



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
GIOVANNA VICTÓRIA DO NASCIMENTO ARAUJO

INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DA MISTURA HÍBRIDA DE RESÍDUO DE
VIDRO E CINZA DE MADEIRA NAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

ESTÂNCIA

2021

GIOVANNA VICTÓRIA DO NASCIMENTO ARAUJO

INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DA MISTURA HÍBRIDA DE RESÍDUO DE
VIDRO E CINZA DE MADEIRA NAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância,
como pré-requisito para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof^a. Ma. Fernanda Martins
Cavalcante de Melo

ESTÂNCIA
2021

Araujo, Giovanna Victória do Nascimento.
A658i Influência da incorporação da mistura híbrida de resíduos de vidro de
cinza de maneira nas propriedades da argamassa. - Estância, 2021.
65 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2021.
Orientadora: Prof.^a Ma. Fernanda Martins Cavalcante de Melo.

1. Resíduo de vidro. 2. Cinza de madeira. 3. Mistura híbrida. 4.
Argamassa. 5. Sustentabilidade. I. Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Melo, Fernanda Martins
Cavalcante de. III. Título.

CDU: 62-4+624:628.4.043-022.316

GIOVANNA VICTÓRIA DO NASCIMENTO ARAUJO

INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DA MISTURA HÍBRIDA DE RESÍDUO DE
VIDRO E CINZA DE MADEIRA NAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância,
como pré-requisito para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

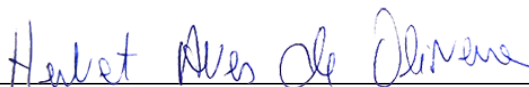
Orientador(a): Prof^a. Ma. Fernanda Martins
Cavalcante de Melo

Aprovado em: 25/05/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Ma. Fernanda Martins Cavalcante de Melo
(IFS – Campus Estância)



Prof. Dr. Herbert Alves de Oliveira
(IFS – Campus Estância)



Prof. Dr. David de Paiva Gomes Neto
(IFS – Campus Lagarto)

AGRADECIMENTOS

A Deus, que é o centro de tudo, e sempre me concede força e perseverança em todos os momentos.

Aos meus pais, Lindinalva do Nascimento Araujo e José Gilson Torres de Araujo, por todo amor, dedicação e incentivo depositados em minha jornada e em prol do meu crescimento. É tudo por vocês!

Ao meu namorado, Bismayck Dhenneson Silva Santos, por todo apoio, companheirismo e compreensão durante essa trajetória.

A minha irmã, Giulianna Maria do Nascimento Araujo, por toda torcida e energia positiva depositadas.

A minha orientadora, Prof^a. Ma. Fernanda Martins Cavalcante de Melo, por toda orientação, paciência e empenho para a realização deste trabalho. Gratidão por acreditar em mim!

Ao professor Luciano Melo, por todo auxílio e disponibilidade durante a execução dos ensaios.

Aos colegas, Emerson, Pedro, Túlio, Guilherme, Karol, Handelon, Eduardo, Rayza, Larissa e Thayslene, por toda ajuda no laboratório e na pesquisa.

Ao meu grupo Migas do Hugo, pelo incentivo e amizade durante toda a graduação.

Aos meus amigos e familiares, em especial a minha prima Érika, por sempre torcerem por mim e incentivarem os meus sonhos.

A Sergipe Vidros, pelo fornecimento do resíduo de lapidação de vidro, em particular ao técnico Bosco, por toda atenção e disponibilidade nas explicações.

A Atual Têxtil, pela doação da cinza de madeira.

Ao laboratório da POLIMIX, pela contribuição na análise química dos resíduos.

“O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou, mas sim pelas
dificuldades que superou...” Abraham Lincoln

RESUMO

A indústria da construção civil é responsável pelo consumo de grande parte de recursos disponíveis na natureza, aliado a isso, tem-se o descarte inadequado de resíduos industriais no meio ambiente. Em busca por alternativas sustentáveis para tais problemas, o estudo da adição de materiais alternativos na produção de compostos cimentícios tem sido intensificado. A argamassa, produzida a partir de uma mistura homogênea de agregado miúdo, cimento e água, é uma opção de aplicação, visto que pode conter adições minerais. Assim, o objetivo principal desta pesquisa é avaliar as propriedades da argamassa com mistura híbrida de resíduo de lapidação de vidro e cinza de madeira em substituição parcial ao cimento. Foram produzidas oito formulações, para cada mistura foram moldados nove corpos de prova, envolvendo argamassa sem incorporação de resíduos, com substituição parcial do cimento por resíduo de lapidação de vidro, em 10%, 20% e 30%; por cinza de madeira, em 10%; e pela mistura híbrida de resíduo de lapidação de vidro (10%, 20% e 30%) e cinza de madeira (10%). Os resíduos utilizados foram caracterizados quanto a massa específica, índice de finura e análise química, por meio da técnica de fluorescência de raios X. O traço utilizado foi de 1:3, com relação água-cimento fixada em 0,48. As argamassas no estado fresco, foram ensaiadas quanto ao índice de consistência e massa específica aparente, já no estado endurecido, foram realizados os ensaios de absorção de água, resistência à compressão e massa específica real. Os resultados mostraram que houve redução no índice de consistência das argamassas com resíduos. A massa específica aparente não sofreu influência significativa. Quanto à resistência à compressão, houve oscilação nos resultados desta propriedade, apresentando alguns resultados satisfatórios. Houve aumento da absorção de água nas amostras que continham cinza de madeira e redução nas que possuíam apenas o resíduo de vidro. A massa específica real não apresentou variação significativa. Conclui-se que a produção de argamassa com substituição parcial do cimento pelo resíduo de lapidação de vidro, cinza de madeira e suas misturas híbridas, é uma alternativa viável e sustentável, visto que é uma opção adequada para a destinação destes resíduos.

Palavras-chave: Resíduo de vidro. Cinza de madeira. Mistura híbrida. Argamassa. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction industry is responsible for the consumption of a large part of resources available in nature, allied to this, there is an inadequate disposal of industrial waste in the environment. In search of sustainable alternatives for such problems, the study of the addition of alternative materials in the production of cementitious compounds has been intensified. Mortar, produced from a homogeneous mixture of fine aggregate, cement and water, is an application option, since it can contain mineral additions. Thus, the main objective of this research is to evaluate the properties of the mortar with a hybrid mixture of cut glass and wood ash residue in partial replacement to cement. Eight formulations were produced, for each mixture, nine specimens were molded, involving mortar without incorporating residues, with partial replacement of cement by glass cutting residue, in 10%, 20% and 30%; by wood ash, by 10%; and by the hybrid mixture of glass cutting waste (10%, 20% and 30%) and wood ash (10%). The residues used were characterized in terms of specific mass, fineness index and chemical analysis, using the X-ray fluorescence technique. The trace used was 1: 3, with a water-cement ratio set at 0.48. Mortars in the fresh state were tested for consistency and apparent specific gravity, in the hardened state, water absorption, compressive strength and specific gravity tests were performed. The results showed that there was a reduction in the mortar consistency index with residues. The apparent specific gravity was not significantly influenced. As for the compressive strength, there was an oscillation in the results of this property, showing some satisfactory results. There was an increase in water absorption in the samples that contained wood ash and a reduction in those that had only the glass residue. The specific gravity did not change significantly. It is concluded that the production of mortar with partial replacement of the soil by waste glass, wood ash and their hybrid mixtures, is a viable and sustainable alternative, since it is an adequate option for the destination of these residues.

Keywords: Glass waste. Wood ash. Hybrid mix. Mortar. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo completo de obtenção do resíduo de lapidação de vidro soda-cal utilizado neste estudo	21
Figura 2 – Fluxograma do programa experimental da pesquisa	31
Figura 3 – RLV após secagem na estufa	34
Figura 4 – RLV após passagem na peneira de 75 μm	34
Figura 5 – CM após secagem na estufa	35
Figura 6 – CM após passagem na peneira de 75 μm	35
Figura 7 – Etapas do ensaio de índice de consistência, a) Mesa de consistência e tronco de cone; b) Argamassa antes de ser submetida aos 30 golpes; c) Medição do espalhamento da argamassa	37
Figura 8 – Determinação da massa do recipiente com a argamassa	38
Figura 9 – Etapas de produção dos corpos de prova. a) Moldagem dos corpos de prova; b) Secagem dos corpos de prova; c) Cura úmida em tanque	39
Figura 10 – Ensaio de resistência à compressão. a) Prensa hidráulica; b) Corpo de prova após rompimento	39
Figura 11 – Ensaio de absorção de água. a) Corpos de prova na estufa; b) Corpos de prova imersos em água; c) Corpos de prova no banho termostático	40
Figura 12 – Curva granulométrica do agregado miúdo	45
Figura 13 – Resultados dos índices de consistência das argamassas	48
Figura 14 – Resultados das massas específicas das argamassas	50
Figura 15 – Resultados da resistência à compressão das argamassas aos 28 dias	51
Figura 16 – Resultados da absorção de água das argamassas	53
Figura 17 – Resultados da massa específica real das argamassas	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos, finalidades e indicações de utilização das argamassas	24
Quadro 2 – Propriedades físicas e químicas do cimento Portland	32
Quadro 3 – Propriedades físicas do agregado miúdo	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química do resíduo de vidro	21
Tabela 2 – Composição química da cinza de madeira	22
Tabela 3 – Resultados experimentais de resistência à compressão das argamassas com resíduo de vidro	29
Tabela 4 – Percentuais dos materiais componentes da mistura	36
Tabela 5 – Materiais componentes das argamassas	36
Tabela 6 – Resultados dos ensaios de caracterização do cimento Portland	43
Tabela 7 – Composição química do CP V-ARI fornecida pelo fabricante	44
Tabela 8 – Resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo	44
Tabela 9 – Análise química do resíduo de lapidação de vidro	46
Tabela 10 – Resultados da literatura para massa específica do resíduo de vidro	46
Tabela 11 – Análise química da cinza de madeira	47

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAVIDRO – Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos

ANOVA – Análise de variância

a/c – Água/cimento

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CH – Hidrocarboneto

CM – Cinza de madeira

CO₂ – Dióxido de carbono

CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial

FRX – Fluorescência de raios X

g – Grama

IFS – Instituto Federal de Sergipe

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

m³ – Metro cúbico

mm – Milímetro

NBR – Norma Brasileira

PAST - *Paleontological Statistics*

pH – Potencial hidrogeniônico

RAA – Reação álcali-agregado

RLV – Resíduo de lapidação de vidro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
2.2	RESÍDUO DE VIDRO	19
2.2.1	Resíduo de lapidação de vidro	20
2.3	CINZA DE MADEIRA	22
2.4	ARGAMASSA	23
2.4.1	Tipos de argamassa	23
2.4.2	Propriedades das argamassas com resíduo de vidro e/ou cinza de madeira	25
2.4.2.1	<i>Índice de Consistência</i>	25
2.4.2.2	<i>Retração</i>	26
2.4.2.3	<i>Absorção de água</i>	27
2.4.2.4	<i>Resistência à compressão</i>	28
2.4.2.5	<i>Durabilidade</i>	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	MATERIAIS	32
3.1.1	Cimento Portland	32
3.1.2	Agregado miúdo	32
3.1.3	Água	33
3.1.4	Resíduo de lapidação de vidro	33
3.1.5	Cinza de madeira	34
3.2	MÉTODOS	35
3.2.1	Procedimento de dosagem e preparo das argamassas	35
3.2.2	Ensaio para caracterização das argamassas no estado fresco	37
3.2.2.1	<i>Índice de consistência</i>	37
3.2.2.2	<i>Massa específica aparente</i>	37

3.2.3	Ensaio para caracterização das argamassas no estado endurecido	38
3.2.3.1	<i>Resistência à compressão</i>	39
3.2.3.2	<i>Absorção de água</i>	40
3.2.3.3	<i>Massa específica real</i>	41
3.2.4	Tratamento e análise dos dados	41
3.2.5	Metodologia da análise comparativa	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	43
4.1.1	Cimento Portland	43
4.1.2	Agregado miúdo	44
4.1.3	Resíduo de lapidação de vidro	45
4.1.4	Cinza de madeira	47
4.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS	48
4.2.1	Ensaio no estado fresco	48
4.2.1.1	<i>Índice de consistência</i>	48
4.2.1.2	<i>Massa Específica Aparente</i>	50
4.2.2	Ensaio no estado endurecido	51
4.2.2.1	<i>Resistência à compressão</i>	51
4.2.2.2	<i>Absorção de água</i>	53
4.2.2.3	<i>Massa específica real</i>	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
5.1	CONCLUSÕES	56
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil possui uma importância considerável para a civilização humana, já que é atuante direto na transformação do ambiente. Porém, o segmento é responsável pelo consumo de grande parte de recursos naturais e energéticos, bem como, pela geração de muitos resíduos, o que o torna alvo de preocupação (GARÉ, 2011).

O custo dos materiais de construção vem aumentando constantemente, devido ao crescimento da demanda, escassez de matérias-primas e alto preço da energia utilizada para a fabricação dos mesmos (SAFIUDDIN, et al., 2010). A produção do cimento Portland, por exemplo, é responsável por consumir uma elevada quantidade de energia e lançar uma parcela significativa de gases altamente poluentes, que contribuem diretamente com o efeito estufa. Estima-se que para cada tonelada de cimento produzido, uma tonelada de dióxido de carbono (CO_2) é emitida na atmosfera (NAIK; MORICONI, 2005).

