

## MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: o uso do resíduo de vidro em argamassas sustentáveis

### CLIMATE CHANGE MITIGATION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY: the use of glass waste in sustainable mortars

Maria Eduarda da Silva Dembogurski<sup>1</sup>  
[mariae.dembogurski@gmail.com](mailto:mariae.dembogurski@gmail.com)

Natália dos Santos Petry<sup>2</sup>  
[natalia.petry@ufpel.edu.br](mailto:natalia.petry@ufpel.edu.br)

**Resumo:** A crescente preocupação com as mudanças climáticas tem impulsionado a busca por soluções sustentáveis para minimizar os impactos ambientais gerados pelos diferentes setores da economia. O emprego de resíduos industriais, como o vidro, no setor da construção civil é uma forma de contribuir com a redução dos impactos ambientais da cadeia produtiva, principalmente quando empregado de maneira a reduzir o consumo de cimento Portland nas matrizes cimentícias. O resíduo de vidro, contém grande quantidade de sílica, que pode apresentar propriedades pozolânicas, se moído finamente. Assim, podendo ser utilizado na produção de concretos e argamassas, com o objetivo de melhor as propriedades mecânicas e de durabilidade. Desta forma, este trabalho tem por objetivo avaliar a utilização de resíduo de vidro de garrafas moído, em pó, como adição mineral frente a propriedades mecânicas e de durabilidade. Foi definido um traço de argamassa (1:3) e 4 teores (0, 5, 10 e 15%) de adição do resíduo de vidro em relação a massa do cimento. No estado fresco foram analisados o índice de consistência e densidade de massa e no estado endurecido foram avaliadas a resistência à compressão e absorção de água por capilaridade. Os resultados obtidos, mostram que a utilização de resíduo de vidro contribuiu para a redução do consumo de cimento das argamassas produzidas, auxiliando no incremento da resistência à compressão, mas também se observou o aumento a absorção de água por capilaridade ao longo do tempo.

**Palavras-chave:** sustentabilidade, resíduo de vidro, adição mineral, mitigação das mudanças climáticas.

**Abstract:** The growing concern about climate change has driven the search for sustainable solutions to minimize the environmental impacts generated by various economic sectors. The use of industrial waste, such as glass, in the construction industry is an effective way to reduce the environmental impact of the production chain, especially when employed to decrease Portland cement consumption in cementitious matrices. Glass waste contains a high amount of silica, which can exhibit pozzolanic

<sup>1</sup> Engenheira Civil. Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

<sup>2</sup> Arquiteta e Urbanista. Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professora Adjunta da Universidade Federal de Pelotas.

properties when finely ground. Thus, it can be used in the production of concrete and mortar to improve mechanical properties and durability. Therefore, this study aims to evaluate the use of finely ground glass bottle waste as a mineral addition concerning mechanical properties and durability. A mortar mix ratio of 1:3 was defined, with four replacement levels (0, 5, 10, and 15%) of glass waste relative to the cement mass. In the fresh state, consistency index and bulk density were analyzed, while in the hardened state, compressive strength and water absorption by capillarity were evaluated. The results indicate that the incorporation of glass waste contributed to reducing cement consumption in the produced mortars, enhancing compressive strength. However, an increase in water absorption by capillarity over time was also observed.

**Keywords:** sustainability, glass waste, mineral addition, climate change mitigation.

## 1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global e as mudanças climáticas são os principais desafios ambientais associados à emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Mehta; Ashish, 2020). A construção civil se desenvolveu para atender à necessidade de proteção contra as intempéries e ameaças do ambiente natural (Fowler, 2004). Porém, o ambiente construído implica em grandes impactos ambientais, como o uso excessivo de recursos naturais, (Araújo, 2002; Agopyan; John, 2011), geração expressiva de resíduos (Cassa, 2001; Agopyan; John, 2011), emissão de gases de efeito estufa (Masuero, 2021) e consumo elevado de energia (Corrêa, 2009). É senso comum que a construção em geral, tem grande contribuição para as mudanças climáticas.

