

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
FACULDADE DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LETICIA FRANÇA DE SOUZA

**ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS PLÁSTICO E PÓ DE VIDRO EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE
ARGAMASSA PARA CHAPA CIMENTÍCIA**

MANAUS

2025

LETICIA FRANÇA DE SOUZA

**ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS PLÁSTICO E PÓ DE VIDRO EM
SUBSTITUÇÃO PARCIAL AO AGREGADO MÍUDO NA FABRICAÇÃO DE
ARGAMASSA PARA CHAPA CIMENTÍCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal
do Amazonas (UFAM), como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof(a). Dr^a Ivana Helena de La-Rocque Soares

MANAUS

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S729e Souza, Leticia França de
Estudo do uso de resíduos plástico e pó de vidro em substituição
parcial ao agregado miúdo na fabricação de argamassa para chapa
cimentícia. / Leticia França de Souza. - 2025.
50 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Ivana Helena de La-Rocque Soares.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Curso de
Engenharia Civil, Manaus, 2025.

1. Resíduo plástico . 2. Pó de vidro. 3. Argamassa cimentícia . 4.
Construção sustentável . I. Soares, Ivana Helena de La-Rocque. II.
Universidade Federal do Amazonas. Faculdade de Tecnologia.
Curso de Engenharia Civil. III. Título

LETICIA FRANÇA DE SOUZA

**ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS PLÁSTICO E PÓ DE VIDRO EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE
ARGAMASSA PARA CHAPA CIMENTÍCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal
do Amazonas (UFAM), como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 28/11/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Ivana Helena de La-Rocque Soares - UFAM
Orientadora

Prof. Dr. Régis Pamponet da Fonseca - UFAM
Avaliador

Prof.^a Dr.^a Marivone Souza De Oliveira - UFAM
Avaliadora

“Não há dor maior do que ser
Forte o tempo todo. Mas foi assim que
Descobri a mulher inquebrável que
Existe em mim”

AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha mais sincera gratidão a todas as pessoas que estiveram presentes ao longo da minha trajetória acadêmica. Não foi um caminho fácil: enfrentei muitos desafios e barreiras, mas, com esforço e fé, consegui vencer e realizar um dos meus maiores sonhos, em conquistar a minha formação.

À minha mãe, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo apoio, força e amor incondicional nos momentos mais difíceis. Sua presença constante, sua dedicação e o cuidado comigo e com minha filha foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Dedico-lhe minha eterna gratidão e amor.

Ao meu esposo, por ser um companheiro presente, por acreditar em mim e por me incentivar a nunca desistir, mesmo diante das lutas. Você foi um braço forte, oferecendo todo o amparo e coragem de que precisei.

À minha irmã, exemplo de força e perseverança, que me encorajou em diversos momentos e me inspirou a seguir em frente com determinação.

À minha amiga Alice Freitas, pela amizade verdadeira e pelo apoio constante. Sempre disposta a me ouvir e a me ajudar, esteve presente quando mais precisei. Jamais esquecerei sua generosidade e companheirismo.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica, pelo compartilhamento de conhecimentos, dedicação e incentivo ao longo dessa caminhada.

E, em especial, à minha orientadora, professora Ivana Soares, pela atenção, paciência e dedicação durante todo este processo. Agradeço por ser uma referência profissional e por inspirar em mim o compromisso com a responsabilidade, a sustentabilidade e o respeito ao meio ambiente.

RESUMO

Em virtude da grande preocupação com o crescimento dos impactos gerados pelo descarte indevido dos resíduos plásticos e pela baixa taxa de reciclagem do vidro, esta pesquisa estudou uma argamassa produzida com a substituição da areia por resíduo plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD) nos teores de 0%, 50% e 100%, além da adição de 10% de pó de vidro para preenchimento de vazios. As matérias-primas foram caracterizadas quanto à composição química, estrutura, morfologia e granulometria. A dosagem das argamassas foi definida conforme estudos da literatura, adotando-se relação água/cimento de 0,5 e traço de 1:1 (cimento: areia). Foram produzidas três argamassas, denominadas AG0, AG50 e AG100, conforme os teores de substituição, e caracterizadas quanto à resistência à compressão, absorção de água e morfologia por MEV a partir dessas argamassas, foram produzidas as placas cimentícias sem reforço de fibras, avaliadas quanto à resistência à tração na flexão. Aos 28 dias de cura, as resistências à compressão foram de 30,68 MPa (AG0), 17,12 MPa (AG50) e 6,33 MPa (AG100), e as resistências à flexão foram de 3,21 MPa, 2,08 MPa e 1,45 MPa, respectivamente. Constatou-se que o aumento do teor de substituição reduziu a resistência mecânica, porém os valores obtidos são compatíveis com os relatados por outros autores, indicando potencial de aplicação em materiais de construção. Assim, a proposta configura-se como alternativa sustentável, reduzindo os impactos da extração de areia e promovendo o reaproveitamento de resíduos.

Palavras-chave: Resíduo plástico; Pó de vidro; Argamassa cimentícia; Construção sustentável.

ABSTRACT

Given the significant concern regarding the growing impacts generated by the improper disposal of plastic waste and the low recycling rate of glass, this research studied a mortar produced by replacing sand with low-density polyethylene (LDPE) plastic waste at levels of 0%, 50%, and 100%, in addition to the addition of 10% glass powder to fill voids. The raw materials were characterized in terms of chemical composition, structure, morphology, and particle size distribution. The mortar mix was defined according to literature studies, adopting a water/cement ratio of 0.5 and a 1:1 mix design (cement: sand). Three mortars, named AG0, AG50, and AG100 according to the replacement levels, were produced and characterized in terms of compressive strength, water absorption, and morphology by SEM. From these mortars, cementitious boards without fiber reinforcement were produced and evaluated for flexural tensile strength. After 28 days of curing, the compressive strengths were 30.68 MPa (AG0), 17.12 MPa (AG50), and 6.33 MPa (AG100), and the flexural strengths were 3.21 MPa, 2.08 MPa, and 1.45 MPa, respectively. It was found that increasing the substitution content reduced the mechanical strength; however, the values obtained are consistent with those reported by other authors, indicating potential application in construction materials. Thus, the proposal is configured as a sustainable alternative, reducing the impacts of sand extraction and promoting the reuse of waste.

Keywords: Plastic waste; Glass powder; Cementitious mortar; Sustainable construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dragagem da areia no leito de rio.....	16
Figura 2 – Processo de extração da areia, a) e b) Fase de instalação e c) e d) Operação	16
Figura 3 – Produtos plásticos que foram parar nos oceanos	17
Figura 4 – Curva de projeção da produção global, em toneladas, na produção de plásticos vão até o ano de 2030	18
Figura 5– Processos de produção do vidro	21
Figura 6 – Placas cimentícias, processo de montagem	23
Figura 7– Exemplo de aplicações das placas cimentícias, vedações (a), pisos internos e externos (b) e (c) e shafts (d).....	24
Figura 8 – Estrutura metálica do LSF	25
Figura 9 – Os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável	25
Figura 10 – Fluxograma	28
Figura 11 - Preparo das argamassas, matérias secas (a), adição água b) e mistura mecânica c)	31
Figura 12 - Moldagem dos corpos de prova, argamassa vertida no molde a), argamassa moldada b) e argamassa com proteção da placa acrílica c)	32
Figura 13 – Moldagens das Placas cimentícias, argamassa vertida no molde de acrílico a), Placas em temperatura ambiente por 24h b) e Placas envolvida em filmes c)	33
Figura 14 – Placa após a cura e marcações dos cortes das amostras a), Placas após os cortes em 4 partes b) amostra posicionada nos apoios do equipamento no ensaio de flexão c)	34
Figura 15 – Difratoograma do pó de vidro.....	36
Figura 16 – Sobreposição das curvas de granulometria da areia, resíduo plástico e pó de vidro.....	37
Figura 17 – Percentual de absorção de água das argamassas AG0, AG50 e AG100 em função de teores de substituição da areia por resíduo Plástico e Pó de vidro.....	38
Figura 18 - Resistencia à compressão das argamassas, AG0, AG50 e AG100.....	39
Figura 19 - Resistencia à tração na flexão das placas cimentícias das argamassas CPAG0, AG50 e AG100.....	40
Figura 20 – Morfologia da Argamassa AG0	41
Figura 21 – Morfologia da Argamassa AG50 e AG100.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade em gramas, da dosagem das argamassas, AG0, AG50 e AG 100	31
Tabela 2 – Composição química do cimento	35
Tabela 3 – Composição química do Pó de vidro	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AG	Argamassa
Cu	Coefficiente de Uniformidade
Cc	Coefficiente de Curvatura
DRX	Difração de Raio x
FRX	Florescência de Raio x
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MF	Módulo de Finura
MPa	Mega Pascal
NM	Norma Mercosul
ONU	Organização das Nações Unidas
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PVC	Policloreto de Vinila
RPV	Resíduo de Pó de Vidro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivo específico	14
3. REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1 O PROBLEMA AMBIENTAL OCASIONADO PELO CONSUMO DA AREIA	15
3.2 O impacto ambiental causado pelos resíduos plástico e vidros: seu aproveitamento na construção civil	17
3.3 Placas cimentícias	23
4. MATERIAS E MÉTODO	28
4.1 Materiais	28
4.2 Método	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 FRX do cimento e pó de vidro	35
5.2 DRX do pó de vidro	36
5.3 Granulometria da areia, PEBD e pó de vidro	37
5.4 Absorção de água das Argamassa.....	38
5.5 Resistência a compressão	39
5.6 Resistência a tração na flexão	40
5.7 Microestrutura das argamassas.....	41
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
7. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O Setor da construção civil tem se desenvolvido e crescido de forma significativa ao longo dos anos. A demanda por consumo de recursos naturais e matérias primas também têm aumentado, tornando-se uns dos principais responsáveis por impactos ambientais. Esses impactos são resultados de resíduos gerados nas produções de insumo e execução de obras, e na retirada de recursos naturais, como a areia cuja a extração em leitos fluviais tem sérios danos ao meio ambiente.

Nesse contexto, estudos e pesquisas buscam alternativas sustentáveis com o objetivo reduzir os impactos causados por essas práticas. Portanto pesquisas que envolvam o aproveitamento de resíduos na substituição da areia, segundo material mais consumido na construção civil na produção de argamassas e concretos. Sua extração de leitos dos rios impacta de tal forma no meio ambiente, que é necessário fazer habitação da área degradada, por um processo longo, dinâmico e complexo (Lelles *et al.*, 2005).

Quanto aos resíduos, um dos mais impactantes ao meio ambiente, conforme Geyer *et al.*, (2017) são os resíduos de polímero (plástico) que vão parar nos oceanos, em virtude do descarte inadequado. Conforme Miranda (2019) cerca de 90% dos polímeros que poluem os oceanos vêm dos rios. Autores, tal como Mohamed *et al.* (2024), Dumre *et al.* (2024) e Yun *et al.* (2024) estudaram a substituição da areia por resíduo de polímero em argamassas com resultados que mostram potencial para substituição.

Outro resíduo que também é causador de grande impacto ambiental é o vidro. Apesar de ser um material que pode volta do ciclo, ainda existe baixa reciclabilidade e acabam sendo descartados de forma incorreta (ZGSGGLASS, 2024). O vidro tem uma composição química e estrutura com características e potenciais para substituir a areia ou cimento na produção de argamassa ou concreto, tal como os estudos de (TRENTIN *et al.* 2020).

