XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

EFEITOS DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE VIDRO NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO INTERNO

Effects of incorporating glass waste into the properties of mortar for internal coatings

BRUNA TAYNA MACEDO FIDELES[1], KAMILA GONÇALVES GUEDES[2], ABCAEL RONALD SANTOS MELO[3], ANTÔNIO EDUARDO BEZERRA CABRAL[4]

[1] Universidade Federal do Ceará, PEC/UFC, brunatayna@alu.ufc.br
[2] Universidade Federal do Ceará, PEC/UFC, kamilagg@alu.ufc.br
[3] Universidade Federal do Ceará, PEC/UFC, abcael.melo@alu.ufc.br
[4] Universidade Federal do Ceará, PEC/UFC, eduardo.cabral@ufc.br

RESUMO

O trabalho objetiva analisar os efeitos da incorporação de quatro faixas granulométricas de resíduo de vidro, nas propriedades do estado fresco e do estado endurecido de argamassa para revestimento interno. O traço referência foi 1:0,8:6, em massa, e para a determinação da porcentagem de resíduo incorporado aos demais traços utilizou-se um *software* para avaliação do empacotamento de partículas, o EMMA. Para tal, foram realizados os ensaios de: índice de consciência, densidade de massa, teor de ar incorporado, *squeeze-flow*, resistências à compressão axial e à tração na flexão e resistência de aderência à tração. Constatou-se que que a argamassa produzida com a incorporação de pó de vidro verde e talco de vidro branco tiveram destaque em relação as demais, mantendo características como a trabalhabilidade, a relação a/c, e resultados médios de resistência à compressão próximos ao de referência.

Palavras-chave: Resíduo de vidro. Argamassa de revestimento. Empacotamento. Propriedades.

ABSTRACT

This paper aimed to analyze the effects of incorporating four particle sizes of glass waste into the fresh and hardened properties of mortar for internal cladding. The reference mix was 1:0.8:6, by mass, and to determine the percentage of waste incorporated into the other mixes, EMMA, a particle packing evaluation software, was used. To this end, the following tests were carried out: conscientiousness index, mass density, incorporated air content, squeeze-flow, axial compressive and flexural tensile strengths, and tensile bond strength. It was found that the mortar produced with the incorporation of green glass powder and white glass talc stood out from the others, maintaining characteristics such as workability, w/c ratio, and average compressive strength results close to the reference.

Key-words: Glass waste. Coating mortar. Packing. Properties.

Como citar:
FIDELES, B. T. M., GUEDES, K. G., MELO, A. R. S., CABRAL, A. E. B. Efeitos da incorporação de resíduos de vidro nas propriedades de argamassa para revestimento interno. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

Em vista da grande quantidade de resíduos sólidos gerados atualmente devido a industrialização, é de suma importância a viabilização e incorporação desses resíduos através da reciclagem, nesse cenário tem-se como exemplo os resíduos de vidro, que podem ter potencial aproveitamento no setor da construção civil. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Vidro [1] o vidro é um material 100% reciclável e pode ser reutilizado infinitas vezes sem perdas no processo e, ao mesmo tempo, representa grande economia, tanto de matéria prima e energia, como de espaço nos aterros sanitários e contribui para a redução da emissão de gases.

Além disso, o vidro não possui destinação correta definida, ou ainda, apresenta disposição inviável por motivos logísticos, operacionais e/ou econômicos. Tais fatos constituem-se como obstáculos de caráter ambiental e financeiro, representando grande dificuldade para o setor público e privado, pois se veem inaptos a destinar corretamente o montante de resíduo vítreo produzido mensalmente [2]. Em vista disso, é válido estudar formas de reaproveitamento desses resíduos, a fim de diminuir a sua quantidade no meio ambiente.

Segundo Oliveira *et al*. [3], a incorporação de resíduos em concretos e argamassas na construção civil pode reduzir o conteúdo de cimento e agregado natural destas argamassas e resultar em benefícios ambientais, pois, ao reduzir o consumo de cimento, reduz-se o consumo de energia vinculado à sua produção, bem como reduz a emissão de CO2 para a atmosfera, além de reduzir os resíduos despejados em aterros sanitários. Os mesmos autores, estudaram a incorporação de agregados de vidro fino em argamassa de revestimento, o teor de cimento das argamassas foi reduzido enquanto os agregados de vidro fino foram simultaneamente incorporados, dois traços com cimento reduzido de uma relação volumétrica de cimento:agregado (considerando o agregado como areia mais finos de vidro) de 1:4 para 1:5 e 1:6 foram realizados, com resultados positivos para o teor de substituição de 20% no traço de 1:5 de cimento e agregado, atendendo aos requisitos técnicos para ser utilizada como argamassa de revestimento.

Trentin *et al*. [4] apresentaram uma solução econômica e ambientalmente correta para o descarte das garrafas *long neck*, avaliando a substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa nos teores de 0, 10, 15, 25 e 50% e nos tempos de cura de 7, 28, 63 e 91 dias, utilizando um traço em volume de 1:1:6. Com esse estudo, concluíram que a utilização de resíduo de vidro moído das garrafas em substituição ao agregado miúdo na produção de argamassa é viável do ponto de vista das propriedades mecânicas, pois, melhora a resistência mecânica das argamassas em relação ao traço de referência para o teor de 50%, tendo também a maior redução de impactos ambientais, devido a maior quantidade de resíduo de vidro incorporado.