Refletir sobre estratégias para minimizar os impactos ao meio ambiente é fundamental, considerando que a gestão inadequada e a destinação incorreta de resíduos têm contribuído para a poluição de fontes hídricas e a liberação de gases de efeito estufa (GEE). Estes últimos, em particular, têm implicações diretas nas mudanças climáticas, tornando a gestão adequada dos resíduos uma prioridade no contexto global da Agenda 2030, através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O ODS 12 - Consumo e Produção sustentável, através da Meta 12.5 estabelece que até 2030, o Brasil deve reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da Economia Circular e suas ações de prevenção, redução, reciclagem e reuso de resíduos (ONU BRASIL, 2015).

A construção civil é um dos setores que mais consome recursos naturais e gera impactos ambientais significativos, especialmente devido à extração de matérias-primas, elevado consumo energético e emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) associado à produção de cimento Portland (Mehta; Monteiro, 2014; Gonçalves; Lima, 2020). Diante desse cenário, a busca por soluções sustentáveis que reduzam os impactos ambientais da construção tem se

tornado essencial para mitigar as mudanças climáticas e promover a economia circular (Ashraf, 2016).

Estima-se que a construção civil seja responsável por 40% do consumo global de energia e materiais, além de contribuir com cerca de 30% das emissões de gases de efeito estufa (World Green Building Council, 2021). Já o relatório de Status Global das Edificações e Construção de 2022, o setor de construção civil foi responsável por 34% da demanda de energia e 37% das emissões de CO<sub>2</sub> no mesmo ano (UNEP 2022).

É de consenso que o desenvolvimento sustentável exige construir usando menos materiais, e/ou substituindo as matérias-primas naturais por resíduos, de forma a impactar menos a natureza (Petry *et al.*, 2015). Por outro lado, não se pode abdicar da qualidade do novo produto gerado e principalmente de sua durabilidade. A crescente conscientização sobre a importância da proteção ambiental tem aumentado o interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreender e lidar com os impactos associados aos produtos, tanto na sua fabricação quanto no consumo (pós-ocupação) (Mendes, 2013).

Um dos resíduos com grande potencial para reaproveitamento na construção civil é o vidro descartado, cujo acúmulo representa um problema ambiental significativo. Anualmente, toneladas de resíduos de vidro são geradas, mas as taxas de reciclagem ainda insuficientes para evitar sua disposição inadequada em aterros sanitários (Shayan; Xu, 2004). A reciclagem do vidro além de contribuir para a conservação de espaço em aterros sanitários, auxilia na redução de emissões de gases, demonstrando seus benefícios ambientais (ABVIDROS, 2019).

O vidro moído pode ser incorporado em matrizes cimentícias, seja como substituto parcial do cimento, devido às suas propriedades pozolânicas, seja como agregado reciclado ou adição mineral. Essa prática pode contribuir para a redução da demanda por matérias-primas naturais e das emissões de CO<sub>2</sub> associadas, principalmente, à produção de cimento (Li; Zhao; Liu, 2019).

A incorporação de resíduos de vidro nas matrizes cimentícias tem sido pesquisada, com estudos destacando benefícios tais como: melhoria da durabilidade; aumento da resistência mecânica e a mitigação da reação álcali-sílica (RAS), quando o resíduo é processado de maneira adequada (Federico; Chidiac, 2009). Além disso, a substituição parcial do cimento pelo resíduo de vidro moído pode reduzir a pegada de carbono dos concretos e argamassas,

tornando-o um material mais sustentável e alinhado aos objetivos globais de redução das emissões de gases de efeito estufa (Schneider *et al.*, 2011).

De acordo com Trentin *et al.*, 2020, o uso de vidro moído em argamassas não só contribui para a preservação de recursos naturais, como também melhora as propriedades mecânicas do material.

A transição para a sustentabilidade é um grande desafio para a indústria da construção, mas é também uma oportunidade única. É a chance de transformar o setor da construção civil, torná-lo um motor de desenvolvimento sustentável. O que parece ser um custo agora pode se transformar em uma economia a longo prazo. Não apenas falando de salvar o planeta, mas de criar uma indústria mais eficiente, inovadora e economicamente viável.

