



Efeito da substituição parcial do vidro moído em pastas cimentícias

Effect of partial replacement of ground glass in cementitious pastes

Marina Nogueira Carvalho de Oliveira¹, Lidiane Fernanda Jochem²

RESUMO

O estudo aborda a análise das implicações da incorporação de vidros moídos em pastas cimentícias, visando à criação de um material ambiental e economicamente vantajoso para a construção civil. Para tanto, analisaram-se diferentes teores (15%, 25% e 35%) de substituição parcial do aglomerante hidráulico pelos resíduos de diferentes cores. No estado fresco, avaliou-se o índice de consistência. Já no estado endurecido, realizaram-se ensaios de resistência mecânica à compressão e à tração na flexão aos 28 e 90 dias de hidratação. Os resultados indicaram que a adição de resíduos vítreos impactou minimamente a trabalhabilidade, devido à natureza não absorvente e à aspereza de suas partículas. Além disso, as cores analisadas não apresentaram efeito significativo. A resistência à compressão demonstrou-se menor aos 28 dias devido à redução dos compostos de clínquer, aumentando significativamente aos 90 dias, o que foi atribuído à ocorrência de reações pozolânicas. A resistência à tração na flexão assemelhou-se à amostra referência.

PALAVRAS-CHAVE: pastas cimentícias; sustentabilidade; vidro moído.

ABSTRACT

The study addresses the analysis of the implications of incorporating grounded glass into cementitious pastes, aiming to create an environmentally and economically advantageous material for the construction industry. To do so, different rates (15%, 25% and 35%) of partial replacement of the hydraulic binder with the mentioned waste were examined. In the fresh state, characteristics such as workability and air content were evaluated. In the hardened state, tests of mechanical strength in compression and flexural tension were conducted at 28 and 90 days of curing. The results showed that the addition of glass waste had a minimal impact on workability, due to the non-absorbent nature and roughness of its particles. Furthermore, the analyzed colors did not have a significant effect. Mechanical compressive strength was lower at 28 days due to the reduction of clinker compounds, increasing significantly at 90 days, which was attributed to the occurrence of pozzolanic reactions. Flexural tensile strength resembled that of the reference sample.

KEYWORDS: cementitious pastes; sustainability; ground glass.

INTRODUÇÃO

Estima-se que a produção de 1 kg de cimento emite aproximadamente 0,8 kg de CO₂, contribuindo com cerca de 6% a 7% das emissões globais desse composto químico (Li et al., 2019; Huang et al., 2018; Kajaste, Hurme, 2016; Shen et al., 2015). Ademais, o cimento caracteriza-se como dispendioso e sua disponibilidade é limitada. Diante desse cenário urge a crescente busca por materiais cimentícios suplementares (MCS) para substituí-lo parcialmente, dentre os quais destacam-se os resíduos de vidro, por possuírem características, tais quais: baixa expansão térmica, resistência à abrasão, alto teor de sílica amorfa e alta superfície específica. Além disso, sua composição química se assemelha à de outras adições minerais, como cinzas volantes e sílica ativa, o que o torna um material pozolânico (Jochem et al., 2021; Nahi et al., 2020; Oliveira et al., 2015; Carsana et al., 2014; L.A.F Bauer, 2008). A literatura indica que a finura do pó de vidro exerce influência na sua usabilidade em misturas cimentícias (Nahi et al., 2020). Du et al. (2015) explica que a sílica

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: marinanogueira@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 8763254736078163.

² Docente no Departamento Acadêmico de Construção Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: lidiane@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7951773034497279.