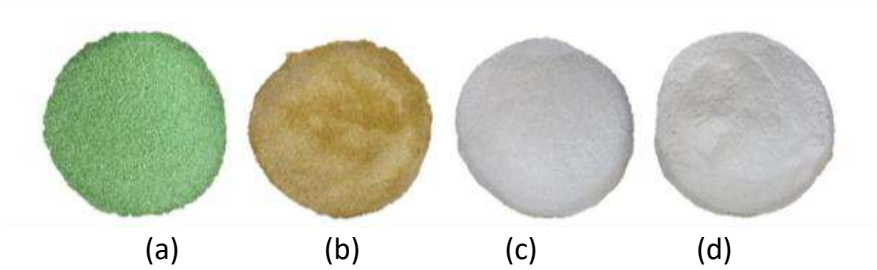
Considerando a relevância do tema, o presente trabalho busca analisar os efeitos da incorporação de quatro faixas granulométricas distintas de resíduo de vidro, provenientes de reciclagem, no desempenho e nas propriedades do estado fresco e endurecido de argamassa de revestimento interno, bem como na investigação das suas propriedades reológicas, auxiliando na compreensão da viabilidade de uso do vidro na construção civil.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Os resíduos de vidro utilizados neste estudo foram provenientes da Empresa Eco engenharia e Distribuição, localizada em Fortaleza-Ceará, Brasil, reciclados a partir de garrafas e para-brisas. Os resíduos são divididos em quatro tipos e faixas granulométricas, sendo: pó de vidro verde, pó de vidro âmbar, pó de vidro branco e talco de vidro branco, conforme Figura 1.

Figura 1 – Identificação dos agregados reciclados: (a) pó de vidro verde; (b) pó de vidro âmbar; (c) pó de vidro branco; (d) talco de vidro branco.



(a) (b) (c) (d)

Fonte: Os autores (2025).

A cal utilizada foi do tipo hidratada CHI e cimento CP II Z 32 RS. As propriedades físicas e químicas do cimento estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas e químicas do Cimento Portland CP II Z 32 RS.

Propriedades químicas		Norma	UN.	Resultado	Especificação NBR 16697:2018
Perda ao fogo		NM 18	%	5,51	≤ 8,5
Óxido de magnésio – MgO		NBR 14656	%	4,05	Não Aplicável
Anidrido sulfúrico – SO3		NBR 14656	%	2,25	≤ 4,5
Resíduo insolúvel		NM 22	%	11,41	≤ 18,5
Propriedades físicas		**Norma**	**UN.**	**Resultado**	**Especificação NBR 16697:2018**
Finura 0,075mm (#200)		NBR 11579	%	1,1	≤ 12,0
Resistência à compressão (Mpa)	1 dias	NBR 7215	MPa	24,5	≥ 10,0 MPa
	3 dias		MPa	29,5	≥ 20,0 MPa
	7 dias		MPa	37,6	≥ 32,0 MPa

Fonte: Apodi (2022) [26].

Foi realizada a granulometria a lazer dos materiais finos: pó de vidro âmbar, pó de vidro branco, talco de vidro branco, cal hidratada e cimento CP II Z 32 RS, através dos analisadores CILAS 1090 Líquido (Carbomil Química S/A) e Mastersize 2000 (Malvern Instruments).

As massas especificas dos materiais finos reciclados de vidro e da cal foram obtidas conforme NBR NM 23 [5]. Para a areia natural e o pó de vidro verde foi realizado o peneiramento, conforme estabelece a NBR 17054 [6].

MÉTODO

O traço investigado foi um traço comercial para revestimento interno, de relação em massa igual a 1:0,8:6 (cimento: cal: agregado miúdo). Para a otimização das misturas e obtenção da porcentagem ideal de substituição foi utilizado o EMMA (Analisador de Mistura de Materiais), um software para avaliação do empacotamento de partículas. A empresa Elkem desenvolveu e disponibilizou esta ferramenta computacional, que calcula e apresenta a distribuição granulométrica de uma mistura de componentes, a fim de otimizar o empacotamento de partículas [9].

O modelo utilizado na ferramenta foi o modelo de Andreassen modificado, que correlaciona um fator de distribuição de tamanho de partícula "q", e limita os tamanhos máximo e mínimo de partículas. Segundo Valle *et al*. [9], por meio de simulações computacionais, verificou-se que valores menores ou iguais a 0,37 para o coeficiente de distribuição favorecem o empacotamento máximo das partículas, enquanto valores maiores que 0,37 implicam em porosidade residual. Segundo Indhumathi *et al.* [10], o módulo de distribuição "q", determina a proporção entre partículas finas e grossas na mistura e quanto menor, mais partículas finas tem o material, as proporções de cada material individual na mistura são ajustadas até que um ajuste ideal entre a curva da mistura composta (azul) e a curva alvo (vermelha) do software seja alcançado.

No presente estudo, foi utilizado um coeficiente de distribuição q = 0,35, onde melhor se enquadrou na curva desejada e um diâmetro máximo de 2.360 micrômetros, a fim de otimizar a quantidade de finos presentes. As curvas granulométricas a laser da cal, do cimento, do pó de vidro âmbar, do pó de vidro branco, do talco de vidro branco e as granulometrias da areia e do pó de vidro verde, bem como as massas específicas de cada um foram inseridas no EMMA, e tomando como base o traço de referência em massa, as porcentagens dos materiais foram ajustadas, substituindo no traço original de acordo com as granulometrias dos resíduos de vidro cabíveis e a curva com o melhor empacotamento foi gerada no EMMA.A consistência foi determinada por meio do ensaio da mesa de consistência (*flow table*), no qual foi obtida a quantidade de água para se obter um espalhamento de 260 ± 5 mm, conforme NBR 13276 [11]. Determinada a relação a/c (água/cimento), as argamassas foram então produzidas para as demais análises. A determinação da densidade foi realizada pelo método conforme a NBR 13278 [12], bem como o teor de ar incorporado, calculado a partir da densidade. Para investigar o comportamento reológico das argamassas, foi realizado o *squeeze-flow*, estabelecido pela NBR 15839 [13], o qual foi utilizado uma célula de carga de 2kN, o ensaio foi realizado no intervalo de tempo de 10 minutos após a mistura, a uma velocidade de 3 mm/s.