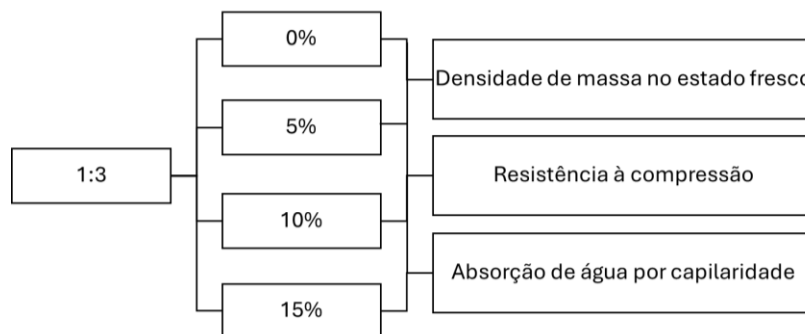
Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo avaliar o impacto da utilização de resíduos de vidro moído em argamassas para futuro emprego em concretos, considerando aspectos ambientais, técnicos e de sustentabilidade. A pesquisa busca fornecer uma base científica para a aplicação desse resíduo na construção civil, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para a promoção de práticas mais sustentáveis no setor.

## **2. METODOLOGIA: MATERIAIS E MÉTODOS**

Quando se pretende inserir um novo material no mercado é necessário delinear suas propriedades para estimar seu comportamento frente às solicitações. Primeiramente, o resíduo foi submetido à ensaios de caracterização para conhecer as propriedades intrínsecas; já a segunda parte consistiu em analisar a resistência e a durabilidade.

### **2.1 Planejamento do experimento**

Para verificar a influência da adição do resíduo vidro em argamassas de cimento Portland foi elaborado o programa experimental, conforme Figura 1.



**Figura 1:** Programa experimental. **Fonte:** Elaborado pelas autoras.

## 2.2 Materiais empregados para produção das argamassas de cimento Portland

Neste item serão apresentados os materiais que foram empregados nesta pesquisa.

### 2.2.1 Aglomerante

Utilizou-se o cimento Portland V-ARI, que é um cimento de alta resistência inicial. Seu uso é indicado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais. A Tabela 1 apresenta a caracterização química e física do cimento.

**Tabela 1:** Caracterização química e física do cimento Portland CPV-ARI.

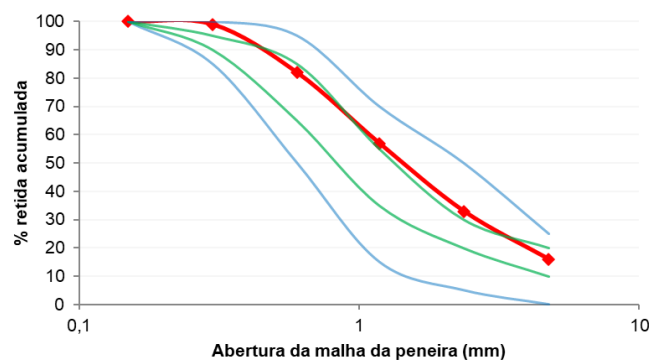
| CP V-ARI                       |                      | Limites de norma | Resultados |
|--------------------------------|----------------------|------------------|------------|
| Teores (%)                     | PF                   | ≤ 6,5            | 4,9        |
|                                | MgO                  | N/A              | 5,5        |
|                                | SO <sub>3</sub>      | ≤ 4,5            | 3,1        |
|                                | RI                   | N/A              | 13,9       |
| Finura (%)                     | #200                 | ≤ 6,0            | 0          |
|                                | #325                 | N/A              | 0,8        |
| Blaine                         | (cm <sup>2</sup> /g) | ≥ 3000           | 5170       |
| Água de consistência           |                      | N/A              | 30,4       |
| Tempo de pega (min)            | Início               | ≥ 60             | 240        |
|                                | Fim                  | ≤ 600            | 310        |
| Expansibilidade a quente (mm)  |                      | ≤ 5,0            | 0          |
| Resistência à Compressão (MPa) | 1 Dias               | ≥ 11,0           | 21,8       |
|                                | 3 Dias               | ≥ 24,0           | 32,8       |
|                                | 7 Dias               | ≥ 34,0           | 38,9       |
|                                | 28 Dias              | N/A              | 48,9       |

**Fonte:** Fornecido pelo fabricante

### 2.2.3 Agregado Miúdo

Conforme a granulometria apresentada na Figura 2 e Figura 2: Curva granulométrica do agregado miúdo. Fonte: Elaborado pelas autoras.

Tabela 2, as partículas estão situadas entre as frações de areia média (0.2–0.6mm) e grossa (0.6–2mm).



