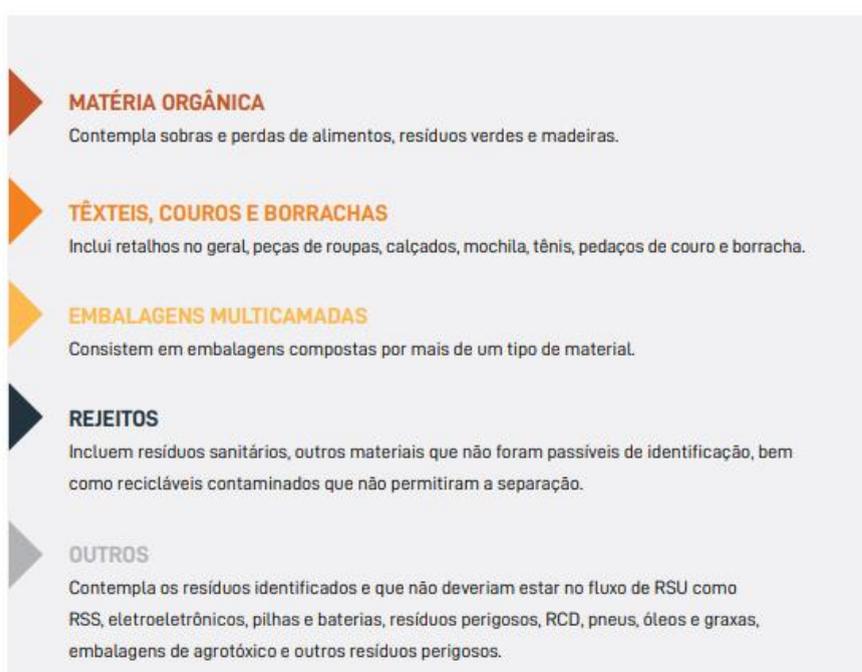
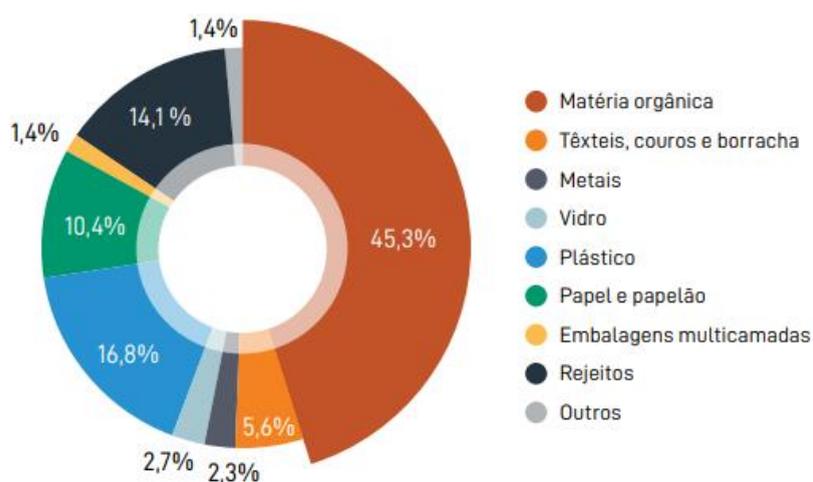
Segundo Gomes e Sampaio (2004), há um alto índice de perdas do processo de produção e comercialização da madeira. De acordo com os autores, o aproveitamento comercial de uma tora gira em torno de 40 a 60%, o que significa que de cada 10 árvores cortadas, apenas 5 serão aproveitadas. A maioria das serrarias e marcenarias, independente do porte, não aproveitam seus resíduos que podem por vezes, sem um adequado gerenciamento, se transformar-se em poluentes ambientais.

Na Figura 3 apresenta-se a gravimetria dos Resíduos Sólido Urbanos (RSU) do Brasil proveniente das mais diversas origens. Nota-se com as estatísticas que os resíduos de madeira estão centralizados na classe mais volumosa dos RSU. Neste contexto, a reciclagem revela-se como uma ferramenta que pode agregar mais valor à madeira, não sendo viável o desperdício ou queima do resíduo. Gomes e Sampaio (2004), citam diversas alternativas para o aproveitamento dos resíduos de madeira como: briquetes (cilindros compactados de resíduos utilizados como lenha),

biopolpação (processo de fabricação de papel), compostagem, produção de adubo, entre outros.

O descarte indevido do resíduo de madeira traz efeitos negativos ao meio ambiente e prejudicam o desenvolvimento circular sustentável da economia, sendo considerado crime ambiental de acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Brasil, 2010). Segundo os principais pilares desta política, quando não se pode mais reduzir ou evitar a geração do resíduo, a reciclagem, reutilização e o tratamento são as melhores alternativas. Assim, o resíduo de madeira deve ser coletado por empresas responsáveis, que garantam uma destinação ambientalmente eficaz, viável e dentro da legalidade. Logo, o descarte em lixões e terrenos baldios, não é uma opção.

Figura 3: Gravimetria dos RSU no Brasil



2.3.2. Resíduos de Madeira em compósitos cimentícios

A aplicação do resíduo de madeira vem sendo estudada para a aplicação em compósitos cimentícios como agregado, com a intenção de reduzir o consumo de areia que é um insumo não-renovável (ABCP, 2021). Porém, é notável que as diferenças destes materiais vão muito além de suas composições e naturezas. Diferenças como peso, densidade e resistência influenciam diretamente nos resultados da mistura cimentícia, que pode se tornar mais leve, porosa, isolante, absorver quantidades maiores de água, alterar a trabalhabilidade da massa, reduzir o peso e a resistência a compressão, aumentar a tenacidade, a resistência a tração, entre outros consequentes resultados positivos ou negativos.

De acordo com Hansen (2008), o setor de AECO é responsável por 66% de toda a madeira extraída, resultando em 40% dos resíduos sólidos urbanos. Como um dos principais geradores de resíduos, o setor não apenas carrega responsabilidades ambientais significativas, como também possui um potencial considerável para contribuir positivamente através da reciclagem e do aproveitamento desses resíduos. Destaca-se, assim, a urgência de utilizar de forma eficiente esses resíduos, evitando práticas como a queima a céu aberto ou a disposição irregular, que pode levar ao assoreamento dos rios.

Ribeiro (2018) menciona que o setor da indústria madeireira pode apresentar quase 70% de resíduos em algumas regiões do país, sendo a maior parte destinada à produção de painéis ou à queima para geração de energia. No entanto, cerca de 51% desses resíduos ainda são subutilizados.

Em relação ao potencial de aplicação desses resíduos em compósitos cimentícios, há de se considerar os desafios em relação as inconsistências físicas e químicas na combinação dos materiais. Pesquisas adotam pré-tratamentos com o intuito de melhorarem a compatibilidade entre os resíduos e o cimento, e mitigar problemas como o aumento no tempo de pega e a redução da resistência. Entre as técnicas mais adotadas, pode-se citar: lavagem dos resíduos em água fria e/ou quente, aplicação de soluções de aditivos químicos para acelerar a pega e injeção de CO₂ (RIBEIRO, 2018).

2.4. Análise bibliométrica

Visando examinar o estado da arte no que diz respeito à utilização de polímeros superabsorventes (SAP) e resíduos de madeira na produção de compósitos cimentícios, uma análise bibliométrica abrangente foi conduzida, para a ampliação do embasamento teórico associado a esse tópico,. Esta análise foi realizada com o objetivo de facilitar a localização de artigos relevantes para a pesquisa e novos autores nesse campo de estudo. Através dessa investigação, foi possível identificar diversos aspectos incluindo: a quantidade de publicações ao longo da história; os autores com maior número de publicações e os mais citados; os periódicos mais relevantes na área; os países com maior quantidade de citações e de publicações relacionadas ao tema; bem como as palavras-chave utilizadas com maior frequência. Deste modo, foi possível identificar futuras tendências dentro do atual panorama científico. Essa análise abrangente forneceu insights valiosos que podem orientar pesquisadores interessados em contribuir para esse campo de estudo em evolução.

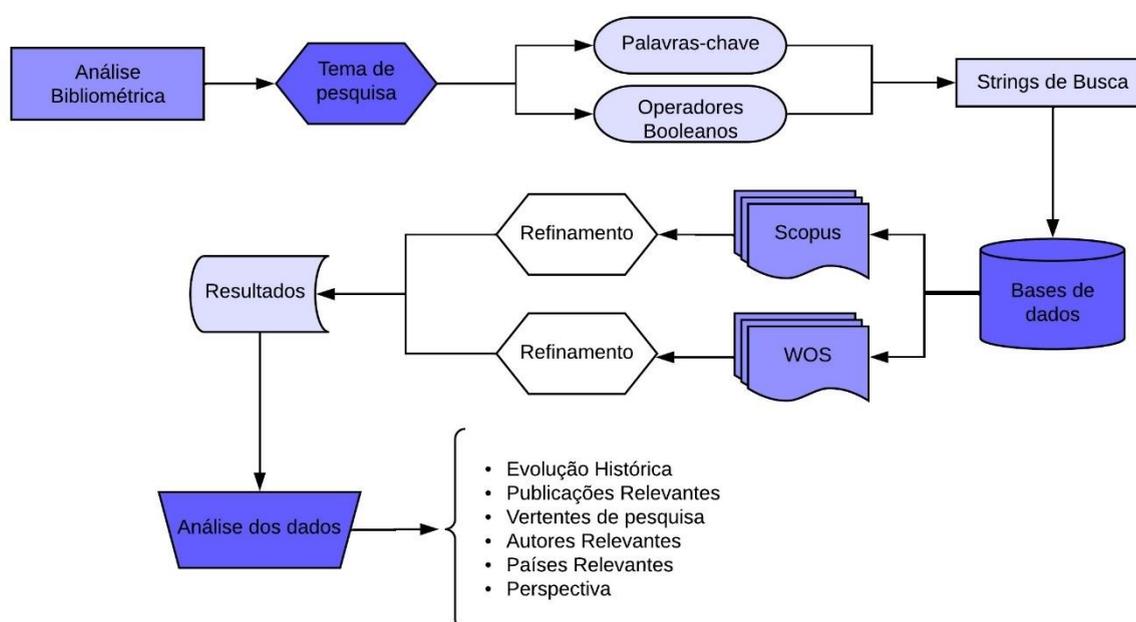
Para identificar os estudos mais relevantes de maneira eficiente, pesquisadores devem estabelecer uma metodologia adequada para sua revisão bibliográfica. Uma abordagem comumente empregada é a utilização de técnicas de bibliometria, as quais emergiram no início deste século como um método sistemático para analisar quantitativamente a produção científica (TREINTA et al., 1983) (GRÁCIO, 2016). A bibliometria oferece ferramentas e métricas que permitem aos pesquisadores identificar padrões, tendências e relações entre publicações científicas em uma determinada área de estudo.

Na literatura, diversas definições de bibliometria são encontradas, sendo caracterizada por uma abordagem quantitativa e estatística dos artigos identificados para fundamentar teoricamente uma pesquisa, visando mapear o panorama científico atual de um determinado tema (VANTI, 2002). É crucial que a seleção de artigos esteja alinhada com o estado atual do conhecimento científico sobre a pesquisa em questão, sendo a análise quantitativa desses dados, uma abordagem para obter um embasamento confiável (TREINTA et al., 2014) (GARFIELD, 2001). Esse processo de revisão bibliográfica, utilizando técnicas bibliométricas possibilita aos pesquisadores uma compreensão mais abrangente do campo de estudo, identificando tendências, áreas de interesse e lacunas no conhecimento existente.

2.4.1. Metodologia de Pesquisa

A metodologia adotada para realizar a análise bibliométrica é fundamentada na abordagem descrita por Treinta et al. (2014), com ajustes específicos. As fases do processo de pesquisa de artigos são mostradas na Figura 4.

Figura 4: Etapas da Análise bibliométrica



Fonte: Autora, 2024

2.4.1.1. Delimitação da busca

A definição do escopo da pesquisa começa com a seleção das bases de dados para análise. A primeira base escolhida foi a Scopus, devido ao seu amplo acervo de artigos relacionados à engenharia. A segunda base foi selecionada com base no *Journal Citation Report* (JCR), que classifica as revistas mais influentes em cada área de conhecimento. A *Web of Science* (WoS) foi escolhida devido à sua origem no JCR, destacando-se como uma base de dados significativa. A escolha das bases de dados estabelece o foco da pesquisa na área de conhecimento específica.

2.4.1.2. Definição das palavras-chave

Após delimitar quais bases serão utilizadas e também definir a esfera de conhecimento da pesquisa, escolhe-se as palavras-chave a serem utilizadas na busca de referências. Treinta *et al.* (2014) salienta a importância da transcrição correta das palavras durante as buscas nos bancos de dados, pois podem ocorrer variações. Analisando as bases escolhidas, através de diversas tentativas de combinações, as palavras-chave determinadas, em inglês, são: “concrete”, “mortar”, “cement composite”, “superabsorbent”, “polymer”, “wood waste” e “sawdust”. Sendo a tradução das mesma: “concreto”, “argamassa”, “compósito cimentício”, “superabsorvente”, “polímero”, “resíduo de madeira” e “serragem”, respectivamente.

2.4.1.3. Pesquisa nas bases de dados

Com o intuito de ampliar o número de publicações obtidas, foram conduzidas diversas simulações de buscas nas bases de dados mencionadas anteriormente. Para isso, foram elaboradas strings de busca contendo variações nas palavras-chave, algumas vezes separadas por espaços ou incluídas entre aspas. Optou-se por dividir o termo “superabsorbent polymer” em “superabsorbent” e “polymer”, devido ao maior número de artigos encontrados com a expressão separada do que com os dois termos juntos. Por outro lado, optou-se por manter o termo “wood waste” junto devido aos diferentes tipos de artigos fora do escopo da pesquisa que as bases de dados retornaram.

Foram utilizados conectivos de adição “AND” e a condição “OR” para conectar os termos selecionados, o asterísco foi utilizado na base de dados da Scopus e para ampliar o alcance das buscas, procurando termos semelhantes aos selecionados. Além disso, realizou-se uma filtragem para determinar o número de artigos disponíveis, excluindo-se outros tipos de documentos.

Em uma primeira tentativa, executou-se uma busca com o objetivo de filtrar os artigos que trabalharam tanto com o polímero superabsorvente quanto com os resíduos de madeira, porém, foram retornados apenas dois artigos, inviabilizando uma análise bibliométrica. Na string 2, fez-se o uso do operador “OR” afim de atingir um resultado com a somatória de artigos dos dois temas. Entretanto, esta string poderia

mascarar os resultados da análise, prejudicando a confiabilidade da metodologia. Por fim, optou-se por dividir as buscas dos temas em duas strings (3 e 4) e desta forma obter resultado independentes, este processo é detalhado na Tabela 6.

Tabela 6: Variações das strings em cada base de dados

n o	STRINGS	BASE DE DADOS					
		WOS			SCOPUS		
		Tota l	Soment e artigos	Último s 10 anos	Tota l	Soment e artigos	Último s 10 anos
1	(mortar* OR concrete* OR (cement* composite*)) AND (superabsorbent polymer*) AND (wood* waste*) OR (sawdust*)	2	2	2	2	2	2
2	(mortar* OR concrete* OR (cement* AND composite)) AND ((superabsorbent AND polymer*) OR ((wood* AND waste) OR (sawdust*)))	1728	1399	1228	2055	1278	1009
3	(mortar* OR concrete* OR (cement* AND composite*)) AND (superabsorbent AND polymer*)	740	627	604	723	505	470
4	(mortar* OR concrete* OR (cement* AND composite*)) AND ((wood* AND waste) OR sawdust*)	990	774	626	1334	775	541

Fonte: Autora, 2024

É necessário observar que, para que as bases de dados filtrem os artigos buscando apenas nos títulos, resumos e palavras-chave, é preciso utilizar elementos fornecidos pelas próprias bases. Na Scopus, o elemento é denominado "TITLE-ABS-KEY", enquanto na Web of Science é conhecido como "TOPIC:".

2.4.1.4. Formação do banco de dados inicial

Durante as buscas realizadas nas duas bases de dados, foram identificados um total de 1278 artigos na base da *Scopus* e 1728 artigos provenientes da base da *Web of Science*, considerando os dois temas, conforme apresentado na Tabela 7. Os documentos foram extraídos em formato .CSV, incluindo informações técnicas como título, autor, periódico, país de publicação, citações e área de conhecimento referentes aos artigos.

Tabela 7: Quantidade de artigos encontrados nas buscas

Base	String de busca	Nº de artigos
Scopus	TITLE-ABS-KEY (mortar* OR concrete* OR (cement* AND composite*)) AND (superabsorbent AND polymer*)	505
	TITLE-ABS-KEY (mortar* OR concrete* OR (cement* AND composite*)) AND ((wood* AND waste) OR sawdust*)	775
Web of Science	TOPIC: (mortar OR concrete OR (cement AND composite)) AND (superabsorbent AND polymer)	627
	TOPIC: (mortar OR concrete OR (cement AND composite)) AND ((wood AND waste) OR sawdust)	774

Fonte: Autora, 2024

2.4.1.5. Refinamento dos dados obtidos

Após a extração dos dados provenientes das bases, uma revisão adicional é necessária, uma vez que é provável a ocorrência de artigos com informações faltantes, como autores, país de origem, periódico ou ano de publicação. Para resolver isso, é realizada uma filtragem preliminar, na qual as referências dos artigos coletados em cada base são cruzadas para descartar aqueles com dados incompletos. Para este fim, o software Mendeley™ foi empregado. Na base Scopus não foram encontrados artigos com informações faltantes, enquanto na base Web of Science, 3 foram descartados.

2.4.1.6. Análise dos dados obtidos

A análise dos dados das amostras após o processo de refinamento é conduzida utilizando o software RStudio™. Nele, os dados das publicações, incluindo informações como autores, anos de publicação, países de origem, número de citações, número de publicações e detalhes dos periódicos, são compilados e organizados de forma a facilitar a extração das informações mais relevantes.

Adicionalmente, é realizada uma última etapa relacionada ao estado da arte dos principais artigos encontrados. Primeiramente, focando nos artigos mais relevantes ao longo da história e em seguida, dando atenção aos cinco artigos experimentais mais relevantes dos últimos dez anos, apresentados em forma de tabela com as principais informações. Dentre essas informações estão:

- Tipo de compósito cimentício;
- Tipo de cimento;
- Relação A / C;
- Teor e/ ou tipo de SAP;
- Aditivo / tratamento / agregados não convencionais;
- Ensaio realizados.

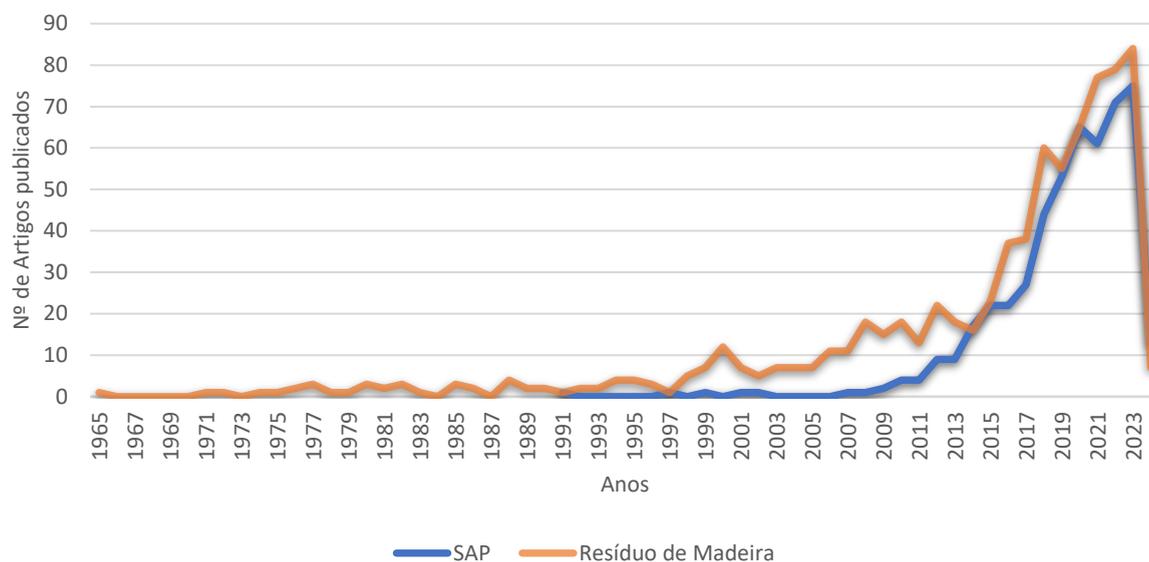
2.4.2. Resultados da Análise Bibliométrica

Com base na análise realizada no software RStudio™, foram obtidas as informações referentes à base de dados Scopus, as quais são apresentadas neste subcapítulo. A análise do número de artigos publicados na área ao longo do tempo revelou um aumento significativo no número de publicações, conforme ilustrado na

Figura 5. Essa tendência ascendente indica um cenário promissor para publicações relacionadas ao tema, com os últimos cinco anos representando mais de 80% das publicações ao longo do período analisado. O pico de publicações para ambos os temas foi observado em 2023, com 75 artigos relacionados a SAP e 84 artigos relacionados a resíduos de madeira.