Com o intuito de auxiliar na preservação dos recursos naturais, economia de energia e destinação apropriada dos resíduos gerados em processos industriais, o estudo da utilização de subprodutos pozolânicos e cimentícios, como adições minerais, tem sido intensificado. Muitas pesquisas apontam resultados satisfatórios nas propriedades de trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade de matrizes cimentícias, decorrentes da aplicação dessas adições na forma de aglomerantes, pozolanas ou agregados (MEHTA; MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 2016).

Então, entre os segmentos da construção civil em que existem possibilidades de viabilizar tais processos, que condizem na incorporação de resíduos, destaca-se a produção de argamassas, visto que a mesma possui o cimento, como principal aglomerante em sua composição (OLIVEIRA, 2018).

Santos (2016) afirma que nem todos os resíduos gerados em processos industriais podem ser reciclados de forma convencional, um exemplo disso é a fabricação de artefatos de vidro, que no estágio de lapidação obtém-se um resíduo sólido composto basicamente de vidro em pó. A reutilização desse resíduo é uma preocupação das indústrias vidreiras, que visam reduzir o acúmulo e estocagem incorreta desse material.

Rodier e Savastano Jr. (2018) avaliaram o potencial de aproveitamento do resíduo de pó de vidro do processo de polimento de vidros planos, em substituição parcial, de 10%, 20% e 50%, da massa do cimento em argamassas. Os resultados mostraram que a incorporação de até 20% do resíduo produziu matrizes com melhores resistências, aos 28 dias, em comparação com a amostra de controle (usando apenas o cimento Portland comum). Também, observou-se um aumento da resistência ao fogo, proporcionando uma melhoria da durabilidade das argamassas. Ainda, verificou-se que a amostra contendo 10% de substituição apresentou o menor valor de absorção de água. Por fim, análises termogravimétricas comprovaram a atividade pozolânica do resíduo de pó de vidro, viabilizando a possibilidade do seu uso em compósitos cimentícios.

Outro material que também é considerado resíduo industrial, além de ser produzido em grande escala e descartado inadequadamente na mesma proporção, é a cinza de madeira. Ramos, Matos e Sousa-Coutinho (2013) constataram nas suas pesquisas que a cinza proveniente do processo de queima da madeira, nas caldeiras de grandes fábricas, pode ser considerada promissora para uso como material pozolânico de substituição parcial para o cimento, já que não apresenta grande perda de resistência e proporciona uma maior durabilidade, contribuindo assim para a construção sustentável.

Desta forma, a incorporação de resíduos gerados em diversos setores industriais, na produção de novos materiais da construção civil, pode conceder benefícios sustentáveis e econômicos, devido à diminuição da utilização de recursos naturais, redução do consumo energético e do descarte inapropriado desses resíduos.

Tendo em vista a busca por desenvolvimento de materiais de construção sustentáveis, o presente trabalho pretende avaliar as propriedades da argamassa com mistura híbrida de resíduos de lapidação de vidro e cinza de madeira, como substitutos parciais do cimento Portland, visto que é uma temática pouco evidente na literatura. Todas as matérias-primas foram caracterizadas, seguindo as recomendações normativas. As argamassas foram ensaiadas no estado fresco, através do ensaio de índice de consistência e massa específica aparente, e no estado endurecido, a partir dos ensaios de determinação da resistência à compressão, absorção de água e massa específica real.

1.1 JUSTIFICATIVA

Embora existam muitos trabalhos na literatura abordando a produção de argamassa com incorporação de resíduo de vidro moído (garrafas, frascos, placas, etc.), a utilização do resíduo de vidro proveniente do processo de lapidação é escassa, bem como a sua mistura híbrida com cinza de madeira.

Estudos constataram que as amostras de argamassa contendo a mistura híbrida de resíduo de lapidação de vidro e cinzas volantes, apresentam uma considerável redução da expansão devido a reação álcali-agregado (RAA), fenômeno causado pela presença da sílica na maior parte da composição do vidro; além de beneficiar diretamente em outras propriedades, como durabilidade e resistência à compressão (KIM; YI; ZI, 2015). A adição de cinza de madeira, também, tem se apresentado como uma alternativa na redução da expansão devido a RAA em argamassa (RAMOS; MATOS; SOUSA-COUTINHO, 2013).

Desta forma, torna-se viável o estudo da mistura híbrida do resíduo de lapidação de vidro com a cinza de madeira, a fim de verificar a influência da mesma nas propriedades da argamassa. Além disso, a utilização da mistura híbrida destes materiais em substituição parcial ao cimento, na produção de argamassas, proporcionará alguns benefícios ambientais e financeiros, no que diz respeito a uma destinação mais sustentável dos resíduos industriais, que são frequentemente depositados em aterros sanitários; a eliminação dos custos com esses descartes; a diminuição da extração de grandes quantidades de matérias-primas e redução da emissão de gases poluentes gerados na produção do clínquer.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo geral avaliar a influência da utilização de resíduo de vidro, cinza de madeira e suas misturas híbridas, em substituição parcial do cimento Portland na produção de argamassa.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Explorar o estado da arte acerca da incorporação de resíduo de lapidação de vidro, cinza de madeira e suas misturas híbridas;
- Conhecer e determinar as propriedades dos materiais componentes da argamassa, bem como sua influência nas propriedades do material produzido;
- Desenvolver formulações para produção de argamassas com incorporação de resíduo de lapidação de vidro, cinza de madeira e suas misturas híbridas;
- Analisar a influência da incorporação do resíduo de lapidação de vidro, cinza de madeira e suas misturas híbridas no índice de consistência, massa específica aparente, resistência à compressão, absorção de água e massa específica real das argamassas produzidas;
- Comparar e analisar os dados experimentais obtidos nessa pesquisa, com valores disponíveis na literatura para sistemas semelhantes;
- Incentivar o uso de materiais sustentáveis na construção civil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo será apresentada uma contextualização baseada nas revisões de outros trabalhos científicos relacionados ao tema estudado. Desta forma, foi possível obter embasamento e análise para comparação dos resultados que foram encontrados neste estudo.

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A Construção Civil é uma atividade contribuinte para o desenvolvimento progressivo do país, visto que é beneficiadora, não somente do setor econômico, mas também do âmbito social. Através da geração de mão de obra, comércio de materiais e locação de equipamentos, este setor movimenta direta ou indiretamente a esfera socioeconômica na realização das suas atividades (LARUCCIA, 2014).

Em contrapartida, a cadeia produtiva da construção civil contribui com os impactos ambientais, visto que utiliza mais da metade dos recursos naturais extraídos do planeta na produção e manutenção dos espaços construídos. Além disso, o setor é responsável pela geração de uma parcela significativa de resíduos que são descartados de forma irregular, segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014). A busca científica e tecnológica por soluções apropriadas para a disposição final desses resíduos tem sido intensificada, tendo em vista o agravamento dos problemas ambientais gerados pelo descarte inadequado (SOUSA NETO, 2014).

Baseado na preocupação por melhorias neste segmento, Machado (2018) aponta que a agregação de mecanismos sustentáveis na construção civil é uma tendência em crescimento no mercado. Sua aplicação é um processo ascendente, pois diversos agentes impulsionadores, especificamente governos, consumidores, investidores e associações, advertem o setor da construção a adotar soluções ecologicamente corretas em suas execuções, a fim de reduzir os impactos ambientais.

Em vista disso, Cordeiro (2006) reforça que boa parte das adições minerais obtidas a partir de resíduos industriais podem ser utilizadas conjuntamente com cimento Portland na produção de argamassas. Em algumas situações, pode reduzir custos de produção, uma vez que uma parcela

do clínquer será substituída por materiais mais baratos, oriundos de processos industriais. Além de beneficiar economicamente, o aproveitamento destes elementos alternativos pode agir diretamente na redução dos impactos causados ao meio ambiente, já que minimizará a extração das jazidas de argila e calcário e diminuirá a emissão de CO₂ e outros gases impulsionadores do efeito estufa, gerados durante a fabricação do cimento Portland.

2.2 RESÍDUO DE VIDRO

Segundo o Panorama da Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos (ABRAVIDRO, 2020), o Brasil produziu cerca de 7.530 toneladas de vidro por dia em 2019, o que representa um faturamento de R\$ 4,5 milhões ao ano. Em consequência ao volume elevado, todos os produtos compostos por vidro correspondem a 3% dos resíduos sólidos gerados no país. De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, s.d.), neste cenário, menos da metade do volume total produzido é destinado à reciclagem, onde o principal mercado são as próprias indústrias vidreiras, que reutilizam principalmente embalagens usadas para novas fabricações.

Estima-se que existem cerca de 500 empresas de fabricação de vidros no Brasil (ABRAVIDRO, 2016), gerando uma média de 48.000 toneladas de resíduos de pó de vidro por ano. Tais resíduos são gerados durante diversos processos industriais como polimento, corte ou perfuração na fabricação de materiais em vidro como tampos de mesa, espelhos, portas, janelas e produção de peças artísticas e decorativas (RODIER; SAVASTANO JR, 2018).

O vidro é uma substância fisicamente homogênea e com estrutura atômica não definida, provinda do processo de resfriamento de uma massa inorgânica em fusão ou no aquecimento de óxidos e seus derivados em temperaturas elevadas. O seu principal constituinte é a sílica (óxido de silício), que, através do resfriamento atinge a condição de rigidez sem cristalização, por meio de um aumento contínuo na viscosidade (SICHERI; CARAM; SANTOS, 2007). Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (ABIVIDRO, 2009), os vidros apresentam diferentes composições químicas, o vidro soda-cal é o de maior utilização na construção civil.

De acordo com Ribeiro (2015), ainda que o vidro seja um material reciclável e de simples reincorporação para a produção de novos artefatos vítreos, é de suma importância impulsionar o estudo da inclusão do resíduo de vidro em matrizes cimentícias, visto que, com a valorização deste material será possível reduzir o consumo de cimento Portland e melhorar algumas propriedades das composições produzidas.

2.2.1 Resíduo de lapidação de vidro

O resíduo de lapidação de vidro (RLV) é um subproduto de indústrias vidreiras, onde os produtos produzidos com o vidro, foram cortados e lapidados. Ao contrário de variados artefatos de vidro que são facilmente reutilizados, a maior parte do RLV é descartada em aterros após a desidratação, e essa prática proporciona graves problemas ambientais (KIM; YI; ZI, 2015).

Antônio (2011) exemplifica todas as etapas do processo produtivo do resíduo de lapidação de vidro a seguir:

Para a produção das peças laminadas ou temperadas, as chapas de vidro são recortadas nos formatos e dimensões requeridos e em seguida, passam por um processo de lapidação, na presença de água, que atua diretamente na temperatura da superfície, mantendo-a fria, funcionando como um polimento das arestas cortantes.

A água contendo os fragmentos de vidro desgastados, gerados no processo de lapidação, é transportada por indução canalizada até um tanque e, posteriormente, bombeada para uma estação de tratamento. Esta etapa do processo ocorre no silo de decantação, onde são adicionados produtos químicos que apresentam ação floculante, o que contribui para a separação entre os fragmentos e a água. Após o processo de decantação, a água, que já não contém nenhum fragmento, é bombeada de volta para ser reutilizada no processo de lapidação das chapas de vidro.

O resíduo composto pelos fragmentos que permanece no fundo do silo de decantação é transferido para um agitador, onde é constantemente misturado para que não endureça. Este

material, levemente úmido, é bombeado até o filtro prensa, onde é prensado para que a maior quantidade possível de água seja removida, gerando assim o produto final.

O método descrito é ilustrado através do fluxograma simplificado na Figura 1.

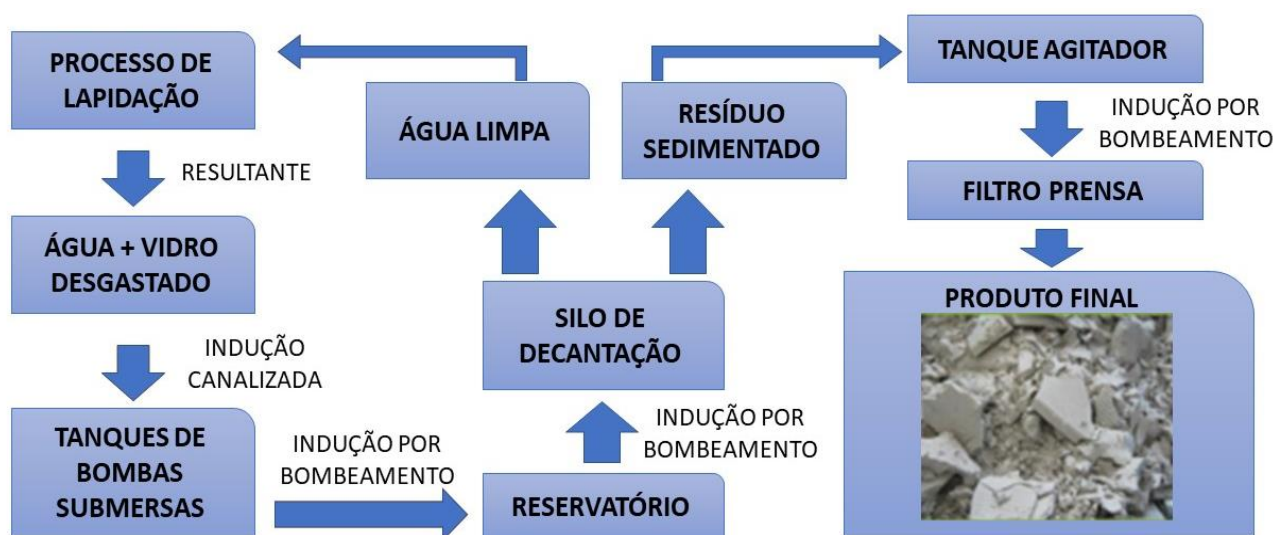


Figura 1 - Fluxograma do processo completo de obtenção do resíduo de lapidação de vidro soda-cal utilizado neste estudo (Adaptado de Antônio, 2011).