**Figura 2:** Curva granulométrica do agregado miúdo. **Fonte:** Elaborado pelas autoras.

**Tabela 2:** Distribuição granulométrica do agregado miúdo.

| Abertura das peneiras (mm) | AMOSTRA          |                            | NBR 7211 (2009)                 |          |                    |               |
|----------------------------|------------------|----------------------------|---------------------------------|----------|--------------------|---------------|
|                            | Média Retida (%) | Média Retida Acumulada (%) | Retida Acumulada (%) - em massa |          |                    |               |
|                            |                  |                            | Limites inferiores              |          | Limites Superiores |               |
|                            |                  |                            | Z. utilizável                   | Z. ótima | Z. ótima           | Z. utilizável |
| 4,75                       | 3                | 3                          | 0                               | 10       | 20                 | 25            |
| 2,36                       | 13               | 16                         | 5                               | 20       | 30                 | 50            |
| 1,18                       | 17               | 33                         | 15                              | 35       | 55                 | 70            |
| 0,6                        | 24               | 57                         | 50                              | 65       | 85                 | 95            |
| 0,3                        | 25               | 82                         | 85                              | 90       | 95                 | 100           |
| 0,15                       | 17               | 99                         | 100                             | 100      | 100                | 100           |
| Fundo                      | 1                | 100                        | -                               | -        | -                  | -             |
| <b>Módulo de Finura</b>    |                  | 3,87                       | 1,55 - 2,20                     | 2,2      | 2,9                | 2,90 - 3,50   |

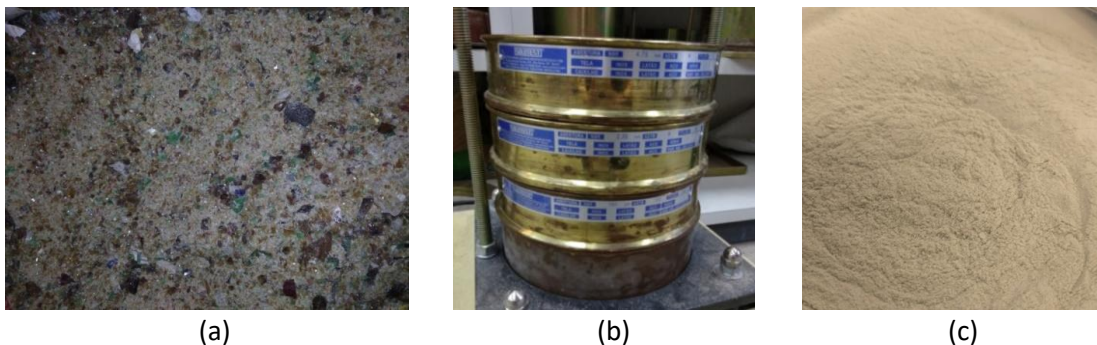
**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

### 2.2.4 Água

Para as reações de hidratação do concreto, assim como para cura dos corpos de prova, utilizou-se a água da rede de abastecimento local proveniente do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre/RS.

### 2.2.5 Resíduo de vidro

O resíduo de vidro utilizado nesta pesquisa é proveniente de garrafas de bebidas, as quais possuíam pigmentação verde e âmbar. Primeiramente, as garrafas foram britadas em um moinho, com o objetivo de reduzir o tamanho do material (Figura 3a). Posteriormente, o resíduo passou por uma separação granulométrica, utilizando peneiras com aberturas de 4,75 mm, 2,36 mm e 150 $\mu$ m (Figura 3b), separando as partículas maiores para descarte. O material não passante das peneiras com abertura superior a 150 $\mu$ m foi novamente moído, desta vez com soquete manual, para que fosse possível atingir granulometria inferior a 150 $\mu$ m. A Figura 3c, mostra o resíduo empregado neste trabalho com granulometria inferior a 150 $\mu$ m.



**Figura 3:** Resíduo de vidro. (a) após primeiro processo de britagem; (b) separação granulométrica; (c) resíduo de vidro com granulometria inferior a 150 $\mu$ m. **Fonte:** Próprio das autoras.

### 2.3 Produção das argamassas

O estudo foi realizado em argamassa uma vez que não se dispunha de material suficiente para a realização do trabalho em concreto. Essa mesma metodologia já foi empregada em outros trabalhos, tais como Giordani (2014) e Petry (2015).

Para argamassas produzidas neste programa experimental foi estipulado o traço de referência de 1:3 (cimento: agregado miúdo), por ser um traço intermediário. Com esta referência definida, foram calculados quatro teores de adição do resíduo de vidro a mistura, 0%, 5%, 10% e 15%, sendo que os teores foram estipulados em relação a massa do cimento.