No que concerne à aplicação das argamassas na construção civil, existem estudos que utilizam essas misturas na produção de placas cimentícias. Essas placas têm diversas aplicações e compõem o sistema estrutural Light Steel Frame, uma estrutura leve de aço galvanizado que integra o método construtivo a seco, conforme

descrito por Carluc (2022). Trata-se de uma tecnologia que surgiu na década de 1990 no Brasil, a partir da globalização e impulsionou a construção à seco, pois traz uma proposta com menos consumo de água e recurso naturais não renováveis (Brassini, 2015).

Soares et al. (2022) investigaram argamassas produzidas com a substituição parcial da areia por resíduos de polietileno de baixa densidade, aplicadas na fabricação de placas cimentícias. Os autores identificaram desempenho satisfatório, evidenciando o potencial de uso desse compósito em sistemas de vedação.

Diante do exposto, o presente estudo produziu uma argamassa com substituição parcial da areia por resíduo plástico, aliada à incorporação de pó de vidro, e propôs sua aplicação na produção de placas cimentícias, buscando contribuir para o desenvolvimento sustentável e mitigar os impactos gerados pelos resíduos plásticos e pelo vidro descartado.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral:

Estudar teores de substituição da areia por resíduo plástico e pó de vidro em argamassas para Placas cimentícias.

2.2 Objetivo específico:

Definir a dosagem ideal das argamassas produzidas com substituição parcial da areia por resíduos plásticos e pó de vidro, tomando como referência estudos semelhantes da literatura;

Produzir argamassa com a dosagem definida e caracterizá-la;

A partir dos resultados obtidos na caracterização, produzir amostras de chapas cimentícias e caracterizá-la;

Discutir os resultados obtidos relacionado estes com a literatura estudada neste trabalho.

3. REVISÃO DE LITERATURA.

3.1 O PROBLEMA AMBIENTAL OCACIONADO PELO CONSUMO DA AREIA.

A areia é um dos agregados mais consumidos na construção civil, isso ocorre em virtude do alto consumo de argamassa e concreto no processo construtivo. De acordo com o portal Itambé (2022), estima-se um aumento de 45% no consumo global até 2060, isto pode ocasionar a escassez deste material. Outro fator destacado pelo Portal, é que a maior parte da areia consumida é mais adequada, é originário do leito dos rios. No entanto o método para retirada da areia do leito do rio é por meio de dragagem. Esta extração tem um alcance de impactos não somente em termos ecológicos, mas também para aqueles que vivem ao longo dos rios e destes dependem para a sua subsistência.

Tendo em vista a preocupação com o aumento na demanda da areia, entende-se ser necessário usar formas estratégicas que possam mitigar este problema (ONU NEWS, 2022). Desta forma, a aplicação de resíduos sólidos na substituição parcial ou total da areia em argamassas e concretos, pode ser um aliado para mitigar risco da escassez da areia.

Areia é o segundo recurso mais explorado na terra, conforme Smigaj *et al.*, (2025), as taxas de extração contínua, tem provocado o aumento do suprimento sustentável, isto impacta no ecossistema e nas comunidades locais.

Na cidade de Manaus, no estado do Amazonas, o problema com o consumo da areia, não é diferente ao que foi mencionado anteriormente. A expansão urbana, nos últimos anos, conforme Santos (2017), intensificou significativamente o volume da areia comercializada, causando preocupação em relação à sua extração.

As fases de operação da extração da areia por dragagem (Figura 1), conforme descrito na pesquisa de Lelles *et al.*, (2025) podem ser realizadas empregando dragas com bombas de sucção e recalque instaladas sobre barcaças ou plataformas flutuantes. Após a retirada e estocagem, a areia é peneirada, carregada em caminhões para a fonte de consumo e transportada para a entrega ao consumidor.

Figura 1 – Dragagem da areia no leito de rio



Fonte: Etesco (2021)

Entretanto, como observa Nogueira (2016), o processo de extração da areia (Figura 2) em cursos d'água envolve três fases: instalação, operação e desativação, que geram diferentes impactos ambientais. Na fase de instalação (Figura 2 a) e b), a abertura de vias e a supressão da vegetação, durante a fase de operação (Figura 2c e d), os impactos são contínuo, destacando-se a alteração da calha fluvial, instabilidade das margens, poluição por óleos e efluentes, redução da biodiversidade aquática e riscos de acidentes de trabalho e transporte. Já na desativação, pode ocorrer melhoria da qualidade da água, recomposição da vegetação e recuperação paisagística.

Figura 2 – Processo de extração da areia, a) e b) Fase de instalação e c) e d) Operação



Fonte: Nogueira (2016).

Após a retirada da areia, a área necessita ser reabilitada. Trata-se de um processo longo, dinâmico e complexo, que envolve técnicas destinadas a recuperar as características do solo, como fertilidade, estrutura e textura, entre outras. Além disso, podem ser necessárias práticas de reflorestamento e recomposição paisagística (LELLES *et al.*, 2005).

Nota-se a exploração da areia, mesmo regulamentada pelas empresas licenciadas para este fim, acabam ocasionado impactos ambientais de difícil reversão. Em vista desta realidade, neste estudo foi proposto a substituição da areia por teores parciais e totais por resíduos sólidos de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) como opção de potencial ambiental.

3.2 O IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO PELOS RESÍDUOS PLÁSTICOS E VIDROS: SEU APROVEITAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.

O polímero (plástico) é um material de grande relevância mundial devido à sua versatilidade e durabilidade. Entretanto, a produção de materiais poliméricos envolve o uso de combustíveis fósseis, o que suscita significativa preocupação ambiental. A demanda global por polímeros deve crescer, no período de 2023 a 2030, a uma taxa média anual de 3,98%, impulsionada principalmente pelos setores da construção civil, automotivo e eletrônico (VIANA, 2023). Além disso, cerca de 90% dos polímeros que poluem os oceanos (Figura 3) têm origem nos rios, conforme Miranda (2019).

Figura 3 – Produtos plásticos que foram parar nos oceanos.



Fonte: Miranda (2019).

A China é o país que mais contribui para a poluição por resíduos poliméricos provenientes de garrafas plásticas lançadas nos rios e transportadas para os mares, enquanto o Brasil ocupa a quinta posição, conforme Geyer *et al.* (2017). Na última década, cerca de 8 milhões de toneladas de resíduos plásticos foram destinadas aos oceanos. Estima-se que, caso esse cenário de degradação ambiental persista, até 2050 poderá haver mais polímeros nos oceanos do que peixes.

A Figura 4 mostra uma curva, exponencial de projeção de geração de 550 milhões de resíduos sólidos para 2030 a partir de 1950 (GEYER, *et al.* 2017). Este é um dado importante que, justifica a busca por formas de mitigar os riscos previsto para 2030. Uma das alternativas que já estão sendo pesquisadas, é o uso de resíduos poliméricos, na aplicação dos mais variados tipos de materiais para construção civil.

Figura 4 – Curva de projeção da produção global, em toneladas, na produção de plástico vão até o ano de 2030.



Fonte: Geyer *et al.* (2017).

Neste contexto, Mohamed *et al.*, (2024) estudaram uma variação de teores de substituição da areia por resíduo de cloreto de polivinila (PVC) e polipropileno (PP) na concentração de 0, 10, 15 e 20% para produção de concreto. Os resultados mostraram que o aumentar o teor de resíduos de PVC e PP, a resistência à compressão e à tração diminuiriam em função da fraca ligação entre a superfície do resíduo e da pasta

de cimento. Os autores associaram este resultado as propriedades hidrofóbicas do resíduo que prejudicam a hidratação do cimento.

O estudo de Mariano et al. (2022) analisa a utilização do polietileno de baixa densidade (PEBD) como substituição parcial do agregado miúdo no concreto. O objetivo foi avaliar o comportamento mecânico do material em diferentes proporções (5%, 10% e 15%). Os resultados apontaram que a substituição aumentou o abatimento do concreto fresco, reduziu a resistência à compressão e a absorção de água por capilaridade, mas apresentou ganho de resistência à tração quando a substituição foi de 5%. Apesar da perda em algumas propriedades mecânicas, o uso do PEBD mostrou-se viável em aplicações não estruturais, como pisos, calçadas e contrapisos, por tornar o concreto mais leve e contribuir para uma abordagem mais sustentável na construção civil.

Durmre et al., (2024) produziram paredes leves do polietileno de baixa densidade (PEBD) do pós-consumo como uma alternativa de substituição à areia. Os resíduos foram incorporados, triturados, nas argamassas nos teores de 0; 2,5; 7,5 e 10% em peso da areia e 0,05% de melaço como opção de um retardador de alto alcance e um plastificante de médio alcance.

Foram analisadas as propriedades físicas, mecânicas e absorção de água para todos os teores. Todas as argamassas apresentaram resultados dentro dos limites de absorção de água, 12 a 22%, indicando que a absorção de água aumenta com o aumento da porosidade e da porcentagem de resíduos. Além disso, a resistência à compressão aos 28 dias reduziu, proporcionalmente, com o aumento do teor de resíduos variando 38 MPa a 5 MPa. Da mesma forma aconteceu para a resistência á flexão decrescendo a 6 MPa para 4,1 MPa. A meta da produção de painéis leves foi atendida para resistência maior que 3,5 MPa com 7,5% de teor de resíduo sem melaço.

Segundo Lima Neta (2021) investiga a viabilidade avaliou a influência da adição de polietileno em argamassas, substituindo parcialmente o agregado miúdo em diferentes proporções. Os resultados mostraram que, à medida que aumentava o teor de substituição, a resistência à compressão apresentou redução significativa: a argamassa de referência obteve 29,86 MPa, enquanto os traços modificados com PEBD apresentaram valores de 28,66 MPa (2,5%), 25,39 MPa (5%), 13,55 MPa (7,5%) e 10,43 Mpa (10%). Quanto à resistência à tração na flexão, também houve queda em relação ao traço de referência (5,56 MPa), sendo observados a adição de

2,5% do resíduo polímero à argamassa, obtendo 7,85 Mpa com deformação de 0,78 mm. Desta forma, a aplicação do polímero na argamassa é favorável, favorecendo a redução de consumo de fontes naturais não renováveis e colaboração ao meio ambiente.

Conforme Lira (2017), investigou-se a distribuição das partículas de politereftalato de etileno (PET) micronizado como substituto parcial do agregado miúdo em argamassas, nos teores de 20% e 30%, analisando suas propriedades físicas, mecânicas e microestruturais. O estudo resultou em argamassas com redução significativa da resistência à compressão, tanto para 20% quanto para 30% de substituição, apresentando valores de 1,13 MPa e 1,14 MPa aos 28 dias, respectivamente. Observou-se também aumento na absorção de água e no índice de vazios, indicando maior porosidade devido à baixa interação entre a interface do polímero e a pasta cimentícia, o que ocasiona baixa aderência entre o PET e os componentes cimentícios, dificultando o empacotamento das partículas e resultando em uma matriz irregular e heterogênea.

A análise da argamassa por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) confirmou uma superfície com falhas de aderência e regiões porosas, evidenciando uma interface deficiente entre o polímero e a matriz cimentícia.