No que diz respeito à composição química do resíduo de vidro, pesquisadores analisaram quimicamente o material (Tabela 1), a fim de conhecer os componentes deste. Através da análise, é possível perceber o alto teor de sílica (SiO_2) presente no resíduo, devido a este fato, o mesmo apresenta propriedades pozolânicas, que podem ser benéficas para o uso com o cimento Portland, viabilizando a sua utilização na fabricação de argamassas (AFSHINNIA; RANGARAJU, 2015).

Tabela 1 – Composição química do resíduo de vidro.

Autores	Composição química (%)								
	SiO_2	CaO	Na_2O	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	K_2O	Cl
Kim; Yi; Zi (2015)	68,2	9,9	7,62	2,94	10,1	0,242	0,367	0,229	-
Matos; Sousa-Coutinho (2012)	70	8,7	16	3,7	1,2	0,65	<0,05	0,35	<0,005
Parghi; Alam (2016)	71	8,5	9,8	0,38	8,0	0,9	-	0,37	-

Fonte: Próprio autor (2021).

2.3 CINZA DE MADEIRA

O Brasil é o maior cultivador mundial de árvores plantadas para fins de processamento industrial, alcançando 7,84 milhões de hectares, por conseguinte, torna-se um evidente gerador de resíduos, desde o processo de extração até a queima da madeira em caldeiras, chegando a atingir a marca de produção de cerca de 47,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano (LOUZADA JUNIOR, et al., 2017).

A cinza oriunda do processo de queima da madeira é um material residual e muito variável em qualidade, retirado das caldeiras industriais de força, alimentadas em base de biomassa energética (madeira e/ou casca de árvores). Pode ter cor preta intensa (devido altos teores de carbono não queimado) ou ter coloração cinza clara (FOELKEL, 2011).

Grande parte da cinza de madeira (CM) produzida em usinas térmicas é descartada em aterros sanitários, sem qualquer tipo de controle, o que gera um grave problema ambiental. É fundamental um gerenciamento eficaz e aterros apropriados para o descarte da cinza, visando evitar a contaminação do ar e, consequentemente, problemas respiratórios nas pessoas que residem próximo ao local de descarte (RAMOS; MATOS; SOUSA-COUTINHO, 2013). Em vista disso, o estudo da incorporação da cinza de madeira na produção de compostos cimentícios, como a argamassa, tem sido evidenciado.

Quanto à composição química da cinza, a Tabela 2 dispõe os resultados encontrados por outros autores. Salienta-se que, apesar das composições serem relativamente distintas entre si, o óxido de cálcio (CaO) apresenta-se como o composto mais abundante em todas elas.

Tabela 2 - Composição química da cinza de madeira.

Autores	Composição química (%)										
	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	MgO	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
Ribeiro (2017)	40,77	9,55	4,38	6,63	7,35	1,68	0,83	10,79	-	0,72	-
Ban e Ramli (2011)	57,74	10,04	1,12	3,10	9,29	3,47	0,12	10,91	1,86	-	2,35
Resende (2013)	27,40	6,38	10,90	22,60	4,29	-	2,41	6,15	0,28	0,41	2,75

Fonte: O autor (2021).

As cinzas provenientes do aproveitamento da madeira, têm essencialmente em sua composição os compostos exibidos na Tabela 2. Fatores como: espécie da planta, a parte da planta a ser queimada (casca, madeira, folhas), a combinação com outras fontes de combustível, as condições de combustão, de colheita e de armazenamento, influenciam diretamente na composição química do material (HORTA, et al., 2010).

Por se tratar de um material fino e reativo, a depender da sua composição química, a cinza pode apresentar atividade pozolânica, o que contribui com o aumento da resistência à compressão, durabilidade e redução da expansão devido a RAA das argamassas. Além de proporcionar melhorias nas propriedades, a utilização da cinza de madeira como adição mineral também acarretará na redução do consumo de clínquer na produção de cimento Portland, visto que pode substituir parcialmente o material na mistura da argamassa, resultando numa menor emissão de CO₂ na atmosfera, podendo ser caracterizada como alternativa para o desenvolvimento de materiais de construção sustentáveis (RESENDE, 2013).

2.4 ARGAMASSA

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 13281:2005, a argamassa é definida como uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante inorgânico e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

2.4.1 Tipos de argamassa

A ABNT NBR 13281:2005 classifica os variados tipos de argamassa conforme a sua finalidade e indicação, de acordo com o Quadro 1:

Tipo de Argamassa	Finalidade	Indicação
Argamassa para assentamento	Assentamento em alvenaria de vedação	Indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação.
	Assentamento em alvenaria de estrutural	Indicada para a ligação de componente de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural.
	Complementação da alvenaria (encunhamento)	Indicada para fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes.
Argamassa para revestimento de paredes e tetos	Revestimento interno	Indicada para revestimento de ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
	Revestimento externo	Indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
Argamassa de uso geral	-	Indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos.
Argamassa para reboco	-	Indicada para cobrimento de emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento; também denominada massa fina.
Argamassa decorativa em camada fina	-	Argamassa de acabamento indicada para revestimento com fins decorativos, em camada fina.
Argamassa decorativa em monocamada	-	Argamassa de acabamento indicada para revestimentos de fachadas, muros e outros elementos de edificações em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com fins decorativos.

Quadro 1- Tipos, finalidades e indicações de utilização das argamassas (ABNT NBR 13281:2005).

Recena (2012) considera a argamassa como um elemento de um sistema e não somente como um material, levando em conta sua interação com o substrato e o ambiente a que é destinada. O autor, ainda afirma, que é possível admitir funções primordiais para as argamassas como: garantir bom acabamento ao paramento revestido; absorver as deformações naturais a que uma estrutura está sujeita; regularizar e/ou proteger mecanicamente substratos constituídos por

isolamento termoacústico; unir solidariamente entre si os elementos que compõem uma alvenaria; garantir a adesão ao substrato de elementos de revestimento em pisos ou fachadas, distribuir de forma uniforme os esforços atuantes em uma alvenaria e garantir a impermeabilidade das alvenarias de elementos à vista (sem revestimento).

2.4.2 Propriedades das argamassas com resíduo de vidro e/ou cinza de madeira

Neste tópico são apontadas e definidas as propriedades essenciais das argamassas, bem como os resultados encontrados por outros autores, referentes ao comportamento das mesmas quando adicionados resíduos de vidro e/ou cinza de madeira às suas composições.

Foram priorizados os trabalhos que utilizaram o cimento como material a ser substituído pelos resíduos, entretanto, devido à escassez desses estudos na literatura, algumas pesquisas que empregaram os mesmos resíduos como substituto parcial do agregado miúdo, também, serão contempladas, para fins de comparação.

2.4.2.1 *Índice de Consistência*

Segundo Carasek (2010) a consistência é uma propriedade relacionada com a trabalhabilidade da argamassa, e pode ser definida como a maior ou menor facilidade de a argamassa deformar-se sob ação de cargas.

Wang (2011) investigou a influência do resíduo de vidro na consistência da argamassa. A partir da análise de amostras com percentuais de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de resíduo em substituição parcial do cimento, constatou-se que o índice de consistência da pasta diminuiu em relação à amostra de referência. Essa redução foi atribuída à baixa absorção de água pela partícula de vidro, devido à impermeabilidade da sua superfície. Solanki, Bierma e Jin (2020) explicam que a forma angular das partículas de resíduo de vidro também contribui com a redução da consistência.

Lu, et al. (2017) realizaram o estudo da influência do resíduo de vidro na consistência das argamassas. As amostras continham os percentuais de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de resíduo de vidro, em substituição do agregado miúdo. O aumento do nível de substituição de resíduo

pelo agregado miúdo melhorou a consistência da argamassa. Eles atribuíram essa melhora à superfície lisa inerente e à absorção insignificante de água do vidro. Outra razão pode ser devido ao tamanho maior da partícula de resíduo de vidro, em comparação com o agregado miúdo. Portanto, em termos de trabalhabilidade, a utilização de resíduos de vidro em materiais cimentícios é viável, visto que reduz a preocupação de reduzir a consistência e homogeneidade.

Fusade, et al. (2019) analisaram o índice de consistência nas argamassas por meio de amostras contendo percentuais de 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 70% e 100% de cinza de madeira como substituto parcial dos agregados. Foi registrado que quanto maior o teor de cinza de madeira na mistura, menor é a consistência da argamassa, ou seja, a cinza de madeira absorve água adicionada à mistura.

França, et al. (2016) avaliaram a utilização da cinza de eucalipto em substituição parcial ao cimento Portland na produção de argamassas. Foram confeccionadas amostras contendo 0%, 10%, 20% e 30% de substituição, através dos resultados obtidos, o espalhamento das argamassas ficaram compreendidos no intervalo de consistência 347 ± 12 mm, para argamassa com relação água/cimento (a/c) de 0,194, e no de 328 ± 12 mm, para as argamassas com relação a/c igual a 0,183. Concluiu-se que devido ao fato de as cinzas apresentarem área superficial específica maior que o cimento e, conseqüentemente, demandar maior quantidade de água para o molhamento, apresentam menor trabalhabilidade inicial, o que é observado por meio de ensaios na mesa de consistência (*flow table*).

2.4.2.2 Retração

A retração é consequência de um fenômeno complexo que ocorre no momento de secagem da argamassa, associado com a variação volumétrica da pasta aglomerante devido à evaporação da água de amassamento e às reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes presentes na mistura, o que pode causar o surgimento de fissuras (CARASEK, 2010).

Liu, Florea e Brouwers (2019) avaliaram o efeito do resíduo de vidro na retração das argamassas. Foram produzidas amostras com os percentuais de 0%, 10%, 30% e 60% de resíduo de vidro como substituto parcial do cimento, as argamassas foram analisadas aos 28, 56 e 90 dias. Notou-se que conforme o percentual de resíduo e o tempo de cura aumentavam, a retração

também aumentava, porém, as amostras contendo 10% de resíduo apresentaram resultados inferiores aos de referência. Devido à grande quantidade de resíduo de vidro reciclado aplicada na argamassa, o baixo teor de cimento resulta em um menor teor de água na mistura, o que significa que existe mais água evaporável; em contrapartida, a redução do cimento não pode produzir hidróxido de cálcio suficiente para a reação pozolânica do pó de vidro. Logo, a perda de água das amostras contendo alta dosagem de resíduo de vidro reciclado em condição de ar seco também contribui para a alta retração total de secagem.

Lu, et al. (2017) realizaram o estudo da influência do resíduo de vidro na retração das argamassas. As amostras continham os percentuais de 0% e 20% de resíduo de vidro e foram analisadas aos 1, 3, 7, 14, 28, 60 e 90 dias de cura. Observou-se que conforme a idade das amostras aumentava, a retração também crescia, porém, todos os resultados se mostraram inferiores aos da amostra de controle.

Fusade, et al. (2019) analisaram a retração nas argamassas por meio de amostras contendo percentuais de 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 70% e 100% de cinza de madeira como substituto parcial dos agregados, aos 28 dias de cura. Notou-se aumento na retração das argamassas à medida que o percentual de substituição da cinza de madeira aumentava. Esse aumento foi justificado pelo fato da cinza de madeira, como material higroscópico, absorver água à medida que é adicionada, embora as argamassas tenham uma relação a/c mais alta, o encolhimento é minimizado, ficando principalmente abaixo de 1%. A retração é geralmente influenciada pela quantidade de água adicionada em uma mistura, o teor de cimento e o tamanho dos agregados.

2.4.2.3 *Absorção de água*

A absorção de água tem grande influência nas demais propriedades dos materiais e está relacionada com a quantidade de poros existentes no material, que promove um aumento ou diminuição da absorção na mistura (BAUER, 2014).

Khan e Sarker (2020) analisaram a absorção de água nas argamassas por meio de amostras contendo percentuais de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de resíduo de vidro como substituto parcial dos agregados, aos 28 dias de cura. Já Dębska, Lichołai e Silva (2020) substituíram o agregado por porcentagens de 0%, 14,64%, 50%, 85,36% e 100% de resíduo de vidro, aos 7

dias de cura. Através dos ensaios, concluiu-se que quando os resíduos de vidro passam a ocupar maior parte dos agregados, o seu formato pontiagudo contribui para um maior surgimento de poros, fazendo com que a absorção da água aumente.

Fusade, et al. (2019) incorporaram cinza de madeira, proveniente de caldeira de biomassa, como substituto parcial do agregado miúdo na produção de argamassa. Através da análise de amostras contendo percentuais de 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 70% e 100% de substituição, foi avaliada a absorção de água. Os resultados mostraram que as argamassas com cinza de madeira têm uma capacidade de absorção de água maior do que a mistura de referência. Isso se deve às propriedades higroscópicas da cinza de madeira. Além disso, os resultados demonstram que a cinza de madeira, exige mais água, aumentando assim a relação a/c e o teor de umidade inicial, que tem um impacto direto na porosidade das argamassas. Silva, et al. (2015) complementa que esse fato pode estar associado à maior rugosidade da CM.

2.4.2.4 Resistência à compressão

A resistência à compressão é a propriedade das argamassas suportarem as ações mecânicas de diferentes naturezas, devidas à abrasão superficial, ao impacto e à contração termo higroscópica. Depende do consumo e natureza dos agregados e aglomerantes da mistura empregada, bem como dos métodos de produção. A resistência aumenta com a redução da proporção de agregado na argamassa e varia inversamente com a relação a/c (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998).