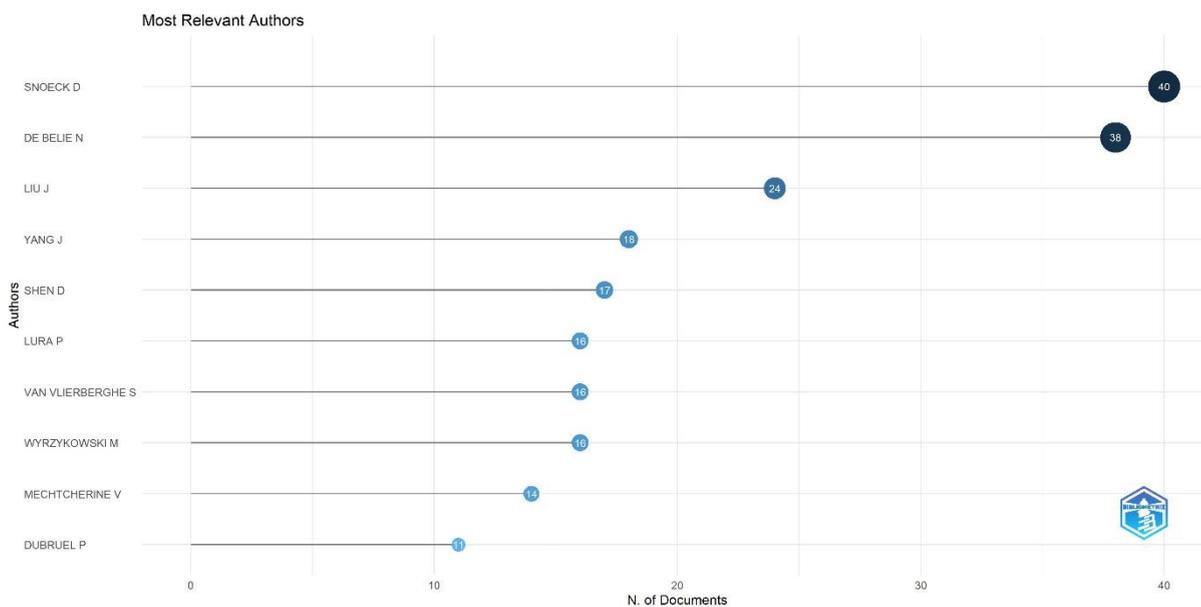
As Figura 6 e Figura 7 apresentam listas dos autores com maior número de publicações nas áreas de compósitos cimentícios com SAP e de Resíduos de Madeira, respectivamente. Essas listas fornecem insights sobre os autores que têm contribuído significativamente para essas áreas, servindo como referência para futuros trabalhos. De Belie, Snoeck D. e Liu J. são destacados como os autores com maior volume de publicações relacionadas a compósitos cimentícios com SAP. No caso dos resíduos de madeira, Gupta S. e Kua H. W. são os autores com maior recorrência de publicações.

Figura 5: Número de publicações ao longo da história



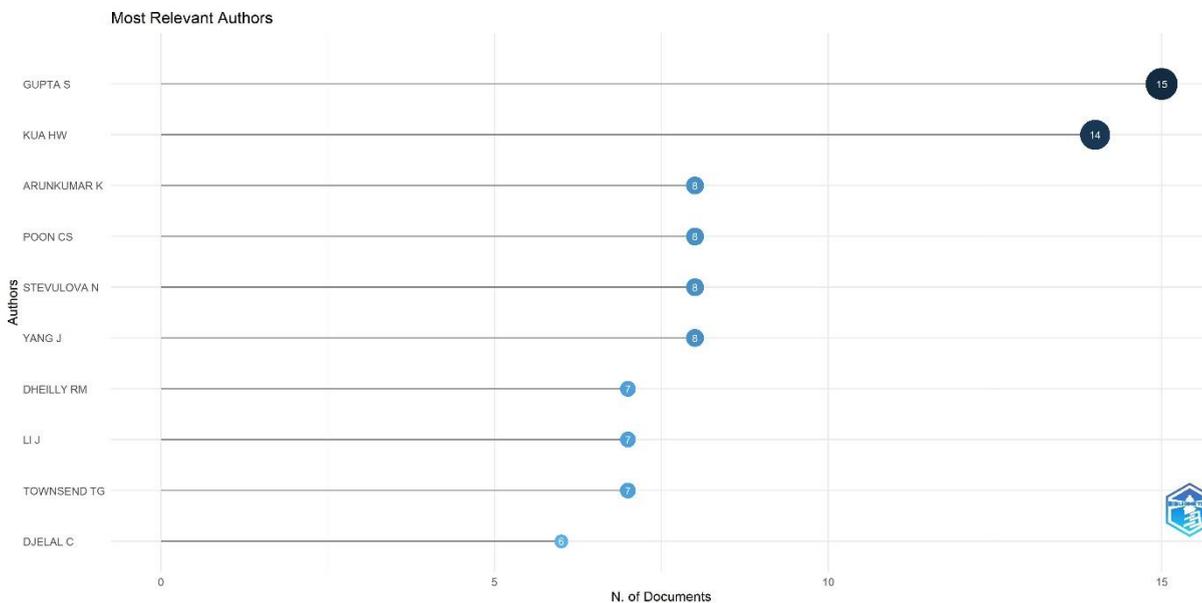
Fonte: Autora, 2024

Figura 6: Autores com mais publicações (SAP)



Fonte: Autora, 2024

Figura 7: Autores com mais publicações (Resíduos de madeira)



Fonte: Autora, 2024

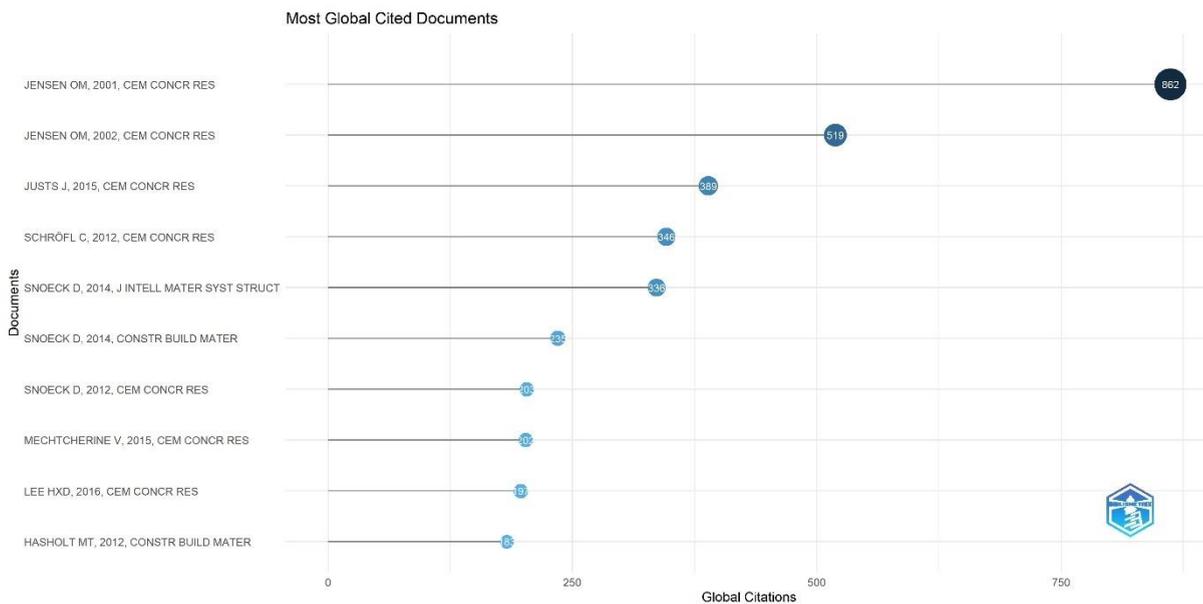
Em contraponto à análise de autores, as listas dos artigos mais citados (Figura 8 e Figura 9) oferece uma perspectiva adicional, permitindo destacar os autores mais reconhecidos por sua relevância entre seus pares. Os artigos são listados com o nome do autor principal, ano de publicação e abreviação dos periódicos.

Dessa forma, para os artigos com SAP, observa-se que, entre os dez artigos mais citados, os de Jensen OM. se destacam como pioneiros no tema em questão. Vale ressaltar a importância de Snoeck entre os autores, pois, além de ser o segundo autor mais prolífico, possui três artigos entre os dez mais citados. Justs J., Schrofl C. Lee HXD. e Hasholt MT. aparecem entre os autores mais citados mesmo não estando entre os que mais publicam. É importante salientar a grande ocorrência de publicações da última década, servindo de base para novos autores.

Para os artigos referentes ao resíduo de madeira, chamam a atenção primeiramente, a grande variedade de autores entre os dez mais citados. Outro fator que se destaca é o período em que esses artigos foram publicados, com somente um artigo na última década. Gustavsson que não está entre os autores que mais publicam, tem o artigo mais citado da lista, Gupta S. e Poon C. S. além de estarem entre os que mais publicam, possuem um artigo cada entre os mais citados. Por outro lado, Kua H.

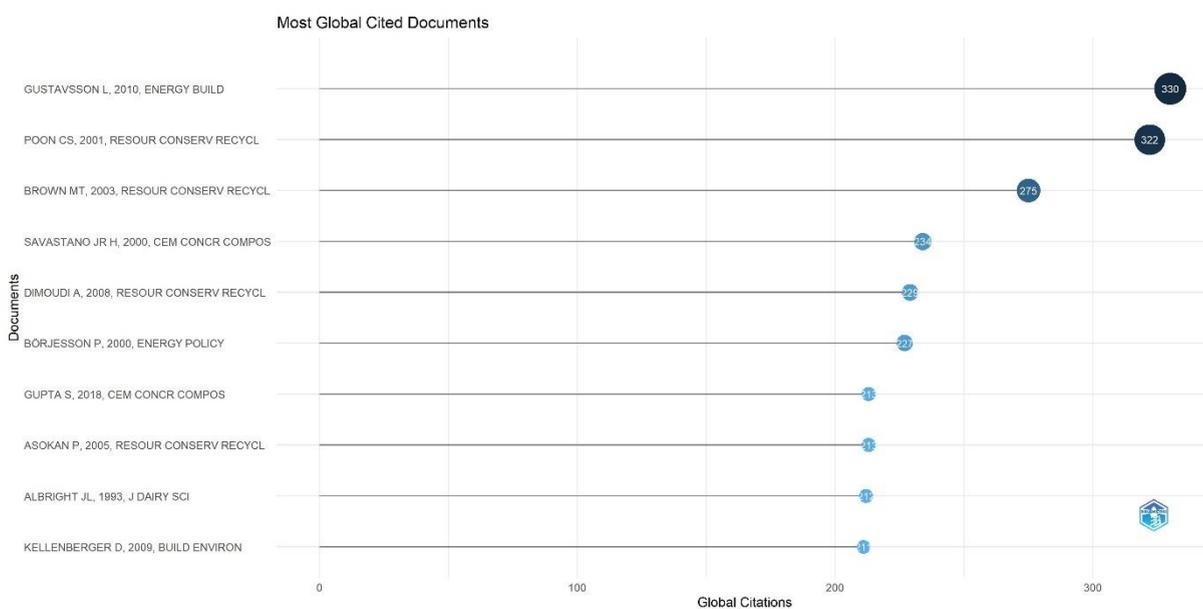
W. não aparece entre os mais citados mesmo tendo uma grande ocorrência de publicações.

Figura 8: Artigos mais citados (SAP)



Fonte: Autora, 2024

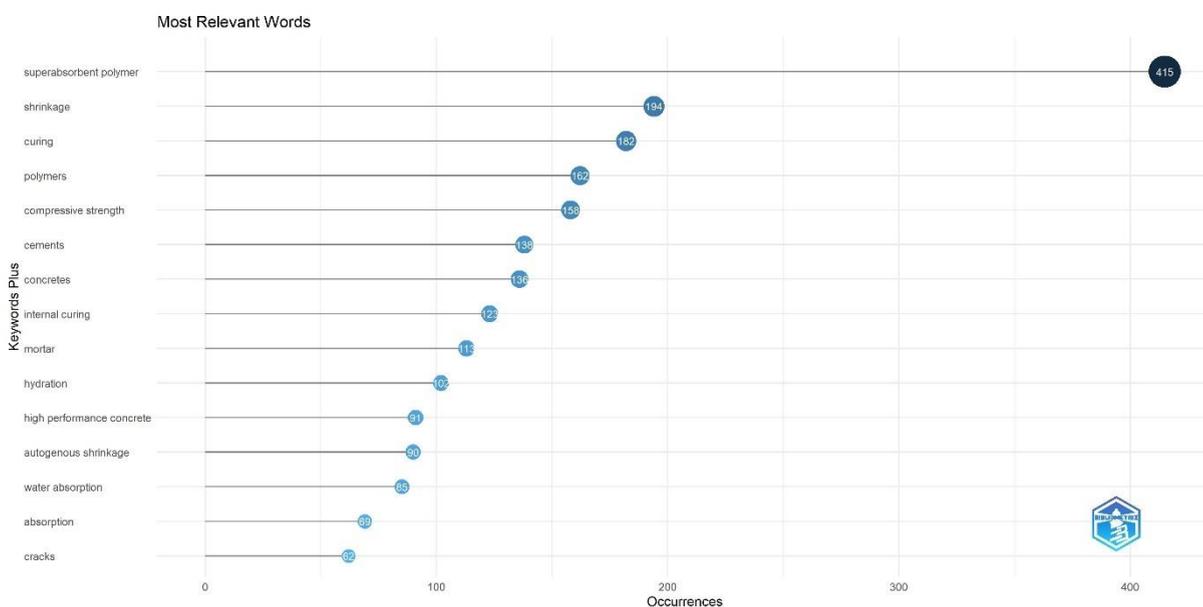
Figura 9: Artigos mais citados (Resíduos de madeira)



Fonte: Autora, 2024

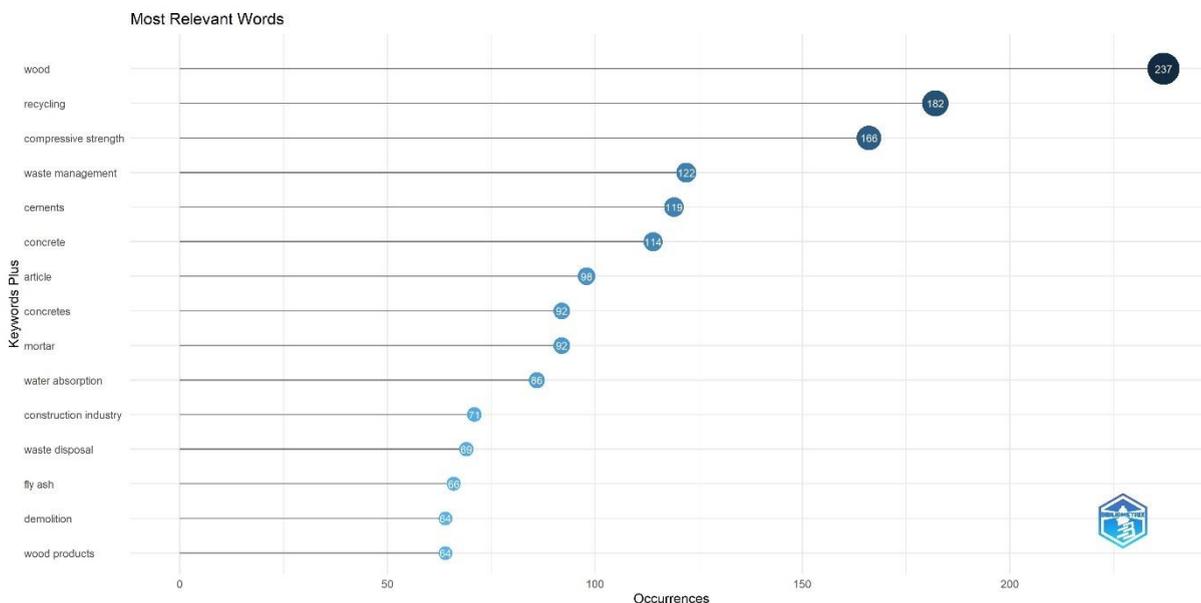
As Figuras 10 e 11 destacam as 15 palavras-chave mais frequentemente utilizadas pelos autores para definir seus artigos, revelando uma tendência dos autores em correlacionar suas publicações mais ao concreto do que à argamassa. Além disso, as palavras-chave expõem os tópicos mais correlacionados ao uso de SAP em compostos cimentícios, incluindo cura em geral, retração, esforço de compressão, cura interna e retração autógena. Esses termos são considerados úteis e complementares ao discutir esses polímeros nesse contexto específico. Para a área dos resíduos na madeira, vemos a grande ocorrência de termos relacionados a reciclagem e gerenciamento de resíduos, dando destaque também para a absorção de água e as cinzas volantes. Quanto aos resíduos de madeira, palavras como reciclagem, gestão de resíduos e absorção de água chamam a atenção.