Em outro estudo, Yun, et al., (2024) substituíram parcialmente a areia em teores de 0, 10, 15, 20 e 25% por resíduos de polímeros politereftalato de etileno (PET) e produziram uma argamassa sustentável, sem aplicação específica, pois somente foi estudada a resistência à compressão nas amostras. Os resultados mostraram que a substituição de um material convencional pelo resíduo, interferiu na interação das partículas devido à fraca ligação do resíduo com a matriz. Isso ocorreu, proporcionalmente como o aumento dos teores de substituição.

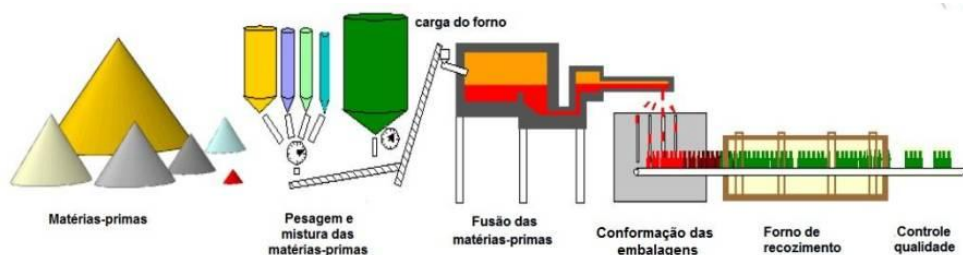
Contudo, o acúmulo de resíduos plásticos no ambiente não é o único fator de preocupação ambiental. A produção de vidro também contribui para o aumento do consumo de areia, uma vez que esse mineral constitui a principal matéria-prima do seu processo de fabricação.

O vidro tem na sua composição química, basicamente dióxido de sílica SiO_2 (sílica), fornecido pela areia, além do óxido de cálcio pela presença do calcário, estabilizante utilizado para dificultar a recristalização da sílica, favorecendo a

transparência do vidro. A sílica é predominante na fabricação do vidro, por ser um material vítreo com características únicas, como a transparência (ARSH GLASS, 2022).

De acordo com Filgueiras (2023), na produção do vidro (Figura 5), há uma demanda muito elevada de temperatura para a fusão da areia, além disso a massa das matérias-primas utilizadas na produção do vidro, supera 20% da massa de vidro, pois algumas delas perdem gases no processo (WIKIVIDROS, 2017).

Figura 5 – A Produção do vidro



Fonte: Wikividros (2017).

De acordo com a ZGSGGLASS (2024), os produtos de vidro têm impacto negativo no ambiente, tais como: extração dos recursos (areia e carbonato de cálcio), consumo de energia e geração de resíduos, pois apesar de serem recicláveis nem todos são reciclados corretamente e acabam sendo descartados de forma inadequada.

O resíduo de vidro tem particularidades na sua estrutura, pois originariamente a areia é um material cristalino (organizado), após a fusão, transforma-se em uma estrutura amorfa (desorganizada). Tendo em vista essa nova estrutura, o vidro tem uma vasta aplicação, tal como vidro oftálmicos, vidro ópticos destinados a proteção nuclear, além das fibras de vidro e outras (ALVES, 2011).

A estrutura amorfa do vidro com a predominância da sílica SiO_2 , amorfa que favorece o seu emprego como substituto parcial do cimento ou agregado miúdo (areia) em materiais de construção. Em vista disto, Trentin et al, (2020) produziram argamassa substituindo areia por resíduo de vidro em pó. Os teores de substituição foram 0, 10, 15, 25 e 50% e realizaram ensaios de consistência no estado fresco, resistência a compressão, à flexão e absorção de água por capilaridade no estado endurecido.

Os resultados mostraram que a melhor consistência foi obtida pelo teor de 10, 25 e 50% com 260, 262 e 261 mm, respectivamente. Para a resistência à compressão

aos 28 dias, observou-se um aumento progressivo com o teor de substituição, apresentando valores aproximados de 3,5 MPa (0%), 3,0 MPa (10%), 3,7 MPa (20%), 3,8 MPa (25%), 4,0 MPa (35%) e 4,2 MPa (50%), sendo o melhor desempenho obtido com 50% de substituição, o que representa um ganho de aproximadamente 27,38% em relação ao traço de referência. Na resistência à tração na flexão, o teor de 50% também se destacou, alcançando 1,8 MPa, valor 40,4% superior ao traço de referência, enquanto os teores intermediários apresentaram valores de cerca de 1,0 MPa (10%), 1,1 MPa (15%) e 1,4 MPa (25%). Por fim, quanto ao coeficiente de capilaridade, o melhor teor foi o de 15%, considerando a melhor qualidade das argamassas.

Neste contexto, Costa e Silva, Maranhão e Alencar (2017) analisaram a substituição parcial e total do agregado natural por pó de vidro em argamassas de revestimento, utilizando teores de 0%, 50% e 100% de agregado reciclado. As formulações adotadas seguiram os seguintes traços: 1:1:6,0 para a amostra de referência (Família 1), 1:1:3,3 para o teor intermediário de 50% (Família 2) e 1:1:0,6 para a substituição total (Família 3). Foram realizados ensaios de peso específico, índice de consistência no estado fresco e resistência à tração e à compressão no estado endurecido. No estado fresco, observou-se que o aumento do teor de pó de vidro resultou em argamassas com menor densidade e maior índice de consistência, indicando melhor trabalhabilidade. Já no estado endurecido, verificou-se ganho de resistência mecânica com o uso do resíduo, evidenciando o potencial do pó de vidro como substituto do agregado natural. Os resultados de resistência à tração dos corpos de prova prismáticos variaram entre 1,31 MPa e 1,58 MPa, demonstrando estabilidade no desempenho mecânico mesmo com a substituição total do agregado. Quanto à resistência à compressão, os valores médios alcançaram 6,23 MPa para o traço de referência (0%), 7,17 MPa para 50% de substituição e 7,40 MPa para 100%. Esses resultados confirmam que o pó de vidro contribuiu para o aumento da resistência à compressão, especialmente nas misturas com maiores teores de substituição, mostrando-se uma alternativa sustentável e tecnicamente viável para a produção de argamassas de revestimento com menor impacto ambiental.

De acordo com o estudo de Paiva (2009), foi avaliado o uso do resíduo de vidro moído (RVM) como substituição parcial do cimento Portland nos teores de 0%, 10%, 15% e 20%. O ensaio de granulometria a laser indicou que o RVM apresenta partículas finas, com diâmetro D10 de 1,34 μm , D50 de 5,15 μm e D90 de 17,16 μm .

Esses resultados demonstram uma distribuição granulométrica adequada para atuar como material de enchimento, favorecendo o empacotamento das partículas e proporcionando o efeito filler. As argamassas produzidas apresentaram resistência à compressão aos 28 dias de 52,61 MPa para a amostra de referência e de 50,70 MPa, 52,16 MPa e 59,78 MPa para os teores de substituição de 10%, 15% e 20%, respectivamente, indicando que o uso do resíduo de vidro contribui para o aumento da resistência mecânica da mistura.

Tendo em vista a problemática apresentada quanto ao descarte do vidro, nesta pesquisa foi analisada a adição de teores de pó de vidro com finalidade de preencher vazios e reduzir a porosidade, incrementando as propriedades mecânicas.

3.3 PLACAS CIMENTÍCIAS

Na década de 1970, surgiu no mercado nacional, a placa cimentícia (Figura 6), mas somente na década de 1990 a partir da globalização, passou a impulsionar a construção à seco com a proposta de menor consumo de água e recursos naturais não renováveis. As placas cimentícias são lisas, produzidas com cimento reforçada de fios sintéticos (BASSANI, 2015).

As placas cimentícias, Figura 6, têm na sua composição cimento, celulose, fio sintético e aditivos e podem ser utilizadas em diversas aplicações na construção civil (PLACK, 2021).

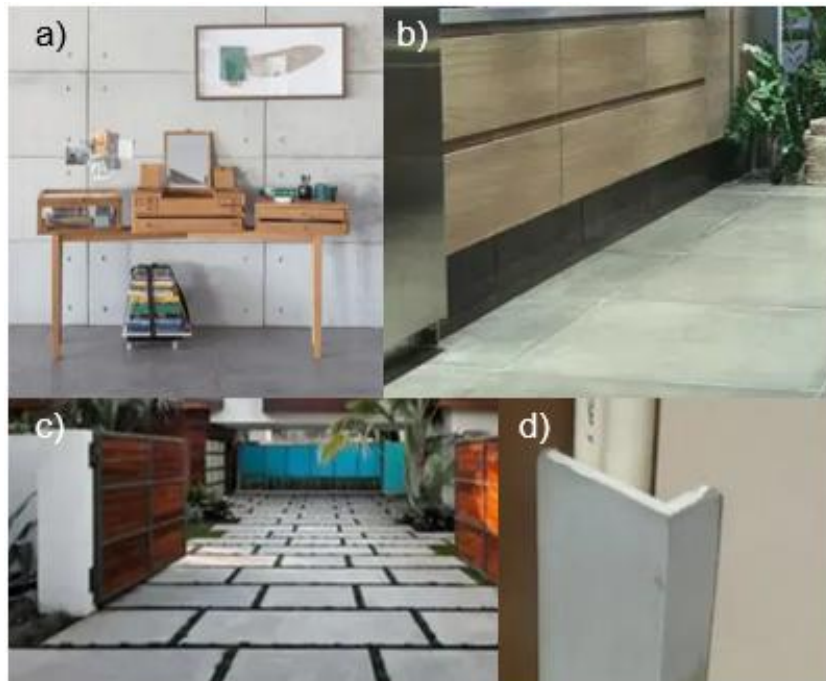
Figura 6 – Placas cimentícias, processo de montagem.



Fonte: Bassani (2015).

As aplicações podem ser vedações de paredes externa e internas (Figura 6), revestimento para pisos internos (Figura 6a) e externos (Figura 6c), revestimentos de paredes, forros, fachadas, beiras, shafts (Figura 6d) e outras aplicações (VIVA DECORA, 2020).

Figura 7-Exemplo de aplicações das placas cimentícias, vedações (a), pisos internos e externos (b) e (c) e shafts (d).



Fonte: Viva Decora, (2020).

As placas cimentícias são instaladas sobre estrutura metálica no sistema Light Steel Frame (LSF). A Figura 8 apresenta uma estrutura leve de perfis de aço galvanizado, formados a frio e com função autoportante. Esse sistema construtivo proporciona maior rapidez e precisão na execução das obras, garantindo o alinhamento adequado dos painéis e a correta disposição de seus elementos (CARLUC, 2022).

Figura 8 – Estrutura metálica do LSF.



Fonte: Carluc, 2022.

As placas cimentícias do LSF, tem ganhado força com pesquisas que propõe resíduos na sua composição, principalmente na substituição do agregado miúdo (areia). São propostos que atendem aos objetivos 7, 8, 9, 11, 12 e 13, (Figura 9) do Desenvolvimento sustentável (ODS) para a agenda de 2030, (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2025).

Figura 9 – Os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável.



Fonte: Nações Unidas Brasil, (2025).

Na pesquisa de Moura et al. (2018), os autores produziram placas cimentícias substituindo a areia por resíduo de polímeros (não especificado) da coleta seletiva

com teores de 0, 5; 20 e 30%. O traço de referência foi de 1:1 (cimento e areia) e uma relação de água/cimento (A/C) = 0,5. No resultado do índice de consistência das argamassas foi observado 198, 137 e 154 mm para teores de 0; 5; 20 e 30%, respectivamente. A consistência da argamassa de referência não foi comentada pelos autores. Nos resultados de absorção por imersão de água, os teores de 5 e 20% ficaram dentro do estabelecido pela norma brasileira, naquela época NBR 15498 (2007), a resistência a compressão simples foi de 25; 15; 8 e 6 MPa para tração na flexão foi de 2; 1,5; 0,5 e 0,4 MPa.