Podem-se observar as quantidades de materiais utilizados nos traços para a produção de cada mistura na Tabela 3.



**Tabela 3:** Traços utilizados

| Material     | Teores de adição do resíduo de vidro |       |       |       |
|--------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
|              | 0%                                   | 5%    | 10%   | 15%   |
| Cimento (kg) | 0,850                                | 0,850 | 0,850 | 0,840 |
| Areia (kg)   | 2,550                                | 2,550 | 2,550 | 2,550 |
| Vidro (kg)   | 0                                    | 0,043 | 0,085 | 0,126 |
| Água (kg)    | 0,409                                | 0,405 | 0,436 | 0,442 |
| a/c          | 0,48                                 | 0,48  | 0,51  | 0,53  |

**FONTE:** Elaborado pelas autoras.

Observar-se que foram adicionadas quantidades diferentes de água nos traços produzidos, isto ocorreu para que fosse possível fixar a consistência das argamassas em  $260 \pm 10$  mm. Para os traços com adição de 10% e 15% de vidro precisou-se adicionar respectivamente 6,59% e 7,97% de água em relação ao traço de referência. Já o traço com 5% de adição de vidro teve uma redução de 1,08% de água adicionada. A mistura dos materiais ocorreu em argamassadeira mecânica, seguindo as especificações normativas da NBR 13276 (ABNT, 2016).

A moldagem dos corpos de prova foi realizada seguindo as instruções normativas da NBR 7215 (ABNT, 2019), sendo os moldes utilizados cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram em cura inicial em ambiente de laboratório, por 24 horas. Foram desmoldados, identificados e colocados em cura submersa, em um tanque com água saturada com cal, onde permaneceram até a idade de 28 dias, quando os ensaios no estado endurecido foram realizados. A Figura 4 exemplifica todo o processo, desde a produção das argamassas até a cura submersa.



**Figura 4:** Produção das argamassas e corpos de prova. (a) misturador; (b) consistência; (c) moldagem de corpos de prova; (d) cura. **FONTE:** Próprio das autoras.



## 2.4 Métodos de ensaio

Para avaliar a influência da adição do resíduo de vidro a propriedades da argamassa, foram realizados ensaios no estado fresco endurecido das argamassas. A Tabela 4 apresenta o compilado de informações a respeito dos ensaios realizados e a Figura 5 exemplifica dos ensaios realizados.

**Tabela 4:** Propriedades avaliadas

| Ensaio                              | Norma          | Qtide. de CP's | Dimensão dos CP's     |
|-------------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|
| Índice de consistência              | NBR 13276:2005 | -              | -                     |
| Densidade de massa no estado fresco | NBR 13278:2005 | 8              | Cilíndrico<br>5x10 cm |
| Resistência à compressão axial      | NBR 5739:2018  | 4              | Cilíndrico<br>5x10 cm |
| Absorção de água por capilaridade   | NBR 9779:2013  | 4              | Cilíndrico<br>5x10 cm |

**Fonte:** Elaborado pela autora



**Figura 5:** Ensaio realizados. (a) Índice de consistência; (b) Densidade de massa no estado fresco; (c) Resistência à compressão; (d) Absorção de água por capilaridade. **Fonte:** Próprio das autoras.

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade, além dos procedimentos descritos na NBR 9779 (ABNT, 2013), foi adotada a metodologia descrita por Venquiaruto et al. (2014) e empregada por Giordani (2014) e Petry (2015), onde os corpos de prova após resfriamento, a temperatura ambiente, receberam uma fina camada de parafina na sua superfície lateral, exceto 5 mm acima da sua face inferior (altura em que o nível de água deve

permanecer constante). Este procedimento foi realizado para impedir com que a troca de umidade dos corpos de prova com o ambiente não influenciasse os resultados do ensaio, diminuindo assim a variabilidade dos ensaios.

### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios no estado fresco e no estado endurecido das argamassas produzidas com os diferentes teores de adição do resíduo de vidro.