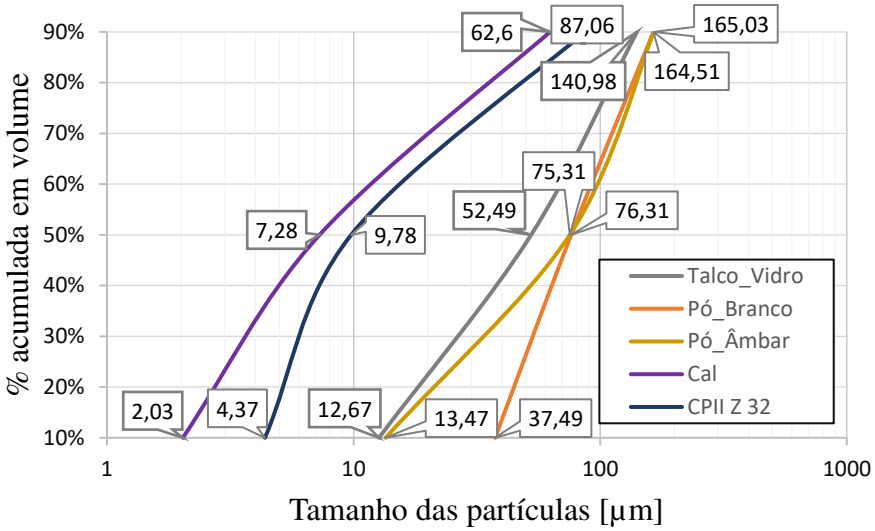
Em relação ao estado endurecido, para o ensaio de resistência à compressão e à tração na flexão foram moldados corpos de prova prismáticos de dimensões 40 mm x 40 mm x 160 mm, conforme estabelecido pela NBR 13279 [14], para ruptura aos 28 dias. Para o ensaio de arrancamento foram preparados corpos de prova conforme NBR 13528-2 [15], misturados e aplicados pelos mesmos operadores. O ensaio seria realizado com 56 dias de idade, devido a presença de cal no traço, como preconiza a referida norma. No entanto, só foi possível realizar o ensaio com 70 dias de idade, devido às condições ambientais na época.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CARACTERÍSTICA DOS MATERIAIS

A granulometria a lazer com a distribuição das partículas dos materiais finos: pó de vidro âmbar, pó de vidro branco, talco de vidro branco, cal hidratada e cimento CP II Z 32 RS, e os valores de D10, D50 e D90 é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Granulometria a laser dos materiais finos.



Fonte: Os autores (2025).

As massas especificas, obtidas conforme NBR NM 23 [5], dos materiais finos reciclados de vidro e da cal estão indicadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Massas especificas da cal, do pó de vidro branco, do pó de vidro âmbar e do talco de vidro branco.

Material	Norma	Massa especifica (g/cm³)
Cal	NBR NM 23 [5]	2,81
Pó de Vidro Branco	NBR NM 23 [5]	2,86
Pó de Vidro Âmbar	NBR NM 23 [5]	2,72
Talco de Vidro Branco	NBR NM 23 [5]	2,89

Fonte: Os autores (2025).

Na Tabela 3 estão apresentadas as características físicas obtidas da areia e do pó de vidro verde, conforme estabelece a NBR 17054 [6].

Tabela 3 – Propriedades físicas do agregado miúdo e do pó de vidro verde.

Ensaio	Norma	UN.	Areia natural	Pó de vidro verde
Dimensão máxima	ABNT NBR 17054 [6]	mm	2,36	1,18
Módulo de finura	ABNT NBR 17054 [6]	-	2,86	2,85
Absorção de água	NBR NM 30 [7]	%	0,95	-
Massa específica	NBR NM 52/Chapman [8]	g/cm³	2,67	2,49

Fonte: Os autores (2025).

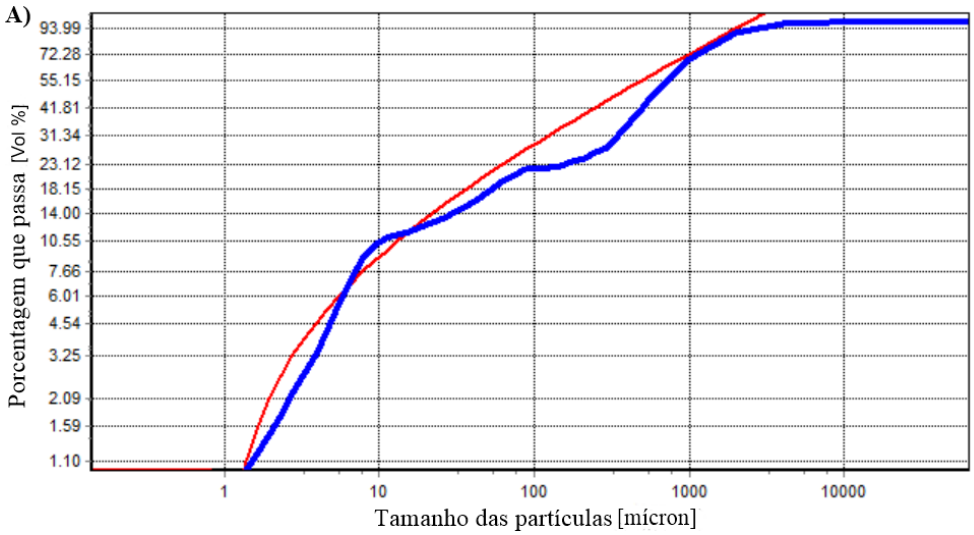
A curva de empacotamento mais eficiente gerada no EMMA (curva azul) e a melhor mistura encontrada estão apresentadas nas Figuras 3, bem como a porcentagem equivalente obtida de cada material na mistura, conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 4 - Teor volumétrico na mistura de material seco.