Segundo Moura e Matos (2015), foi investigada a incorporação de resíduos sólidos domiciliares (RSD), compostos por polímeros, papéis e vidro, na produção de placas cimentícias, com o objetivo de avaliar parâmetros físicos e mecânicos, como resistência à compressão, resistência à flexão, massa específica aparente e absorção de água. Foram elaborados três traços com as seguintes proporções (RSD:argamassa): traço 01 – 1:2; traço 02 – 1:3; traço 03 – 1:4.

Nos resultados de resistência à compressão simples, os valores obtidos foram de 4,00; 3,60 e 4,30 MPa, enquanto para a resistência à flexão os valores foram de 1,01; 1,39 e 1,69 MPa, respectivamente. Esses valores, quando comparados aos das placas cimentícias convencionais e das placas de EPS, superam os das placas de EPS, mas não ultrapassam os 4 MPa observados em condições saturadas das placas cimentícias convencionais NBR 15498(2021). A diferença é atribuída à ausência de fibras na composição das placas com RSD. A massa específica aparente apresentou valores inferiores às placas cimentícias convencionais ($1,7 \text{ g/cm}^3$), sendo de 1,00; 1,07 e $1,31 \text{ g/cm}^3$ para os traços 01, 02 e 03, respectivamente, havendo aumento à medida que se reduziu a presença de RSD. Entretanto motivo que não necessariamente anula sua aplicação em vedações verticais (paredes) ou horizontais (forro) de residências, pois há a contribuição do resultado de absorção de água que se demonstrou significativamente abaixo do máximo de 25% permitido pela norma vigente para placas cimentícias (ABNT, 2014).

Em outro estudo, Soares et al. (2016), produziram placas cimentícias substituindo areia por resíduo plástico de PEBD nos teores de 0, 50, 70 e 100%. O traço de referência foi 1:1 e $A/C = 0,45$. Os resultados na consistência das argamassas foram de 175,155 e 0 mm para os teores de 50, 70 e 100% de resíduo plástico. A consistência da argamassa de referência não foi comentada pelos autores. Quanto aos resultados de resistência à compressão simples foi de 40,02; 19,67; 13,59; e 8,68

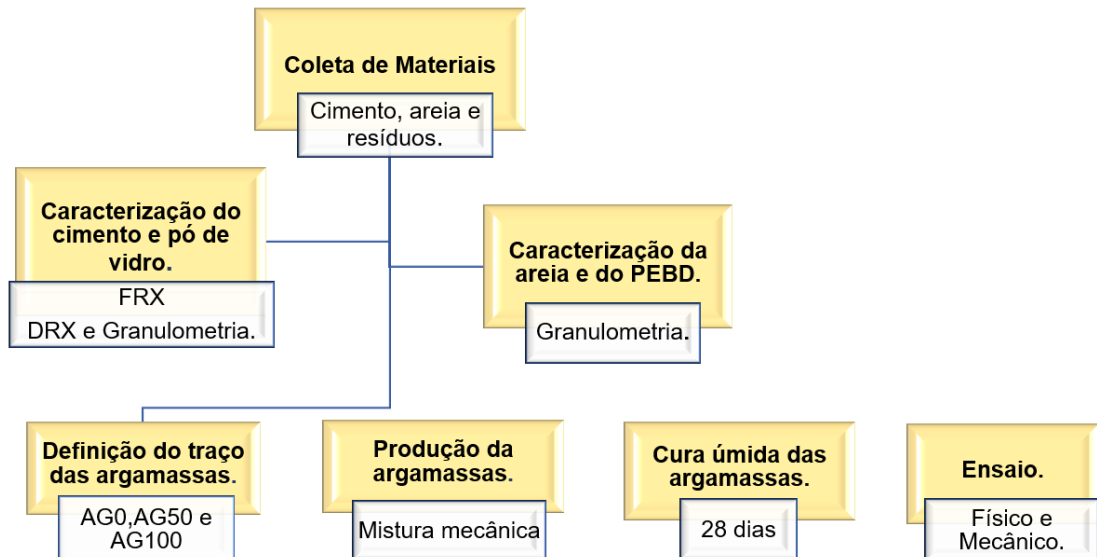
MPa para 0, 70, 50 e 100%, respectivamente. O ensaio de tração na flexão foi realizado somente na argamassa de referência e naquela com o melhor resultado de compressão com 50% de substituição, resultando em 5,94 MPa para 0% 4,25 MPa para 50% de substituição. Os autores concluíram que a placa com substituição de 50% tem potencial para aplicação como cimentícias, favorecendo a redução no consumo de fontes naturais não renováveis.

Ante o exposto, nesta pesquisa, foi estudada a substituição do agregado miúdo (areia) por resíduo plástico de PEBD, em teores de 0, 50 e 100% para a produção de argamassa para placa cimentícia, adotada como parâmetro, a literatura estudada e as normas brasileira NBR 15498(2021).

4. MATERIAS E MÉTODOS

A figura 10 mostra o fluxograma com as etapas da pesquisa.

Figura 10 - Fluxograma



Fonte: Autoria própria (2025).

4.1 Materiais

Os materiais foram coletados, comercialmente na cidade de Manaus.

- Cimento

Nesta pesquisa foi utilizado o cimento Portland CII E, com adição de escória.

- Água

Foi utilizado água potável captada do sistema de abastecimento da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

- Areia

O agregado miúdo utilizado para a produção da argamassa é areia lavada, coletada em leito do rio.

- Resíduo de Polímero

Nesta pesquisa, foi utilizado o resíduo de polietileno de baixa densidade (PEBD), proveniente de indústria localizada em Manaus, nos processos de produção das embalagens de sacolas plásticas comuns do distrito. De acordo com Soares et al. (2022) o resíduo plástico após a coleta, foi lavado, seco ao ambiente, facetado em moedor de facas, moído e peneirado até a granulometria de flocos.

- Resíduo Pó de vidro

O resíduo de vidro (RPV) foi doado na forma de pó pela empresa SUAM Usina de Reciclagem de Vidro proveniente de indústria localizada em Manaus.

- Aditivos

Utilizado na argamassa o aditivo superplastificante, marca MC-PowerFlow 1180, fabricado pela MC-Bauchemie Brasil, sendo um aditivo líquido marrom baseado em policarboxilato, para promover a melhor fluidez, evitando a necessidade de adicionar mais água para não diminuir a resistência desejada.

4.2 Método

Foi realizada a caracterização química do cimento e do RPV por meio da Fluorescência de raios X (FRX). Este método permite conhecer a composição química dos materiais. As condições de análise foi realizada em um Espectrômetro *Panalytical*, modelo Epsilon 3 XL, com tensão máxima de 50 kV, corrente máxima de 3 mA a Gás Helio (pressão 10 atm./10 kgf/cm²).

O RPV foi caracterizado por Difractometria de Raios -X (DRX) com o objetivo de identificar as fases mineralógicas e sua quantificação. As análises de DRX foram realizadas em *Panalytical* modelo *Empyrean* com Cu-K α ($\lambda=0.1541$ x nm) em uma faixa angular de 10-80° de 2 θ . O passo e o tempo por passo foram 0,02° de 2 θ e 60 s, respectivamente. Esta análise permite identificar a microestrutura do material.

A granulometria dos resíduo PEBD e Pó de vidro foi obtida por meio do espalhamento a laser em equipamento Malver Instruments, Mastersizer 200, com velocidade e tempo de rotação de 2200 rpm e 12 s, respectivamente e background 20 s.

A areia foi caracterizada conforme ensaio a NBR NM 248 (2003). A areia foi previamente lavada, seca em estufa a 100C por 24h. Na sequência o material foi peneirado, foi determinada a curva de granulometria e o módulo de finura pela equação 1.

$$MF = \frac{\Sigma retido\%}{100} \quad \text{Equação 1}$$

Para determinação da massa específica real do agregado miúdo, conforme o ensaio de Chapman do dado pela equação 2.

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad \text{Equação 2}$$

Onde

γ = massa específica do agregado miúdo (g/cm³)

L= Leitura no frasco (volume de água e agregado miúdo)

500 é massa em gramas da amostra

200 é volume inicial em cm³

Para esta pesquisa usou-se a dosagem do material, com um traço de 1:1, Além da adição de 10% de resíduo de vidro e utilizou teor de substituição 50 e 100%. Comprado com estudo de Soares et al. (2022) que utilizou teor de substituição 50, e 100% ao agregado miúdo por resíduo plástico.

As argamassas foram nomeadas de AG0, AG50 e AG 100, sendo AG argamassa e 0, 50 e 100 os teores percentuais de substituição de areia por resíduo plástico. Foi adicionado de pó de vidro em 10% na massa de cimento para todos os teores, no intuito de favorecer o melhor empacotamento das partículas.

Além disso, foi utilizado em todas as argamassas, 4% superplastificante, exceto na argamassa AG0. O teor de água em relação ao cimento, se manteve constante em 0,50. Inicialmente, os materiais foram separados e pesados, de acordo com os traços definidos na Tabela 1.

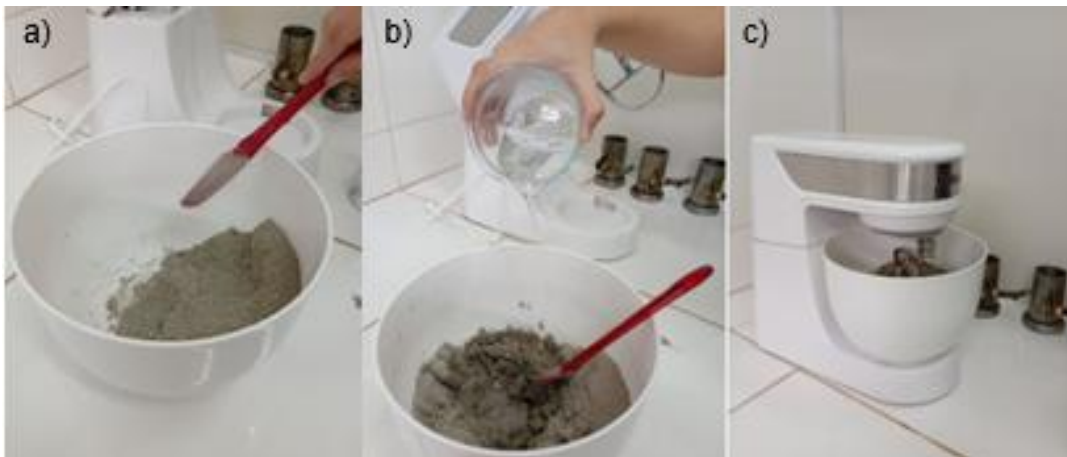
Tabela 1 – Quantidade em gramas, da dosagem das argamassas, AG0, AG50 e AG 100.

Traço	Cimento	Areia	Polímero	Pó de Vidro	Água	Aditivo
AG0	509	509	0	0	229	0
AG50	509	254	94	51	229	2
AG100	509	0	187	51	229	2

Fonte: ELABORADO PELA AUTORA (2025).