Diversos autores estudaram a influência do resíduo de vidro na resistência à compressão das argamassas, o resumo destes resultados será abordado na Tabela 3, onde para cada percentual de substituição do resíduo, tem-se um respectivo valor da resistência à compressão.

Tabela 3 – Resultados experimentais de resistência à compressão das argamassas com resíduo de vidro.

Referências	Percentual de substituição (%)	Resistência à compressão (MPa)
Wang (2011)	0%; 10%; 20%; 30%; 40%; 50%	50; 49; 45; 35; 30; 29
Kim; Yi; Zi (2015)	0%; 5%; 10%; 20%	41; 43; 41,5; 42
Liu; Florea; Brouwers (2019)	0%; 10%; 30%; 60%	53; 49; 48; 37
Nahi, et al. (2020)	0%; 10%; 25%; 35%; 60%	54,5; 48,6; 42,4; 41,8; 28,6
Rosso e Melo (2020)	0%; 20%; 30%; 40%; 46,2%;	47; 44,6; 42,8; 38,2; 35,1; 30,7

Fonte: O autor (2021).

Com base em pesquisas existentes na literatura, constata-se que existe redução nos valores da resistência quando há maior quantidade de resíduos de vidro na formulação. A diferença da taxa de desenvolvimento da resistência à compressão está associada à finura, formato e superfície da partícula de resíduo de vidro, o que causa uma redução na ligação entre os resíduos e a matriz cimentícia, além de proporcionar um aumento no surgimento de poros (KHAN; SARKER, 2020; KIM; YI; ZI, 2015; GOROSPE; BOOYA; GHAEDNIA, 2019).

Ramos, Matos e Sousa-Coutinho (2013) estudaram a influência da cinza de madeira, oriunda das caldeiras de uma indústria de processamento de madeira, na resistência à compressão das argamassas, através da análise de amostras contendo 0%, 10% e 20% da cinza em substituição parcial ao cimento. Os testes foram realizados em 7, 28 e 90 dias e apresentaram resultados semelhantes para as argamassas que possuíam substituição em comparação à de referência, justificados devido à reação pozolânica, oriunda do alto teor de sílica na cinza de madeira.

Fusade, et al. (2019) incorporaram cinza de madeira como substituto parcial do agregado miúdo na produção de argamassa. Por meio da análise de amostras contendo percentuais de 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 70% e 100% de substituição, foi avaliada a resistência à compressão aos 90 dias de idade. Constatou-se que a cinza de madeira é um material que proporciona melhorias à propriedade analisada, sendo a amostra com percentual de 40% de substituição a que apresentou maior valor. O aumento de resistência observado pode sugerir atividade pozolânica, já que esse tipo de material tem a capacidade de alterar as propriedades da argamassa, como diminuir o tempo de pega e aumentar a resistência e durabilidade.

2.4.2.5 Durabilidade

De acordo com Recena (2012), a durabilidade é definida como a capacidade da argamassa manter sua estabilidade química e física perante à exposição de ações externas ao longo do tempo.

Matos e Sousa-Coutinho (2012), em sua pesquisa, avaliaram o efeito do resíduo de vidro na durabilidade das argamassas, por meio do ataque externo a sulfatos. Foram confeccionados corpos de prova contendo percentuais de 0% e 10% de resíduo de vidro em substituição parcial do cimento, que passaram por leituras ao longo de 26 semanas. Com base nas leituras realizadas, observou-se que a amostra contendo 10% de resíduo de vidro apresentou uma resistência significativa ao ataque por sulfatos, em relação à amostra de referência.

Fusade, et al. (2019) realizaram o estudo da influência da cinza de madeira (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 70% e 100%) na durabilidade das argamassas, por meio de 32 ciclos de congelamento e descongelamento. Durante os testes, percebeu-se a degradação da superfície e as rachaduras formadas em amostras selecionadas, todavia, as argamassas contendo a cinza de madeira apresentaram uma maior resistência a tais ciclos severos. As argamassas ainda demonstraram uma capacidade de absorver água mais lentamente e liberá-la mais rapidamente, em comparação com a de referência, com permeabilidades gerais ao vapor de água mais altas. As amostras contendo entre 10% e 40% de cinza, apresentaram os melhores resultados.

Ramos, Matos e Sousa-Coutinho (2013) estudaram a influência da cinza de madeira na durabilidade das argamassas, por meio da análise de amostras contendo 0%, 10% e 20% da cinza em substituição parcial do cimento. A durabilidade foi avaliada através de dois parâmetros, carbonatação e expansão devido a RAS. Os testes de carbonatação foram realizados aos 28 dias de idade, e verificou-se que a mesma aumentou com o crescimento do teor de cinza de madeira, o que é coerente com a tendência observada na argamassa para diversos materiais pozolânicos e, provavelmente, devido à redução de hidrocarbonetos (CH) e consequente redução do potencial hidrogeniônico (pH). Já nos ensaios referentes a expansão devido a RAS, aos 26 dias de idade, concluiu-se que a cinza de madeira foi eficaz na redução da expansão devido a RAS, conforme o percentual de substituição aumentava a expansão diminuía. A amostra contendo 20% de substituição do cimento por cinza de madeira, apresentou os melhores resultados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão apresentados os materiais e métodos utilizados nesta pesquisa, tendo como variável a ser analisada o percentual de substituição parcial do cimento pelo resíduo de lapidação de vidro, cinza de madeira e suas misturas híbridas. Diversas formulações foram testadas visando encontrar o maior percentual de substituição, sem perdas significativas das propriedades físicas e mecânicas da argamassa.

O programa experimental é esquematizado na Figura 2. Os ensaios para caracterização dos materiais utilizados nas misturas, bem como das argamassas produzidas, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Sergipe (IFS) - Campus Estância e no Laboratório da empresa POLIMIX.

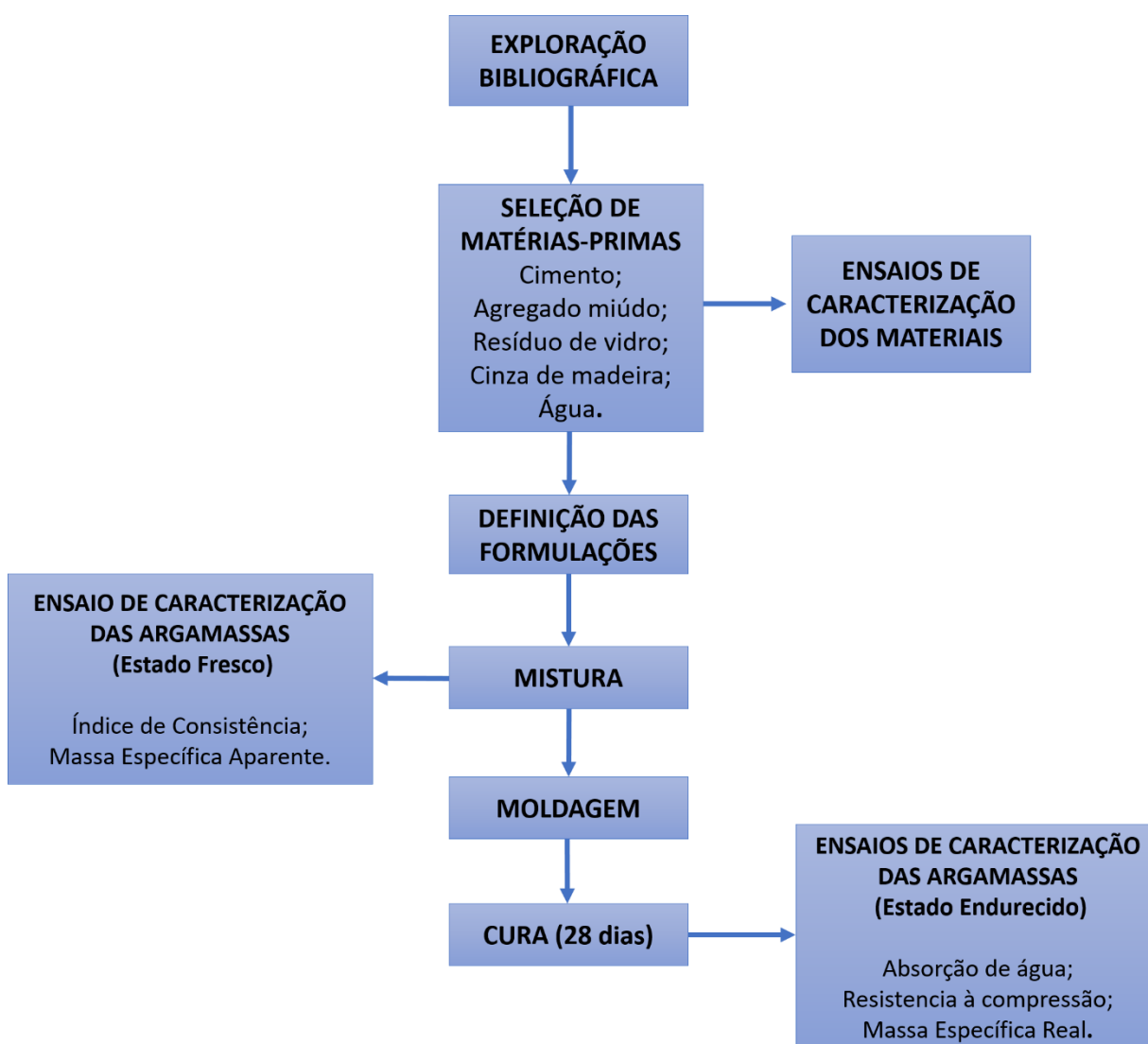


Figura 2 - Fluxograma do programa experimental da pesquisa (O autor, 2021).

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados na pesquisa foram ensaiados de acordo com as normas apresentadas nos tópicos a seguir.

3.1.1 Cimento Portland

O cimento empregado foi o Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), de um mesmo lote de fabricação, cujas propriedades físicas e químicas, foram determinadas seguindo as normas descritas no Quadro 2. De acordo com a ABNT NBR 16697:2018, este tipo de cimento apresenta o mínimo de adições, desta forma, resolveu-se adotá-lo a fim de possibilitar mais claramente a avaliação dos efeitos das substituições do cimento pelo RLV, CM e suas misturas híbridas, em diferenciados teores.

Características	Normalização
Índice de finura	ABNT NBR 11579:2013
Consistência normal	ABNT NBR 16606:2018
Tempo de pega	ABNT NBR 16607:2018
Massa específica	ABNT NBR 16605:2017
Expansibilidade <i>Le Chatelier</i>	ABNT NBR 11582:2016
Resistência à compressão	ABNT NBR 7215:2019

Quadro 2 – Propriedades físicas e químicas do cimento Portland (O autor, 2021).

3.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi uma areia normal em quatro frações diferentes (grossa, média grossa, média fina e fina), adquirida no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), a mesma foi escolhida por ser um material padronizado e livre de contaminantes que possam interferir nos resultados desta pesquisa (ABNT NBR 7214:2015). A areia foi submetida aos ensaios de caracterização das suas propriedades, de acordo com as normas especificadas no Quadro 3:

Características	Normalização
Composição granulométrica	ABNT NBR NM 248: 2003
Absorção de água	ABNT NBR NM 30:2001
Massa específica	ABNT NBR 9776:1987
Massa unitária	ABNT NBR NM 45: 2006

Quadro 3 – Propriedades físicas do agregado miúdo (O autor, 2021).

3.1.3 Água

A água utilizada foi proveniente do sistema de abastecimento público do município de Estância-SE, fornecido pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), a mesma apresentou-se de acordo com a ABNT NBR 15900-1:2009, que especifica os requisitos para a água ser considerada adequada ao preparo das pastas cimentícias.

3.1.4 Resíduo de Lapidação de Vidro

O resíduo de lapidação de vidro foi fornecido pela Sergipe Vidros LTDA, localizada no município de Lagarto-SE, especializada na fabricação e distribuição de vidros temperados e laminados. Em indústrias deste gênero, estima-se que aproximadamente 84 toneladas deste tipo de resíduo são geradas anualmente (ANTÔNIO, 2011).

Após ser coletado, o RLV foi seco em estufa (Figura 3), numa temperatura de 105 ± 5 °C, em seguida, armazenado em sacos plásticos e vedados, onde mantiveram-se protegidos de intempéries. Para a utilização do resíduo na argamassa, o material foi passado na peneira de 75 μ m (Figura 4), visto que para ser substituto do CP V-ARI, o resíduo precisa atender ao índice de finura de $\leq 6\%$, estabelecido na ABNT NBR 16697:2018, e ainda, a finura do material influencia diretamente no potencial de melhora das propriedades físicas e mecânicas das argamassas (PARGHI; ALAM, 2016).



Figura 3 – RLV após secagem na estufa (O autor, 2021).

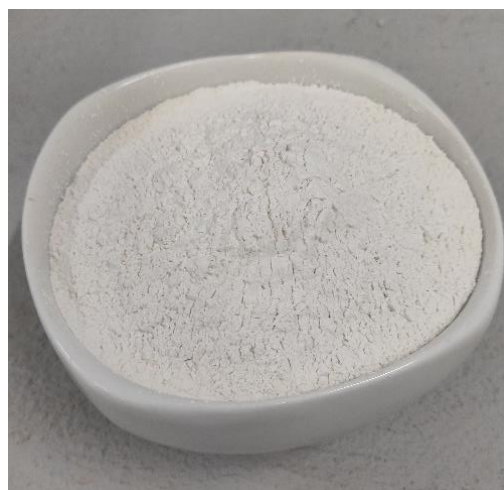


Figura 4 – RLV após passagem na peneira de 75 µm (O autor, 2021).