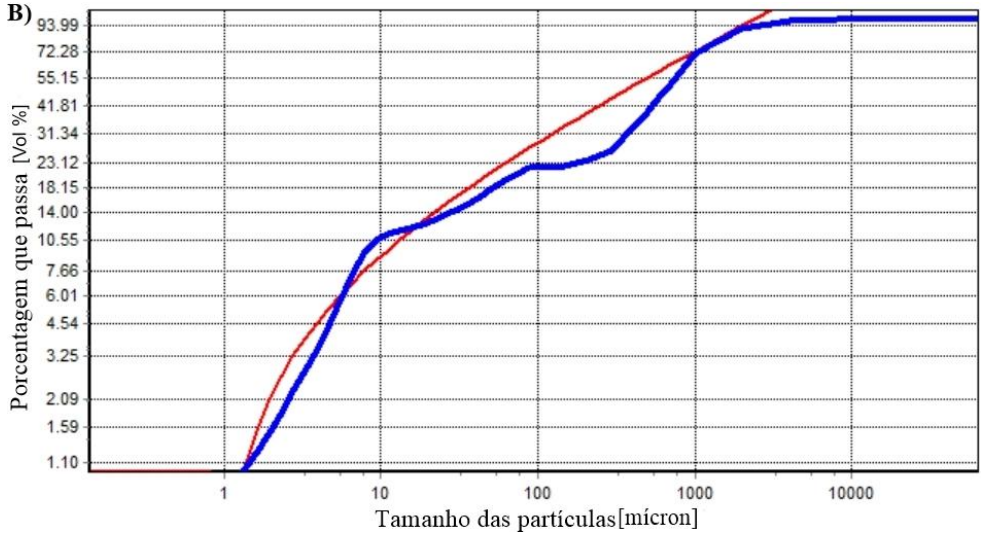
TEOR CORREPONDENTE NA MISTURA DE MATERIAL SECO (%)							
Traço	Cimento (%)	Cal (%)	Areia (%)	Pó de vidro verde (%)	Pó de vidro âmbar (%)	Pó de vidro branco (%)	Talco de vidro branco (%)
ARG_REF	12%	10%	78%	-	-	-	-
ARG_PV	12%	10%	63%	15%	-	-	-
ARG_PA	11%	10%	61%	-	18%	-	-
ARG_PB	11%	10%	59%	-	-	20%	-
ARG_TB	11,25%	9,50%	78%	-	-	-	1,25%

Fonte: Os autores (2025).

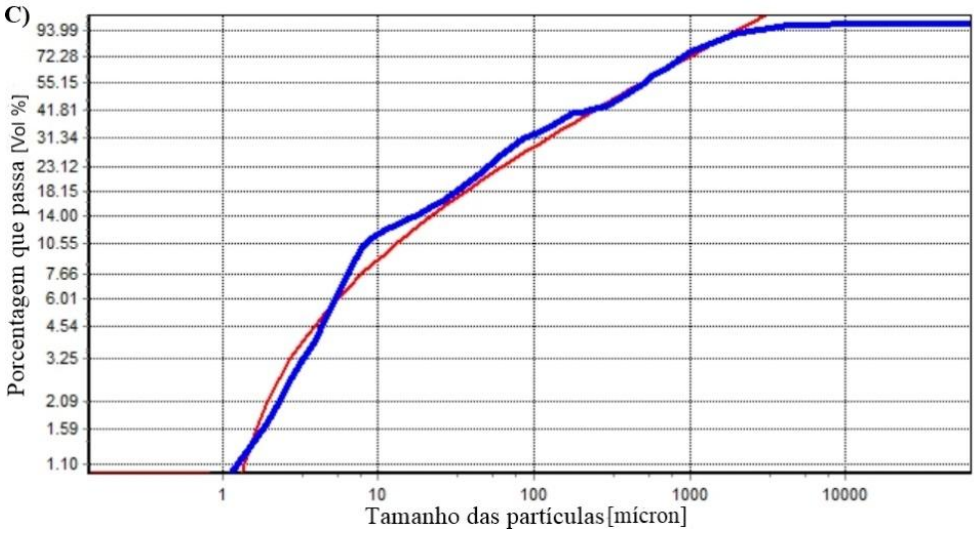
Figura 3 - Distribuição granulométrica no software EMMA: (A) traço referência; (B) traço com pó de vidro verde; (C) traço com pó de vidro âmbar; (D) traço com pó de vidro branco; (E) traço com talco de vidro branco.



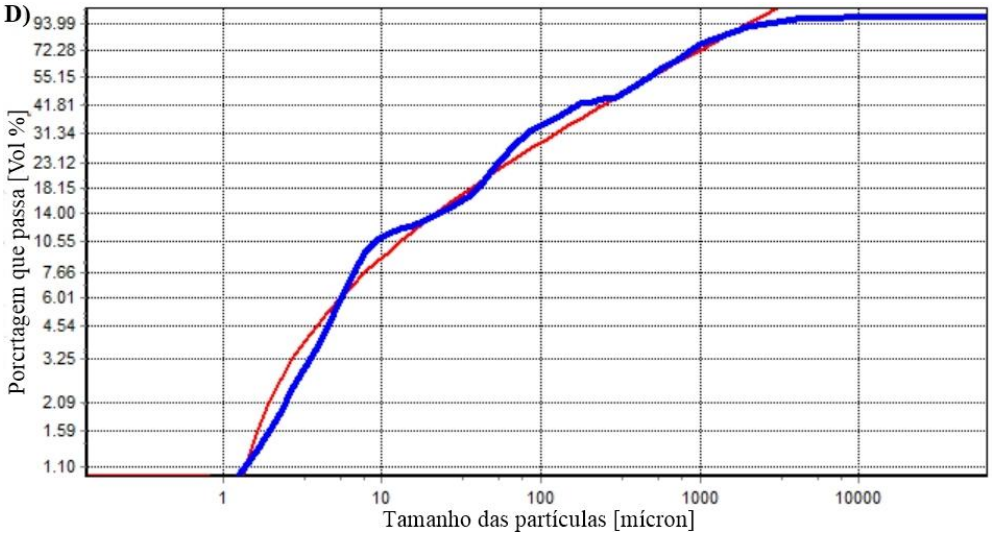
B)