#### 3.1 Densidade de massa no estado fresco

Os resultados obtidos no ensaio de densidade de massa no estado fresco, são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5:** Densidade de massa no estado fresco e consumo real de cimento

| Teor de adição do resíduo de vidro (%) | Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) | Desvio Padrão (kg/m <sup>3</sup> ) | Coefficiente de variação (%) | Consumo real de cimento (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--|
| 0                                      | 2250,73                        | 0,01                               | 0,59                         | 590,82                                       |
| 5                                      | 2236,06                        | 0,02                               | 0,91                         | 581,16                                       |
| 10                                     | 2250,51                        | 0,02                               | 1,08                         | 573,89                                       |
| 15                                     | 2247,61                        | 0,02                               | 1,08                         | 566,20                                       |

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Conforme observa-se na Tabela 5, a adição do resíduo de vidro contribuiu para a redução do consumo real de cimento das argamassas produzidas, fator que favorece a sustentabilidade das matrizes cimentícias com a incorporação deste material.

Vale ressaltar que a cada tonelada de cimento produzida são liberados pelo menos 659 kg de CO<sub>2</sub> para a meio ambiente, fator que favorece o aquecimento global e contribui de forma direta para as mudanças climáticas observadas atualmente. Logo, ao se empregar materiais que auxiliem na redução do consumo de cimento, também se está contribuindo para a redução dos gases de efeito estufa, tornando o emprego de concretos e argamassas mais sustentáveis.

### 3.2 Resistência à compressão

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova em argamassa são demonstrados na Tabela 6. As médias foram obtidas através da ruptura de 4 (quatro) cp's na idade de 28 dias. Observa-se que a adição do resíduo de vidro em todos os teores estudados, contribui para o incremento da propriedade avaliada.

**Tabela 6:** Resistência à compressão aos 28 dias

| Teor de adição resíduo de vidro (%) | Relação a/c | Resistencia à compressão média (MPa) | Desvio padrão (MPa) | Coefficiente de variação (%) |
|-------------------------------------|-------------|--------------------------------------|---------------------|------------------------------|
| 0                                   | 0,48        | 14,60                                | 0,23                | 1,55                         |
| 5                                   | 0,48        | 15,20                                | 2,75                | 18,07                        |
| 10                                  | 0,51        | 15,69                                | 1,13                | 7,21                         |
| 15                                  | 0,53        | 16,53                                | 2,68                | 16,22                        |

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Para a análise da significância da adição do resíduo de vidro nas argamassas, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) do tipo One-Way a partir do software Statistica 8. Os resultados são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7:** ANOVA ensaio de Resistência à compressão aos 28 dias

| Efeitos                       | SQ     | GL | SQF   | Teste F | p        | Sig. |
|-------------------------------|--------|----|-------|---------|----------|------|
| Teor de adição do resíduo (%) | 5,241  | 3  | 1,747 | 0,3190  | 0,811722 | N    |
| Error                         | 38,344 | 7  | 5,478 | -       | -        |      |

SQ: Soma quadrática; GL: graus de liberdade (n-1); SQF: média quadrática; Teste F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância; Se  $p < 5\%$  = efeito significativo. **Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 7, nota-se que embora os teores de adição estudados tenham contribuído para o aumento da resistência à compressão das argamassas, avaliando o efeito estatisticamente, observa-se que a variável em análise não foi considerada significativa, logo os teores de adição do resíduo de vidro não influenciam na resistência à compressão das argamassas. Ampliando a análise estatística, utilizando o teste

Fisher, todas as misturas são consideradas estatisticamente iguais, logo a adição do resíduo tem maior impacto na redução do consumo de cimento do que no incremento da resistência à compressão, sendo possível produzir argamassas com a mesma capacidade de resistência com menor teor de cimento, o que contribui com o desempenho ambiental das matrizes, auxiliando na sustentabilidade das mesmas.