Figura 10: Palavras-chave mais usadas (SAP)



Fonte: Autora, 2024

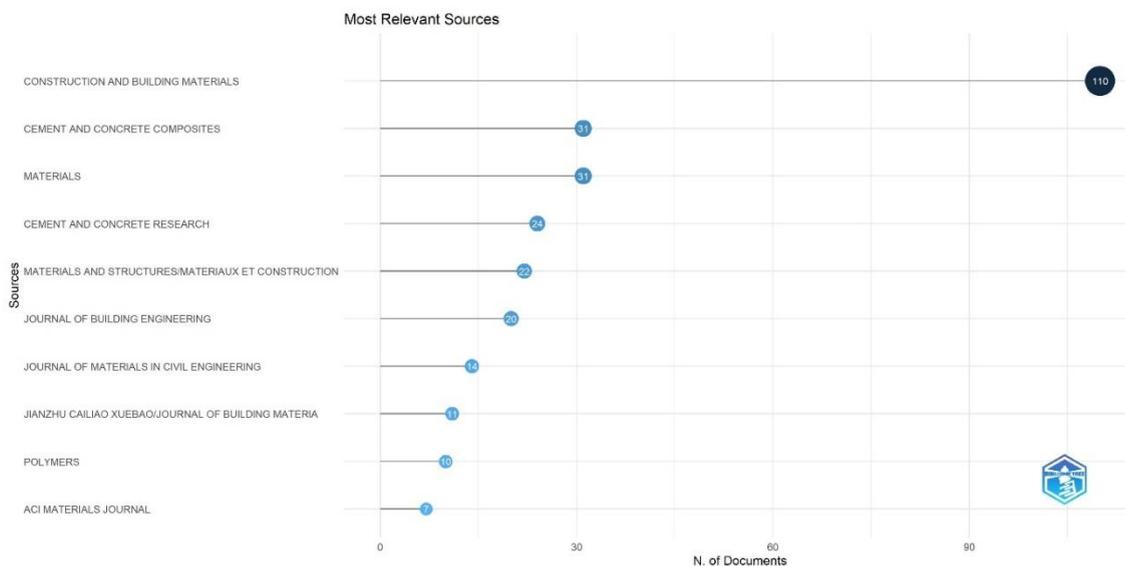
Figura 11: Palavras-chave mais usadas (Resíduos de madeira)



Fonte: Autora, 2024

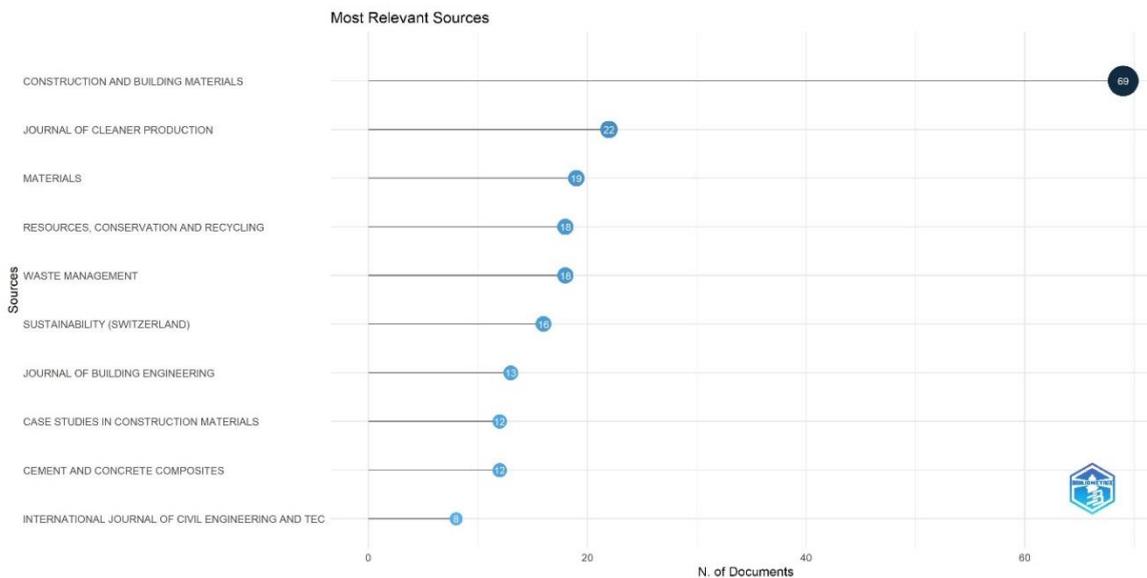
As Figuras 12 e 13 exibem os periódicos com maior relevância em torno do tema, sendo medido através do volume de publicações feitas ao longo dos anos. Eles servirão como ponto de partida para busca de artigos e uma forma de exibir as vertentes de maior destaque em torno do tema, ou seja, que possuem uma grande quantidade de publicações, sendo possível observar as carências e definir novos alvos para publicações de trabalhos futuros. Vale destacar a grande dominância do periódico *Construction and Building Materials* para ambos os temas, com 110 artigos publicados para SAP e 69 para resíduos de madeira, em adição, porém o mesmo aparece não tem tanto destaque entre os artigos mais citados do tema, sendo o *Cement and Concrete Research* o que possui maior evidência neste quesito, responsável por oito artigos entre os mais relevantes em artigos relacionados ao SAP. Para os resíduos de madeira, os periódicos que se destacam com mais citações são o *Resources, Conservation and Recycling* e *Cement and Concrete Composites*, com quarto e dois artigos entre os mais citados, respectivamente.

Figura 12: Periódicos com mais publicações (SAP)



Fonte: Autora, 2024

Figura 13: Periódicos com mais publicações (Resíduos de madeira)



Fonte: Autora, 2024

A comparação dos países com mais citações e a posição dos mesmos entre os que mais publicam é mostrada nas Tabelas 8 e 9.

Em relação ao SAP, é notória a relevância da China, Bélgica, Alemanha e Coréia do Sul, pois eles não estão somente entre os três países que mais publicam como estão entre os mais citados. Por outro lado, a Dinamarca é o segundo país com maior número de citações, mas ocupa apenas o 13º lugar em número de publicações, devido aos trabalhos de Jensen OM., que está entre os precursores nesta área de estudo. Algo semelhante ocorre com o Reino Unido e o Canada, que possuem uma grande quantidade de citações, porém estão fora do 30 países que mais publicam na área. O oposto ocorre com a Índia e o Brasil, apesar de publicarem muitos artigos, não estão entre os países com mais citações.

Quanto aos resíduos de madeira, é possível ver o Brasil com maior destaque, sendo o segundo país que mais publica e o quinto mais citado. É importante evidenciar a situação de Singapura, Hong Kong e Suécia, que estão entre os que mais são citados mesmo tendo um número de publicações bem inferiores aos demais.

Tabela 8: Países com mais citações e posição no Ranking de mais produções (SAP)

País	Total de citações	Posição Nº publicações
China	3182	1º
Dinamarca	1595	13º
Bélgica	1591	2º
Alemanha	1212	5º
Coréia do Sul	731	3º
Reino Unido	696	>30º
Estados Unidos	423	4º
Suécia	389	11º
África do Sul	387	16º
Canada	340	>30º

Fonte: Autora, 2024

Tabela 9: Países com mais citações e posição no Ranking de mais produções (Resíduos de Madeira)

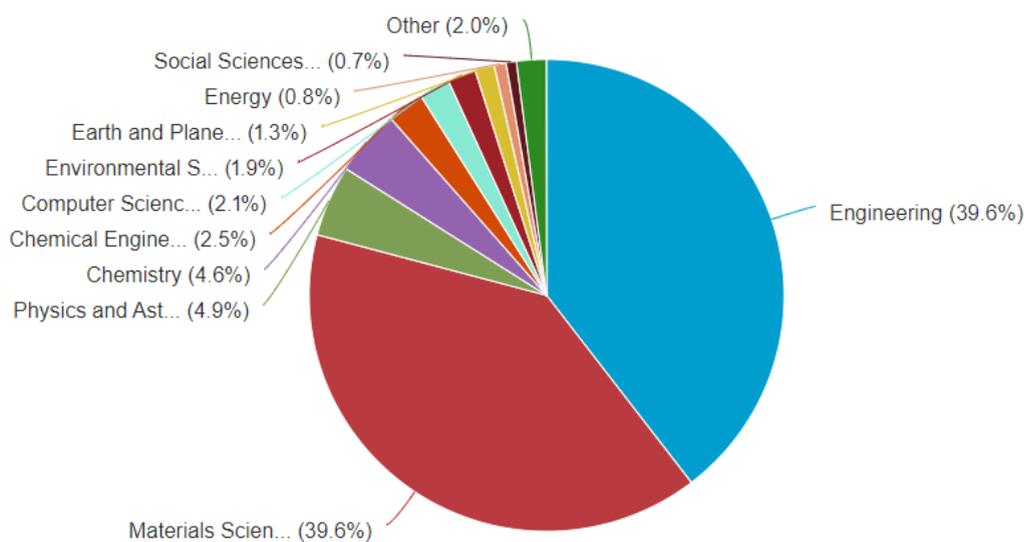
País	Total de citações	Posição Nº publicações
Estados unidos	1479	4º
Singapura	1388	25º

Hong Kong	921	>30 ^o
China	674	1 ^o
Suécia	614	36 ^o
Nigéria	554	6 ^o
Brasil	550	2 ^o
Índia	447	3 ^o
Turquia	435	16 ^o
Holanda	425	24 ^o

Fonte: Autora, 2024

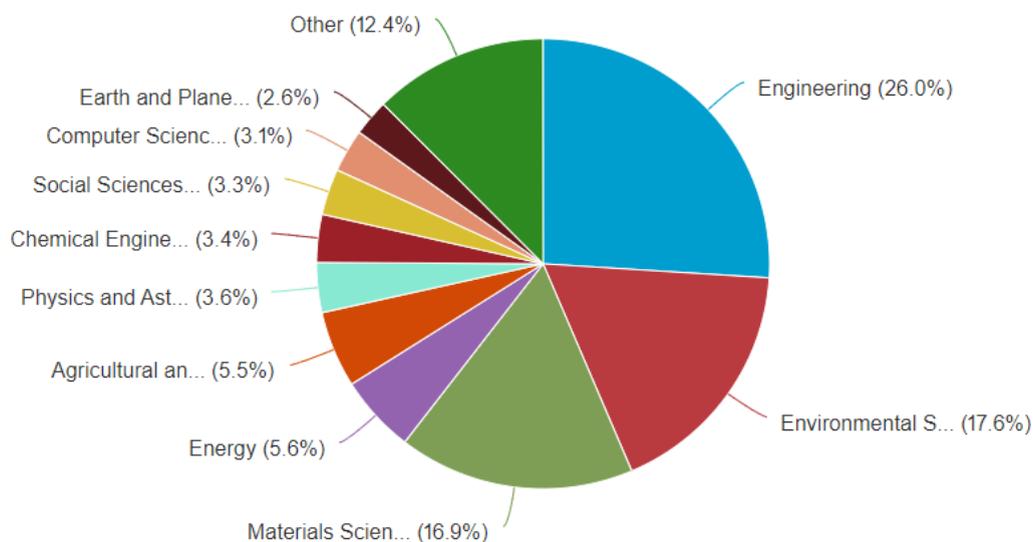
As Figura 14 e 15, extraídas no site das bases de dados da Scopus e mostram que o setor engenharia e das ciências dos materiais estão entre as áreas de pesquisa de maior interesse sobre os dois temas. As ciências ambientais tem destaque no tema de resíduos de madeira, mas as imagens evidenciam que o uso destes materiais junto com compósitos cimentícios tem um interesse de abrangência multidisciplinar.

Figura 14: Áreas de pesquisa da base Scopus (SAP)



Fonte: Scopus, 2024

Figura 15: Áreas de pesquisa da base *Scopus* (Resíduos de madeira)



Fonte: Scopus, 2024

2.5. Estado da arte

Este capítulo provém de uma investigação mais aprofundada dos artigos mais relevantes nesta Análise bibliométrica, tanto para o tema envolvendo o SAP quanto para os resíduos de madeira em compósitos cimentícios. Além de uma síntese dos artigos mais relevantes ao longo da história, fez-se duas tabelas indicando as principais informações dos artigos mais citados nos últimos 10 anos, trazendo uma visão sobre os estudos geral dos artigos importantes mais recentes. Dentre essas informações estão:

- Tipo de compósito cimentício;
- Tipo de cimento;
- Relação A / C;
- Teor e/ ou tipo de SAP;
- Aditivo / tratamento / agregados não convencionais;
- Ensaios realizados.

Nos estudos relativos aos Polímeros Superabsorventes (SAP), observa-se que as pesquisas de Jensen e Hansen (2001, 2002) são amplamente consideradas como o marco inicial para grande parte das investigações associadas ao assunto. O primeiro

artigo aborda a conceituação e a fundamentação teórica sobre o uso de polímeros superabsorventes (SAPs) em materiais à base de cimento, um campo que até então era pouco explorado. Ele introduz conceitos-chave, como a capacidade de retenção de água dos SAPs e seu potencial para controlar a retração autógena do concreto. O segundo artigo descreve observações experimentais relevantes, evidenciando que a utilização desses polímeros possibilita a formação controlada de inclusões de macroporos cheios de água no concreto, o que contribui para prevenir a retração autógena. Esses estudos pioneiros estabeleceram as bases para pesquisas subsequentes e para o desenvolvimento de novas abordagens e aplicações relacionadas ao uso de SAPs em compósitos cimentícios. Essa análise de referências permitiu identificar os trabalhos mais influentes na área e destacar sua importância para o avanço do conhecimento sobre o uso de SAPs em materiais à base de cimento.

Além dos trabalhos mencionados, Jensen contribuiu com outras pesquisas relevantes, como o estudo realizado em colaboração com Snoeck e De Belie (2015). Nesse estudo, foram investigadas as reações de pastas de cimento Portland com a adição de polímeros superabsorventes (SAPs), comparando-se com pastas que receberam a inclusão de materiais complementares, como cinzas volantes e aglutinantes com escória de alto-forno. Os resultados do experimento foram positivos, demonstrando uma melhoria na taxa de retração nas pastas em que os polímeros foram adicionados como agentes de cura interna.

De Belie e Snoeck também desempenharam um papel significativo no avanço do tema. Eles estão entre os autores com maior número de publicações na área, sendo De Belie o primeiro autor e Snoeck o segundo. Além disso, ambos possuem quatro artigos entre os mais citados no campo. Entre esses artigos, destaca-se o estudo de Snoeck et al. (2014), que investigou a combinação de SAPs com microfibras. Esse estudo demonstrou a eficácia do polímero como selante em trincas, impedindo a passagem de umidade e auxiliando na autocura de argamassas. Em um estudo semelhante, Snoeck et al. (2012) avaliaram a penetração de água em materiais à base de cimento com a presença de SAPs, utilizando radiografia de nêutrons. Os resultados indicaram uma redução na absorção capilar em rachaduras e na permeabilidade em amostras contendo partículas de SAP. Esses estudos adicionais contribuíram para ampliar o conhecimento sobre as propriedades e aplicações dos SAPs em materiais de construção à base de cimento.

Em Schröfl, Mechtcherine e Gorges (2012), foi destacado como o terceiro estudo mais citado sobre o tema. Nessa pesquisa, foi estabelecida uma relação entre a estrutura molecular dos polímeros superabsorventes (SAPs) e sua eficácia como agentes de cura interna para mitigar a retração autógena em argamassas. Além disso, o estudo também investigou a influência de diferentes concentrações de SAPs na capacidade de mitigação da retração autógena, revelando variações significativas em relação ao tempo de cura e à proporção água/cimento.

Justs et al. (2015), além de avaliar a influência dos SAPs em concretos de ultra-alto desempenho, foram realizadas análises específicas sobre a microestrutura do concreto modificado com SAPs. Os resultados apontaram uma redução na porosidade e na permeabilidade do concreto, contribuindo para uma maior durabilidade e resistência mecânica.

Hasholt et al. (2012) apresenta uma análise sobre o possível impacto na resistência à compressão ao utilizar SAPs como agentes de cura interna para mitigar a retração autógena. No entanto, o experimento mostrou-se inconclusivo devido às diferenças na relação água/cimento entre a pasta de referência e a pasta com adição de SAP, tornando a comparação inviável. O estudo também explorou a influência de diferentes dosagens de SAPs na resistência à compressão, revelando variações significativas nos resultados dependendo da proporção de SAPs adicionada.

Lee, Wong e Buenfeld (2010) investigaram o potencial dos SAPs na vedação de fissuras em concreto. Além da análise da capacidade de expansão dos polímeros em diferentes condições de alcalinidade e conteúdo iônico da solução, o estudo também explorou os efeitos da adição de SAPs na resistência à penetração de água através das fissuras. Observou-se uma redução substancial na taxa de fluxo de água através das fissuras, indicando uma melhoria significativa na estanqueidade do concreto.

Mechtcherine et al. (2014) avaliaram os efeitos da cura interna utilizando SAPs para mitigar o encolhimento autógeno, além de outras propriedades relacionadas à granulometria fina em concretos de alto desempenho. Além da análise do encolhimento autógeno, o estudo também investigou a influência dos SAPs na resistência à tração e na durabilidade do concreto. Os resultados mostraram uma melhoria geral nas propriedades mecânicas e durabilidade do concreto com a adição de SAPs, mostrando que o concreto teve uma diminuição considerável na retração autógena. Em Mechtcherine, Secieru e Schröfl (2015), explorou-se os impactos dos

polímeros superabsorventes (SAPs) nas características reológicas de argamassas de cimento. Os resultados demonstraram que essas propriedades são influenciadas pela relação de água e aglomerante, pela quantidade de superplastificante e pela dosagem de sílica ativa.

Em Esteves (2011) analisou-se a cinética de absorção de polímeros superabsorventes em água e solução de poros sintéticos, investigando o impacto do tamanho das partículas. Utilizando microscopia óptica, verificou-se que o tamanho das partículas influencia significativamente a cinética de absorção desses polímeros à base de poliacrilato. A metodologia proposta para a determinação da capacidade de absorção do polímero superabsorvente tem potencial para quantificar a retenção de líquidos específicos pela matriz reticulada dos hidrogéis.

Nos estudos relativos aos resíduos de madeira, Gupta é o autor com mais citações na área de pesquisa. Em Gupta e Kua (2018), é investigada a eficácia do biocarvão obtido de resíduos de madeira, resíduos alimentares mistos e resíduos de arroz, como aditivo para sequestro de carbono em argamassa. Os resultados demonstram que a mistura apresenta resistência mecânica comparável à mistura de controle. Além disso, reduz significativamente a penetração de água e a sorvidade, indicando maior impermeabilidade. O resíduo de madeira apresenta melhor desempenho em propriedades mecânicas e de permeabilidade, aumentando a resistência à compressão e à tração e reduzindo a penetração de água e a absorção.

Elinwa e Mahmood (2002) analisaram a substituição de cimento por resíduos de madeira, que demonstrou características favoráveis. Diferentes proporções de substituição de cimento por cinza de serragem (SDA) variando de 0% a 30% em massa foram empregadas nas misturas de concreto. O desempenho das misturas de cinza-cimento Portland foi avaliado considerando o tempo de pega, trabalhabilidade e resistência à compressão. Com base nos resultados, a substituição de 10% do cimento por SDA demonstrou um desempenho satisfatório, conferindo as propriedades desejadas de trabalhabilidade e resistência.

Sirico et al. (2021) investigaram a resistência à compressão de composições de concreto que continham cinza de madeira durante um período de até 365 dias. A substituição foi feita em diferentes proporções, representando 2,5%, 5%, 7,5% e 10% do peso total do aglomerante. No comportamento a longo prazo, o desenvolvimento da resistência a compressão foi mais perceptível, principalmente para teores de até 5%.

Em Udoeyo et al. (2006) analisaram a resistência à compressão do concreto com vários níveis de substituição (5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% em peso de cimento). Observou-se um aumento substancial na resistência devido ao prolongamento do período de cura, permitindo que a sílica proveniente da madeira reagisse adequadamente com o hidróxido de cálcio gerado durante a hidratação do cimento.

Rajamma et al. (2009), conduziram uma análise sobre os efeitos das cinzas volantes provenientes de resíduos de madeira gerados por uma usina movida a biomassa de madeira na resistência à compressão de argamassas de cimento. O estudo incluiu a substituição parcial do cimento por resíduos de madeira, com taxas de substituição variando entre 10%, 20% e 30% do peso total do aglutinante. Os resultados revelaram que as argamassas com uma taxa de substituição de 10% de cinzas de madeira apresentaram uma resistência superior aos 28 dias em comparação com a mistura de controle. No entanto, em taxas de substituição mais elevadas, ou seja, 20% e 30% do peso total do aglutinante, a resistência aos 28 dias foi reduzida em comparação com a mistura de controle de argamassa de cimento pura.

Udeyo e Dashibil (2002) investigaram a resistência à tração na flexão em amostras de concreto contendo cinzas de serragem como substituto parcial do cimento, avaliando tanto aos 7 quanto aos 28 dias. Eles observaram uma diminuição na resistência à tração na flexão conforme aumentava a porcentagem de cinzas de serragem, embora essa redução tenha sido menos expressiva em comparação com a resistência à compressão.