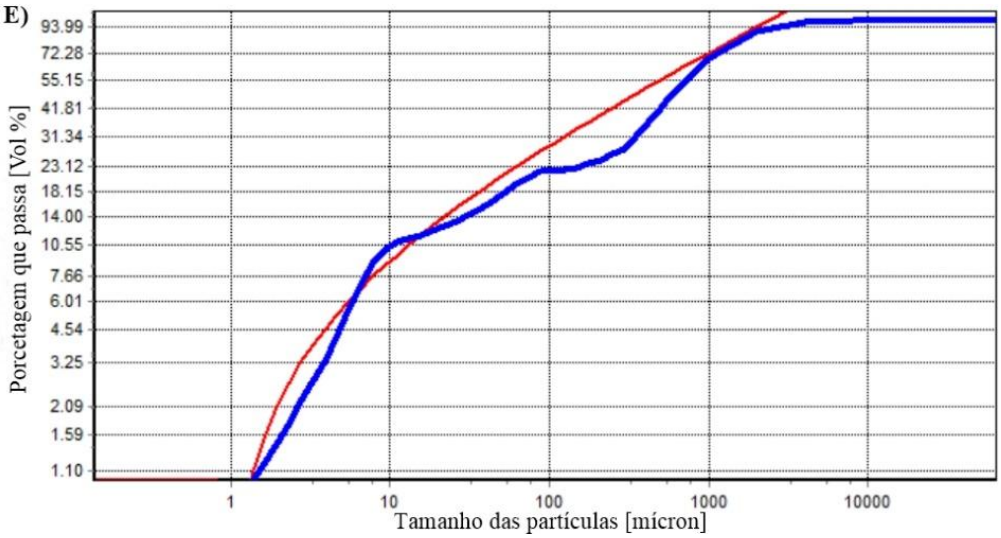

93.99
72.28
55.15
41.81
31.34
23.12
18.15
14.00
10.55
7.66
6.01
4.54
3.25
2.09
1.59
1.10
Porcentagem que passa [Vol %]
1
10
100
1000
10000
Tamanho das partículas [mícron]

C)


93.99
72.28
55.15
41.81
31.34
23.12
18.15
14.00
10.55
7.66
6.01
4.54
3.25
2.09
1.59
1.10
Porcentagem que passa [Vol %]
1
10
100
1000
10000
Tamanho das partículas [mícron]

D)


93.99
72.28
55.15
41.81
31.34
23.12
18.15
14.00
10.55
7.66
6.01
4.54
3.25
2.09
1.59
1.10
Porcrtagem que passa [Vol %]
1
10
100
1000
10000
Tamanho das partículas [mícron]



Fonte: Os autores (2025).

Percebe-se que as curvas obtidas (azul) do traço com pó de vidro verde e do traço com talco de vidro branco ficaram próximas visualmente da curva obtida do traço de controle. Nota-se ainda que as curvas (azul) obtidas do traço com pó âmbar e do traço com pó branco ficaram semelhantes entre si e mais próximas da curva de referência (vermelha) do que as demais, bem como as porcentagens correspondentes de material gerado no EMMA, conforme mostrado na Tabela 4.

PROPRIEDADES DO ESTADO FRESCO

A Tabela 5 apresenta a caracterização das argamassas quanto as propriedades no estado fresco.

Tabela 5 – Propriedades das argamassas no estado fresco.

Traço	Teor de água (%)	Relação a/c	Índice de consistência (mm)	Densidade de massa (kg/m³)	Teor de ar incorporado (%)
ARG_REF	16,94	1,70	255	1926	8
ARG_PV	17,66	1,70	257	1913	8
ARG_PA	17,66	1,95	258	1933	7
ARG_PB	16,94	1,95	259	1976	6
ARG_TB	16,39	1,75	258	1998	6

Fonte: Os autores (2025).

As argamassas com resíduo de pó de vidro âmbar (ARG_PA), pó de vidro branco (ARG_PB) e talco de vidro branco (ARG_TB) apresentaram relação a/c superior à da argamassa de referência (ARG_REF), para obter o espalhamento fixado em 260 ± 5 mm, conforme NBR 13276 [11], enquanto que o traço com pó de vidro verde (ARG_PV) teve a relação a/c semelhante à referência, devido a granulometria mais grossa em relação aos outros resíduos, e a não contribuição a absorção de água. As maiores relações a/c se devem ao aumento da área superficial a ser molhada em virtude da adição de partículas finas de resíduo de vidro no traço, o que ocasionou uma maior absorção de água, para manter a mesma consistência