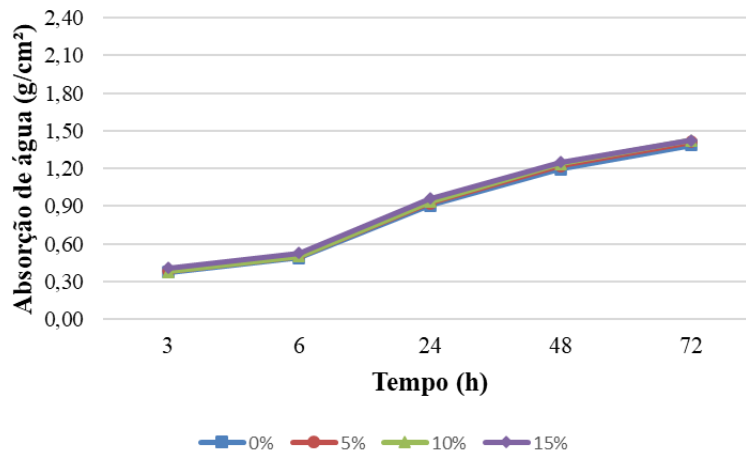
Melo et al. (2024) avaliou concretos com substituição parcial de cimento por resíduo de vidro, nos teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% e observou comportamento semelhante ao encontrado nesta pesquisa, os teores estudados estatisticamente não influenciaram de forma significativa a resistência à compressão das matrizes cimentícias.

### **3.3 Absorção de água por capilaridade**

A absorção de água por capilaridade é uma propriedade que está atrelada à durabilidade das matrizes cimentícias e por este motivo é que o presente trabalho contempla a sua análise.

#### **3.3.1 Absorção de água ao longo do tempo**

É possível analisar que houve um aumento na absorção de água por capilaridade dos corpos de prova com adição de resíduo de vidro moído em relação aos corpos de prova de referência. Também se nota que este aumento é proporcional ao aumento da porcentagem de adição de vidro. É importante lembrar que neste estudo a relação água cimento aumentou nos teores de 10% e 15% de adição de resíduo de vidro, e pode ter relação com os resultados obtidos neste ensaio. Na Figura 6 é possível visualizar desta relação, nele constam os resultados do ensaio ao longo das 72 horas.



**Figura 6:** Absorção de água ao longo do tempo. **Fonte:** Próprio das autoras.

### 3.1.2 Absorção total de água por capilaridade

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova em argamassa são apresentados na Tabela 8, correspondendo à média dos valores de absorção de água após 72 horas de ensaio.

**Tabela 8:** ANOVA ensaio

| Teor de adição resíduo de vidro | Relação a/c | Absorção (g/cm <sup>2</sup> ) | DP (g/cm <sup>2</sup> ) | CV (%) |
|---------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------|--------|
| 0%                              | 0,48        | 1,39                          | 0,043                   | 3,07   |
| 5%                              | 0,48        | 1,41                          | 0,040                   | 2,81   |
| 10%                             | 0,51        | 1,42                          | 0,061                   | 4,29   |
| 15%                             | 0,53        | 1,42                          | 0,100                   | 7,05   |

DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de variação. **Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Para a análise da significância do teor de adição do resíduo de vidro, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) tipo One-Wway, na ferramenta Statistica 8, onde se obtiveram os resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: ANOVA ensaio de Absorção de água por capilaridade as 72hrs

| Efeitos                       | SQ      | GL | SQF     | Teste F | p        | Sig. |
|-------------------------------|---------|----|---------|---------|----------|------|
| Teor de adição do resíduo (%) | 0,00322 | 3  | 0,00107 | 0,250   | 0,859658 | N    |
| Error                         | 0,05150 | 12 | 0,00429 | -       | -        | -    |

SQ: Soma quadrática; GL: graus de liberdade (n-1); SQF: média quadrática; Teste F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância; Se  $p < 5\%$  = efeito significativo. **Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Como as argamassas apresentaram incremento na resistência à compressão e sabe-se que a resistência está ligada diretamente a capacidade de absorção de água das matrizes cimentícias, esperava-se uma redução na propriedade avaliada, fato que não se observou neste estudo. Com o aumento do teor de adição de vidro nas argamassas notou-se também um incremento na taxa de absorção de água. Trentin et al. (2020) estudou o emprego do resíduo de vidro em substituição parcial ao agregado miúdo em argamassas e observou a mesma tendência.

Para verificar se o aumento na absorção de água é significativo, foi realizada uma ANOVA, apresentada na Tabela 9. Observa-se que o resíduo quando adicionado as argamassas, estatisticamente, não influencia na propriedade em questão, logo esse incremento não é significativo, mostrando que todas as combinações em análise apresentam o mesmo comportamento. Desta forma, a adição do resíduo de vidro não influenciou negativamente na absorção de água das argamassas.