Gupta, Kua e Pang (2018) analisaram o uso de biocarvão, derivado de resíduos de madeira, como veículo para esporos de bactérias precipitadoras de carbonato em argamassa de cimento, visando selar fissuras e restaurar a resistência e permeabilidade de amostras curadas. Além disso, um polímero superabsorvente (SAP) e microfibras de polipropileno (PP) foram incluídos para garantir a disponibilidade de umidade para as bactérias e controlar a propagação de fissuras na argamassa danificada. Os resultados experimentais revelaram que os esporos imobilizados com biocarvão, combinados com SAP e PP, precipitaram uma grande quantidade de carbonato de cálcio, efetivamente selando fissuras de até 700 μm . A inclusão de fibras de PP contribuiu para a restauração da resistência e impermeabilidade, enquanto o SAP facilitou a precipitação de carbonato induzida por bactérias. Assim, a combinação de materiais proposta não apenas promove a

reciclagem de resíduos, mas também contribui para o armazenamento de carbono em estruturas de edifícios.

As Tabelas 10 e 11 mostram as informações técnicas mais relevantes dos principais artigos publicados relacionados ao uso de SAP e resíduos de madeira em compósitos cimentícios.

Tabela 10: Informações sobre os artigos mais relevantes sobre SAP nos últimos 10 anos

Artigo	Tipo de compósito cimentício	Tipo de cimento	Relação A / C	Teor e/ ou tipo de SAP	Aditivo / tratamento / agregados não convencionais	Ensaio
JUSTS (2015)	Pastas de cimento / Concreto de Ultra-Alto desempenho	O cimento portland branco (CEM I 52,5 R)	Abaixo de 0,25	0,1 – 0,5% em relação a massa de cimento	Sílica ativa com pré tratamento / pó de quartzo / areia de quartzo / superplastificante á base de policarboxilato / fibras de aço.	Absorção / Calorimetria Isotérmica / Slumpflow / Umidade Relativa interna / Retração autógena linear (tubo corrugado) / Resistência a compressão e tração / módulo de elasticidade dinâmico
SNOEC K (2014a)	Argamassa	Cimento portland comum (CEM I 52,5 N; 571 kg/m ³)	0,50	SAP A (100,0 ± 21,5 µm) SAP B (476,6 ± 52,9 µm) 0,5% – 4% em relação a massa de cimento	Cinzas volantes / superplastificante á base de policarboxilato / areia silicosa	Absorção / Microscopia óptica / Flexão de quatro pontos / permeabilidade / Análise microscópica e termogravimétrica / Análise estatística
SNOEC K (2014b)	Argamassa	Cimento Portland (CEM I 52,5 N) (510 kg/m ³)	0,50	SAP A (100,0 ± 21,5 µm) SAP B (476,6 ± 52,9 µm) 0,5% e 1% em relação a massa de cimento	superplastificante á base de policarboxilato / areia silicosa	Porosidade / Slumpflow / Resistência à Flexão e Compressão / Análise estatística
LEE (2016)	Pastas de cimento / argamassa / concreto	Cimento Portland branco (CEM I, 52,5 N) e Cimento composto Portland contendo 27% de cinzas volantes (CEM II/BV, 32,5R)	0,50	Quatro tipos de SAP	areia afiada de quartzo (< 5 mm) / cascalho Thames Valley (< 10 mm) / nitrato de cálcio	Microscopia óptica / Slumpflow / Resistência à Flexão e Compressão / Análise estatística
MECHT CHERIN E (2015)	Argamassa	Cimento CEM I 42.5 R	0,3 – 0,45	SAP-B (ácido acrílico e SAP-D (ácido acrílico + acrilamida)	Sílica ativa / superplastificante á base de policarboxilato	Viscosidade plástica / tensão de escoamento /

Fonte: Autora, 2024

Tabela 11: Informações sobre os artigos mais relevantes sobre Resíduos de Madeira nos últimos 10 anos

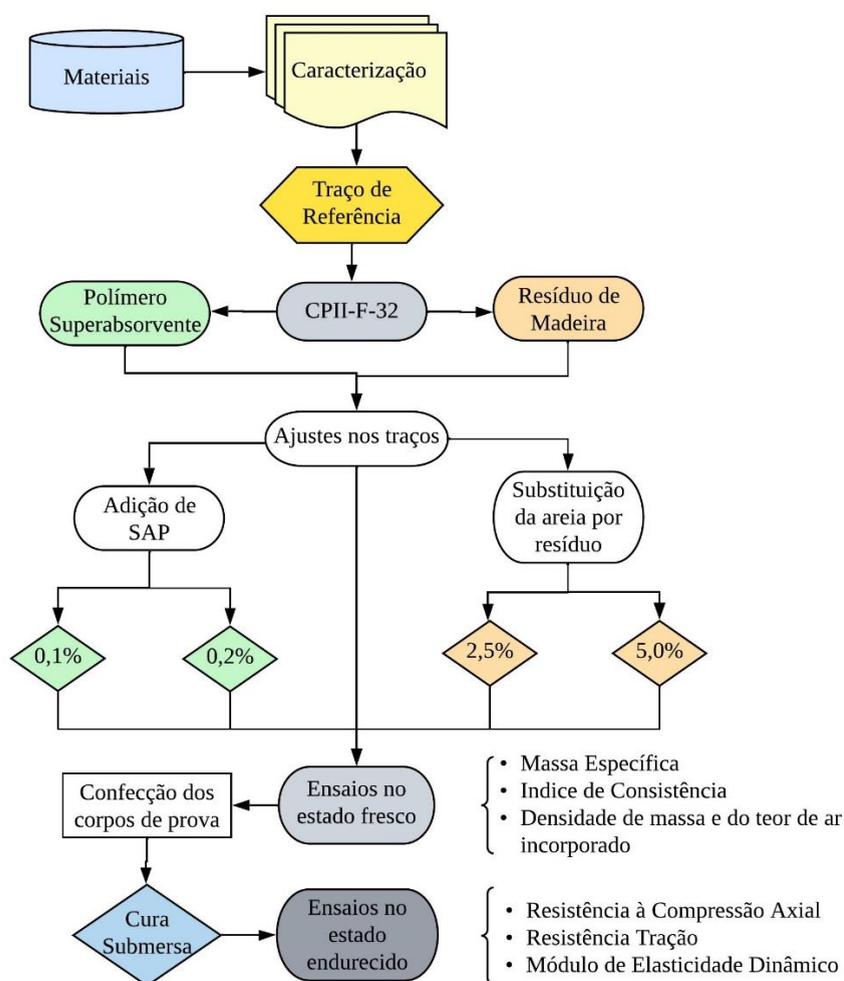
Pesquisas	Tipo de compósito cimentício	Tipo de cimento	Relação A / C	Teor	Aditivo / tratamento	Ensaio
GUPTA S, 2018, CEM CONCR COMPOS	Argamassa e madeira mista (biocarvão)	CEM1 52,5 N (OPC)	0,40	1:2,75 (controle) 1:2,75 e 2% de resíduo	superplastificante e pirólise do resíduo	Determinação de pega, densidade fresca e teor de ar, fluxo, resistência à compressão, resistência à flexão, absorção, penetração de água, porosidade aparente
GUPTA S, 2018, SCI TOTAL ENVIRON	Argamassa e resíduo alimentar, casca de arroz e madeira mista (biocarvão)	CP I	0,4	1:2,75 (controle) 1:2,75 e 2% de resíduo	superplastificante à base de policarboxilato e pirólise do resíduo em forno mufla	Determinação de pega, densidade fresca e teor de ar, fluxo, resistência à compressão, resistência à flexão, módulo elástico (estático), resistência à tração dividida, absorção, penetração de água, porosidade aparente
TORKAMAN J, 2014, CONSTR BUILD MATER	Concreto e casa de arroz, madeira mista e pó de calcário	CP II (OPC)	0,55	1:1 (controle) 1:2:1 de casa de arroz 1: 0,5:0,5 de madeira 1:1:1:1 de madeira e calcário 1:1:1:1 de casca de arroz e madeira	5% em peso de cloreto de cálcio (CaCl ₂) para acelerador de pega	Resistência à compressão, absorção de água e densidade aparente das amostras
WANG L, 2020, J CLEAN PROD	Concreto e serragem de madeira	CP I (OPC) e CP II	0,55	1%, 5% e 10% (substituição em relação ao peso da areia)	Sílica de gel para manter um teor de umidade constante	Resistência a compressão, determinação do calor de hidratação, análise termogravimétrica (TGA), microscopia óptica,
CHOWDHURY S, 2015, AIN SHAMS ENG J	Concreto e madeira mista	CP I	0,565	5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30%	-	Abatimento, absorção, solidez, densidade aparente, resistência a compressão, resistência à tração dividida, resistência à flexão, retração, resistência contra ataque ácido, permeabilidade ao cloreto, resistência ao congelamento e descongelamento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo visa investigar a influência da substituição parcial de areia natural por resíduos de madeira e adição de SAP, na produção de argamassas. Para este propósito, o procedimento metodológico deste trabalho consiste em algumas etapas. Primeiramente, é feita a caracterização dos materiais utilizados e a elaboração dos traços de referência de argamassa para o Cimento Portland do tipo II, sem adição de SAP e sem substituição do agregado por resíduos de madeira.

Posteriormente, são feitos os devidos ajustes para execução dos demais traços com as substituições e/ou adições. São executados os ensaios no estado fresco, espera-se o tempo de cura e depois executam-se os ensaios no estado endurecido. Tais etapas são mostradas na Figura 16, por meio de um fluxograma.

Figura 16: Fluxograma do programa experimental do estudo



3.1. Materiais

Os materiais para produção das argamassas são:

- Cimento Portland de tipo II (CPII-F-32);
- Cal Hidratada do tipo CH-III;
- Areia natural quartzosa de diâmetro máximo de 600 µm;
- Areia natural quartzosa de diâmetro entre 600 µm e 4,8 mm;
- Aditivo superplastificante (SPA);
- Polímero superabsorvente (SAP);
- Resíduos de Madeira.

As caracterizações e informações técnicas de cada um dos materiais são apresentadas a seguir.

3.1.1. Cimento

O Cimento Portland empregado foi da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) do tipo CPII-F-32, que é um tipo produzido a partir de silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio e fíler carbonático, que permite melhor trabalhabilidade. As propriedades e características do cimento utilizado neste estudo são mostradas na Tabela 12 e foram fornecidas pelo site do fabricante.

Tabela 12: Propriedades do CPII-F-32

Norma ABNT NBR		Valor	Unidade
Massa específica (ABNT NBR 23:2001)		3,07	g/cm ³
Tempo de Pega (ABNT NBR 65:2003)	Início	> 60	min
	Fim	< 600	min
Resistência à compressão (ABNT NBR 7215:1997)	1 dia	-	MPa
	3 dias	> 10	MPa
	7 dias	> 20	MPa
	28 dias	> 32	MPa

Fonte: Adaptado de CSN CIMENTOS, 2024.

3.1.2. Cal

Pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio (ABNT NBR 7175: 2003).

A cal hidratada empregada na confecção das argamassas é classificada como tipo CH-III. Essa categoria de cal é recomendada e empregada na engenharia civil devido à sua eficácia e longevidade em argamassas destinadas a assentamentos e revestimentos, cumprindo os requisitos de pureza estabelecidos. A cal CH-III desempenha um papel fundamental na mitigação de fissuras, conferindo elasticidade e aprimorando a resistência à penetração de líquidos.

3.1.3. Areia

A areia de quartzo natural, proveniente do rio Sapucaí em Itajubá/MG, foi empregada em sua forma original, sem qualquer tratamento adicional. A análise granulométrica foi conduzida por meio de peneiramento, de acordo com a ABNT NBR NM 248: 2003 e os dados relativos à granulometria, massa específica e módulo de finura da areia natural e da brita estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Granulometria e características físicas da areia

Peneira (mm)	Areia natural	
	% retida	% acumulada
#4,75	0	0
#2,36	1	1
#1,18	3	4
#0,60	13	18
#0,30	44	61
#0,15	31	92
Fundo	8	100
D máx característica	1,20 mm	
Módulo de finura (MF)	1,76	

Caracterização física	Resultados
Massa específica	2,64 g/cm ³
Massa unitária	1,51 g/cm ³
Absorção de água	0,22%

Fonte: Autora, 2024.

Segundo a ABNT NBR 7211:2022, o módulo de finura apresentado encontra-se na zona utilizável inferior, que varia de 1,55 a 2,20.

3.1.4. Polímero Superabsorvente (SAP)

Polímero superabsorvente conhecido como SAP-k, quando em contato com água, passa por uma transformação, assumindo uma forma gelatinosa denominada HIDROGEL. Após liberar toda a água absorvida, o SAP-k retorna ao seu estado original, granular, mantendo sua capacidade de absorção por um período médio de 3 a 5 anos, o que o habilita a absorver novas irrigações ou águas pluviais sem alterar sua estrutura (IGTPAN, 2024). As características do SAP-k utilizado nos experimentos são detalhadas na Tabela 14.

Tabela 14: Características do Polímero Superabsorvente usado

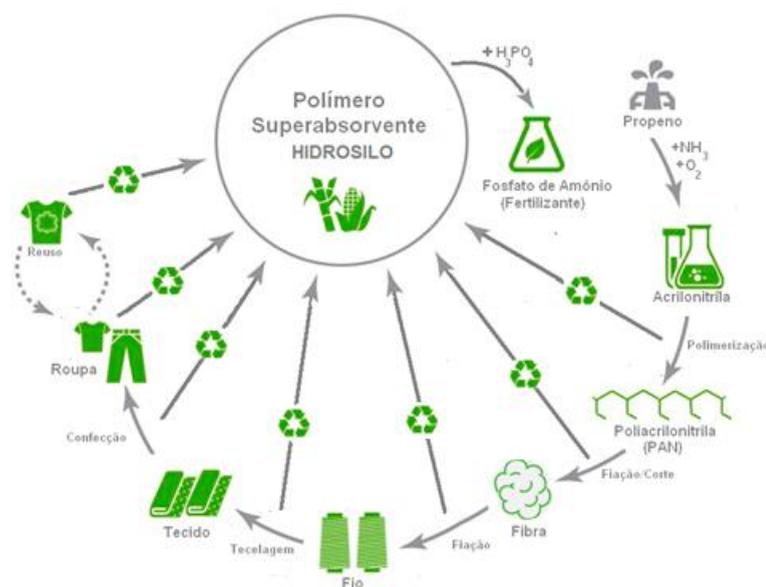
Aparência	Granular amarelado
Tamanho de partícula (mm)	0,6 - 2,5
Densidade relativa (g/cm ³)	1,1
pH concentração 1 g/L	7 - 9
Solubilidade em água	Insolúvel
Absorção (g água/g SAP)	200 - 400
Tempo (min) para alcançar 60% de absorção	10

Fonte: Adaptado de IGTPAN, 2024

O SAP-k disponibilizado pelo IGTPAN é derivado de um processo de reciclagem química da Poliácridonitrila, uma substância frequentemente empregada em aplicações têxteis devido às suas propriedades análogas à lã. Entre suas características notáveis, destacam-se a baixa densidade, estabilidade térmica, elevada resistência e módulo de elasticidade, além de sua resistência à degradação

causada pelos raios UV. A Figura 17 ilustra o procedimento de reciclagem IGTPAN utilizado para produzir o SAP.

Figura 17: Processo de reciclagem IGTPAN

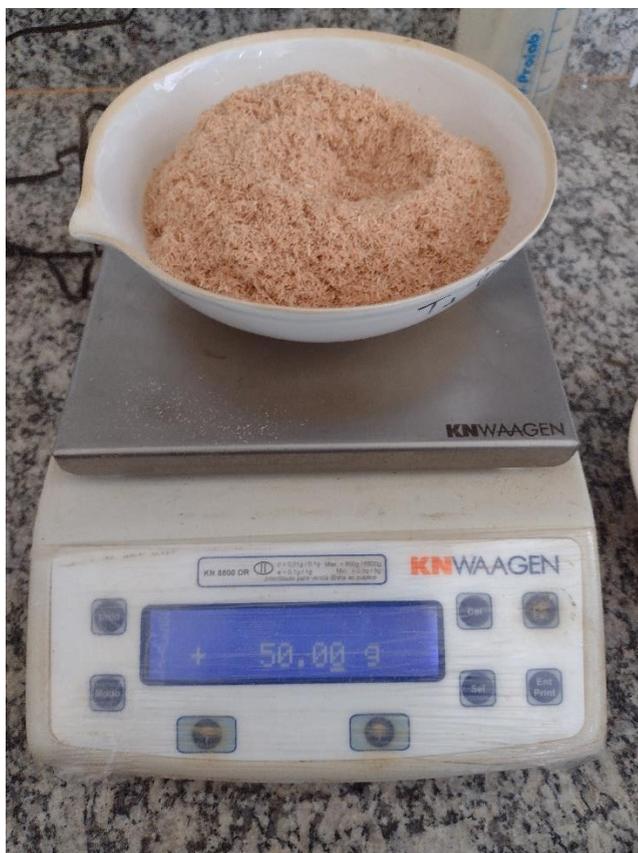


Fonte: IGTPAN, 2024

3.1.5. Resíduo de Madeira

Os resíduos de madeira foram disponibilizados pela Madeireira Poletti Eireli que se encontra localizada no município de Bragança Paulista, no estado de São Paulo. Sua área de atuação abrange o setor de madeiramento destinado à construção civil, bem como a produção de paletes e embalagens de madeira. A empresa adota práticas sustentáveis ao utilizar madeira proveniente de reflorestamento, especificamente das espécies eucalipto e pinus, ambas certificadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Este compromisso com a certificação ambiental demonstra o alinhamento da empresa com padrões de qualidade e responsabilidade no manejo florestal, promovendo, assim, a sustentabilidade e a preservação ambiental em suas atividades. A Figura 18 exibe uma amostra dos resíduos de madeira durante o processo de pesagem.

Figura 18: Amostra dos resíduos de madeira



Fonte: Autora, 2024.

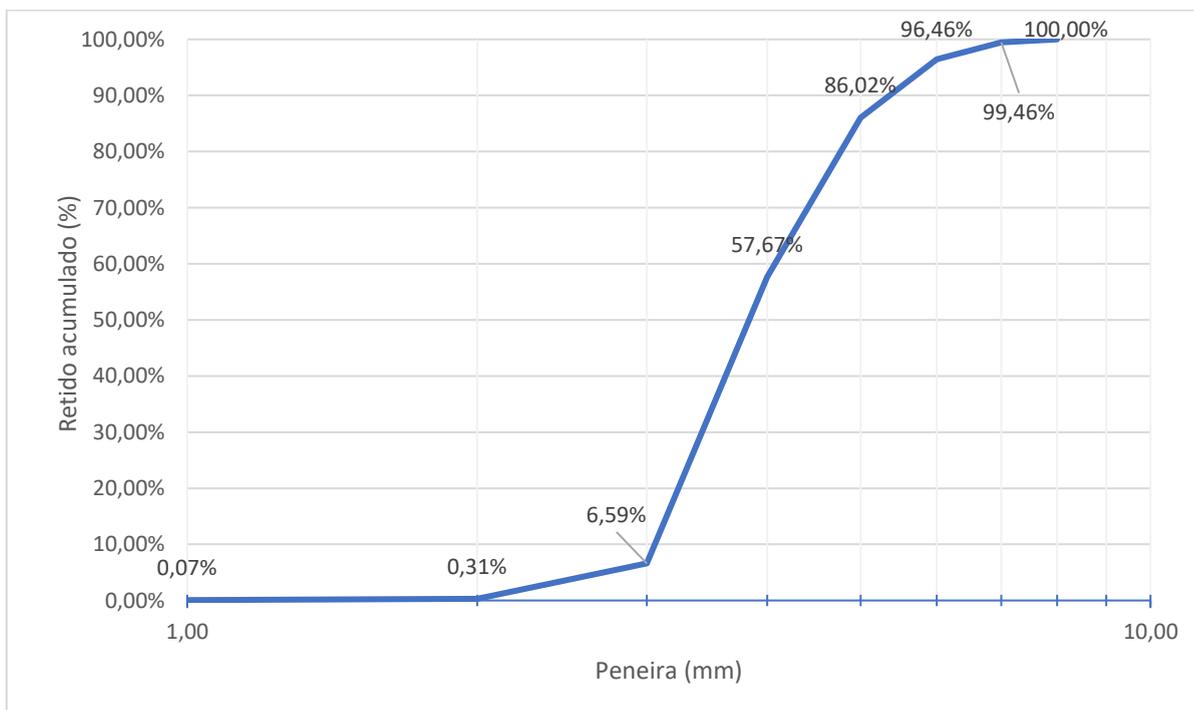
Os resultados da granulometria dos resíduos de madeira são mostrados na Tabela 15 e Figura 19. É crucial compreender a composição física desses materiais, uma vez que ela desempenha um papel fundamental na determinação de suas propriedades e usos potenciais. A granulometria, neste contexto, é uma ferramenta analítica essencial para caracterizar a distribuição de tamanho de partículas dentro da matriz de resíduos de madeira, fornecendo informações sobre sua textura e uniformidade. Esta análise permite uma compreensão mais aprofundada da estrutura dos resíduos de madeira e pode influenciar diretamente as estratégias de processamento e as aplicações finais desses materiais.