A Figura 11 mostra o preparo da argamassa, os materiais secos (Figura 11a) foram colocados em um recipiente e misturado manualmente. Em seguida, a água foi adicionada gradualmente (Figura 11b), passando para um misturador elétrico por 2 minutos (Figura 11c), na velocidade baixa no nível rotação 1. Logo após o término, com a espátula misturando manualmente no fundo do recipiente, garantido a homogeneidade. Posteriormente mais 2 minutos no misturador com velocidade nível media, rotação 2 por 2 min.

Figura 11 – Preparo das argamassas, matérias secos (a), adição água b) e mistura mecânica c)

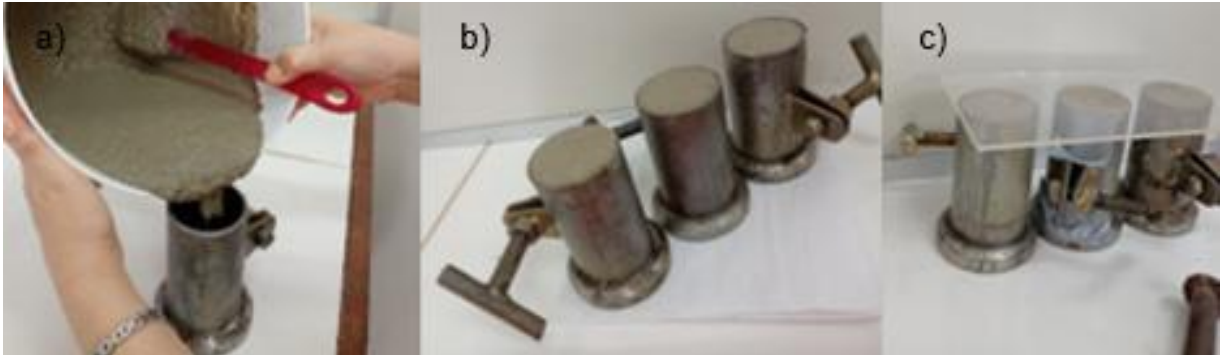


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A Figura 12 mostra a moldagem dos corpos de prova. Após a produção da argamassa, foram moldados 9 corpos de prova, sendo 3 de cada argamassa, com dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. O método seguiu a NBR 5738 (2015). A argamassa foi vertida no molde (Figura 12a) em três camadas sendo que cada um recebeu 30 golpes com soquetes no interior do molde para melhor adensamento. Os corpos de prova no molde (Figura 12b) cobertos com uma placa de

acrílico (Figura 12c) para manter a umidade do material por 24h. Após a desmoldagem, as amostras foram envolvidas em filmes plástico e identificadas para a cura de 28 dias.

Figura 12 – Moldagem dos corpos de prova, argamassa vertida no molde a), argamassa moldada b) e argamassa com proteção da placa acrílica c).



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Após a cura foram realizado o ensaio de absorção de água, conforme a Norma 9778 (2009). Inicialmente medindo a massa seca ao ar e em estufa a temperatura de 105 °C, posteriormente a amostra seca em estufa foi imersa em água por 72 h. O cálculo de absorção de água, obtidos por meio das equações 3:

$$\text{Absorção de água} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

M_{sat} , é a massa do material saturado;

M_s , é a massa do material seca em estufa;

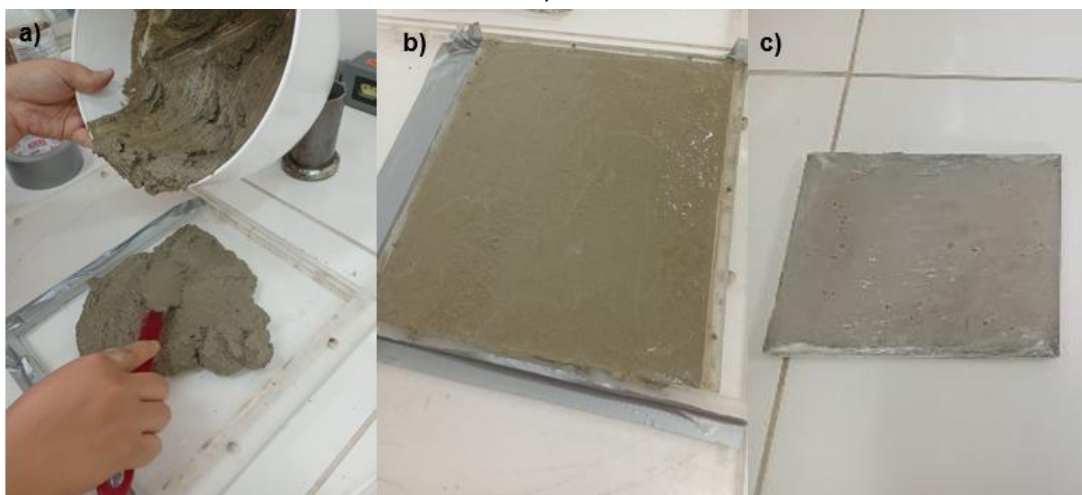
Todas as massas do material medidos em gramas (g).

O ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova foi conduzido no laboratório da empresa **Konkrex**, situada em Manaus, Amazonas, seguindo os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 5739:2018 utilizando o método da Norma NBR 5739 (2018).

Posteriormente foram realizadas as moldagens das chapas cimentícias, baseada pela NBR 15498:2021. A dosagens e forma de preparo para as chapas, foram a mesma adotadas nas moldagens das amostras para compressão.

Como mostra a (Figura 13a) a argamassa foi vertida sendo em um molde de acrílico de forma retangular com dimensões (25 x 20 x 1cm), e para melhor adensamento foram feitos golpes uniformizados na chapa que permaneceu em temperatura ambiente por 24 h (Figura 13b). Em seguida a (Figura 13c) mostra a desmoldagem das placas, que foram pesadas e envolvida em filme plástico para o processo de cura úmida por 28 dias. Foram produzidas 3 Placas, com a argamassa de Referencia AG0 e as AG50 e AG100.

Figura 13 – Moldagens das Placas cimentícias, argamassa vertida no molde de acrílico a), Placas em temperatura ambiente por 24h b) e Placas envolvida em filmes c).



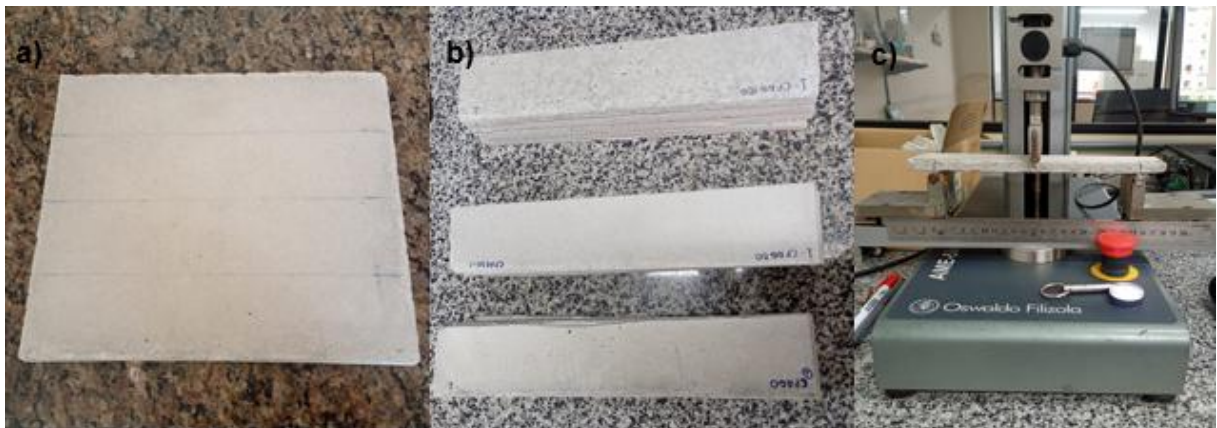
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Após a cura as Placas (Figura 14a) foram novamente pesadas e cortadas em amostras com dimensões (5 x 25 cm), utilizando uma serra de mármore. Para cada chapa forma cortadas 4 amostras (Figura 14b)., totalizando 12 que forma submetidas a ensaios de flexão no equipamento da marca FILIZOLA, modelo mono coluna de mesa com capacidade para 5 kN (Figura 14c). A velocidade do ensaio foi de 0,5 mm/mim em em conformidades com a NBR 12142 (2010).

No ensaio de 3 pontos, a amostra ficou posicionada sobre os suportes que funcionaram como apoio com distancia 2,5 cm entre elas. O carregamento foi

deslocado sobre a amostra por meio de outros dois suportes, a leitura dos resultados, realizados no momento da fratura foi registrado por meio de software que fornece os dados de carregamentos, o tempo e o deslocamento, podendo assim, determinar a resistência à tração na flexão.

Figura 14 – Placa após a cura e marcações dos cortes das amostras a), Placas após os cortes em 4 partes b) amostra posicionada nos apoios do equipamento no ensaio de flexão c).



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 FRX do cimento e pó de vidro

A tabela 2 mostra a composição a composição química do CP II-E com escória granulada de alto forno e atende a norma ABNT NBR 16697 (2018) apresentando baixo teor de óxido de magnésio MgO e teor de trióxido de enxofre SO₃ menor que 4,5%.

Tabela 2 – Composição química do Cimento.

Composição	Concentração (%)
CaO - Óxido de cálcio	61,879
SiO ₂ - Dióxido de silício	22,378
Fe ₂ O ₃ - Óxido de ferro	5,163
AL ₂ O ₃ - Óxido de Alumínio	4,682
SO ₃ - Trióxido de enxofre	3,769
MgO - Óxido de Magnésio	0,893
K ₂ O – Óxido de potássio	0,525
ti – Titânio	0,26
Mn – Manganês	0,187
Outros	0,141
Ag – Prata	0,123

Fonte: ELABORADO PELA AUTORA (2025).

A tabela 3 mostra a composição química do RPV, nota-se o maior teor de óxido de sílica SiO₂, isso ocorre em função do SiO₂ fornecido pela areia, principal matéria-prima do vidro. A presença do óxido de cálcio pode estar relacionada com a presença do calcário, estabilizante utilizado para dificultar e recristalização da sílica, favorecendo a transparência do vidro (ARSH GLASS. 2022).

Tabela 3 – Composição química do Pó de vidro.

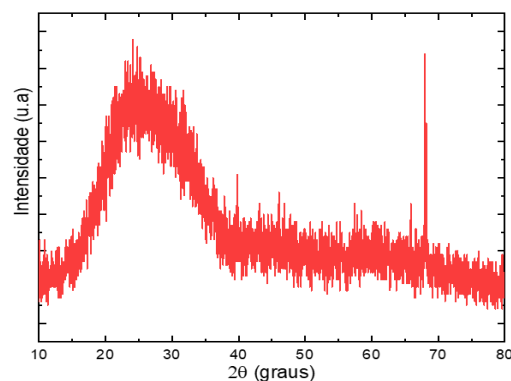
Composição	Concentração (%)
SiO ₂ - Dióxido de silício	70,136
CaO - Óxido de cálcio	20,803
Na ₂ O- Óxido de Sódio	3,211
Fe ₂ O ₃ - Óxido de Ferro	1,706
MgO - Óxido de magnésio	1,28
Al ₂ O ₃ - Óxido de Alumínio	1,236
P ₂ O ₅ - Pentóxido de Fósforo	0,463
K ₂ O – Óxido de potássio	0,394
SO ₃ - Trióxido de enxofre	0,338
Ag – Prata	0,159
Outros	0,159
Ti – Titânio	0,115

Fonte: ELABORADO PELA AUTORA (2025).