O resíduo foi caracterizado quanto à sua massa específica, pela ABNT NBR 16605:2017, índice de finura, pela ABNT NBR 16697:2018, e análise química, por meio da técnica de fluorescência de raios X (FRX), a fim de conhecer seus principais compostos químicos e averiguar se há alguma impureza que possa comprometer sua utilização como substituto parcial do cimento nas argamassas, ainda, analisar os elementos que possivelmente influenciam no processo de hidratação do cimento (LOPES, 2017). Para determinação da composição química do material, as medidas foram realizadas à vácuo, em um equipamento no EZ Scan, do Primini Rigaku, utilizando amostras com massa em torno de 12 g, que foram prensadas no formato de corpos cilíndricos com diâmetro de 60 mm e espessura de 5 mm, aproximadamente.

3.1.5 Cinza de Madeira

A cinza, advinda do processo de queima da madeira de eucalipto, foi fornecida pela Atual Têxtil LTDA, localizada no município de Estância-SE, e especializada na fabricação de malhas e comércio de tecidos em geral. Segundo a empresa, estima-se que cerca de 30 kg de cinza de madeira sejam produzidos diariamente.

Após a coleta da cinza na fábrica, a mesma foi seca em estufa (Figura 5), numa temperatura de 105 ± 5 °C, em seguida, foi armazenada em sacos plásticos e vedados, onde mantiveram-se protegidos de intempéries. Assim como o RLV, para a utilização na argamassa, a CM foi passada na peneira de 75 µm, conforme Figura 6.



Figura 5 – CM após secagem na estufa
(O autor, 2021).



Figura 6 – CM após passagem na peneira de
75 µm (O autor, 2021).

A cinza de madeira foi caracterizada através da determinação da massa específica, conforme a ABNT NBR 16605:2017, índice de finura, pela ABNT NBR 16697:2018, e análise química, por meio da técnica de fluorescência de raios X.

3.2 MÉTODOS

De posse dos resultados experimentais contemplados na revisão bibliográfica realizada, para a aplicação do resíduo de lapidação de vidro e da cinza de madeira em argamassa, foram estabelecidas as dosagens a serem adotadas, assim como, os ensaios para determinação das propriedades da argamassa, no estado fresco e endurecido.

3.2.1 Procedimento de dosagem e preparo das argamassas

Para avaliação das propriedades das argamassas foram dosadas oito formulações (Tabela 4), sendo uma de referência (sem resíduos), três com substituição parcial do cimento por resíduo de lapidação de vidro, em 10%, 20% e 30%, uma com substituição parcial do cimento por cinza de madeira, em 10%, e três com substituição parcial do cimento pela mistura híbrida de resíduo de lapidação de vidro (10%, 20% e 30%) e cinza de madeira (10%). Após esta etapa, foram calculados os valores em massa dos materiais componentes da mistura, conforme Tabela 5.

Tabela 4 - Percentuais dos materiais componentes da mistura.

	Cimento (%)	RLV (%)	CM (%)	Nomenclatura
1	100	-	-	REF
2	90	10	-	V_{10}^1
3	80	20	-	V_{20}
4	70	30	-	V_{30}
5	90	-	10	C_{10}^2
6	80	10	10	$C_{10} V_{10}^3$
7	70	20	10	$C_{10} V_{20}$
8	60	30	10	$C_{10} V_{30}$

Fonte: O autor (2021).

Legenda:

$^1V_{10}$: Traço com substituição de cimento por 10% de resíduo de lapidação de vidro.

$^2C_{10}$: Traço com substituição de cimento por 10% de cinza de madeira.

$^3C_{10} V_{10}$: Traço com substituição de cimento por 10% resíduo de lapidação de vidro e 10% de cinza de madeira.

Tabela 5 – Materiais componentes das argamassas.

	Nomenclatura	Cimento (g)	RLV (g)	CM (g)	Areia (g)	Água (g)
1	REF	624	-	-	1872	300
2	V_{10}	561,6	62,4	-	1872	300
3	V_{20}	499,2	124,8	-	1872	300
4	V_{30}	436,8	187,2	-	1872	300
5	C_{10}	561,6	-	62,4	1872	300
6	$C_{10} V_{10}$	499,2	62,4	62,4	1872	300
7	$C_{10} V_{20}$	436,8	124,8	62,4	1872	300
8	$C_{10} V_{30}$	374,4	187,2	62,4	1872	300

Fonte: O autor (2021).

O traço utilizado nesta pesquisa foi de 1:3 (cimento:areia), com relação água/cimento (a/c) fixada em 0,48, o mesmo foi escolhido por ser bastante encontrado na literatura, bem como, estabelecido em normas, como por exemplo a ABNT NBR 7215:2019, que estabelece os parâmetros para determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. As argamassas foram produzidas utilizando-se um misturador mecânico de eixo vertical (argamassadeira) com capacidade de 5 litros, marca Edutec. O processo de adição dos materiais e tempo de mistura das argamassas seguiu os procedimentos descritos na ABNT NBR 7215:2019.

3.2.2 Ensaios para caracterização das argamassas no estado fresco

Nos tópicos a seguir serão apresentados e descritos os ensaios realizados nas argamassas no seu estado fresco.

3.2.2.1 Índice de consistência

Para a realização do ensaio de índice de consistência, foi utilizada a ABNT NBR 13276:2016. Efetuou-se para todas as formulações a determinação do índice de consistência, através da medição do espalhamento da argamassa, após ser submetida a 30 golpes na mesa de consistência (*flow table*). As etapas do ensaio estão ilustradas na Figura 7.



Figura 7 – Etapas do ensaio de índice de consistência, a) Mesa de consistência e tronco de cone; b) Argamassa antes de ser submetida aos 30 golpes; c) Medição do espalhamento da argamassa (O autor, 2021).

3.2.2.2 Massa específica aparente

O ensaio de massa específica aparente da argamassa foi realizado através de uma adaptação da ABNT NBR 9833:2009, que determina a massa específica do concreto fresco. A argamassa foi colocada num recipiente cilíndrico em três camadas através de adensamento manual, por meio de 40 golpes em cada camada. Ao final do adensamento, a superfície foi rasada, em seguida, a parte externa do recipiente foi limpa e a massa foi determinada, conforme Figura 8. O processo descrito foi repetido três vezes para cada formulação.



Figura 8 – Determinação da massa do recipiente com a argamassa (O autor, 2021).

A massa específica aparente foi calculada por meio da equação:

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

Onde:

ρ_{ap} : é a massa específica aparente da argamassa, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m : é a massa de argamassa, expressa em gramas (g);

V : é o volume do recipiente, expresso em centímetros cúbicos (cm³).

3.2.3 Ensaios para caracterização das argamassas no estado endurecido

Para a realização dos ensaios da argamassa no estado endurecido, foram moldados corpos de prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, com adensamento em quatro camadas, sendo cada uma com 30 golpes uniformes, com auxílio de soquete metálico (Figura 9a). Para cada formulação foram moldados nove corpos de prova, sendo seis para o ensaio de resistência à compressão e três para os ensaios de absorção de água e massa específica. Os corpos de prova permaneceram nas formas cilíndricas nas primeiras 24 horas (Figura 9b), após esse período, foram desmoldados, identificados e submersos em cura úmida, com adição de cal, por 28 dias (Figura 9c).



Figura 9 – Etapas de produção dos corpos de prova. a) Moldagem dos corpos de prova; b) Secagem dos corpos de prova; c) Cura úmida em tanque (O autor, 2021).

3.2.3.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão foi avaliada nas argamassas estudadas seguindo as recomendações da ABNT NBR 7215:2019. As rupturas dos corpos de prova foram realizadas aos 28 dias, na prensa Pavitest HD-200T, da marca Contenco (Figura 10).



Figura 10 – Ensaio de resistência à compressão. a) Prensa hidráulica; b) Corpo de prova após rompimento (O autor, 2021).

3.2.3.2 Absorção de água

O ensaio para determinação da absorção de água das argamassas foi realizado conforme as especificações da ABNT NBR 9778:2009. O procedimento do ensaio consistiu primeiramente na secagem das amostras em estufa num período de 72h (Figura 11a), posteriormente, os corpos de prova foram imergidos em água à temperatura de 23 ± 2 °C por 72h (Figura 11b), por fim, as amostras foram transferidas para o banho termostático (Figura 11c) que foi progressivamente levado à ebulição, numa temperatura de 100 °C, a qual foi mantida durante um período de 5h. Ao final de cada etapa, foi registrada a massa das amostras. Por fim, a absorção de água foi calculada através da seguinte equação:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100$$

Onde:

A : é a absorção de água, em porcentagem (%);

m_{sat} : é a massa da amostra saturada em água após a imersão e fervura;

m_s : é a massa da amostra seca em estufa.

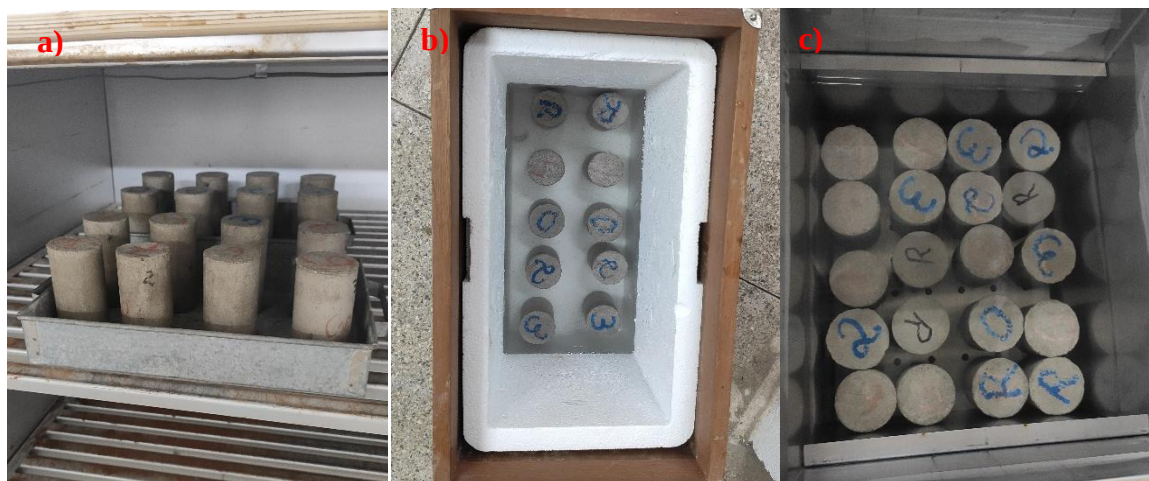


Figura 11 – Ensaio de absorção de água. a) Corpos de prova na estufa; b) Corpos de prova imergidos em água; c) Corpos de prova no banho termostático (O autor, 2021).

3.2.3.3 *Massa específica real*

O ensaio para determinação da massa específica real das argamassas também foi realizado de acordo com os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 9778:2009. O resultado foi calculado pela seguinte expressão:

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i}$$

Onde:

ρ_r : é a massa específica real, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m_s : é a massa da amostra seca em estufa;

m_i : é a massa da amostra saturada imersa em água após fervura.

3.2.4 Tratamento e análise dos dados

Os dados dos ensaios de caracterização das argamassas foram apresentados considerando a média aritmética dos corpos de prova, por dosagem, seguido do desvio padrão. Para análise dos resultados obtidos nos ensaios, verificou-se a normalidade dos dados e, assim, foi realizada uma análise estatística por meio da metodologia de análise de variância (ANOVA), através do software *Paleontological Statistics* (PAST), adotando-se uma probabilidade de significância (valor-p) menor que ou igual a 0,05 ($p \leq 0,05$), seguida do Teste de Tukey.

3.2.5 Metodologia da análise comparativa

A análise dos resultados obtidos através dos ensaios de caracterização das argamassas, nos estados fresco e endurecido, será realizada com o objetivo de verificar:

- a) A influência da incorporação do resíduo de lapidação de vidro (V₁₀, V₂₀ e V₃₀) em relação à amostra de referência (REF);
- b) A influência do acréscimo de incorporação do resíduo de lapidação de vidro (V₁₀, V₂₀ e V₃₀) entre as amostras com esse resíduo;
- c) A influência de incorporação da cinza de madeira (C₁₀) em relação à amostra de referência (REF);

- d) A influência de incorporação da mistura híbrida ($C_{10}V_{10}$, $C_{10}V_{20}$ e $C_{10}V_{30}$) em relação à amostra de referência (REF);
- e) A influência do acréscimo de incorporação da mistura híbrida ($C_{10}V_{10}$, $C_{10}V_{20}$ e $C_{10}V_{30}$) em relação às amostras contendo RLV (V_{10} , V_{20} e V_{30});
- f) A influência do acréscimo de incorporação da mistura híbrida ($C_{10}V_{10}$, $C_{10}V_{20}$ e $C_{10}V_{30}$) em relação à amostra contendo cinza de madeira (C_{10}).
- g) A influência do acréscimo de incorporação da mistura híbrida ($C_{10}V_{10}$, $C_{10}V_{20}$ e $C_{10}V_{30}$) entre as amostras híbridas;
- h) A influência da incorporação do resíduo de lapidação de vidro (V_{10}) em relação à amostra contendo cinza de madeira (C_{10}).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados, bem como suas análises, tanto dos materiais empregados nesta pesquisa quanto das argamassas produzidas com estes.

4.1 Ensaios de caracterização dos materiais

Nos tópicos a seguir são apresentados os resultados obtidos dos ensaios de caracterização dos materiais empregados nessa pesquisa para confecção das argamassas.