Tabela 15: Granulometria dos resíduos de madeira

Peneira (mm)	Resíduos de madeira		
	Retido (g)	% retida	% acumulada
#4,75	0,1	0,07	0,07
#2,36	0,37	6,28	0,31
#1,18	77,41	51,08	57,67
#0,60	42,95	28,34	86,02
#0,30	15,82	10,44	96,46
#0,15	4,55	3,00	99,46
Fundo	0,82	0,54	100
Módulo de finura (MF)	2,47		
Massa específica	1,11 g/cm ³		

Fonte: Autora, 2024.

Figura 19: Distribuição Granulométrica dos resíduos de madeira



Fonte: Autora, 2024.

3.1.6. Aditivo Superplastificante

Os dados físico-químicos referentes ao aditivo superplastificante ADI-SUPER H25, classificado como tipo II, são apresentados na Tabela 16. Este aditivo, desenvolvido com base em polímeros de éteres carboxílicos modificados, foi fornecido pela empresa Aditibrás.

Tabela 16: Características do superplastificante

Propriedades	ADI Super H 25
Massa específica	1,055±0,02 g/cm ³
Cor	Castanho claro
pH	5,50 ±1,00
Teor de sólidos	25%

Fonte: Autora, 2024.

3.1.7. Água

Utilizou-se água potável proveniente do sistema de abastecimento de água local, tratada e distribuída pela Companhia de Saneamento COPASA MG.

3.2. Métodos

Neste estudo, visando obter o traço de referência de argamassa, adotou-se o traço desenvolvido por Souza (2022), com algumas adaptações. Em seguida, com base na revisão da literatura e análise bibliométrica feitas, obteve-se os percentuais de adição e substituição para o programa experimental.

Desta forma, ficaram definidos os seguintes percentuais de substituição da areia por resíduos de madeira e adição de SAP:

- 0%, 2,5% e 5,00% de substituição de areia por resíduo de madeira;
- 0%, 0,10% e 0,20% de adição de SAP.

As nomenclaturas dos traços são mostradas na Tabela 17.

Tabela 17: Nomenclatura dos traços

Nomenclatura dos traços de argamassa		
Traços	Madeira	SAP
REF	0,00%	0,00%
0.1 SAP	0,00%	0,10%
0.2 SAP	0,00%	0,20%
2.5 RDM	2,50%	0,00%
0.1 SAP/ 2.5 RDM	2,50%	0,10%
0.2 SAP/ 2.5 RDM	2,50%	0,20%
5 RDM	5,00%	0,00%
0.1 SAP/ 5 RDM	5,00%	0,10%
0.2 SAP/ 5 RDM	5,00%	0,20%

Fonte: Autora, 2024.

Os agregados secos (cimento, cal, areia fina, areia média e SAP e/ou resíduos de madeira) foram adicionados e misturados inicialmente, seguidos pela água de amassamento e o superplastificante. Foi necessário um acréscimo na quantidade de superplastificante em alguns traços para se manter a trabalhabilidade da mistura, como mostrado na Tabela 18.

Tabela 18: Traços unitários de argamassa

Traços	Cimento	Cal	Areia	Madeira	SAP	SPA	Água
REF	1	0,25	2	0,00%	0,00%	1,5%	0,45
0.1 SAP	1	0,25	2	0,00%	0,10%	1,5%	0,45
0.2 SAP	1	0,25	2	0,00%	0,20%	1,5%	0,45
2.5 RDM	1	0,25	1,9	2,50%	0,00%	1,5%	0,45
0.1 SAP/ 2.5 RDM	1	0,25	1,9	2,50%	0,10%	1,5%	0,45
0.2 SAP/ 2.5 RDM	1	0,25	1,9	2,50%	0,20%	1,5%	0,45
5 RDM	1	0,25	1,8	5,00%	0,00%	2,0%	0,45
0.1 SAP/ 5 RDM	1	0,25	1,8	5,00%	0,10%	2,5%	0,45
0.2 SAP/ 5 RDM	1	0,25	1,8	5,00%	0,20%	2,5%	0,45

*As areias foram inseridas com 80% de areia fina e 20% de areia média.

Fonte: Autora, 2024.

Após esta fase, foram realizados os ensaios no estado fresco, seguido pela confecção dos corpos de prova em moldes cilíndricos (Figura 20) de 100x50 mm, conforme a ABNT NBR 7215:2019. A desmoldagem ocorreu 24 horas depois, e em

seguida, os corpos de prova foram imersos em água potável, para cura por 28 dias. A Figura 21 mostra os corpos de prova desmoldados antes de irem para cura submersa.

Figura 20: Moldes cilíndricos



Fonte: Autora, 2024.

Figura 21: Amostras após serem desmoldadas



Fonte: Autora, 2024.

3.2.1. Ensaio no estado fresco

3.2.1.1. Índice de consistência

A determinação do índice de consistência segue os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 13276:2016. Um molde tronco cônico com 50mm de diâmetro e 100mm de altura, é posicionado sobre a mesa de índice de consistência, e nele são colocadas três camadas de argamassa com alturas uniformes. Em seguida, são aplicados 15, 10 e 5 golpes para distribuir uniformemente a argamassa dentro do molde. Após essa etapa, o molde é removido e são realizados 30 golpes na argamassa utilizando a mesa. Após a conclusão dos golpes, é feita a medição do diâmetro de espalhamento da argamassa em três pontos distintos, sendo a média dessas medições utilizada como índice de consistência

É importante destacar que o índice de consistência está intimamente ligado à trabalhabilidade da argamassa. Um índice elevado torna a argamassa demasiadamente amolecida, dificultando sua aplicação, enquanto um índice baixo dificulta o espalhamento da argamassa na parede. Assim, o índice de consistência deve ser cuidadosamente ajustado para garantir uma trabalhabilidade adequada durante a aplicação.

3.2.1.2. Massa específica aparente

Conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 9833:2009, a massa específica é definida como a massa da unidade de volume da argamassa fresca compactada, incluindo o volume de ar aprisionado e incorporado.

Para conduzir este ensaio, os cilindros metálicos (com diâmetro de 5 cm e altura de 10 cm) foram preenchidos completamente com as argamassas, e registrou-se a massa, subtraindo-se a massa do cilindro vazio. Em seguida, para determinar a massa específica aparente, utilizou-se a seguinte equação:

$$\rho_{ap} = \frac{m}{(V \times 1000)}$$

Equação 1

Sendo:

ρ_{ap} : massa específica aparente do concreto (kg/m³);

m: massa de concreto (kg);

V: volume do cilindro (dm³);

3.2.1.3. Densidade de massa e do teor de ar incorporado

O procedimento para determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado segue as diretrizes da norma ABNT NBR 13278:2005. A argamassa é adicionada em três camadas e compactada com 20 golpes cada, dentro de um recipiente de volume previamente determinado, para posterior pesagem do conjunto. A densidade de massa e o teor de ar incorporado são calculados utilizando as Equações 2 e 3, respectivamente.

$$D = \frac{mc - mv}{vr} * 1000$$

Equação 2

Sendo:

D: densidade de massa da argamassa, em gramas por centímetro cúbico;

mc: média da massa do recipiente com argamassa, em gramas;

mv: massa do recipiente vazio, em gramas;

vr: volume do recipiente, em centímetros cúbicos.

$$A = 100 * \left(1 - \frac{D}{d_t}\right)$$

Equação 3

3.2.2. Ensaio no estado endurecido

Os ensaios executados foram: resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade dinâmico. A quantidade de corpos de prova utilizada por traço e a norma ou método adotado são mostrados na Tabela 19.

Tabela 19: Quantidade de corpos de prova utilizados por ensaio no estado endurecido

Ensaio no estado endurecido	Norma / Método	Nº Corpos de Prova Ø 5 x 10 cm por traço de argamassa
Resistência à Compressão Axial	NBR 5739:2007	3
Resistência à Tração	NBR 7222:2011	3
Módulo de Elasticidade Dinâmico	ASTM 1876-01	3

Fonte: Autora, 2024.

3.2.2.1. Resistência à Compressão

A avaliação da resistência à compressão axial de argamassas foi conduzida usando a máquina INSTRON 8801, empregando corpos-de-prova cilíndricos moldados com diâmetro de 50 mm e altura de 100 mm. Os corpos-de-prova foram submetidos a cura úmida até a idade de teste e as bases foram preparadas antes da realização do ensaio. Uma carga foi aplicada à taxa de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s até a falha do corpo de prova, conforme especificado na norma ABNT NBR 5739:2018.

3.2.2.2. Resistência a tração por compressão diametral

Conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 7222:2011, o ensaio de tração por compressão axial proporciona resultados indiretos da resistência à tração. Para tal, corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 50 mm e altura de 100 mm são utilizados. Durante o ensaio, um corpo de prova é posicionado horizontalmente, apoiado por duas chapas de madeira sobre o prato da máquina de compressão. A carga é aplicada de forma contínua, com aumento constante da tensão de tração, a uma velocidade de 0,05 MPa/s, até que ocorra a ruptura do corpo de prova.

3.2.2.3. Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico foi avaliado no Laboratório de Materiais para Construção Civil da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), utilizando o

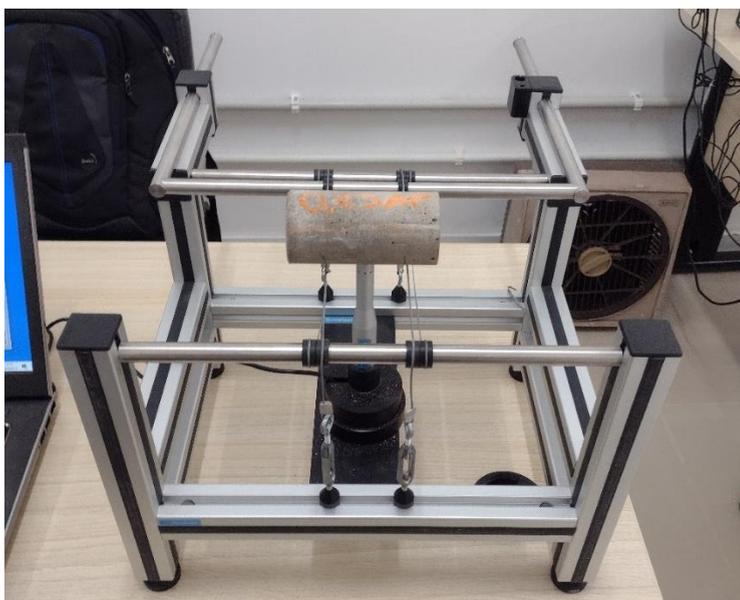
equipamento Sonelastic. A Técnica de Excitação por Impulso (TEI) foi empregada com a seguinte configuração:

- Software Sonelastic versão 3.0;
- Suporte ajustável para barras;
- Cilindros SA-BC;
- Captador acústico direcional CA-DP;
- Pulsador manual.

Conforme a ASTM E1876:2015, os corpos de prova foram submetidos à Técnica de Excitação por Impulso (TEI). Inicialmente, os comprimentos, diâmetros e massas dos corpos de prova foram registrados e, em seguida, eles foram posicionados sobre um suporte ajustável. Por meio de um impulsor manual, cada corpo de prova foi levemente batido, gerando respostas acústicas detectadas por um captador acústico. Essas respostas foram processadas pelo software Sonelastic® versão 3.0 para calcular os módulos de elasticidade e o amortecimento de cada corpo de prova.

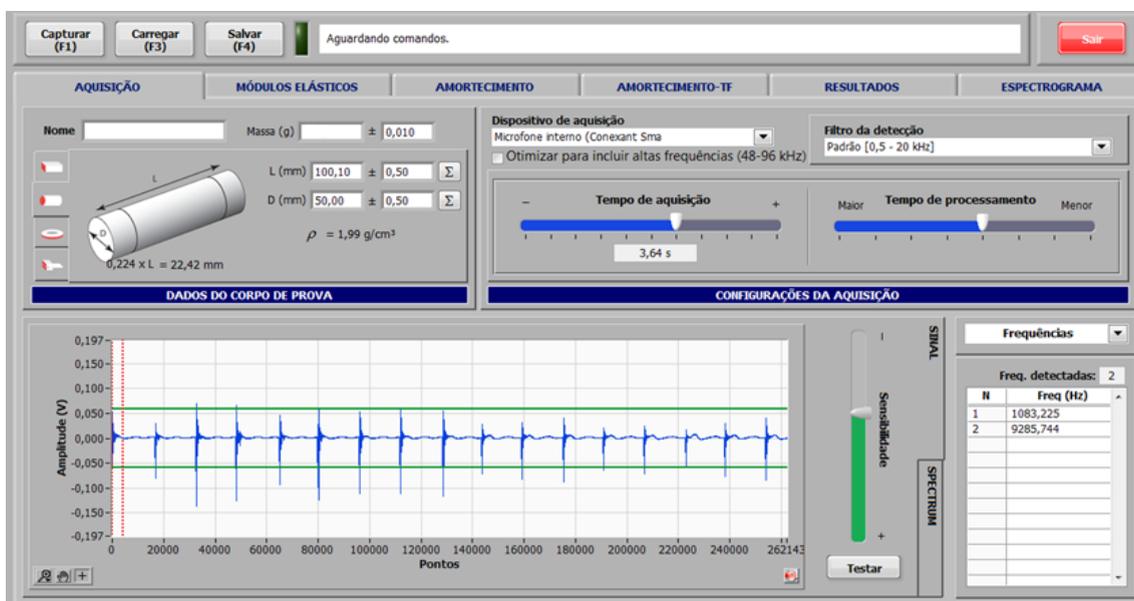
Foram produzidos três corpos de prova para cada traço das argamassas autoadensáveis, os quais foram ensaiados aos 28 dias. A Figura 22 mostra o equipamento durante o ensaio, enquanto a Figura 23 mostra a interface do Software Sonelastic versão 3.0.

Figura 22: Moldes cilíndricos



Fonte: Autora, 2024.

Figura 23: Interface do software SONELASTIC



Fonte: Autora, 2024.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados nesta seção, os resultados dos ensaios no estado fresco e endurecido, analisando-se o comportamento das adições e substituições em estudo.

Para a realização dos ensaios foi elaborado um experimento planejado, com uma série de combinação de traços, alterando-se as quantidades de cada variável em estudo. A observação dos resultados de cada ensaio permite identificar, de forma sistemática, como cada material se comporta na argamassa e quais as quantidades ideais para uma boa argamassa.

A aplicação rigorosa destes métodos normatizados é essencial para garantir a confiabilidade e a reprodutibilidade dos dados experimentais, permitindo assim uma análise comparativa precisa entre diferentes traços.

As porcentagens de resíduo de madeira foram introduzidas como substituição parcial da areia em um traço de argamassa de 1:2, considerando 80% de areia fina e 20% de areia média. A porcentagem de substituição foi feita em relação ao volume de areia e sua respectiva massa. Já o SAP foi inserido como uma porcentagem adicional em relação a massa do cimento CII F-32.

4.1. Resultados no estado fresco

4.1.1. Massa específica

Os resultados dos ensaios de massa específica, realizados para três amostras de corpos de prova (CPs) em estado fresco para cada traço de argamassa, estão apresentados na Tabela 20. Estes ensaios foram conduzidos em conformidade com os procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 9833:2008. A referida norma especifica os métodos para a determinação da massa específica de argamassas no estado fresco, assegurando a padronização e a precisão dos resultados obtidos.

Após a realização do ensaio, através da comparação dos resultados, foi possível notar que os traços com adição de SAP e RDM apresentaram massas específicas menores do que o traço de referência. As maiores reduções ocorreram nos traços onde foram combinados tanto SAP quanto madeira, passando de 2,0% de

redução. Nos traços com adições de 0,1% e 0,2% SAP e substituição em 5% de RDM, as reduções foram próximas de 3% e pouco acima de 4%, respectivamente.

Tabela 20: Massa específica no estado fresco

Traços	Massa específica (g/cm ³)		
	por amostra	média do traço	redução (%)
REF	2,18	2,19	0,00%
	2,19		
	2,21		
0.1 SAP	2,19	2,19	0,22%
	2,18		
	2,19		
0.2 SAP	2,19	2,17	1,01%
	2,17		
	2,15		
2.5 RDM	2,17	2,15	1,81%
	2,14		
	2,15		
0.1 SAP/ 2.5 RDM	2,13	2,14	2,33%
	2,14		
	2,15		
0.2 SAP/ 2.5 RDM	2,14	2,14	2,44%
	2,13		
	2,14		
5 RDM	2,15	2,14	2,13%
	2,13		
	2,15		
0.1 SAP/ 5 RDM	2,15	2,13	2,96%
	2,09		
	2,13		
0.2 SAP/ 5 RDM	2,11	2,10	4,01%
	2,08		
	2,12		

Fonte: Autora, 2024.

Analisando-se os ensaios com resíduos de madeira referentes 2,5 e 5% de substituição da areia, observa-se na Tabela 21 uma redução na massa específica de aproximadamente 2% em relação ao traço referência. Como a massa específica da madeira (Tabela 15) é aproximadamente duas vezes inferior à da areia (Tabela 13), uma redução já era esperada ao realizar a substituição.

Conforme demonstra a Tabela 14, a massa específica do SAP é próxima à da madeira (Tabela 15). Assim, a mesma lógica procede ao adicioná-lo à mistura, reduzindo-se ainda mais a massa específica. Com a adição de 0,1 e 0,2% de SAP, a massa específica foi reduzida em, aproximadamente, 0,2 e 1% respectivamente. Em relação ao comportamento do SAP, como este tende a provocar um inchamento da massa, retendo a água, o volume de vazios da argamassa aumenta, diminuindo assim a massa específica.

Analisando-se a Tabela 20, na aplicação dos dois materiais, a redução da massa específica foi maior, quando comparado com a aplicação individual. As combinações com 5% de resíduo de madeira alcançaram as maiores reduções de massa específica, se destacando o traço 0.2SAP/5RDM, com uma redução de aproximadamente 4%, em relação ao traço REF.

Gupta (2018) chegou a resultados similares, com redução de até 4% da densidade da massa fresca com a adição de biocarvão (resultante da pirólise da serragem mista madeira). Seu estudo também aponta a redução da massa específica com o aumento da dosagem de resíduo, atribuindo tal característica a porosidade das partículas de biocarvão.

Também é possível atribuir a redução da densidade das amostras deste estudo, à porosidade das partículas do resíduo de madeira. Isso se reafirmará ao analisar-se também os resultados referentes ao teor de ar da argamassa.

4.1.2. Índice de consistência – Ensaio de espalhamento

O ensaio de espalhamento foi realizado de acordo com a ABNT 13276:2016 com o intuito de se analisar e obter os índices de consistência da argamassa.