5.2 DRX do pó de vidro.

A Figura 15 apresenta o difratograma da amostra, no qual se observa um halo amorfo ao longo da faixa de 18° a 35°. Esse comportamento é característico de materiais que não possuem estrutura cristalina bem definida, indicando a presença predominante de fase amorfa. De acordo com Trentin et al. (2020), a ocorrência desse tipo de halo evidencia que o material possui elevada desordem estrutural, o que favorece sua reatividade e permite uma boa combinação com outros componentes em matrizes cimentícias.

Figura 15 – Difratograma do pó de vidro.

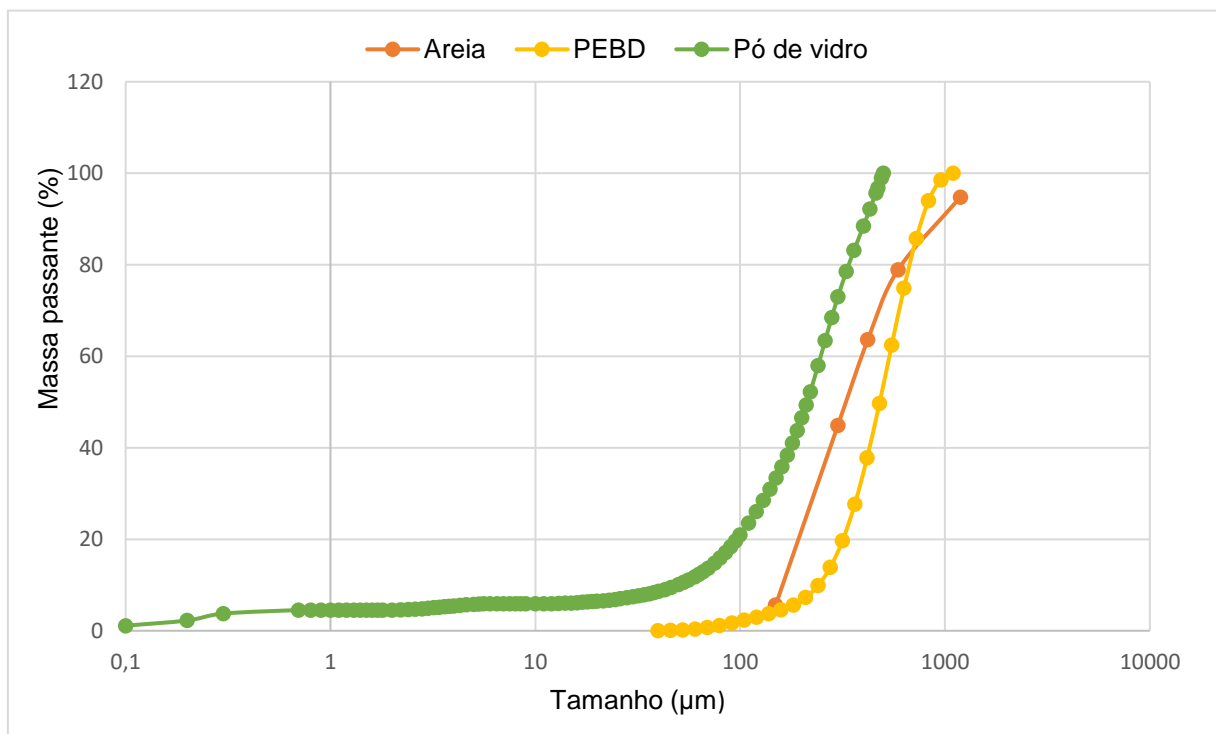


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

5.3 Granulometria da Areia, PEBD e Pó de vidro

A figura 16, mostra o gráfico de sobreposição das curvas granulométrica da areia, resíduo plástico e pó de vidro. A granulometria da areia foi realizada conforme a ABNT 7211, com o cálculo do coeficiente de uniformidade (Cu) e coeficiente de curvatura (Cc) da areia, os resultados foram de 2,35 e 1,32, respectivamente. O módulo de finura foi de 2,56 e ficou dentro da zona ótima para um agregado fino, conforme a ABNT 7211 (2022). Este resultado classificou a areia com solo uniforme e bem graduado, ideal para uso em argamassas (SOARES, 2022).

Figura 16 – Sobreposição das curvas de granulometria da areia, resíduo plástico e pó de vidro.



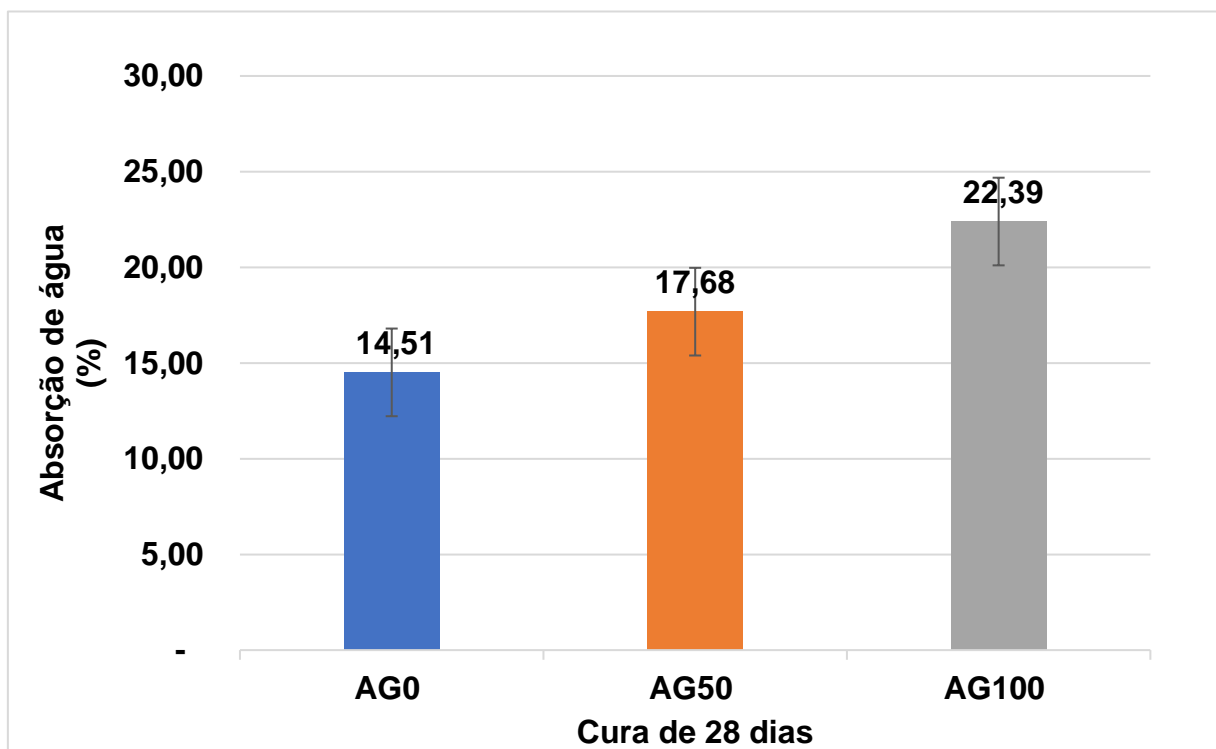
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O resíduo plástico mostrou uma graduação uniforme com CU de 2,2 e CC de 1,02. Neste caso, conforme Soares *et al.*, (2022), por comparação, o resíduo plástico tem granulometria compatível ao da areia.

5.4 Absorção de água da Argamassas

O resultado de absorção de água apresentado na Figura 17, mostra o percentual alcançado nas argamassas AG0, AG50 e AG100 após 28 dias, de acordo com o aumento da substituição da areia por resíduos plásticos e pó de vidro em cada formulação. Nota-se que absorção de água aumentou de 14,51%(AG0) para 22,39%(AG100), tornando a matriz mais porosa e menos densa.

Figura 17 – Percentual de absorção de água das argamassas AG0, AG50 e AG100 em função de teores de substituição da areia por resíduo plástico e adição do pó de vidro.

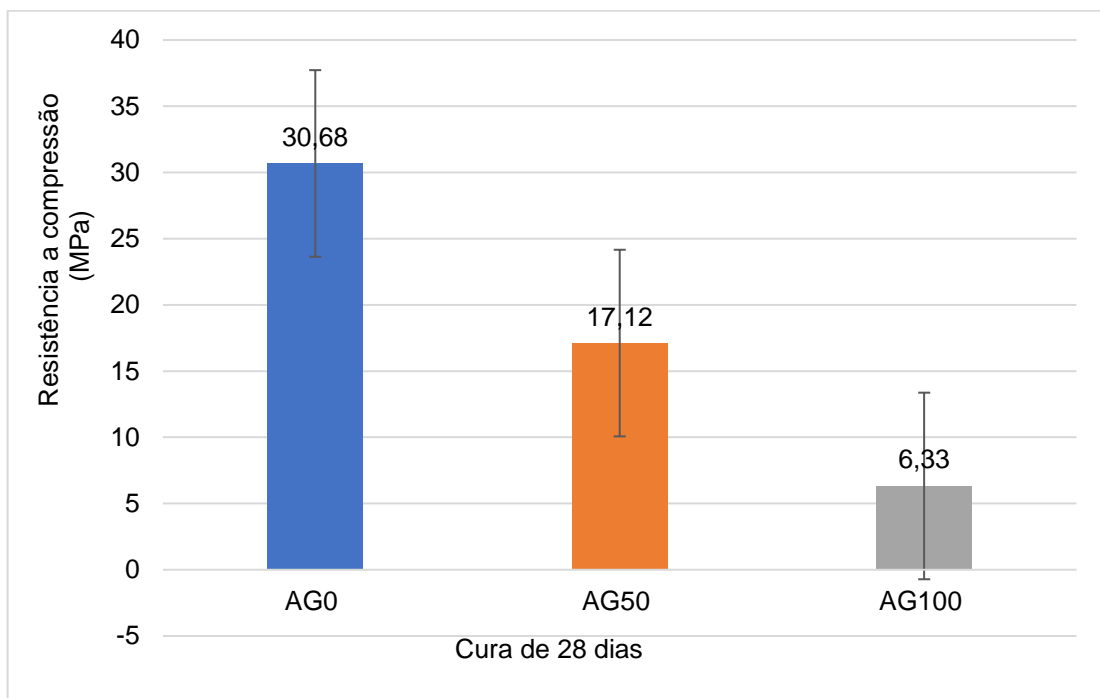


Fonte: Elaborado pela autora (2025)

5.5 Resistência à compressão

A figura 18, mostra o resultado da resistência a compressão, no qual nota-se uma queda bem expressiva à medida que o teor de resíduo foi aumentando. A resistência a média a compressão foi de 30,68 MPa ($\pm 2,89$); 17,12 MPa ($\pm 1,40$) e 6,33 MPa ($\pm 0,17$) respectivamente.