4.1.1 Cimento Portland

Os resultados obtidos através dos ensaios de caracterização do cimento Portland CP V-ARI estão apresentados na Tabela 6. Os valores obtidos atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pela ABNT NBR 16697:2018.

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de caracterização do cimento Portland.

Características	Unidade	Resultado	Requisitos normativos
Índice de finura	%	1,92	$\leq 6,0$
Consistência normal	%	30,4	-
Tempo de pega	min	170	≥ 60
Massa específica	g/cm ³	3,149	-
Expansibilidade Le Chatelier (a quente)	mm	3,9	$\leq 5,0$
Resistência à compressão	-----	-----	
1 dia	MPa	20,7	$\geq 14,0$
3 dias	MPa	30,5	$\geq 24,0$
7 dias	MPa	35,7	$\geq 34,0$

Fonte: O autor (2021).

Na Tabela 7 estão dispostos os percentuais dos compostos químicos presentes no CP V-ARI, os dados obtidos foram fornecidos pelo fabricante. Quando comparados aos requisitos da ABNT NBR 16697:2018, os resultados mostraram-se coerentes e dentro dos parâmetros normativos.

Tabela 7 – Composição química do CP V-ARI fornecida pelo fabricante.

Composto	Percentual(%)	Requisitos normativos
Perda ao fogo (PF)	5,15	$\leq 6,5$
Resíduo insolúvel (RI)	2,26	$\leq 3,5$
Trióxido de enxofre (SO ₃)	3,31	$\leq 4,5$
Óxido de cálcio (CaO)	2,55	-

Fonte: O autor (2021).

4.1.2 Agregado miúdo

Os resultados obtidos através dos ensaios de caracterização do agregado miúdo estão apresentados na Tabela 8.

Na Figura 12 está plotada a curva granulométrica da areia normal utilizada nesta pesquisa. A granulometria das partículas é um dos elementos decisivos para o desempenho das argamassas. Percebe-se pelo traçado da curva (Figura 12) que o agregado é considerado bem graduado, obtendo coeficiente de curvatura (C_c) igual a 1,5 e coeficiente de uniformidade (C_u) igual a 7. Quanto ao módulo de finura, a areia analisada encontra-se na zona considerada ótima (2,20 - 2,90), de acordo com a ABNT NBR 7211:2019.

Tabela 8 – Resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo.

Características	Unidade	Resultado
Composição granulométrica	Figura 12	
Absorção de água	%	0,1744
Módulo de finura	-	2,36
Massa específica	g/cm ³	2,600
Diâmetro máximo	Mm	2,36
Massa unitária	-----	-----
<i>Solta</i>	g/cm ³	1,511
<i>Compactada</i>	g/cm ³	1,638

Fonte: O autor (2021).

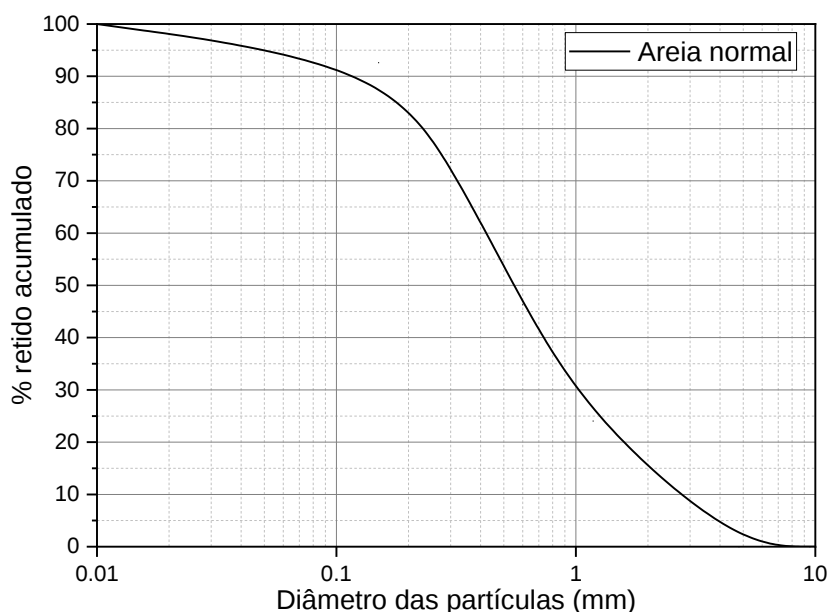


Figura 12 – Curva granulométrica do agregado miúdo (O autor, 2021).

4.1.3 Resíduo de lapidação de vidro

Para obtenção da caracterização do material, o RLV passou pelos ensaios de determinação da sua composição química, massa específica e índice de finura. Os dados obtidos por meio da análise química são apresentados na Tabela 9. Os resultados indicaram que o resíduo pode ser classificado como de um vidro soda-cal, pois contém altos teores de sódio e cálcio (ABIVIDRO, 2009). Observou-se uma grande quantidade de sílica (76,31%) presente no RLV, o que torna esse material potencialmente pozolânico.

Mehta e Monteiro (2008) e ABNT NBR 12653:2015 caracterizam as pozolanas como um grupo de materiais, naturais ou artificiais, silicosos ou sílicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade cimentícia, mas que, quando finamente moído e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades ligantes.

A ABNT NBR 12653:2015 também determina os parâmetros para um material ser classificado como pozolânico, sendo um dos critérios utilizados para classificação, a soma dos percentuais dos componentes SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , que deve ser de no mínimo 70%. O RLV apresentou teor

de 77,47%, logo, atingiu um dos requisitos da norma utilizada. Com base na análise química, nota-se que os percentuais dos compostos químicos estão coerentes com os resultados encontrados pelos autores mencionados na Tabela 1.

Tabela 9 – Análise química do resíduo de lapidação de vidro.

Composto Químico	Percentual (%)
SiO ₂ – Dióxido de Silício	76,31
CaO – Óxido de Cálcio	7,21
Na ₂ O – Óxido de Sódio	13,06
MgO – Óxido de Magnésio	0,60
Al ₂ O ₃ – Óxido de Alumínio	1,02
Fe ₂ O ₃ – Óxido Ferroso	0,14
P ₂ O ₅ – Pentóxido de Fósforo	0,60
K ₂ O – Óxido de Potássio	0,47
SO ₃ – Óxido Sulfúrico	0,56
Cl – Cloro	0,03
Total	100,00

Fonte: O autor (2021).

A massa específica do resíduo foi determinada conforme a ABNT NBR 16605:2017, o resultado obtido através do ensaio foi de 2,65 g/cm³, o mesmo apresentou-se próximo aos resultados encontrados em pesquisas semelhantes, conforme Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados da literatura para massa específica do resíduo de vidro.

Material/Autor	Massa específica (g/cm³)
¹ RVM (YIN, et al., 2021)	2,60
RVM (BALAN; ANUPAM; SHARMA, 2021)	2,60
RVM (LIU; FLOREA; BROUWERS, 2019)	2,50
² RLV (KIM; YI; ZI, 2015)	2,63

Fonte: O autor (2021).

Legenda:

¹RVM: Resíduo de vidro moído

²RLV: Resíduo de lapidação de vidro.

O índice de finura do RLV, foi igual a 0%, devido ao fato deste ter sido peneirado, antes de ser ensaiado, na malha de 75 µm, granulometria utilizada para a produção das argamassas.

4.1.4 Cinza de madeira

Assim como o RLV, a cinza de madeira também foi submetida aos ensaios de determinação da sua composição química, massa específica e índice de finura, para ser devidamente caracterizada.

Os dados obtidos por meio da análise química são apresentados na Tabela 11. Com base nos resultados, foi perceptível a predominância de óxido de cálcio na composição, assim como os autores destacados na Tabela 2, obtendo um percentual de aproximadamente 70%. Ainda foi verificado que a soma dos percentuais de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, um dos parâmetros da classificação de atividade pozolânica estipulado pela ABNT NBR 12653:2015, foi inferior a 70%, o que não caracteriza este resíduo como material pozolânico.

Tabela 11 – Análise química da cinza de madeira.

Composto Químico	Percentual (%)
CaO – Óxido de Cálcio	69,64
SiO_2 – Dióxido de Silício	5,30
SrO – Óxido de Estrôncio	0,42
MgO – Óxido de Magnésio	6,06
Al_2O_3 – Óxido de Alumínio	1,39
P_2O_5 – Pentóxido de Fósforo	7,79
K_2O – Óxido de Potássio	7,42
SO_3 – Óxido Sulfúrico	1,44
Cl – Cloro	0,53
Total	100,00

Fonte: O autor (2021).

A massa específica da cinza de madeira foi determinada e o resultado obtido com a realização do ensaio foi de $2,38\text{g/cm}^3$, o mesmo apresentou similaridade aos resultados de França, et al. (2016) e Resende (2013).

O índice de finura da cinza de madeira foi igual a 0%, devido ao fato desta ter sido peneirada, antes de ser submetida ao ensaio, na malha de $75\ \mu\text{m}$.

4.2 Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas

Neste tópico serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas, tanto no estado fresco, quanto no endurecido. Para melhor compreensão da análise comparativa, sugere-se revisão do tópico 3.2.5.

4.2.1 Ensaios para caracterização das argamassas no estado fresco

4.2.1.1 Índice de consistência

Na Figura 13 são apresentados os resultados médios dos índices de consistência obtidos nos ensaios realizados com as argamassas.

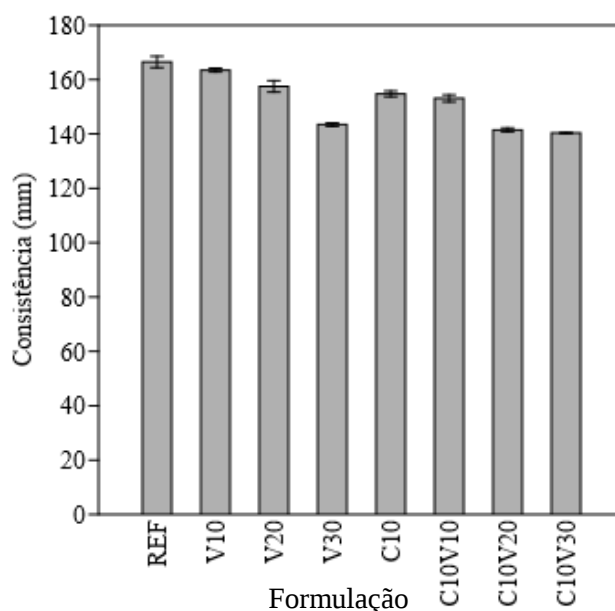


Figura 13 – Resultados dos índices de consistência nas argamassas (O autor, 2021).

Os resultados mostraram que existe uma diferença significativa entre as médias ($F=120,89$; $f_{\text{crítico}}=3,50$ e $\text{valor-}p=1,77 \cdot 10^{-7}$); com o teste de Tukey verificou-se as seguintes diferenças:

- A diminuição da consistência só foi significativa a partir de 20% de incorporação do RLV, quando comparadas à composição de referência, sendo essa redução, entre as médias, de 5 e 14%, respectivamente, para o V₂₀ e V₃₀ em relação ao REF. Solanki, Bierma e Jin (2020) atribuíram esse comportamento à forma angular das partículas de resíduo de vidro, que contribui para a redução da consistência;

- b) Nota-se que à medida que se aumenta o teor de substituição do RLV pelo cimento, ocorre uma redução gradual do índice de consistência. A amostra V_{20} apresentou diminuição de 4% em relação a V_{10} , já V_{30} mostrou redução em 12% e 4% em relação às amostras V_{10} e V_{20} , respectivamente. Conforme os finos de vidro são adicionados, o teor de água necessário na mistura diminui. Isso se deve ao efeito fíler, já que os vazios entre os grãos de areia, antes preenchidos com água, agora são ocupados por finos de vidro (OLIVEIRA; BRITO; VEIGA, 2013).
- c) A amostra contendo 10% de CM apresentou redução de 7% do índice de consistência em relação à amostra de referência. França, et al. (2016) atrelaram a redução da consistência ao fato de as cinzas apresentarem área superficial específica maior ($6.415 \text{ cm}^2/\text{g}$) que o cimento ($4.466 \text{ cm}^2/\text{g}$) e, conseqüentemente, demandar maior quantidade de água para o umedecimento da pasta.
- d) Todas as amostras com a mistura híbrida apresentaram diminuição, entre 8% – 16%, do índice de consistência quando comparadas à amostra de referência, consoante com o comportamento apresentado com as amostras somente com um tipo de resíduo. Portanto, é possível constatar que a substituição do cimento presente na mistura influenciou diretamente na redução desta propriedade.
- e) Os resultados das amostras contendo mistura híbrida mostraram algumas variações relevantes em relação às misturas com RLV, por exemplo, $C_{10}V_{10}$ apresentou diminuição de 6% e 3%, respectivamente, em relação a V_{10} e V_{20} , logo, a cinza de madeira tem uma influência mais direta na redução da consistência. A amostra $C_{10}V_{20}$ obteve redução significativa apenas em relação a V_{20} , numa média de 10%. A amostra $C_{10}V_{30}$ não apresentou variação significativa quando relacionada às amostras contendo 30% de RLV. Assim, as análises permitem observar que a partir de 30% de substituição do cimento, seja pelo RLV ou pela mistura híbrida, as amostras apresentam comportamento similar, independentemente do tipo de resíduo.
- f) Na análise das misturas híbridas em relação à amostra contendo CM, apenas as amostras $C_{10}V_{20}$ e $C_{10}V_{30}$ apresentaram variação significativa nos resultados, ambas

obtiveram decréscimo de 9% na propriedade. Portanto, até 10% do RLV não influenciou na consistência da amostra $C_{10}V_{10}$;

- g) O aumento do teor da mistura híbrida gerou influência na consistência. A amostra híbrida $C_{10}V_{20}$ apresentou redução expressiva de 8% em relação a $C_{10}V_{10}$, a amostra $C_{10}V_{30}$ obteve mesmo índice de redução quando comparada a $C_{10}V_{10}$. Entre as amostras $C_{10}V_{20}$ e $C_{10}V_{30}$, não foi observada variação significativa;
- h) O tipo do resíduo, no mesmo percentual, apresentou comportamento distinto. A amostra V_{10} mostrou-se superior em 6%, quando relacionada à C_{10} . Fusade, et al. (2019) justificaram esse comportamento devido a adição de cinza de madeira apresentar uma considerável absorção de água.