Com os resultados apresentados na Tabela 21 e representado na Figura 24 em relação ao traço de referência, é possível notar que os menores espalhamentos ocorreram nos ensaios com maiores quantidades de resíduo madeira. Ao adicionar o SAP à mistura e reduzir a quantidade de resíduo de madeira, o espalhamento tende a aumentar.

Durante os ensaios observou-se que a aplicação do RDM aumenta a absorção de água, diminuindo assim, o espalhamento da argamassa. Também foi possível notar que o SAP possui essa mesma característica, porém em menor intensidade. Neste

contexto, apesar de ambos os materiais possuírem absorção hídrica significativa, nota-se que o SAP contribui para o aumento do índice de consistência quando combinado com o RDM.

Observa-se na Tabela 21, que o aumento da porcentagem de RDM, implica numa maior necessidade de adição de superplastificante, para manter uma consistência que viabilize a trabalhabilidade da massa. Tal necessidade, apenas se acentua ao combinar o resíduo com o SAP.

Tabela 21: Índice de consistência

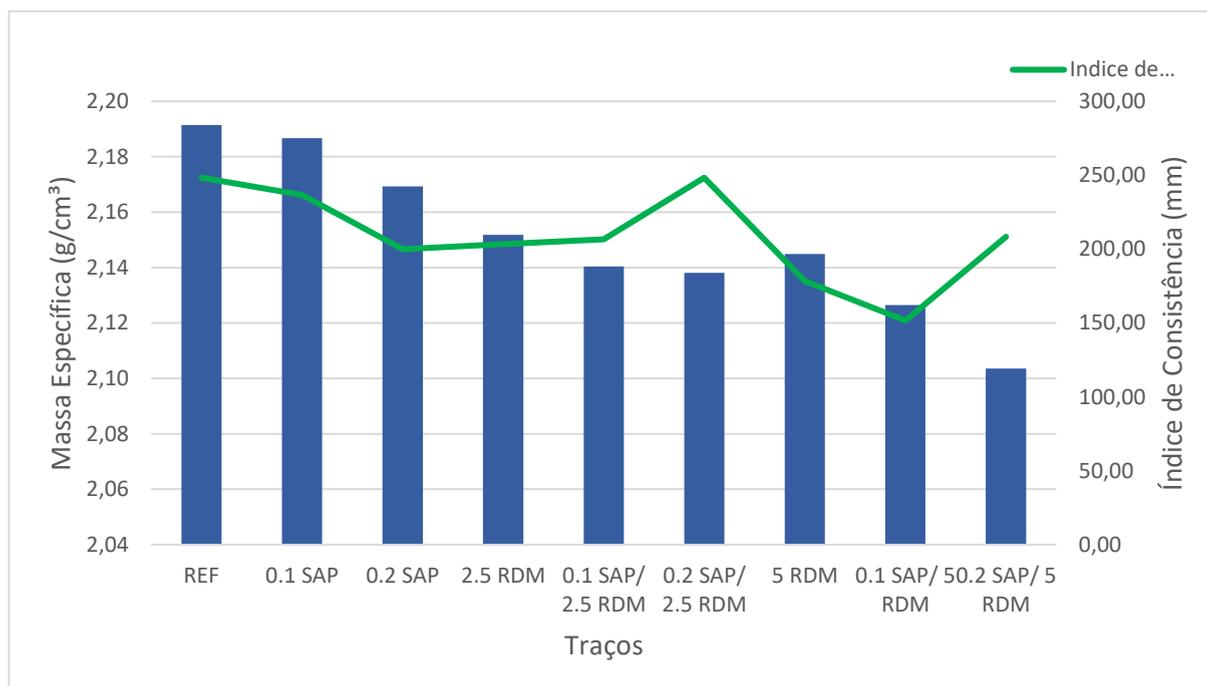
Traços	Índice de consistência (mm)		Superplastificante (%)
	Medição	Média	
REF	250,00	248,33	1,5
	245,00		
	250,00		
0.1 SAP	235,00	236,67	1,5
	240,00		
	235,00		
0.2 SAP	200,00	200,00	1,5
	200,00		
	200,00		
2.5 RDM	205,00	203,33	1,5
	200,00		
	205,00		
0.1 SAP/ 2.5 RDM	205,00	206,67	2,0
	210,00		
	205,00		
0.2 SAP/ 2.5 RDM	250,00	248,33	2,0
	250,00		
	245		
5 RDM	180,00	178,33	2,0
	180,00		
	175,00		
0.1 SAP/ 5 RDM	150,00	151,67	2,5
	155,00		
	150,00		
0.2 SAP/ 5 RDM	210,00	208,33	2,5
	210,00		
	205,00		

Fonte: Autora, 2024.

Almeron et al. (2024) trazem resultados semelhantes ao investigar a substituição do cimento por RDM (após pirólise e saturação) nas porcentagens de 5, 10 e 15%. Esse

resultado foi associado ao aumento necessário no conteúdo de superplastificante à medida que o teor de RDM aumentava.

Figura 24: Massa específica e índice de consistência de cada traço



Fonte: Autora, 2024.

4.1.3. Teor de ar

Analisando-se as amostras na Figura 25, nota-se que de modo geral a adição/substituição leva ao aumento do teor de ar. A adição de SAP junto ao resíduo de madeira, acentua este aumento, fato evidenciado ao comparar os traços 5RDM/0.2SAP com o 5RDM.

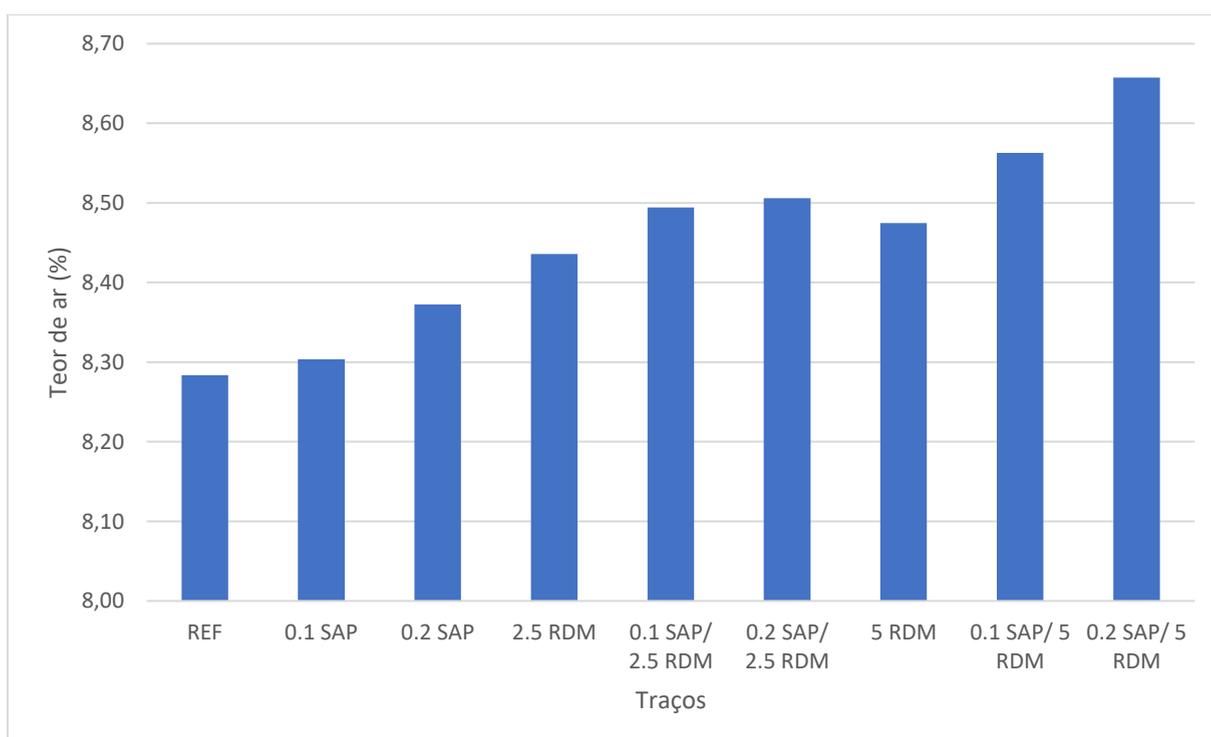
O aumento do teor de ar ocorre em razão do aumento do volume total (rendimento) da massa. Pode-se atribuir este comportamento, ao efeito da porosidade do resíduo de madeira junto à argamassa.

A porosidade pode significar também um aumento da superfície de absorção de água do material. Tal característica pode ser observada durante os ensaios com o resíduo de madeira e SAP, os quais exigiram adição de maiores quantidades de superplastificante para viabilizar a trabalhabilidade da mistura.

Lura et al. (2012), esclarecem que, após atingir seu volume máximo, o SAP forma inclusões estáveis repletas de água. Esta água é posteriormente absorvida pelos poros capilares menores e utilizada no processo de hidratação do cimento. Como consequência, o SAP gera poros vazios na matriz cimentícia, o que explica os menores valores de massa específica observados nas amostras que contêm SAP.

Gupta et al. (2018) revela em seu estudo resultados similares com um leve aumento do teor de ar nas amostras com adição de biocarvão, demonstrando uma tendência semelhante a densidade fresca. Portanto o aumento do teor de ar reflete na redução da massa específica.

Figura 25: Teor de ar de cada traço



Fonte: Autora, 2024.

4.2. Resultados dos ensaios no estado endurecido

Nesta fase do programa experimental, foram conduzidas análises das propriedades do concreto no estado endurecido. Para tanto, foram realizados os seguintes ensaios: resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade dinâmico.

4.2.1. Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram conduzidos após um período de cura de 28 dias, conforme preconizado pela norma ABNT NBR 5739:2018, que estabelece os procedimentos para determinação da resistência à compressão de corpos de prova de argamassa e concreto. Os resultados obtidos para cada traço de argamassa estão detalhadamente apresentados na Tabela 22 e visualizados nas Figuras 26 e 27, fornecendo uma análise abrangente do comportamento mecânico das misturas estudadas.

Na Tabela 22, são disponibilizados os valores de resistência à compressão axial máxima para os diferentes traços de argamassa testados. Para cada traço, foram utilizados quatro corpos de prova, o que assegura a robustez estatística e a representatividade dos resultados obtidos. de resistência da argamassa em condições controladas de teste.

As Figuras 26 e 27 complementam essa análise ao apresentar graficamente as variações na resistência à compressão entre os traços estudados, facilitando a interpretação das tendências e a comparação entre os resultados experimentais.

Tabela 22: Resistência máxima a compressão

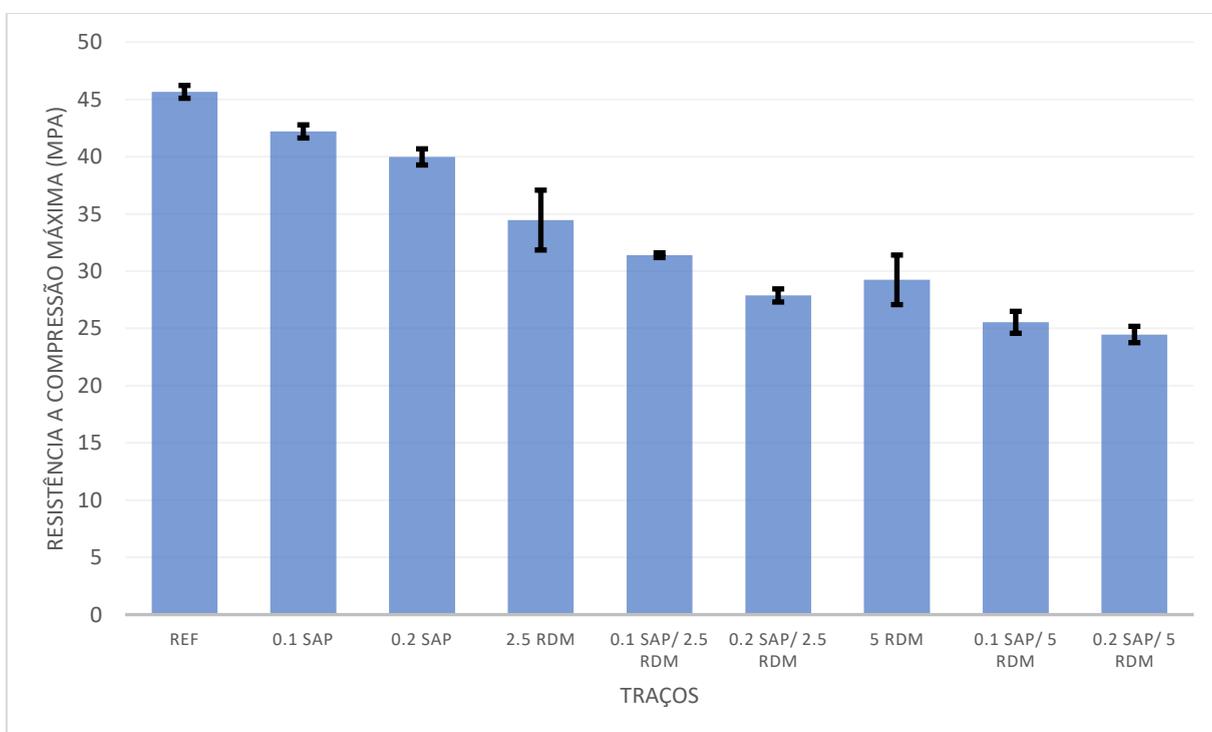
Traços	Fc máx. MPa	Média fc máx MPa	Desvio-Padrão MPa
REF	47,11	45,66	1,12
	46,26		
	44,16		
	45,11		
0.1 SAP	42,93	42,20	1,15
	40,40		
	42,08		
	43,40		
0.2 SAP	37,79	39,98	1,41
	41,60		
	39,82		
	40,70		
2.5 RDM	40,58	34,46	5,23
	30,01		
	38,65		
	28,58		
0.1 SAP/2.5 RDM	31,26	31,39	0,41
	32,07		
	30,94		
	31,30		

	28,08		
0.2 SAP/ 2.5 RDM	27,99	27,88	1,14
	29,33		
	26,12		
	36,26		
5 RDM	29,39	29,24	4,33
	25,90		
	25,42		
	23,35		
0.1 SAP/ 5 RDM	27,72	25,53	1,92
	27,13		
	23,92		
	22,68		
0.2 SAP/5 RDM	23,49	24,47	1,43
	25,58		
	26,12		

Fonte: Autora, 2024.

Os desvios-padrão indicados na Tabela 22 e na Figura 26 demonstram uma maior variação de resultado para os traços com apenas resíduo de madeira. Ao adicionar SAP à mistura, os desvios diminuem, indicando uma maior constância nos resultados. Esse comportamento pode decorrer da melhora que o SAP concede a mistura, deixando-a mais homogênea.

Figura 26: Resistência à compressão máxima

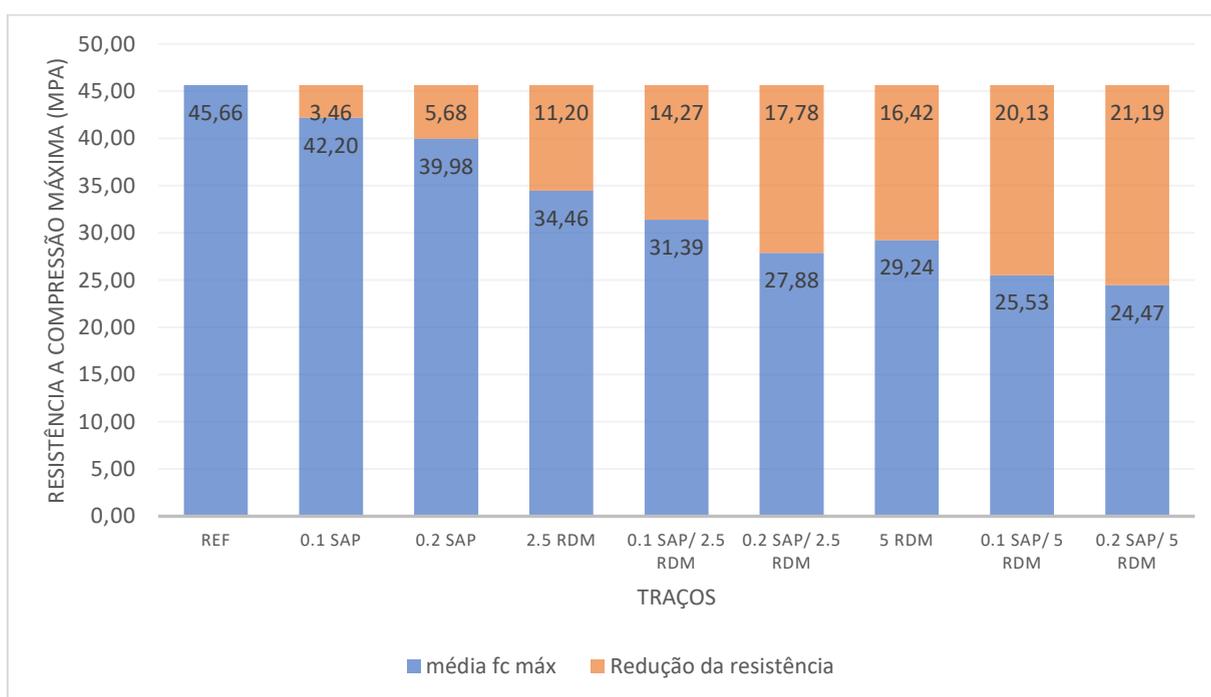


Fonte: Autora, 2024.

Nota-se que há uma redução na resistência à compressão em todos os traços com adição ou substituição. Os traços em que foram adicionados apenas SAP, observa-se que a redução é menos significativa, quando comparada com os que envolvem a utilização dos resíduos de madeira (Figura 27).

Um comportamento semelhante ocorreu em Souza et al. (2023), onde foram analisadas amostras de argamassas autoadensáveis com adição de 0,1 e 0,2% de SAP que parte passaram por cura seca e outra parte por cura submersa. Nas amostras que passaram por cura submersa, o SAP não comprometeu de forma significativa, reduzindo 3,8% para 0,1% de SAP e 5,15% para 0,2% de SAP, em relação ao traço de referência.

Figura 27: Reduções na resistência à compressão



Fonte: Autora, 2024.

Na literatura, são identificados diversos fatores que podem explicar a possível incompatibilidade ou inibição entre a madeira e o cimento. O primeiro e mais comum fator é que os extrativos da madeira podem impactar diretamente a cura do cimento. A madeira contém vários extrativos orgânicos que, ao entrarem em contato com íons metálicos presentes na solução de cimento, reduzem a concentração de Ca^{2+} . Esta redução pode interferir no equilíbrio da reação natural do cimento, retardando o início da nucleação de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e a formação do gel de CSH. Outro possível fator é a formação de uma fina camada de absorção pelos compostos orgânicos nas

superfícies dos grãos de cimento, o que interfere diretamente na hidratação do material (HACHMI; MOSLEMI; CAMPBELL, 1990).

Gupta (2018), afirma que a carbonização do resíduo pode conferir a mistura o efeito de enchimento, devido aos pontos de hidratação que produzem a nucleação no cimento. Um comportamento similar é observado em relação ao efeito do SAP em compósitos cimentícios. Mesmo com a capacidade de preencher e gerar pontos de hidratação, o SAP não foi capaz de suprir a redução da resistência a compressão causada pelo resíduo de madeira.

Em relação a granulometria da madeira, é possível notar na Tabela 15, a maior parte do material se concentra entre 0,15 e 0,6 mm, estando grandeza do grão do cimento apenas 3% do resíduo.

4.2.2. Resistência à tração

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado conforme as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 7222:2011. Os resultados desses ensaios são apresentados na Figura 28, onde foram utilizados três corpos de prova para cada traço de argamassa, garantindo a robustez estatística das análises.

As amostras que continham polímero superabsorvente (SAP) demonstraram uma redução significativa na resistência à tração. Especificamente, as amostras contendo 0,1% de SAP apresentaram uma queda de 11,38% na resistência, enquanto aquelas com 0,2% de SAP mostraram uma diminuição de 13,41%.