Figura 18 - Resistencia à compressão das argamassas, AG0, AG50 e AG100.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

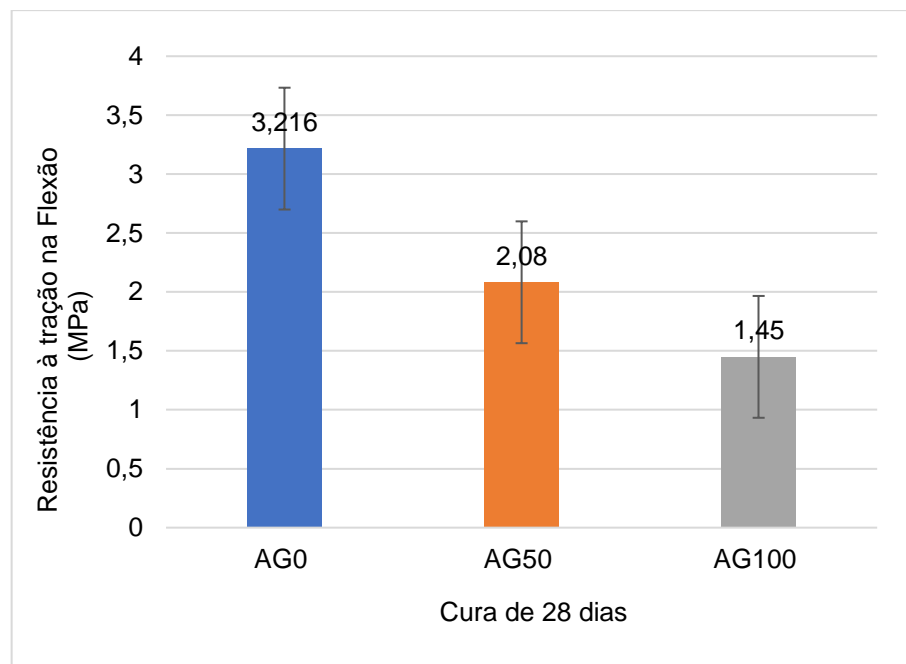
Este resultado é semelhante ao foi observado Dumre et al., (2024) quando substituíram parcialmente areia por resíduo de PEBD encontrado resultados de 38 MPa para 5 MPa para os teores de referência e 7,5%, respectivamente.

A queda da resistência pode estar relacionada com a formação dos poros, conforme comentado no item 5.4.

5.6 Resistência à Tração na Flexão

A Figura 19 apresenta os resultados de resistência à tração na flexão das placas cimentícias após 28 dias de cura. Observa-se uma redução gradual da resistência à medida que ocorre a substituição do agregado miúdo por resíduo de PEBD e pó de vidro nas argamassas. De acordo com a NBR 15498 (ABNT, 2022), o valor mínimo de resistência à flexão para placas cimentícias com reforço de fibras é de 4 MPa. No entanto, o material estudado não contém reforço alcançando resistência média de 3,216 MPa.

Figura 19 – Resistência à tração na flexão das placas cimentícias das argamassas CPAG0, AG50 e AG100.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

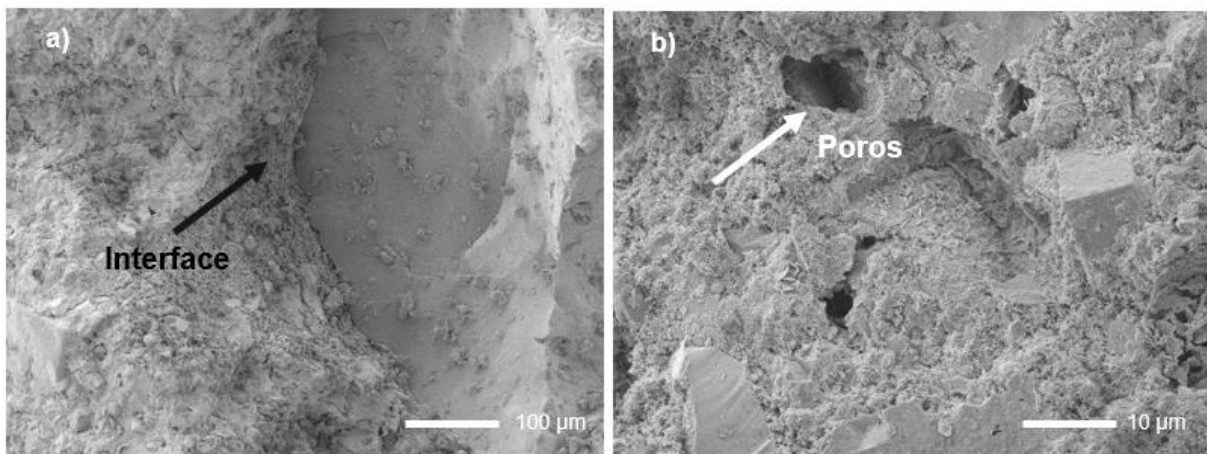
Além disso, ao comparar com outros estudos disponíveis na literatura, como os de Moura et al. (2018) e Moura e Matos (2015), nota-se que os valores obtidos neste trabalho permanecem dentro da faixa esperada para argamassas com composições semelhantes, mas não estão em conformidade para aplicação em placas cimentícias, mas para outros fins.

5.7 Microestrutura das argamassas

As Figuras 19 a 20, apresentam a morfologia das argamassas AG0, AG50 e AG100 após a fratura das placas submetidas ao ensaio de resistência à tração na flexão. Nas imagens, a porosidade é indicada pelas setas brancas, enquanto as interfaces entre os materiais são destacadas pelas setas pretas, tanto na pasta cimentícia da amostra AG0 quanto nas amostras AG50 e AG100.

Na análise da morfologia da argamassa AG0 (Figura 19) observa-se uma interface bem definida entre os grãos de areia e a matriz cimentícia (setas pretas), evidenciando boa aderência entre os componentes e a presença de poucos vazios aparentes (setas brancas), que correspondem a pequenos poros ou microvazios característicos da argamassa convencional.

Figura 20 - Morfologia da Argamassa AG0

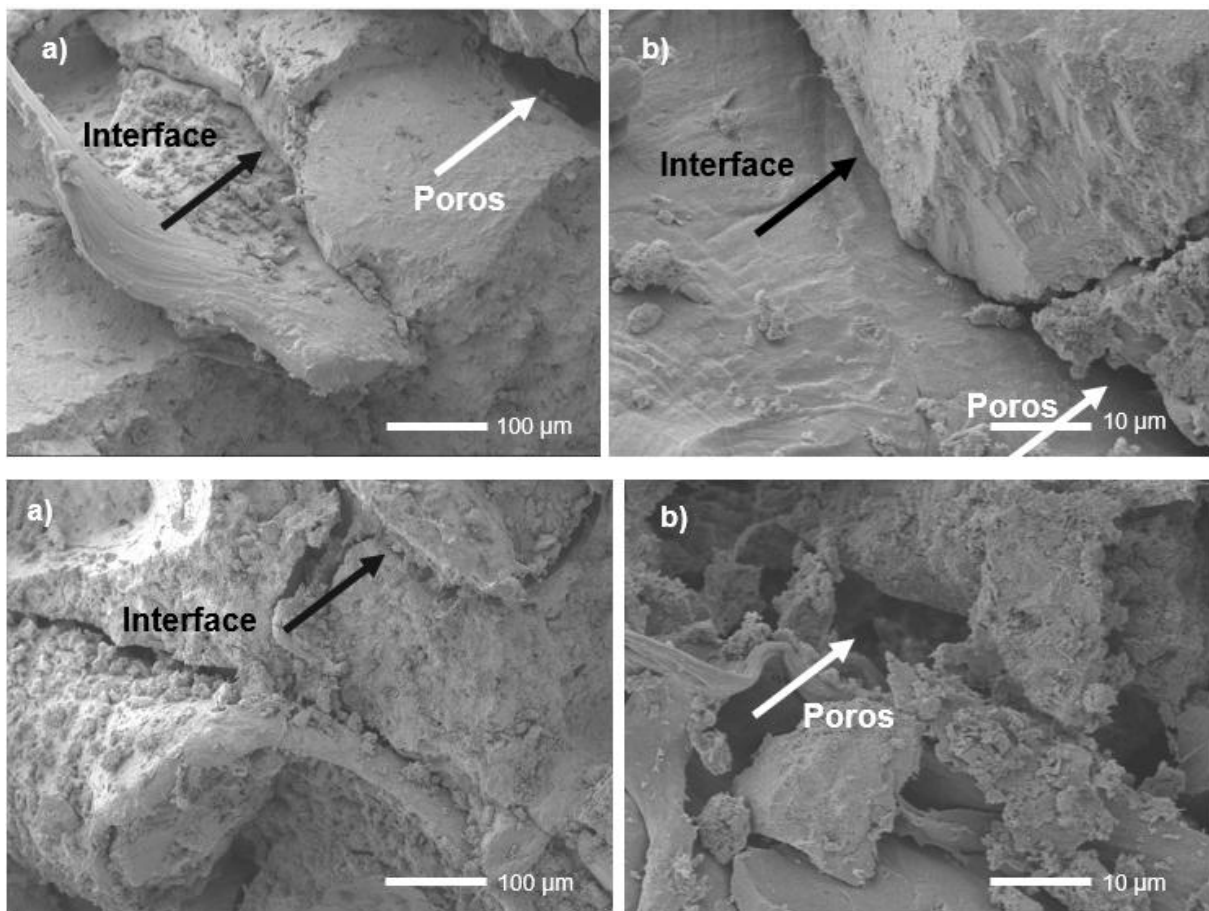


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Na Figuras 20, são apresentadas as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das argamassas AG50 (Figura 20 a/b) e AG100 (Figura 20 c/d). Observa-se uma maior quantidade de vazios (indicados pelas setas brancas) e imperfeições na interface entre o polímero e a matriz cimentícia (setas pretas) (SOARES et al., 2022; LIRA, 2017).

Essa condição evidencia uma interação incompleta entre as fases da mistura, o que compromete o empacotamento das partículas. Tal comportamento está relacionado às características do resíduo de polietileno de baixa densidade (PEBD), material hidrofóbico e de superfície lisa, que dificulta a aderência à matriz de cimento. Isto afirmar com o embasamento de estudo de Yun et al. (2024) substituindo parcialmente areia por resíduo de PET, os autores observaram que houve uma fraca ligação do resíduo com a matriz, proporcionalmente ao aumento de teor de PET, está mesma fraca ligação foi observada na pesquisa de Mohamed et al. (2024), na pasta de cimento, quando utilizaram resíduo de PVC substituindo parcialmente a areia e associaram a fraca ligação, com as propriedades hidrofóbicas do PVC, característica do polímeros, o que pode ter prejudicado a hidratação do cimento.

Figura 21 – Morfologia da Argamassa AG50 e AG100.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Conforme pode ser observado na Figura 20(a), a adição do RPV contribuiu para a redução da porosidade, atuando como um material de enchimento e favorecendo a compactação da matriz. Resultados semelhantes foram reportados por Paiva (2009)

No entanto, esse efeito não é suficiente para compensar a baixa aderência gerada pela presença do PEBD, possivelmente em razão da granulometria inadequada do pó de vidro. Apesar disso, o material apresentou interação satisfatória com a pasta cimentícia, contribuindo para uma distribuição mais uniforme das partículas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme o presente estudo, foi realizada a produção de argamassas com substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduos de polietileno de baixa densidade (PEBD) e pó de vidro, com o objetivo de propor uma alternativa sustentável para a fabricação de chapas cimentícias. Foram utilizados teores de substituição de 0%, 50% e 100%, sendo as amostras caracterizadas quanto à composição química, estrutura, morfologia e granulometria.