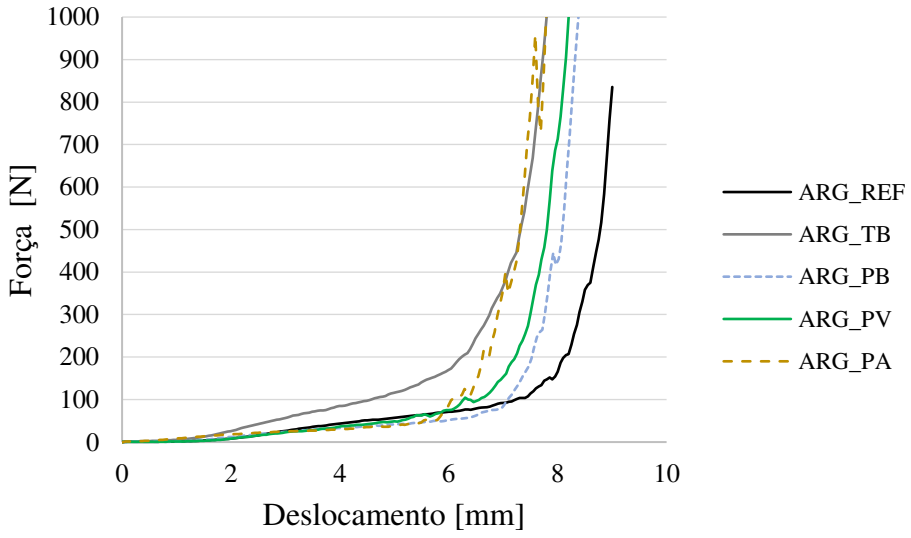
especificada. Como verificou Morais *et al.* [16] em seu estudo, o aumento da área superficial ou maiores quantidades de partículas pequenas do vidro em relação às partículas do cimento, provavelmente solicitará a adição de mais água para molhar sua superfície e assim garantir a melhor coesão das argamassas cimentícias.

A norma ABNT NBR 13278 [12] estabelece o método para determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado em argamassas no estado fresco, destinadas ao assentamento e revestimento de paredes e tetos. Em relação a primeira propriedade, houve um acréscimo nos traços com substituição por pó de vidro âmbar, pó de vidro branco e talco de vidro branco, isso pode ser explicado devido as características dos materiais, tendo em vista que a massa especifica desses resíduos é maior do que a da areia. Além disso, houve uma diminuição na densidade do traço com pó de vidro verde, devido a massa específica desse material ser menor do que a da areia [17][18][19]. Quanto ao teor de ar, nota-se que esta propriedade não foi afetada pela substituição, os valores são baixos e próximos uns dos outros.

PROPRIEDADES REOLÓGICAS

A Figura 5 mostra os resultados obtidos pelo ensaio do *squeeze-flow*. Constata-se que todas as argamassas possuem o mesmo comportamento (indicado pelo formato da curva) e, apesar de para cargas pequenas (menores que 100N) o comportamento ser bem próximo - fato também evidenciado pelos índices de consistência próximos (Tabela 5) - o comportamento para cargas maiores se mostrou diferente, sendo perceptível que para uma mesma carga a argamassa de referência apresentou maior deformação que as demais argamassas, sendo as argamassas elencadas em ordem crescente de deformabilidade: argamassa com talco branco, argamassa com pó âmbar, argamassa com pó verde e argamassa com pó branco.

Figura 5 – Squeeze-flow das argamassas de referência e com resíduos de vidro (3 mm/s).



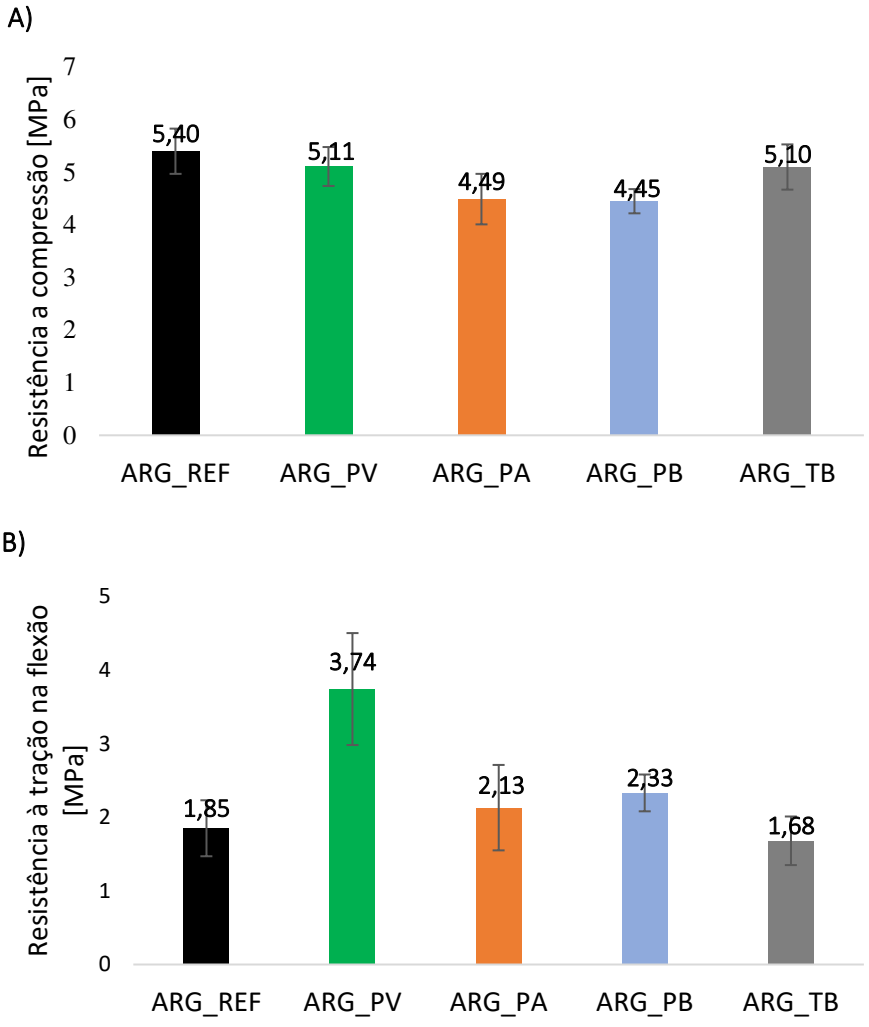
Fonte: Os autores (2025).