Em contraste, a aplicação isolada de resíduo de madeira resultou em um aumento brando na resistência à tração, sem comprometer significativamente o desempenho das amostras. O incremento foi de 1,21% para amostras com 0,1% de SAP e de 4,71% para aquelas com 0,2% de SAP. Esta melhoria, embora pequena, indica que a incorporação de resíduo de madeira pode contribuir positivamente para a resistência da argamassa em certos contextos.

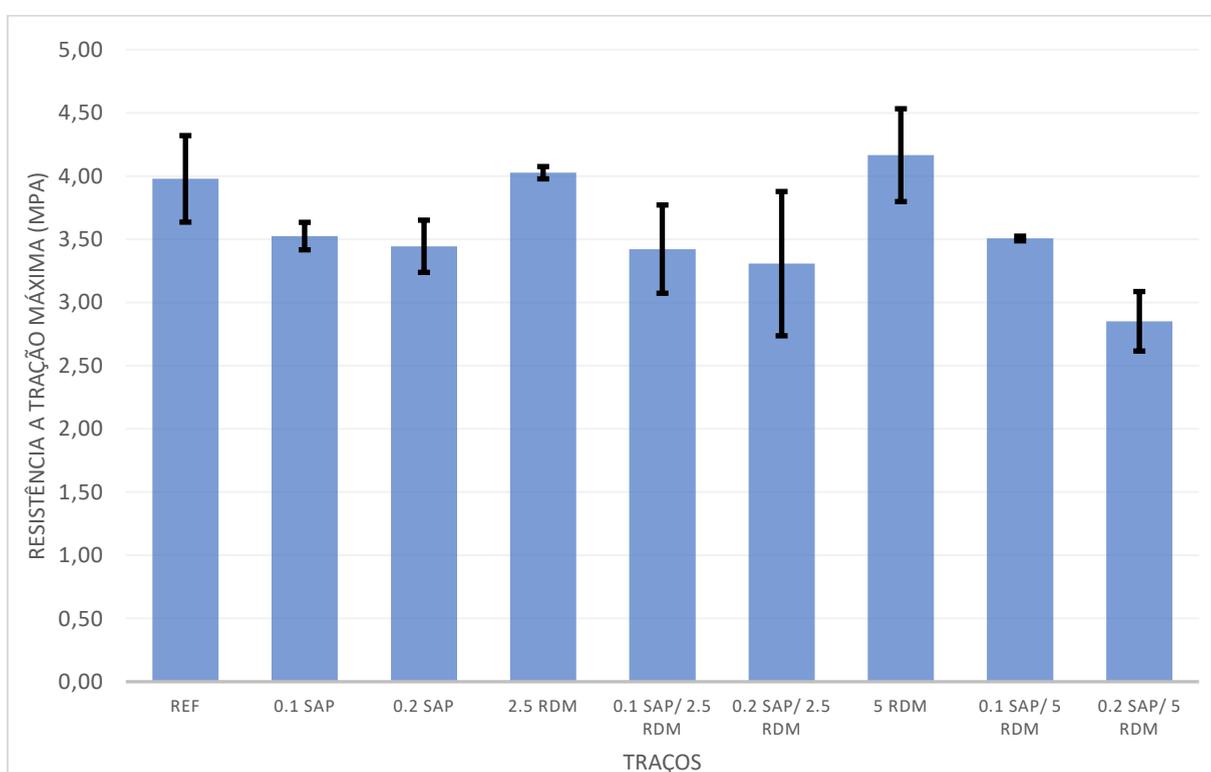
O desempenho das amostras com a combinação de SAP e resíduo de madeira resultou nas maiores perdas de resistência à tração. Notavelmente, o traço contendo 0,2% de SAP e 5% de resíduo de madeira (0,2SAP/5RDM) apresentou a menor resistência à tração, com uma redução de 28,33%. Este resultado sugere que a

sinergia entre SAP e resíduo de madeira pode ter efeitos adversos significativos na resistência à tração da argamassa.

Além disso, foi observada uma variação maior nos resultados das amostras com a incorporação de madeira. Especificamente, as amostras com uma taxa de substituição de areia por resíduos de madeira de 5% mostraram maior variabilidade nos resultados em comparação com aquelas com 2,5% de substituição. Esta variação pode ser atribuída à heterogeneidade introduzida pelo resíduo de madeira, que pode afetar a uniformidade da mistura e, conseqüentemente, suas propriedades mecânicas.

Almeron et al. (2024) realizou experimentos com substituição do cimento RDM, (em forma de biocarvão saturado), em teores de 5, 10 e 15%. O autor revela em sua pesquisa melhorias substanciais de resistência a tração para 10% de substituição, apontando para que essas sejam porcentagens máximas para eficiência mecânica nessas condições.

Figura 28: Resistência à tração máxima



Fonte: Autora, 2024.

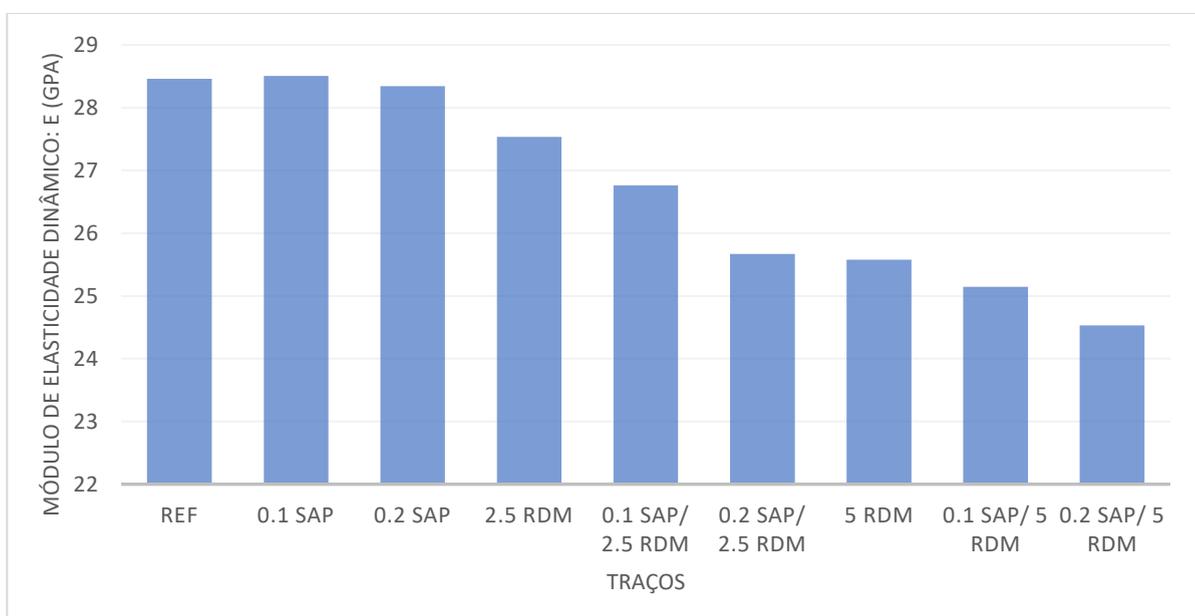
4.2.3. Módulo de elasticidade

Ao analisar-se o módulo de elasticidade, conforme apresentado na Figura 29, é possível notar uma tendência consistente com os resultados de resistência à compressão. Em particular, observa-se uma redução no módulo de elasticidade em todos os traços que envolvem adição ou substituição de materiais.

Nos traços em que foram adicionados apenas polímero superabsorvente (SAP), a alteração no módulo de elasticidade é relativamente pouco significativa. Contudo, a incorporação de resíduo de madeira na mistura resulta em uma redução considerável no módulo de elasticidade. Este comportamento indica que a presença de resíduo de madeira na argamassa afeta significativamente a rigidez da amostra.

A análise dos dados sugere que a adição de SAP, embora influencie levemente a elasticidade, não compromete drasticamente a rigidez do material. Em contraste, a substituição parcial de areia por resíduo de madeira contribui para uma diminuição mais acentuada do módulo de elasticidade, o que pode ser atribuído às propriedades intrínsecas do resíduo de madeira, que introduz uma maior heterogeneidade e menor densidade na matriz da argamassa.

Figura 29: Módulo de elasticidade dinâmico



Fonte: Autora, 2024.

O comportamento é semelhante ao observado em Souza (2022), onde as amostras com SAP não tiveram influência significativa no desempenho das argamassas. Por outro lado, as amostras contendo resíduos de madeira apresentaram perdas significantes de resistência, atingindo 10,12% de redução com 5% de madeira, 11,66% para o traço 0,1 SAP / 5 RDM e 13,81% para o traço 0,2 SAP / 5 RDM.

Henández et al. (2024) também obtiveram resultados que seguem este comportamento. Segundo o autor, porcentagens de RDM acima de 1% em relação ao volume de agregados, implicam na redução do módulo de elasticidade. Neste caso a dosagem ótima para esta propriedade, estaria abaixo de 1%.

5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

5.1. Planejamento de Experimentos (DOE)

Para determinar as variáveis que exerceram maior influência no desempenho da fabricação das argamassas, a análise estatística desta pesquisa foi realizada com base na técnica DOE. Foram analisadas duas variáveis, sendo ambas contínuas, sendo elas:

- Porcentagem de adição SAP no traço (0%, 0,1% e 0,2%)
- Porcentagem de substituição da areia por RDM (0%, 2,5% e 5%)

Foram considerados quatro ensaios para analisar a influência das variáveis, sendo eles:

- Compressão axial;
- Tração por compressão diametral;
- Módulo de elasticidade dinâmico;
- Massa específica.

A aplicação da técnica DOE envolveu a criação de um experimento planejado que combinou as diferentes proporções dessas variáveis, permitindo uma análise detalhada de seus efeitos isolados e combinados. A relação destas variáveis, dos ensaios e respectivos valores, está apresentada na Tabela .

Tabela 23: Relação das variáveis e dos ensaios

Traço	% de RDM	% de SAP	Compressão (MPa)	Tração (MPa)	Mod. E. D. (GPa)	Massa Específica (g/cm ³)
REF	0	0	47,11	4,92	28,46	2,18
0.1 SAP	0	0,1	42,93	3,30	28,61	2,19
0.2 SAP	0	0,2	41,60	4,02	28,31	2,19
2.5 RDM	2,5	0	30,01	4,00	27,53	2,17
0.1 SAP/ 2.5 RDM	2,5	0,1	31,26	2,44	26,62	2,13
0.2 SAP/ 2.5 RDM	2,5	0,2	28,08	2,46	25,51	2,14
5 RDM	5	0	29,39	4,65	25,13	2,15
0.1 SAP/ 5 RDM	5	0,1	27,72	3,45	25,27	2,15
0.2 SAP/ 5 RDM	5	0,2	22,68	3,24	24,98	2,11
REF	0	0	46,26	3,70	28,50	2,19
0.1 SAP	0	0,1	40,40	3,45	28,24	2,18
0.2 SAP	0	0,2	39,82	3,09	27,86	2,17
2.5 RDM	2,5	0	38,65	3,93	27,69	2,14
0.1 SAP/ 2.5 RDM	2,5	0,1	32,07	3,83	26,90	2,14

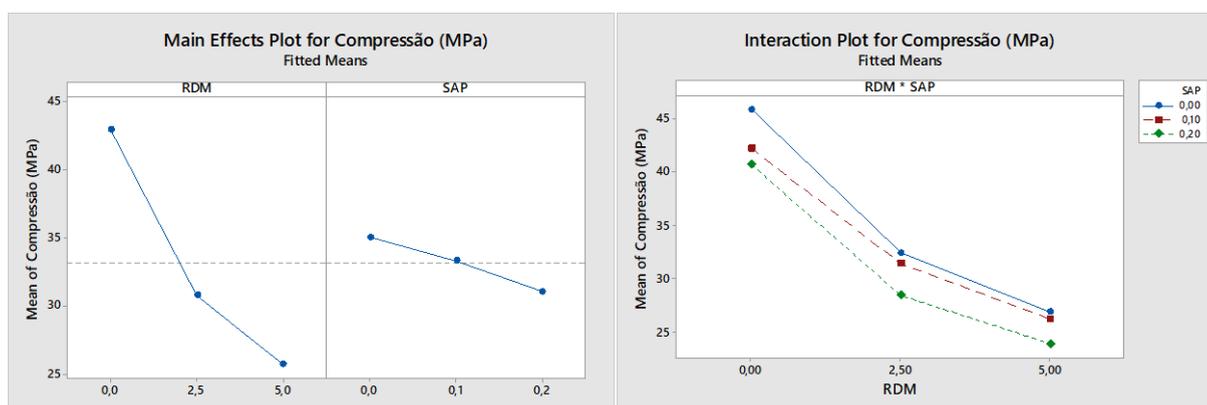
0.2 SAP/ 2.5 RDM	2,5	0,2	27,99	4,92	25,75	2,13
5 RDM	5	0	25,90	3,13	25,96	2,13
0.1 SAP/ 5 RDM	5	0,1	27,13	3,53	25,10	2,09
0.2 SAP/ 5 RDM	5	0,2	23,49	3,12	24,14	2,08
REF	0	0	44,16	3,32	28,51	2,21
0.1 SAP	0	0,1	43,40	3,82	28,55	2,19
0.2 SAP	0	0,2	40,70	3,22	28,80	2,15
2.5 RDM	2,5	0	28,58	4,16	27,62	2,15
0.1 SAP/ 2.5 RDM	2,5	0,1	30,94	4,00	26,74	2,15
0.2 SAP/ 2.5 RDM	2,5	0,2	29,33	2,55	25,67	2,14
5 RDM	5	0	25,42	4,72	25,64	2,15
0.1 SAP/ 5 RDM	5	0,1	23,92	3,53	24,88	2,13
0.2 SAP/ 5 RDM	5	0,2	25,58	2,19	24,58	2,12

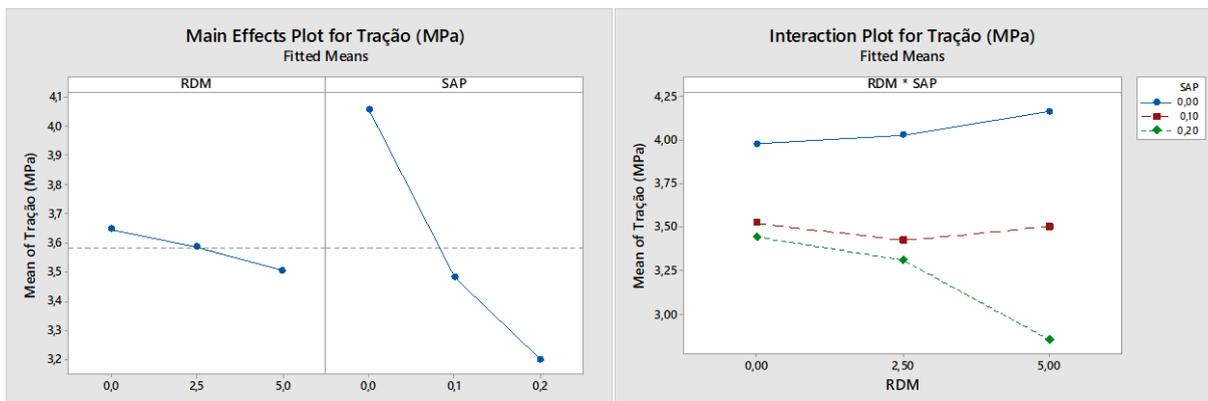
Fonte: Autora, 2024.

5.2. Gráficos de efeitos principais

Na Figura 30 são apresentados os resultados dos gráficos de efeitos principais e interação para os ensaios de compressão (superiores) e tração (inferiores), realizados nas argamassas com RDM e SAP. Neles é possível notar os efeitos que as variações de adições de SAP e a substituições por RDM apresentaram no traço. Para compressão, nota-se que houve um decréscimo acentuado nas amostras com RDM, já nas amostras contendo SAP, esta perda foi branda.

Figura 30: Gráficos de efeitos principais e Interação (Compressão e Tração)



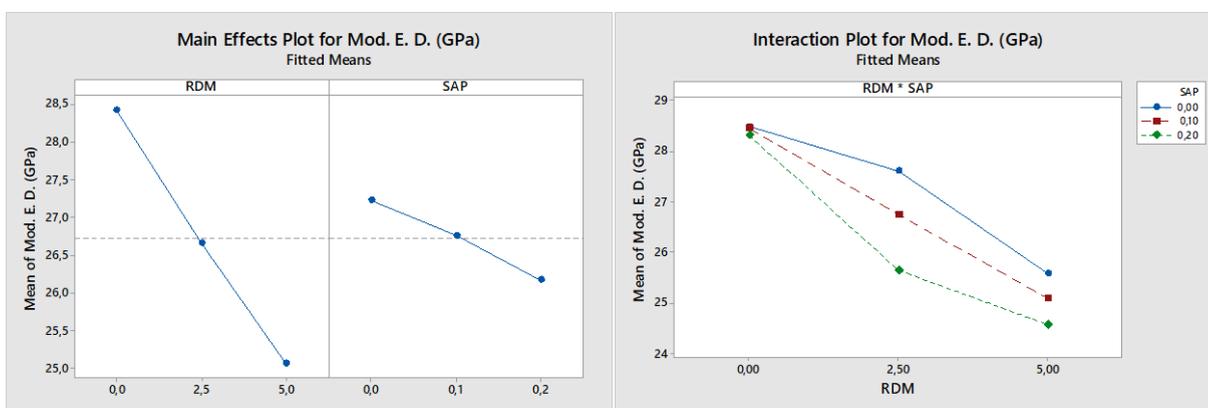


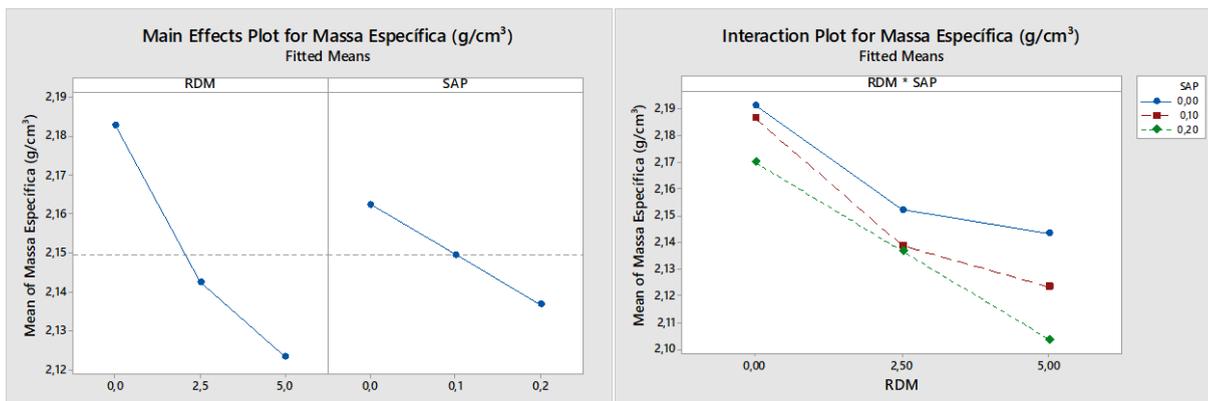
Fonte: Autora, 2024.

Já nos gráficos de tração, tais fenômenos ocorreram de forma inversa, sendo o SAP responsável por gerar uma perda maior de resistência. Nota-se ainda que nos traços com 5% de RDM ocorreu um leve aumento da resistência à tração, exceto no combinado com 0,2% de SAP.

Na Figura 31 são apresentados os gráficos de efeitos principais e interação para o módulo de elasticidade dinâmico (superiores) e massa específica (inferiores). É possível observar que ambos os gráficos acompanham uma tendência, com os resíduos de madeira influenciando mais nas propriedades do que as adições de SAP.

Figura 31: Gráficos de efeitos principais e Interação (Mod. Elasticidade Dinâmico e Massa Específica)





Fonte: Autora, 2024.