#### 4. CONCLUSÃO

O resíduo de vidro para todos os teores estudados nas argamassas, se mostrou benéfico, contribuindo para a redução do consumo de cimento e aumento discreto na resistência à compressão. Embora tenha promovido aumento na absorção de água por capilaridade, fato não esperado, estatisticamente avaliando esse resultado não foi significativo, logo o incremento da capilaridade não é representativo. Desta forma, pelos resultados obtidos neste trabalho, a adição do resíduo de vidro demonstra ser um material que pode auxiliar na sustentabilidade das matrizes cimentícias.

Como sugestão para trabalhos futuros, indica-se a análise da resistência à compressão em idades mais avançadas, uma vez que as reações pozolânicas são reações que

podem acontecer de forma mais tardia, dependendo das reações iniciais do cimento. Também, sugere-se a realização de outros estudos que avaliem durabilidade das matrizes cimentícias com a adição dos teores de vidro, com o objetivo de validar sua aplicabilidade em obras de construção civil.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO. (2019) Abvidros, 2019. Vidro: o resíduo. Disponível em: <https://abividro.org.br/>. Acesso em: 13 set. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:2018**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211:2009**. Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215:2019**. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão – especificação. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 9779:2013**. Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276:2016**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASHRAF, W. Carbon storage in cement concrete. **Frontiers in Materials**, v. 3, p. 1-14, 2016.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M.. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2011. v. 1. 142 p.

ARAÚJO, A. F. **A aplicação da metodologia de produção mais limpa: estudo em uma empresa do setor de construção civil**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

CASSA, J. C. S. et al. **Reciclagem do entulho para produção de materiais de construção**. Salvador: Editora da UFBA, 2001.

CORRÊA, L. R.. Sustentabilidade na construção civil. **Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil)**. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.



FOWLER, K. Building Cost and Performance Measurement Data. In: **Greenbuild Conference**, 2004, Portland. Anais [...]. Portland: GBC CONFERENCE, 2004.

FEDERICO, L. M.; CHIDIAC, S. E. Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete – Critical review of treatment methods. **Cement and Concrete Composites**, v. 31, n. 8, p. 606-610, 2009.

GIORDANI, C. **Viabilidade técnica do uso de resíduos do beneficiamento de arenito como substituição do agregado miúdo em argamassas**. 2014. 126f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

GONÇALVES, R. F., LIMA, P. F. **Impactos Ambientais da Construção Civil no Brasil e o uso de tecnologias para minimizá-los**. 1st ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2020.

LI, G.; ZHAO, X.; LIU, H. Performance of concrete containing recycled waste glass powder at elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 221, p. 629-638, 2019.

MASUERO, A. B.. Desafio da Construção Civil: crescimento com sustentabilidade ambiental. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 04, p. e13123, 2021.

MEHTA, Ankur; ASHISH, Deepankar Kumar. Silica fume and waste glass in cement concrete production: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 29, p. 100888, 2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MELO, A. R. S. et al. Propriedades reológicas e mecânica de concreto com resíduo de vidro em pó em substituição parcial ao cimento. In: 5º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Lisboa, 2024.

MENDES, N. C.. **Métodos e modelos de caracterização para avaliação de impacto do ciclo de vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil**. 2013. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo.

PETRY, N. S.. **Uso de resíduos de ágata como agregado em argamassas de cimento Portland branco**. 2015. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

PETRY, N. S. et al. Uso do pó de rolagem de ágata em substituição ao agregado calcário na produção de argamassas: análise da resistência mecânica, carbono e energia incorporados. **11th Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Porto Alegre**, p. 28-30, 2015.

ONU BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 13 set. 2024.

SCHNEIDER, M. et al. Sustainable cement production—Present and future. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 7, p. 642-650, 2011.

SHAYAN, A.; XU, A. Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: A field trial on concrete slabs. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 1, p. 81-89, 2004.

TRENTIN, Priscila Ongaratto et al. Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, p. e-12576, 2020.

UNEP. 2022 Global Status Report For Buildings and Construction, 2022. Disponível em: <https://globalabc.org/our-work/tracking-progress-global-statusreport>. Acesso em: 13 set. 2024.

VENQUIARUTO, S. et al. Aproveitamento de resíduos de ágata reciclada em materiais cimentícios sustentáveis. In: HARTMAN, L.A. et al. (Org.) **Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração**. 1. ed. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014. v. 1, p. 99 –106.

World Green Building Council. **Building a Better Future: The Role of Green Buildings in Environmental Sustainability**. 1st ed. London: World Green Building Council, 2021.