4.2.1.2 Massa Específica Aparente

Na Figura 14 estão plotados os resultados médios da massa específica aparente obtidos nos ensaios realizados com as argamassas.

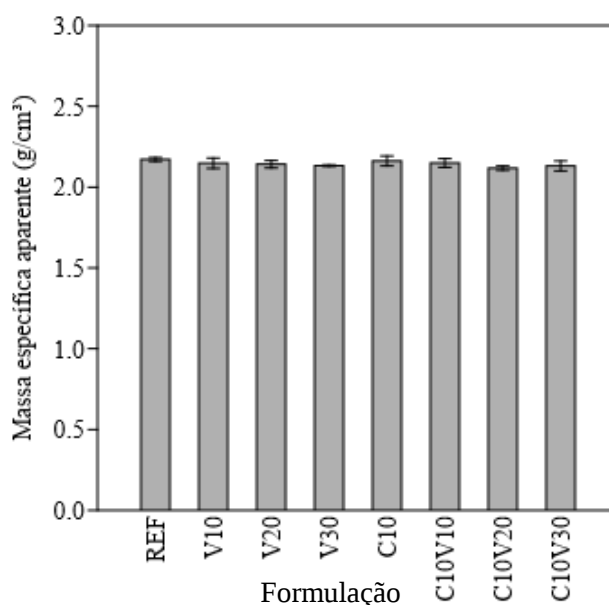


Figura 14 – Resultados das massas específicas das argamassas (O autor, 2021).

A fim de verificar se as substituições do cimento por RLV, CM e pela mistura híbrida destes dois materiais exerceram influência significativa nos resultados da massa específica aparente,

foi realizada a análise de variância ($F=2,62$; $f_{\text{crítico}}=2,27$ e $\text{valor-p}=2,67.10^{-2}$), e em seguida o teste de Tukey, onde foi possível notar que apenas a amostra $C_{10}V_{20}$ apresentou redução de 2% em relação à amostra de referência. As demais amostras não apresentaram variações significativas, o que implica numa tendência à manutenção dos valores de massa específica aparente com a incorporação dos resíduos.

4.2.2 Ensaios para caracterização das argamassas no estado endurecido

4.2.2.1 Resistência à compressão

Na Figura 15 está ilustrado o gráfico com os resultados médios de resistência à compressão, aos 28 dias, obtidos nos ensaios realizados com as argamassas.

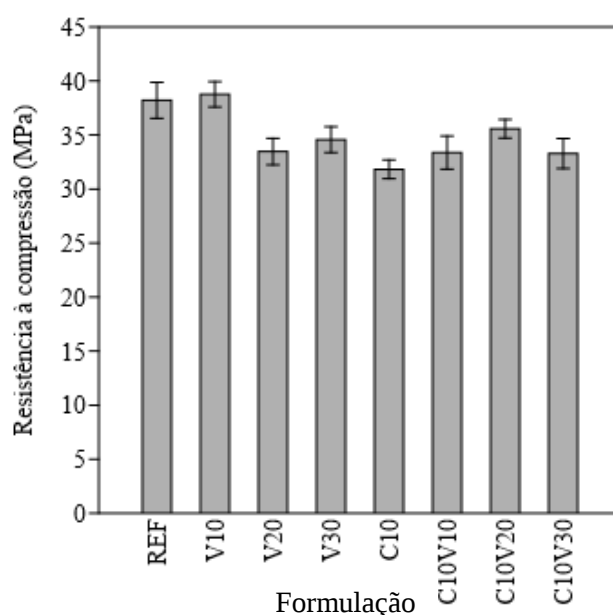


Figura 15 – Resultados da resistência à compressão das argamassas aos 28 dias (O autor, 2021).

Para cada formulação, os resultados foram comparados, por meio da análise de variância ($F=15,54$; $f_{\text{crítico}}=2,33$ e $\text{valor-p}=2,06.10^{-8}$); e através do teste de Tukey, notou-se diferença significativa entre as médias. As diferenças são descritas a seguir:

- Nota-se uma oscilação nos valores de resistência à compressão das amostras com RLV em comparação as amostras de referências. As amostras contendo 20% e 30% de RLV, quando comparadas à composição de referência apresentam uma diminuição significativa da resistência à compressão, de 12% e 10%,

respectivamente. Tal fato está associado à redução do elemento aglomerante presente na mistura, bem como associada à finura, formato e superfície da partícula de resíduo de vidro, o que causa uma redução na ligação entre os resíduos e a matriz cimentícia (KIM; YI; ZI, 2015);

- b) Verifica-se que com o aumento do teor de RLV à mistura gera redução da resistência à compressão. A amostra V_{20} apresentou diminuição significativa de 14% em relação a V_{10} e V_{30} mostrou redução de 11% quando comparada a V_{10} . Não foi registrado variação significativa entre V_{20} e V_{30} . Para Dębska, Lichołai e Silva (2020), a diferença de valores na resistência à compressão ocorre devido à quantidade de vidro incorporado na mistura, havendo queda no valor quando o teor deste aumenta. Esse fator ocorre devido à dificuldade de haver interação da superfície do vidro com o cimento, por conta da sua alta dosagem.
- c) A amostra contendo 10% de CM apresentou redução significativa de 17% da resistência à compressão em relação à amostra de referência, tal comportamento foi coerente aos achados de Ban e Ramli (2011), onde foi possível concluir que a tendência observada é provavelmente devido ao mecanismo de ação das partículas de cinza de madeira agirem mais como material de enchimento dentro da matriz da pasta de cimento do que como material ligante. Assim, o aumento do teor de cinzas em substituição do cimento resultou em um aumento da área superficial da mesma, diminuindo a quantidade de cimento que causou um declínio na resistência.
- d) Todas as amostras com mistura híbrida apresentaram redução da resistência à compressão quando comparadas à amostra de referência, evidenciando $C_{10}V_{10}$ e $C_{10}V_{30}$, que registraram o maior índice de decréscimo, sendo este de 13%. Esta redução está atrelada à diminuição da quantidade de compostos de clínquer, responsáveis pelo desenvolvimento de resistência (NAHI, et al., 2020);
- e) A inclusão da CM na mistura híbrida proporcionou oscilação da resistência em relação às amostras contendo RLV, destacando-se a amostra $C_{10}V_{10}$, que registrou um índice de decréscimo de 14%, sendo este o mais significativo;

- f) Todas as amostras contendo mistura híbrida registraram aumento da resistência à compressão em relação à C₁₀, sendo C₁₀V₂₀ a que obteve índice significativo de 12% de crescimento da propriedade, tal comportamento pode ser justificado pela presença do RLV à mistura, que pode sugerir atividade pozolânica;
- g) O aumento do teor da mistura híbrida não expressou variação significativa da resistência à compressão das argamassas, exceto a amostra híbrida C₁₀V₂₀, que registrou aumento expressivo de 7% em relação a C₁₀V₁₀;
- h) A amostra V₁₀ apresentou aumento expressivo de 22% da resistência à compressão em relação à C₁₀, desta forma pode-se observar que mesmo possuindo o mesmo percentual de substituição da CM, o RLV, por obter maior teor de sílica em sua composição apresenta reação pozolânica, que influencia diretamente na resistência à compressão (RAMOS; MATOS; SOUSA-COUTINHO, 2013).

4.2.2.2 Absorção de água

Na Figura 16 é possível observar os resultados médios obtidos através dos ensaios de absorção de água realizados com as argamassas.

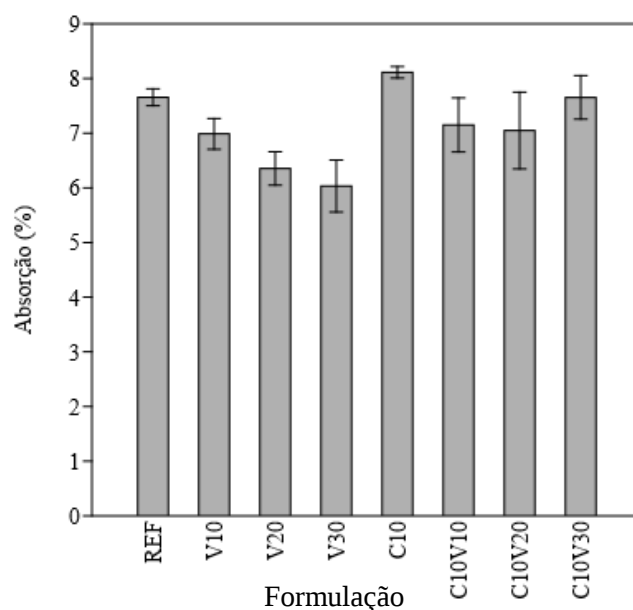


Figura 16 – Resultados da absorção de água das argamassas (O autor, 2021).

Os resultados mostraram que existe uma diferença significativa entre as médias ($F=8,63$; $f_{\text{crítico}}=2,66$ e $\text{valor-p}=1,96.10^{-4}$); através da realização do teste de Tukey foi possível observar as seguintes diferenças:

- a) Os resultados validaram que a substituição parcial do cimento por RLV reduziu a absorção de água das argamassas. As amostras V_{20} e V_{30} apresentaram decréscimo expressivo em relação à amostra de referência, de 17% e 21%, respectivamente. Oliveira, Brito e Veiga (2013) explicaram que os finos preenchem os vazios da argamassa pelo efeito fíler, diminuindo assim o tamanho dos poros, o que dificulta a percolação da água na argamassa. O menor tamanho dos poros leva a uma taxa de absorção mais lenta;
- b) O aumento do percentual de incorporação do RLV não resultou em uma variação significativa na absorção das argamassas com esse tipo de resíduo;
- c) A substituição parcial do cimento por 10% de CM não influenciou significativamente na absorção das argamassas, quando comparada à amostra de referência;
- d) A mistura híbrida do RLV e CM não proporcionou variação significativa nos resultados da absorção de água das argamassas, em relação à amostra de referência;
- e) As amostras contendo mistura híbrida não sofreram influência significativa quando comparadas às amostras com RLV, exceto $C_{10}V_{30}$, que apresentou um aumento significativo da absorção de água, tendo índice de 27% em relação à amostra V_{30} . Para Silva, et al. (2015) esse fato pode estar associado à maior rugosidade da CM, que consequentemente reteve mais água na mistura, apresentando um comportamento contrário ao RLV.
- f) As amostras com mistura híbrida não apresentaram variação significativa da absorção quando correlacionadas à C_{10} ;
- g) O aumento da incorporação da mistura híbrida na argamassa não provocou influência na absorção das argamassas;

- h) A variação do tipo de resíduo, RLV ou CM, em 10% de substituição ao cimento gerou diferença na absorção das amostras. Fusade, et al. (2019) atribuíram este comportamento ao fato da cinza de madeira absorver maior quantidade de água.

4.2.2.3 *Massa específica real*

O gráfico plotado na Figura 17 ilustra os resultados médios da massa específica real obtidos nos ensaios realizados com as argamassas.

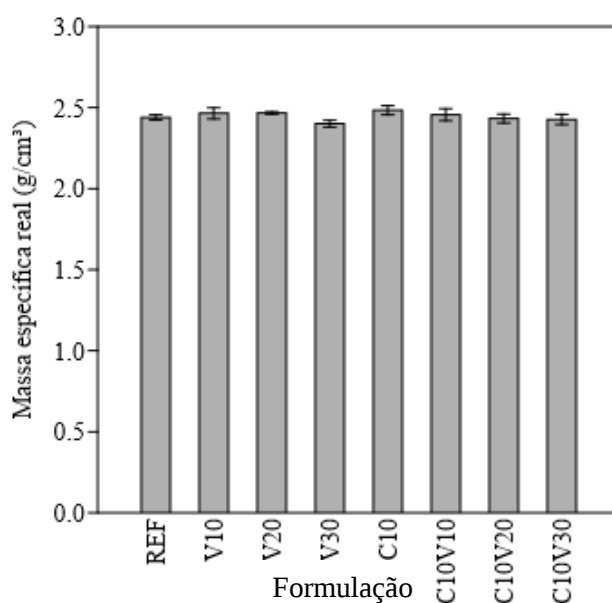


Figura 17 – Resultados da massa específica real das argamassas (O autor, 2021).

Através da análise da Figura 17, percebe-se uma constância dos resultados da massa específica real das argamassas. Por meio da análise de variância ($F=2,90$; $f_{\text{crítico}}=2,66$ e $\text{valor-p}=3,7 \cdot 10^{-2}$), em seguida pelo teste de Tukey, foi possível notar que as amostras não apresentaram variações significativas, o que implica numa propensão à estabilidade dos valores de massa específica real com a incorporação dos resíduos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão abordadas as principais conclusões obtidas nesta pesquisa, após análise dos resultados de uma série de ensaios para caracterização das argamassas, bem como, sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar a influência da utilização de resíduo de vidro, cinza de madeira e suas misturas híbridas, em substituição parcial ao cimento Portland, na produção de argamassa.