5.3. Gráficos de Pareto

Os gráficos de Pareto, apresentados neste estudo, ilustram os valores absolutos dos efeitos padronizados, ordenados do efeito mais alto para o mais baixo. Estes gráficos são ferramentas valiosas para identificar quais fatores têm maior impacto nas propriedades mecânicas das argamassas. Além disso, cada gráfico inclui uma linha de referência que indica quais efeitos são estatisticamente significativos. As barras que cruzam essa linha de referência são consideradas significativas.

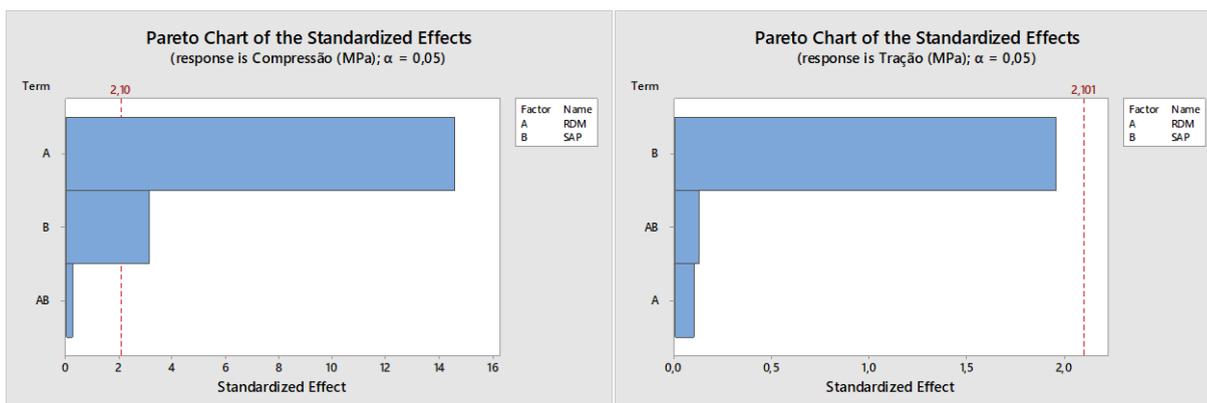
A linha de referência para significância estatística é determinada pelo nível de significância (α). Neste estudo, foi adotado um nível de confiança de 95%, correspondendo a um α de 0,05. Isso significa que há apenas uma probabilidade de 5% de que os efeitos observados sejam devidos ao acaso. Portanto, efeitos que ultrapassam esta linha de referência são considerados estatisticamente significativos e refletem verdadeiras influências nas propriedades das argamassas.

A utilização dos gráficos de Pareto permite uma análise visual e intuitiva dos dados experimentais, facilitando a identificação dos fatores mais influentes e a compreensão de suas interações. Esta abordagem é crucial para otimizar as formulações das argamassas, visando alcançar um desempenho mecânico superior e atender às exigências contemporâneas por materiais de construção eficientes e sustentáveis.

A Figura 32 mostra os gráficos de Pareto para os efeitos padronizados dos resultados dos ensaios de compressão (à esquerda) e tração (à direita), realizados nas argamassas com RDM e SAP. Neles é possível notar os fatores que apresentaram maior influência aos traços. Com relação a compressão, é possível observar que

ambas as variáveis tiveram influência significativa nos traços, contudo, o RDM foi expressivamente maior. Para a tração, as modificações não promoveram mudanças significativas nas argamassas, obtendo valores que não ultrapassaram a linha de indicação de significância do gráfico.

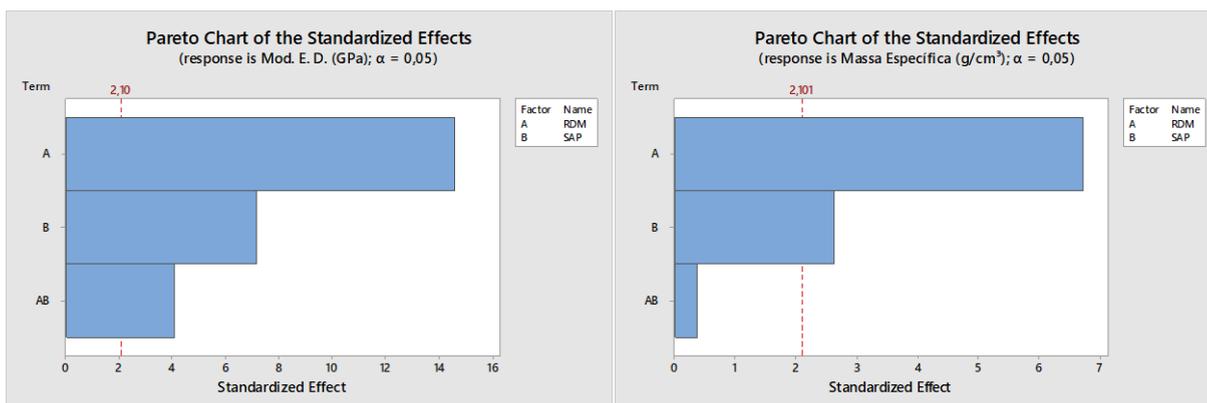
Figura 32: Gráfico de Pareto de efeitos padronizados (Compressão e Tração)



Fonte: Autora, 2024

Na Figura 33 são mostrados os gráficos de Pareto para os efeitos padronizados dos resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (à esquerda) e massa específica (à direita). Para tais propriedades é possível afirmar que tanto o SAP quanto o RDM exerceram impactos significativos nas amostras.

Figura 33: Gráfico de Pareto de efeitos padronizados (Mod. Elasticidade Dinâmico e Massa Específica)



Fonte: Autora, 2024

6. CONCLUSÕES

No presente estudo, foram examinados os efeitos da adição de polímero superabsorvente (SAP) e substituição de areia por resíduos de madeira na produção de argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Seguem as principais conclusões:

- A incorporação do SAP e do RDM influenciou nas propriedades no estado fresco das argamassas. Houve redução nos valores de massa específicas das amostras com o aumento do percentual de adição e/ou substituição.
- Nos ensaios endurecidos, SAP e RDM reduziram a resistência à compressão em todas as misturas. Nas amostras em que apenas o SAP foi adicionado, a diminuição na resistência é menor em comparação com aquelas que incluem RDM. Misturas com madeira mostraram maior variação nas resistências, mas a inclusão de SAP melhorou a homogeneidade. A substituição de areia por RDM não comprometeu significativamente a resistência à tração. No entanto, a adição de SAP resultou em decréscimos nessas propriedades.
- A análise detalhada dos dados revela que, enquanto a adição de SAP tem um impacto relativamente menor na elasticidade, a incorporação de resíduo de madeira resulta em uma redução considerável na rigidez da argamassa.

Este estudo proporciona uma compreensão aprofundada do comportamento mecânico das argamassas com diferentes composições, contribuindo para o desenvolvimento de materiais de construção mais eficientes e sustentáveis. A aplicação rigorosa dos métodos normatizados e a análise detalhada dos resultados garantem a validade científica e a relevância prática dos achados.

Os resultados sublinham a importância de um controle rigoroso das proporções e da uniformidade das misturas para otimizar as propriedades mecânicas da argamassa. Estes achados fornecem *insights* cruciais para o desenvolvimento de materiais de construção eficazes e sustentáveis, alinhados às demandas contemporâneas por desempenho e sustentabilidade ambiental, e contribuem significativamente para o avanço do conhecimento na área de tecnologia de materiais.

6.1. Sugestões para trabalhos futuros

Para estudos posteriores sugere-se:

- Analisar o percentual de eficiência energética em relação a aplicação do SAP e RDM em edificações comerciais/residenciais, com simulações de economia no consumo de energia elétrica.
- Analisar a compensação entre a diminuição do peso próprio na redução da resistência a compressão em edificações térreas ou de N pavimentos.
- Analisar o comportamento do SAP e RDM em concretos.
- Reproduzir os traços deste trabalho com a adição do SAP e RDM saturados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Vendas de cimento crescem 11% em 2020**. Convenio ABCP-USP, 2021. Disponível em: <<https://abcp.org.br/vendas-de-cimento-crescem-11-em-2020/>>. Acesso em: 10 de março de 2024.

ABNT NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT NBR NM 248: **Agregados - determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT NBR 5739:2018. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.].

ABNT NBR 7175: **Cal hidratada para argamassas – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2003

ABNT NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**, Rio de Janeiro, 2022.

ABNT NBR 7222:2011. **Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.].

ABNT NBR 9778:2005. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]. Errata 2:2009.

ABNT NBR 9833:2009. **Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]. Errata 1:2009.

ABNT NBR 10004:2004. **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT NBR 11578:1991. **Cimento Portland composto - Especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT NBR 11768:2019. **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT NBR 13276:2016. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

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

ABNT NBR 13281-1:2023. **Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos.** Rio de Janeiro: ABNT,2023

ABNT NBR 13281-2:2023. **Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios. Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria.** Rio de Janeiro: ABNT,2023

ABNT NBR 13529:2013. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT NBR 15116:2021. **Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT NBR 15900-1:2009. **Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro. ABNT, 2009

ABNT NBR 16826:2020. **Aditivos pra argamassas inorgânicas: Definição classificação e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ALBRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Publica e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2021. Disponível em < <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2024

AL-HUBBOUBI, S. et al. **Performance of super-absorbent polymer as an internal curing agent for self-compacting concrete.** MATEC Web of Conferences, v. 162, n. 5, p. 3–7, 2018.

ALMERON, M. M. et al. **Mechanical and acoustic performance of mortar with partial replacement by biochar from civil construction wood waste at advanced ages.** Construction and Building Materials, v. 428, p. 136281, 2024.

ASTM E1876, I. **Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration.** [S.l.], p. 17. 2015.

BENABED, B. **Effect of combined use of crushed sand and Algerian desert dune sand on fresh properties and strength of self-compacting concrete.** *Epitoanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials*, v. 70, n. 5, p. 155–167, 2018.

BENTZ, B. Y. D. P.; LURA, P.; ROBERTS, J. W. **Mixture Proportioning for Internal Curing.** n. February, p. 35–40, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2002.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2010.

BOTELHO, M.H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. 4ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, p. 49-50, 2015.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. et al. **Ciências e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC p. 203, 2016.

CARVALHO, A. dos G. de. **Energia de Ativação dos Concretos: Experimentação e Modelagem**. Rio de Janeiro, 2002, Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

CHOWDHURY, S.; MISHRA, M.; SUGANYA, O. **The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview**. Ain Shams Engineering Journal, v. 6, n. 2, p. 429–437, jun. 2015.

CONAMA. Resolução n.307. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário oficial da União

ELINWA, A. U.; MAHMOOD, Y. A. **Ash from timber waste as cement replacement material**. Cement and Concrete Composites, v. 24, n. 2, p. 219–222, abr. 2002.

ESTEVES, L.P. **Superabsorbent polymers: On their interaction with water and pore fluid**. Cement and Concrete Composites, v. 33, n. 7, p. 717–724, 2011.

GARFIELD, E. **From Bibliographic Coupling to Co-Citation Analysis via Algorithmic Historio-Bibliography: A Citationist's Tribute to Belver C. Griffith**. Drexel University, p. 45, 2001.

GOMES, J. I.; SAMPAIO, S. S. **Aproveitamento de Resíduos de Madeira em Três Empresas Madeireira do Estado do Pará**. Comunicado Técnico. ISSN: 1517-2244, dez. 2004.

GRÁCIO, Maria Cláudia Cabrini. **Acoplamento bibliográfico e análise de cocitação: revisão teórico-conceitual**. Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação, v. 21, n. 47, p. 82, 2016.

GUPTA, S. et al. **Application of biochar from food and wood waste as green admixture for cement mortar**. Science of the Total Environment. Vol. 619-620, p. 419-435, 2018.

GUPTA, S. **Effect of presoaked superabsorbent polymer on strength and permeability of cement mortar**. Magazine of Concrete Research, v. 70, n. 9, p. 473–486, 2018.

GUPTA, S.; KUA, H. W.; PANG, S. D. **Combination of polypropylene fibre and superabsorbent polymer to improve physical properties of cement mortar**.

Magazine of Concrete Research, v. 70, n. 7, p. 350–364, 2018.

HACHMI, M.; MOSLEMI, A. A.; CAMPBELL, A. G. **A new technique to classify the compatibility of wood with cement.** *Wood Science and Technology*, v. 24, n. 4, out. 1990.

HANSEN, S. **Gestão socioambiental: meio ambiente na construção civil.** Florianópolis: SENAI/SC, 2008

HASHOLT, M.T. et al. **Can superabsorbent polymers mitigate autogenous shrinkage of internally cured concrete without compromising the strength?** *Construction and Building Materials*, v. 31, p. 226–230, 2012.

IGTPAN. **Instituto Granado de Tecnologia da Poliacrilonitrila.** Disponível em: <<http://www.igtpan.com/>> Acesso em: Fevereiro de 2024.

JENSEN, O. M.; HANSEN, P. F. **Water-entrained cement-based materials - I. Principles and theoretical background.** *Cement and Concrete Research*, v. 31, n. 4, p. 647–654, 2001.

JENSEN, O. M.; HANSEN, P.F. **Water-entrained cement-based materials: II. Experimental observations.** *Cement and Concrete Research*, v. 32, n. 6, p. 973–978, 2002.

JENSEN, O. M.; LURA, P. **Techniques and materials for internal water curing of concrete.** *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, v. 39, n. 9, p. 817–825, 2006.

JUSTS, J. et al. **Internal curing by superabsorbent polymers in ultra-high performance concrete.** *Cement and Concrete Research*, v. 76, p. 82–90, out. 2015.

LEE, H.X.D.; WONG, H.S.; BUENFELD, N.R. **Potential of superabsorbent polymer for self-sealing cracks in concrete.** *Advances in Applied Ceramics*, v. 109, n. 5, p. 296–302, 2010.

LURA, P. **Autogenous Deformation and internal curing of concrete.** Delft: Tese de Doutorado. Delft University of Thecnology, 2003.

LURA, P. et al. **Kinetics of water migration in cement-based systems containing superabsorbent polymers.** In: *Application of Super Absorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction: State-of-the-Art Report Prepared by Technical Committee 225-SAP.* Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Dübendorf, Switzerland: Springer Netherlands, 2012. p. 21–37.

LUZ, A. B. et al. **Manual de Agregados para a construção civil.** Centro de tecnologia mineral – CETEM, Ministério da ciência, tecnologia e inovação – MCTI. Rio de Janeiro, p. 183-192, 2012.

MANZANO, M. et al. **Actuating mechanism of Superabsorbent Polymers as internal curing agents to mitigate autogenous shrinkage in High Strength Concrete (HSC) – state of the art.** Revista Matéria / 1517-7076, v. 26, n. 02, 2021.

MECHTCHERINE, V. et al. **Effect of internal curing by using superabsorbent polymers (SAP) on autogenous shrinkage and other properties of a high-performance fine-grained concrete: Results of a RILEM round-robin test.** Materials and Structures/Materiaux et Constructions, v. 47, n. 3, p. 541–562, 2014.

MECHTCHERINE, V.; REINHARDT, H. **Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction**, State-of-the-Art Report, Springer, 2012.

MECHTCHERINE, V.; SECRIERU, E.; SCHRÖFL, C.. **Effect of superabsorbent polymers (SAPs) on rheological properties of fresh cement-based mortars — Development of yield stress and plastic viscosity over time.** Cement and Concrete Research, v. 67, p. 52–65, 2015.

MELCONIAN, S. **Mecânica técnica e resistência dos materiais.** 20. ed. São Paulo: Érica, p. 43-76, 2018.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Relatório da Global Alliance aponta o caminho para reduzir o impacto da construção civil.** UN environment programme –

PREILIPPER UEM et al. **Aproveitamento do resíduo madeireiro na produção de energia termoeétrica no município de Marcelândia-MT.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, Paraná, v.36, p.411-428, 2016. Disponível em: <doi:10.5380/dma.v36i0.39802>. Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

RAJAMMA, R. et al. **Characterisation and use of biomass fly ash in cement-based materials.** Journal of Hazardous Materials, v. 172, n. 2–3, p. 1049–1060, dez. 2009.

RIBEIRO, U. G. **Estudo de propriedades térmicas e mecânicas de compósitos cimentícios produzidos com resíduos da indústria madeireira de Porto Velho.** Revista Matéria (Rio J.), 2018. Disponível em: <doi.org/10.1590/S1517-707620180004.0575>

SANTOS, T. A. C.; **Estudo da Adição de Polímero Superabsorvente e de Nano Partículas de Sílica para Melhorar as Propriedades de Concretos de Alto Desempenho.** 145p. Dissertação, Publicação E.DM-02A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SCHRÖFL, Christof; MECHTCHERINE, V.; GORGES, M. **Relation between the molecular structure and the efficiency of superabsorbent polymers (SAP) as concrete admixture to mitigate autogenous shrinkage.** Cement and Concrete Research, v. 42, n. 6, p. 865–873, jun. 2012.

SCHROEFL, C. et al. **Relation between the molecular structure and the efficiency of superabsorbent polymers (SAP) as concrete admixture to mitigate**

autogenous shrinkage. *Cement and Concrete Research*, v. 42, n. 6, p. 865–873, jun. 2012.

SHIM, Y.; HONG, G.; CHOI, S. **Autogenous healing of early-age cementitious materials incorporating superabsorbent polymers exposed to wet/dry cycles.** *Materials*, v. 11, n. 12, 2018.

SIRICO, A. et al. **Biochar from wood waste as additive for structural concrete.** *Construction and Building Materials*, v. 303, p. 124500, out. 2021

SNOECK, D. et al. **Self-healing cementitious materials by the combination of microfibres and superabsorbent polymers.** *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, v. 25, n. 1, p. 13–24, 2014.

SNOECK, D. et al. **Visualization of water penetration in cementitious materials with superabsorbent polymers by means of neutron radiography.** *Cement and Concrete Research*, v. 42, n. 8, p. 1113–1121, 2012.

SNOECK, D.; DE BELIE, N. **Effect of sample age on the self-healing properties of cementitious materials with superabsorbent polymers.** In: 4th International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, SCMT 2016,

SNOECK, D.; JENSEN, O.M.; DE BELIE, N. **The influence of superabsorbent polymers on the autogenous shrinkage properties of cement pastes with supplementary cementitious materials.** *Cement and Concrete Research*, v. 74, p. 59–67, 2015.

SOUZA, M. H. B. et al. **Effects on the Properties of Self-Compacting Cement Paste (PAA) with the Addition of Superabsorbent Polymer.** *Materials*, v. 15, n. 23, p. 8478, 28 nov. 2022.

SOUZA, M. H. B. et al. **Influence of Superabsorbent Polymer in Self-Compacting Mortar.** *Buildings*, v. 13, n. 7, p. 1640, 28 jun. 2023.

TORKAMAN, J.; ASHORI, A.; SADR MOMTAZI, A. **Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks.** *Construction and Building Materials*, v. 50, p. 432–436, jan. 2014.

TREINTA, F. T. et al. **Bibliometric studies of research collaboration: A review.** *Journal of Information Science*, v. 6, n. 1, p. 33–38, 1983.

TREINTA, F. T. et al. **Methodology of bibliographical research using multicriteria decision-making methods.** *Producao*, v. 24, n. 3, p. 508–520, 2014.

UDOEYO, F. F. et al. **Potential of Wood Waste Ash as an Additive in Concrete.** *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 18, n. 4, p. 605–611, ago. 2006.

UDOEYO, F. F.; DASHIBIL, P. U. **Sawdust Ash as Concrete Material.** *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 14, n. 2, p. 173–176, abr. 2002.

VANTI, N. A. P. **Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento.** *Ciência da Informação*, v. 31, n. 2, p. 152–162, 20 set. 2002.

WANG, L.; CHEN, L.; TSANG, D.CW. **Biochar as green additives in cement-based composites with carbon dioxide curing.** *Journal of Cleaner Production*. Vol 258, 2020.