ESTADO ENDURECIDO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

A Figura 6 apresenta os valores de resistências médias à compressão e tração na flexão das argamassas para o período de 28 dias de cura.

Figura 6 – Resultados médios de resistência à compressão: (a) e tração na flexão; (b) das argamassas investigadas.



Fonte: Os autores (2025).

Quanto aos resultados de resistência à compressão, tem-se uma redução da resistência mecânica dos traços com substituições em relação ao traço de referência, pelo aumento da relação água-cimento (a/c). Com valores de resistência mais próximos ao ARG_REF, o traço ARG_PV e ARG_TB, devido à relação a/c próximas. Os traços ARG_PA e ARG_PB foram os traços com menor resistência mecânica devido a maior relação a/c e maior teor de água na mistura, e os traços com maiores teores de substituição do cimento. Cabe destacar ainda, que todos os traços apresentaram um baixo desvio padrão, menor que 0,8. Ribeiro et al. [19] cita

em seu trabalho sobre o estudo realizado por Miranda *et al*. [20] onde o mesmo comprovou que com o acréscimo do índice de relação água/cimento, houve um decréscimo de resistência para cerca de 17 MPa aos 28 dias, para quaisquer teores de resíduos testados (0- 20%) em concretos.

Quanto aos resultados de resistência à tração na flexão, todos os traços apresentaram um aumento na resistência média em relação ao traço referência, com exceção do traço ARG_TB, que apresentou um valor médio menor que os demais. Cabe destacar que o traço ARG_PV apresentou a maior resistência e o maior desvio padrão. Todos os traços possuem resistência entre 1,5 e 3,0MPa, portanto, classificados como sendo classe R3, conforme NBR 13281-1 [21], exceto o traço ARG_PV que se classifica como R4, devido a resistência maior do que 3,0Mpa. Os traços com maiores valores de resistência, ARG_PV, ARG_PA e ARG_PB, tiveram parcela da areia natural substituídas por vidro, principalmente o ARG_PV, isso justifica-se pela estrutura interna dos materiais, assim como Corinaldesi *et al.* [22] afirmaram em seu estudo ao analisar imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura, onde concluíram que a substituição do agregado miúdo por resíduo de vidro nas argamassas tornou a estrutura mais densa. Dessa forma, justificando o aumento da resistência à tração na flexão.

Resistência de aderência à tração

Na Figura 7 observa-se os cinco traços adensados em um muro protótipo, com camada de chapisco, semicoberto e posicionado de modo a não receber incidência direta de luz solar, para simulação mais próxima de um revestimento interno.

Figura 7 – Corpos de prova: (a) traço referência e traço com substituições; (b) ensaio de arrancamento.

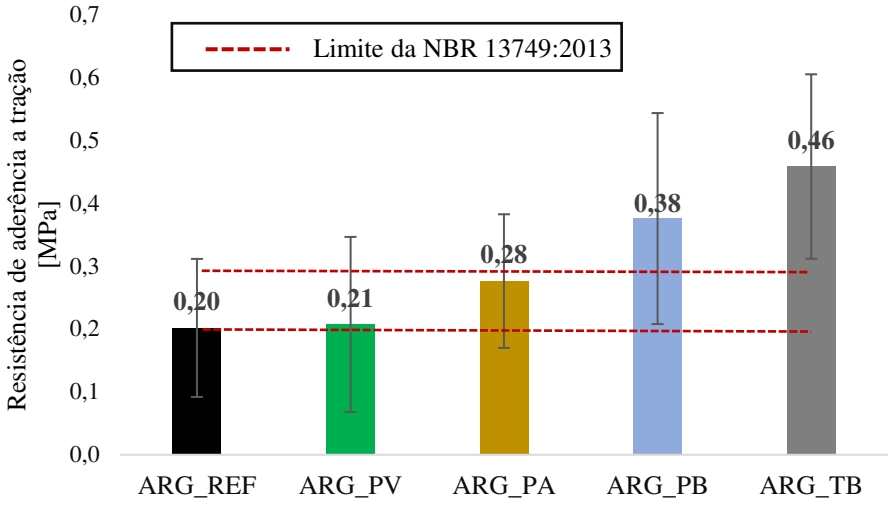


(a) (b)

Fonte: Os autores (2025).

Os resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração estão representados na Figura 8.

Figura 8 – Resultados médios de resistência de aderência à tração.



Fonte: Os autores (2025).

A NBR 13749 [23] estipula os valores de resistência de aderência à tração para emboço e camada única em 0,2 MPa para revestimento de teto e parede interna com acabamento em pintura ou base e 0,3 MPa para revestimento de paredes externas e internas com acabamento em cerâmica. Percebe-se que ARG_REF e ARG_PV possuem o valor mínimo estipulado pela norma, cabe destacar, que esses resultados não foram esperados, pois a aplicação das argamassas e realização do ensaio foram praticados pelos mesmos operadores. Porém, podem ter sido afetados pela variabilidade dos resultados e pela perda de algumas amostras desses dois traços, diferente dos traços ARG_PA, ARG_PB e ARG_TB que possuem valores relativamente altos e não tiveram nenhuma perda de amostra durante o ensaio, além da possibilidade de alguma interferência ambiental nos corpos de prova, devido não estarem totalmente protegidos contra intempéries.