Os resultados evidenciaram a influência dos resíduos sobre as propriedades físicas e mecânicas das argamassas. As análises mostraram diferenças significativas entre os materiais utilizados: a areia apresenta estrutura porosa e boa capacidade de absorção de água, enquanto o resíduo plástico possui características hidrofóbicas, que podem dificultar a trabalhabilidade e a aderência na pasta cimentícia. Essas propriedades afetam diretamente os resultados de resistência à compressão e à tração na flexão. Contudo, os valores obtidos neste estudo mostraram-se compatíveis com o desempenho esperado para argamassas sem reforço à compressão.

A análise microestrutural confirmou que o pó de vidro atua como material de enchimento. Portanto a eficiência desse efeito pode ser potencializada por meio da otimização da granulometria do pó de vidro.

Contudo a argamassa estudada não tem potencial para aplicar placas cimentícias, porém é possível incorporar reforços de fibras vegetais para melhorar o desempenho mecânico, além de utilizar o material em argamassas de revestimento e assentamento, desde que sejam observados os limites adequados de substituição para manter a trabalhabilidade e a resistência.

Além de reduzir o consumo de recursos naturais, a aplicação desses resíduos representa uma alternativa ambientalmente responsável, contribuindo para a destinação correta de materiais de difícil decomposição e para a promoção da sustentabilidade na construção civil.

7. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTUROS

A partir da pesquisa realizada sugerem-se os seguintes tópicos para estudo:

- Pode-se melhorar a distribuição granulométrica do resíduo de vidro, realizando a moagem em moinho de bolas.
- Estudar o comportamento mecânico do compósito com PEBD e Pó de vidro, utilizando fibras vegetais como reforço.
- Avaliar o uso das argamassas com PEBD e pó de vidro em argamassa de revestimento e assentamento.

REFERÊNCIAS

- ALVES, O.L. **Modernas aplicações de vidros**. Disponível em: https://Lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_divugacao47-1_vidros.pdf. Acesso em: 29 junho 2025
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15498**. Placas cimentícias sem amianto – Requisitos e métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2021
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 248**. Determinação da composição granulométrica dos agregados miúdos e graúdos para concreto, Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 5739**. Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 16697**. Cimento Portland, Requisitos, Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7211**. Agregados para concreto – Requisitos, Rio de Janeiro, 2022.
- ARSH GLASS, MATÉRIA RIMA DE VIDRO. Disponível em: <https://archglassbrasil.com.br >artigos >matéria-prima-de-vidro>>. Acesso em: 09 julh. 2025.
- BRASSANI COMÉRCIO DE PAREDES E DIVISÓRIAS LTDA – ME. Disponível em: <https://bassani.com.br/placas-cimenticias/#:~:text=A%20%EE%80%80placa%20ciment%ADcia%EE%80%81%20surgiu,%20no%20nacional>. Acesso em 09 julh. 2025
- CARASEK, H.; ARAUJO, R. C.; CASCUDO, O.; ANGELIM, R. **Parâmetros da areia que influenciam a consistência e densidade de massa das argamassas de revestimento**. Revista Matéria, (2016) pp. 714-732. INSS 1517-7076. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/Yk9YQZkZFXxWdxj3RzKjySp/?lang=pt>. Acesso 24 julh. 2025.
- CARLUC. **Light Steel Framing**. Disponível: <https://carluc.com.br/estrutura/light-steel-framing/>. Acesso em 09 julho 2025.
- CIMENTO ITAMBÉ. **Demanda global de areia pode aumentar em 45% e levar à escassez do material** (2022). Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/demanda-global-de-areiapode-aumentar-em-45-e-levar-a-escassez-do-material/>. Acesso em: 30 junho 2025.
- COSTA E SILVA, Angelo Just da; MARANHÃO, Amanda Gabriela Dias; ALENCAR, Luiz Antônio Araújo Coelho. **Estudo do uso de resíduo de pó de vidro em**

substituição do agregado para argamassas. In: CONPAR 2017 – Congresso Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas, Recife, 30 e 31 de agosto de 2017. Disponível em:
<http://revistas.poli.br/index.php/CONPAR/article/view/634>. Acesso em:

DA SILVA, W.T.; FIGUEIRAS, C.A. L. **O vidro e sua importância na sua vida da química.** Química Nova, 46 (2023) 491-501.
 Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.2023003>. Acesso em: 25 junho 2025.

DE LELLES, L. C.; SILVA, E.; GRIFFITH, J. J.; MARTINS, S.V. **Perfil ambiental qualitativo de areia em curso de rio.** Revista Árvore 29 (2025).
 Disponível em:
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000300011>. Acesso em: 05 julho 2025.
 Acesso em: 05 Julh. 2025.

DUMRE, G., BHAT, K. R.; GYAWALI, T. R. Investigation on Properties of mortar with the use of Simply shredded post-consumer plastic waste aggregate and molasses. Heliyon, 10 (2024) e39881.
 Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39881>. Acesso em: 05 junho 2025.

ETESCO. **O que é como funciona a dragagem?** Entenda!
 Disponível em: <https://etesco.com.br/0-que-e-e-como-funciona-a-dragagem-entenda/>
 Acessado em: 05/07/2025.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, 3 (2017) pp. 1700782.
 Disponível em:
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5517107/>. Acesso em: 05 agosto 2025.

LIMA NETA, Maria Henriqueta Conceição. **Estudo do aproveitamento de resíduo polímero em substituição parcial do agregado miúdo em argamassa.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.
 Disponível em:
https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/8472/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o_MariaHenriquetaLima_PPGEC.pdf. Acesso em: 18 agosto 2025.

LIRA, Matheus Oliveira. **Aplicação MEV na investigação da distribuição de partículas de PET micronizado em argamassa para revestimento e assentamento.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande.
 Disponível em:
<https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/23665/1/MATHEUS%20OLIVEIRA%20LIRA%20-%20TCC%20ENG.%20CIVIL%20CTRN%202017.pdf> . Acesso em: 05 nov. 2025.

MARIANO, Tábata Esmeraldo; RIBEIRO, Anna Julia Ferreira; SILVA, Michael Dowglas de Gois; FERREIRA JUNIOR, Milton Batista. **Polietileno de baixa densidade (PEBD): análise das propriedades mecânicas do concreto com substituição parcial do agregado miúdo.** *RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar*, v. 3, n. 3, 2022.

Disponível em: <https://recima21.com.br/recima21/article/view/1271/985>. Acesso em: 18 agosto 2025.

MIRANDA, Ana. 90% do plástico que polui os oceanos vem de 10 rios. Site de Curiosidades, 2017.

Disponível em:

<https://sitedecuriosidades.com/curiosidade/90-do-plastico-que-polui-os-oceanos-vem-de-10-rios.html>. Acesso em: 29 agosto 2025.

MOHAMED, O., AL-KERTTANI, G.; HILAL, N.; HAMMA, S. M.; SOR, N.H., BANYHUSSN, Q. S.; TAWFIK, T. A. Durability and hardened characteristics of cement mortar incorporation waste plastic and polypropylene exposed to $MgSO_4$ attack. *Results in Engineering*, 24 (2024) 103310. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103310>. Acesso em: 18 agosto 2025.

MOURA, J. M. B. M. de; REIS, R.; MAY, S.; PINHEIRO, I. G. **Placas cimentícias e pavers com incorporação de rejeitos da coleta seletiva do município de Blumenau**, SC. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 345- 359, jan./mar. 2018. ISSN 1678-8621.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100225>. Acesso em: 18 out. 2025.

MOURA, João Marcos Bosi Mendonça de; MATOS, Lúcio Flávio da Silveira. **Placas cimentícias à base de resíduos sólidos domiciliares.** *Revista de Estudos Ambientais* (Online), Blumenau, v. 17, n. 1, p. 54-63, jan./jun. 2015. ISSN 1983-1501. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/5040/3192>.

Acesso em: 19/08/2025

NAÇÕES UNIDAS DO BRASIL. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de desenvolvimento Sustentável no Brasil.

Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 29 junho 2025.

NOGUEIRA, Geovane Rangel Ferreira. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação.** 2016. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

Disponível em:

https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC_Vers%C3%A3oFinal.pdf. Acesso em: 17 agost. 2025.

ONU NEWA. **Clima e meio ambiente.**

Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/04/1787322>. Acesso em: 30 maio 2025.

PLACK SISTEMAS CONSTRUTIVO. **Placas Cimentícias – Entenda o que é e quais são as vantagens.**

Disponível em: <https://plack.com.br/placa-cimenticia-entenda-0-que-e-para-serve-e-quais-suas-vantagens/?v=cf46f4701eab>. Acesso em: 29 agosto 2025

PAIVA, Otávio Augusto. **Resíduo Industrial de vidro moído em argamassa de cimento Portland.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2009.

Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3480>. Acesso em: 28 out. 2025.

SMIGAJ, M.; WALKER, D. W. TIRIVAROMBO, S.; MORERI, K.; PRINGLE, C.; MACCOSH, J.; MUSTAFA, S. M. T.; JONANOVIC, N. Local perspectives, regional consequences: The socio-environmental impacts of sand harvesting in Southern África. *The Extractive Industries and Society*, 23 (2025) 101631.

Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.exis.2025.101631>. Acesso em: 28 out. 2025.

SOARES, I.H.L.R.; VASCONCELOS, R. P. **Análise do uso de material polimérico com substituição ao agregado miúdo na fabricação de argamassa para placa cimentícias.** In: 59º Congresso Brasileiro de concreto, 2016, Bento Gonçalves.

Disponível em:

<https://drive.google.com/drive/home>. Acesso em: 28 out. 2025

SOARES, I.; NOBRE, F. X.; VASCONCELOS, R. P.; RAMÍREZ, M. A. Study of Metakaolinite Geopolymeric Montar with Plastic Waste Replacing the Sand: Effects on the Mechanical Properties, Microstructure, and Efflorescence. *Materials*, 15 (2022) 8626.

Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma15238626>. Acesso em: 28 out. 2025.

TRENTIN, P. O.; MANICA, J.; VANZETTO, S.; MARANGONI, B. ZALESKI, A. **Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa.** *Revista Matéria*, ISSN 1517-7076 artigos e-12576, 2020.

Disponível em:

www.scielo.br/j/rmat/a/wyCkXD3zkSmzPjPpkqmhm3r/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 28 out. 2025.

VIANA, F. L. E.; **Indústria dos plásticos.** *Caderno Setorial ETENE*, 296 (2023).

Disponível em:

https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1843/1/2023_CDS_296.pdf.

Acessado em: 05 julho 2025

VIVA DECORA. **Placas Cimentícias: Conheça as características, Vantagens e Mais!**

Disponível em: <https://arquitetura.vivadecora.com.br/placas-cimenticias/>

Acessado em: 05 julho 2025

YUN M.; LI, X.; AMIN, M.N.; KHAN, Z.; AL-NAGUI, A.A.A.; LATIFFE, E. R.; NAZAR, S. **Experimenting the effectiveness of waste materials in improving the compressive.**

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03543>. Acesso em: 05 julho 2025

ZGSGLASS. Quais são os impactos dos produtos de vidro no meio ambiente?

Disponível em:

<https://pt.zgs-glass.com/news/what-are-the-impacts-of-glass-products-on-the-81050309.html#:~:text=Consumo%20de%20energia:%20embora%20o%20vidro%20seja,os%20produtos%20de%20vidro%20s%C3%A3o%20reciclados%20corretament>
e. Acesso em: 05 out. 2025

WIKIVIDROS. Introdução ao vidro e sua Produção.

Disponível em:

https://wikividros.eesc.usp.br/introdução_ao_vidro_e_sua_produção/processo-productivo-industrial. Acesso em: 05 agosto 2025.