As caracterizações dos materiais utilizados para a produção da matriz cimentícia, bem como a argamassa, nos seus estados fresco e endurecido, foram obtidas através de procedimentos experimentais realizados em laboratório, estabelecidos em normas técnicas para a determinação das propriedades físicas, químicas e mecânicas.

Os resultados obtidos e expressos no capítulo 4 possibilitam uma série de considerações. Inicialmente, para as argamassas em seu estado fresco, é possível concluir que:

A incorporação dos resíduos e suas misturas híbridas em substituição ao cimento na mistura diminuiu o índice de consistência das argamassas. As amostras contendo cinza de madeira apresentaram valores inferiores às que continham apenas resíduo de lapidação de vidro, ainda, as amostras com mistura híbrida também apresentaram redução da propriedade quando comparadas aos demais tipos. A correção do teor de água ou utilização de aditivos plastificantes seriam alternativas para otimização do índice de consistência das argamassas, considerando que nessa pesquisa optou-se pela constância da relação a/c na mistura, independente da formulação.

Baseado nos resultados encontrados na pesquisa, pode-se constatar que a presença dos resíduos na mistura das argamassas não alterou a massa específica aparente das mesmas, o que indica que os variados percentuais de substituição ao cimento não influenciaram nesta propriedade.

No que diz respeito às argamassas em seu estado endurecido, pode-se constatar que:

De forma geral, observou-se uma variação significativa nos resultados de resistência à compressão, visto que, a maioria das formulações apresentou valor inferior à amostra de referência. As amostras contendo mistura híbrida mostraram redução quando comparadas às amostras somente com RLV, e aumento em relação à C_{10} . O acréscimo da mistura híbrida provocou oscilação da resistência à compressão. Ainda assim, foi possível produzir argamassas com resistência média a partir de 32 MPa.

Quanto à absorção de água, a incorporação do RLV, isoladamente, gerou diminuição da propriedade, já a amostra que continha CM obteve aumento significativo em relação aos demais tipos. Por fim, as amostras contendo mistura híbrida apresentaram aumento da absorção em relação às amostras de referência e somente com RLV, e diminuição quando comparadas à amostra com cinza de madeira, apenas. Deste modo, ainda é possível associar esta análise à durabilidade das argamassas, visto que a redução da absorção é um parâmetro importante para o desempenho desta propriedade.

A massa específica real das argamassas contendo os percentuais de resíduos não sofreu variação significativa, apresentando uma manutenção nos resultados obtidos através do ensaio.

Baseado nas análises obtidas através da realização dos ensaios de caracterização das argamassas, pode-se observar que as amostras V_{10} e $C_{10}V_{20}$ apresentaram os melhores resultados. Quando comparada à amostra de referência, V_{10} apresentou resultados similares de resistência à compressão, absorção de água e índice de consistência, e obteve resultado constante para as massas específicas real e aparente. Já $C_{10}V_{20}$ destacou-se entre as misturas híbridas, e mostrou-se semelhante à amostra de referência em relação a resistência à compressão, absorção de água, massa específica aparente e massa específica real, sendo inferior somente quanto ao índice de consistência.

A viabilidade da produção de argamassa com substituição parcial do cimento pelo RLV, CM e suas misturas híbridas, mostrou-se uma alternativa sustentável, visto que é uma opção para a destinação adequada dos mesmos, porém é preciso realizar um estudo das dosagens para adequação do traço, o que acarretará numa melhora das propriedades do material.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A realização deste trabalho motivou a percepção de lacunas de inviável cumprimento pleno em consequência do tempo disponível para a realização das pesquisas e de ensaios que viabilizassem maior aprofundamento de resultados. Desta forma, sugere-se para trabalhos futuros:

- Realizar o estudo das formulações adotadas com a variação do teor a/c na mistura, a fim de atender a uma consistência determinada;
- Realizar o estudo das formulações adotadas com a utilização de aditivos plastificantes, a fim de atender a uma consistência determinada;
- Ampliar a investigação para verificar a influência da utilização dos resíduos, adotados nessa pesquisa, na retração, aderência e durabilidade (por meio de ataques químicos) das argamassas produzidas;
- Realizar o estudo substituindo o agregado miúdo pelos resíduos nas formulações das argamassas.
- Realizar o estudo com percentuais de substituição de 5% e 15% de RLV.

REFERÊNCIAS

ABIVIDRO - Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro. **Anuário ABIVIDRO**. 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

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

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento – Especificação, Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 11582**: Cimento Portland – Determinação da expansibilidade Le Chatelier. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

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

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16606:** Cimento Portland — Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16607:** Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16697:** Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ABRAVIDRO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES E PROCESSADORES DE VIDROS PLANOS. **Panorama ABRAVIDRO 2020: o mercado vidreiro em números.** Editorial 2020 ABRAVIDRO.

Disponível em: <https://pdf.magtab.com/leitor/136/edicao/20919>. Acesso em 27/08/2020.

_____. **Como está o mercado de vidros no Brasil?** 2016. Disponível em: <http://abravidro.org.br/como-esta-o-mercado-de-vidros-no-brasil/>. Acesso em 04/11/2020

AFSHINNIA, Kaveh; RANGARAJU, Prasada R. Efficiency of ternary blends containing fine glass powder in mitigating alkali–silica reaction. **Construction and Buildings Materials**, v. 100, 2015, p. 234-245.

ANTÔNIO, Aline Pignaton. **Potencialidades do aproveitamento do resíduo de estação de tratamento de efluentes do processo de lapidação do vidro sodo – cálcico na produção de concretos.** 2011. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

BALAN, L. A.; ANUPAM, B. R.; SHARMA, Sunil. Thermal and mechanical performance of cool concrete pavements containing waste glass. **Construction and Buildings Materials**, v. 290, 2021, 123238.

BAN, Cheach C.; RAMLI, Mahyuddin. The Implementation of Wood Waste Ash as a Partial Cement Replacement Material in the Production of Structural Grade Concrete and Mortar. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 7, 2011, p. 669-685.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão (coord.). **Materiais de construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2014. v. 1.

CARASEK, Helena. **Argamassas.** Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. Ed G.C. Isaia. 2. ed. São Paulo, IBRACON, 2010. v. 2.

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas.** v.1, nov. 2014. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcaosustentavel/show.asp?ppgCode=DAE7FB57-D662-4F48-9CA6-1B3047C09318>. Acesso em 18/05/2020

CEMPRE - CONSÓRCIO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Vidro**. Ficha técnica, artigos e publicações. [s.d.] Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>. Acesso em 24/09/2020

CORDEIRO, Guilherme Chagas. **Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cana-de-Açúcar e da Casca de Arroz como Aditivos Minerais em Concreto**. 2006. 445 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

DEBSKA, Bernadeta; LICHOLAI, Lech; SILVA, Guilherme J. B. Effects of waste glass as aggregate on the properties of resin composites. **Construction and Buildings Materials**, v. 258, 2020, 119632.

FOELKEL, Celso. Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto: Resíduos Minerais. **Eucalyptus Online Book**. São Paulo, v. 25, n. 5, out. 2011. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT25_ResiduosMinerais.pdf. Acesso em 04/11/2020

FRANÇA, Débhora F. S.; et al. Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, 2016, p. 153-166.

FUSADE, Lucie; et al. The effect of wood ash on the properties and durability of lime mortar for repointing damp historic buildings. **Construction and Building Materials**, v. 212, 2019, p. 500-513.

GARÉ, José Carlos. **Contribuições da construção civil brasileira para o desenvolvimento sustentável**. 2011. 164 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Municipal de São Caetano do Sul, São Caetano do Sul-SC, 2011.

GOROSPE, Karla; et al. Effect of various glass aggregates on the shrinkage and expansion of cement mortar. **Construction and Buildings Materials**, v. 210, 2019, p. 301-311.

HORTA, Carmo; et al. Avaliação do potencial fertilizante de dois resíduos da indústria florestal. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, 2010, p.147-159.

KHAN, Mohammad N. N.; SARKER, Prabir K. Effect of waste glass fine aggregate on the strength, durability and high temperature resistance of alkali-activated fly ash and GGBFS blended mortar. **Construction and Building Materials**, v. 263, 2020, 120177.

KIM, Jihwan; YI, Chongku; ZI, Goangseup. Waste glass sludge as a partial cement replacement in mortar. **Construction and Building Materials**, v. 75, 2015, p. 242-246.

LARUCCIA, Mauro Maia. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. **Revista ENIAC Pesquisa**, v. 3, n. 1, 23 jun. 2014, p. 69-84.

LIU, Guangue; FLOREA, Miruna V. A.; BROUWERS, H. J. H. Performance evaluation of sustainable high strength mortars incorporating high volume waste glass as binder. **Construction and Building Materials**, v. 202, 2019, p. 574-588.

LOPES, Raduan K. **Utilização de resíduo moído de vidro industrial na confecção de argamassa de cimento Portland em Porto Velho/Ro.** 2017, 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

LOUZADA JUNIOR, Marco A.; et al. O contexto brasileiro e as oportunidades de aproveitamento de resíduos de madeira. **Saúde e Meio Ambiente**, v. 5, n. 3, 2017, p. 24-40.

LU, Jian-Xin; et al. Improving the performance of architectural mortar containing 100% recycled glass aggregates by using SCMs. **Construction and Building Materials**, v.153, 2017, p. 975-985.

MACHADO, Thiago Pérez. **Avaliação do envolvimento das construtoras no processo sustentável da construção civil em Aracaju-SE.** 2018. 110 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

MACIEL, Lucia L.; BARROS, Mércia M. S. B; SABBATINI; Fernando H. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação interna e externa e tetos.** São Paulo: EPUSP, 1998. 36 p.

MATOS, Ana M.; SOUSA-COUTINHO, Joana. Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement. **Construction and Building Materials**, v. 36, 2012, p. 205-215.

MEHTA, Povindar K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**, 3 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2008. 751 p.

NAHI, Samir; et al. Properties of cement pastes and mortars containing recycled green glass powder. **Construction and Building Materials**, v. 262, 2020, 120875.

NAIK, Tarun R.; MORICONI, G. Environmental-friendly durable concrete made with recycled materials for sustainable concrete construction. In: International Symposium on Sustainable Development of Cement. **Concrete and Concrete Structures**, Toronto, 2005, p. 485-505.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 912 p.

OLIVEIRA, Kaique F. **Incorporação de Resíduos de vidro em pó em argamassas de assentamento.** 2018. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2018.

OLIVEIRA, Renata; BRITO, Jorge de; VEIGA, Rosário. Incorporation of fine glass aggregates in renderings. **Construction and Building Materials**, v. 44, 2013, p. 329-341.

PARGHI, Anant; ALAM, M. Shahria. Physical and mechanical properties of cementitious composites containing recycled glass powder (RGP) and styrene butadiene rubber (SBR). **Construction and Building Materials**, v. 104, 2016, p. 34-43.

RAMOS, Telma; MATOS, Ana M.; SOUSA-COUTINHO, Joana. Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion. **Construction and Building Materials**, v. 49, 2013, p. 343-351.

RECENA, Fernando A. P. **Conhecendo a argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012. 188 p.

RESENDE, Domingos S. **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar**. 2013. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2013.

RIBEIRO, Anderson O. **Estudo de resíduo da lapidação de vidro para incorporação em argamassas de cimento Portland**. 2015. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

RIBEIRO, Simone V. **Reutilização de resíduo de cinza de madeira na Produção de tijolo solo-cimento: formulação, Propriedades e microestrutura**. 2017. 105 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2017.

RODIER, Loïc; SAVASTANO JR., Holmer. Use of glass powder residue for the elaboration of eco-efficient cementitious materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, 2018, p. 333-341.

ROSSO, Lucas T.; MELO, João V. S. Impact of incorporating recycled glass on the photocatalytic capacity of paving concrete blocks. **Construction and Building Materials**, v. 259, 2020, 119778.

SAFIUDDIN, Md.; et al. Utilization of solid wastes in construction materials. **International Journal of the Physical Sciences**, v. 5, 2010, p. 1952-1963.

SANTOS, Diogo P. **Influência do resíduo de vidro nas propriedades de uma argamassa colante**. 2016. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, Campos dos Goytacazes, 2016.

SICHERI, Eduvaldo P.; CARAM, Rosana; SANTOS, Joaquim C. P. **Vidros na construção civil**. ISAIA G. C. (ed). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*, 1.ed. São Paulo, IBRACON, 2007. v. 2.

SILVA, Rebeca B.; et al. Cinzas de biomassa geradas na agroindústria do cacau: caracterização e uso em substituição ao cimento. **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre-RS. v. 15, 2015, n. 4, p. 321-334.

SOUSA NETO, Luciano M. **Utilização de resíduo de vidro moído como adição mineral para a produção de concreto autoadensável e de alto desempenho**. 2014. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

SOLANKI, Pranshoo; BIERMA, Thomas; JIN, Guang. Properties of flowable fill produced by substituting fly ash with recycled glass powder. **Construction and Building Materials**, v. 265, 2020, 120330.

WANG, Her-Yung. The effect of the proportion of thin film transistor–liquid crystal display (TFT–LCD) optical waste glass as a partial substitute for cement in cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 25, 2011, p. 791–797.

YIN, Weisong; et al. Utilization of waste glass powder as partial replacement of cement for the cementitious grouts with superplasticizer and viscosity modifying agent binary mixtures: Rheological and mechanical performances. **Construction and Building Materials**, v, 286, 2021, 122953.