Em relação ao fator a/c, o aumento do consumo de água reduz as propriedades mecânicas das argamassas, incluindo a resistência potencial de aderência a tração, fato também constatado por Silva e Campiteli [24][25], onde o aumento da relação a/c das argamassas gera uma redução da resistência de aderência da argamassa. O que justifica os valores mais baixos dos traços ARG_PA e ARG_PB, em que obtiveram os maiores fatores a/c, diferentemente do traço ARG_TB, que teve seu fator próximo da referência.

CONCLUSÕES

As argamassas produzidas com incorporação de pó de vidro âmbar e de pó de vidro branco são menos trabalháveis e, portanto, precisam de uma maior relação a/c para obter o espalhamento sugerido por norma. Todas as argamassas produzidas com a incorporação do resíduo de vidro tiveram incremento de densidade de massa, com exceção da argamassa com

pó de vidro verde. Em relação ao comportamento reológico pelo ensaio de *squeeze-flow*, as argamassas com incorporação de vidro apresentaram menos deformabilidade do que a referência.

A resistência à compressão média nos traços com pó de vidro âmbar e pó de vidro branco foi a mais afetada com valores mais baixos devido a maior relação água/cimento nesses traços. As argamassas com resíduo de vidro obtiveram maior resistência à tração na flexão em comparação com a referência, exceto o traço com talco de vidro. Quanto à resistência de aderência à tração, todos os traços com resíduo de vidro tiverem incremento com destaque para o traço com talco de vidro branco.

Nota-se neste trabalho, diante das faixas granulométricas do resíduo utilizado e a metodologia adotada, que a argamassa produzida com a incorporação de pó de vidro verde e talco de vidro branco tiveram destaque em relação as demais, devido a semelhança na maioria das propriedades com relação a argamassa de referência, ambos os traços mantiveram a trabalhabilidade, a mesma faixa de relação a/c, resultados médios de resistência à compressão próximos da referência, a resistência à tração na flexão com destaque para o traço com pó de vidro verde. Percebe-se ainda, que os resultados para resistência de aderência à tração foram iguais ou maiores que os da referência.

AGRADECIMENTOS

Todos os autores agradecem a Companhia de Cimento Apodi e a Empresa Ecoengenharia pelo suporte técnico.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO. **Abvidros**, 2019. Vidro: o resíduo infinitamente reciclável. Disponível em: https://abividro.org.br/2019/02/07/vidro-o-residuo-infinitamente-reciclavel/. Acesso em: 06 abr. 2023.

[2] COSTA, I. A., SCHNEIDER, R. "Estudo da viabilidade da substituição de aglomerante por resíduos vítreos na produção de pavimento intertravado de concreto". Força, crescimento e qualidade da engenharia civil no Brasil. Atena editora. 2021. Cap. 5. P. 52.

[3] OLIVEIRA, R., BRITO, J. de., VEIGA, R. "Reduction of the cement content in rendering mortars with fine glass aggregates". **Journal of Cleaner Production**. 95 (2015) 75-88.

[4] TRENTIN, P.O., MANICA, J., VANZETTO, S.C., MARANGONI, B., ZALESKI, A. "Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa". **Revista Matéria**, v.25, n.1, 2020.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

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

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2000.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

[9] Valle, F. R. S. et al. Use of recycled aggregates from civil construction in self-compacting mortar. **IBRACON. Estrut. Mater**. vol. 15, no. 1, e15107, 2022.

[10] INDHUMATHI, S. et al. Reconnoitring principles and practice of Modified Andreasen and Andersen particle packing theory to augment Engineered cementitious composite. **Construction and Building Materials**. 2022.

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

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15839**: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro, 2010.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas — Determinação da resistência de aderência à tração Parte 2: Aderência ao substrato. Rio de Janeiro, 2019.

[16] MORAIS, A. et al. Argamassa cimentícia: Uso sustentável de pó fino de vidro reciclado como precursor parcial. **Cerâmica Industrial**, 27 (1), e102701, 2022.

[17] SANTAMARÍA-VICARIO, I., RODRÍGUEZ, A., GONZÁLEZ, S. G., et al., “Design of masonry mortars fabricated concurrently with diferent steel slag aggregates”. **Construction and Building Materials**. v. 95 p. 197-206, 2015.

[18] CAMPOS, S.A., RAFAEL, M.F.C., CABRAL, A.E.B. Evaluation of steel slag of Companhia Siderúrgica do Pecém replacing fine aggregate on mortars. **Procedia Structural Integrity**, v. 11, p. 145-152, 2018.

[19] U. G. RIBEIRO, U.G., SANTOS, D. F. “Propriedades físico-mecânicas de resíduos da lapidação de vidro utilizados em argamassa cimentícia como substituinte parcial do agregado convencional”. **Revista Ibracon de estruturas e materiais**. v. 13, n. 1, 2020. p. 142 – 159.

[20] MIRANDA Jr., E. J. P., BEZERRA, H. J. C. L., POLITI, C. S., PAIVA, A. E. M. “Increasing the Compressive Strength of Portland Cement Concrete Using Flat Glass Powder”. **Materials Research**, 17(Suppl. 1): 45-50, (2014).

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

[22] CORINALDESI, V., GNAPPI, G., MORICONI, G., et al., "Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars", **Waste Management**, v. 25, 2005.

[23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

[24] SILVA, N.G., CAMPITELI, V.C. Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 4, pp. 21-35, out./dez. 2008.

[25] AMANCIO, F.A.; DIAS, A.R.O.; LIMA, D.A., et al. "Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa". Revista Matéria, v.26, n.3, 2021.

[26] APODI, Cimento. **Boletim Comercial**, CP II Z 32-RS. 2022.