amorfa se dissolve mais rapidamente nas partículas de vidro, reagindo com os íons Ca^{2+} , quanto mais finas forem estas e maior forem as suas áreas de superfície. O mesmo autor destaca que, quando inferiores a $75 \mu\text{m}$, tais partículas claramente exibem reação pozolânica. A incorporação de resíduos vítreos em matrizes cimentícias promove diversas vantagens relacionadas às suas propriedades, como resistência à penetração de íons cloreto, redução da retração hidráulica e refinamento da microestrutura (Jochem et al., 2021; Li et al., 2019; Lu et al., 2017). Quanto às questões socioambientais, apesar de não ser biodegradável, o vidro é reutilizável, o que reduz o desperdício e a pegada de carbono, contribuindo para a economia de energia e de recursos naturais (Nahi et al., 2020; Du, Tan, 2015). Entretanto, observam-se relatos de reduções na resistência mecânica, atribuídas à fraca adesão entre a superfície lisa do vidro e os produtos de hidratação do cimento (Jochem et al., 2021; Park et al., 2004; Topçu, Canbaz, 2003). Este estudo teve como objetivo analisar o comportamento dos resíduos vítreos em pastas cimentícias e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas dessas pastas, considerando sua aplicabilidade na construção civil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se cimento Portland de alta resistência inicial (CP-V ARI), devido à alta concentração de clínquer e sulfatos de cálcio, e à ausência de escórias granuladas de alto-forno e de materiais pozolânicos em sua composição, para avaliar a pozolanicidade dos resíduos vítreos, os quais pertenciam à classe sodo-cálcica, nas cores verde, azul e âmbar. A moagem desses resíduos ocorreu em dois estágios: inicialmente em um moinho de bolas de aço, cujo diâmetro médio foi de $47,6 \text{ milímetros}$, a uma velocidade de cerca de 30 rpm durante 60 segundos . Os resíduos ficaram com o diâmetro médio de um centímetro e foram transferidos para o moinho de panelas, onde permaneceram por 300 segundos . Para garantir que o material final tivesse granulometria inferior a $75 \mu\text{m}$, similar à do cimento Portland, todo o resíduo vítreo foi peneirado; apenas as partículas que passaram pela peneira nº 200 foram usadas. As pastas cimentícias foram preparadas com uma relação água/aglomerante de $0,30$ para todas as misturas. Testaram-se diferentes porcentagens de substituição parcial em relação ao cimento Portland, a saber: 15% , 25% e 35% , em volume. O processo de mistura deu-se por meio de misturador mecânico com rotação planetária, conforme a norma técnica NBR 7215 (ABNT, 2019). O índice de consistência foi obtido seguindo a norma técnica NBR 13276 (ABNT, 2016). Além disso, foi preparado três corpos de prova cilíndricos ($40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$) para cada espécime imediatamente após o preparo das pastas, os quais foram mantidos em temperatura e umidade controladas por $48 \pm 24 \text{ horas}$, conforme especificado. Assim, realizaram-se três ensaios de resistência à tração na flexão e seis ensaios de resistência à compressão de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005).

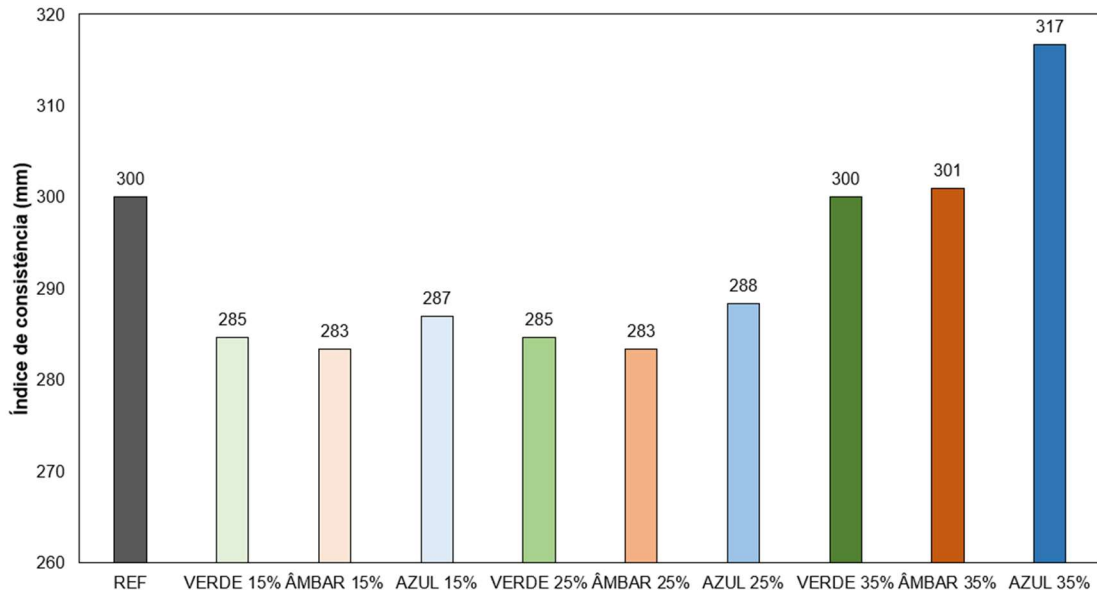
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 tem-se o índice de consistência das amostras. Analisando-a, tem-se que a pasta de referência, isto é, sem resíduos vítreos, obteve espalhamento equivalente a 300 milímetros . Nesse contexto, destacaram-se os espécimes azul (35%) e âmbar (15% ; 25%), devido ao aumento de $5,57\%$ e redução de $5,57\%$ em relação à REF, atribuído à natureza não absorvente das partículas vítreas e à aspereza dessas em comparação ao cimento.



Estudos anteriores de Topçu e Canbaz (2003) corroboram esses resultados. Dessa forma, Nahi et al. (2020) sugerem que os resultados contraditórios descritos se atribuem a fatores diversos, tais como o formato e dimensão das partículas, a sua natureza hidrofóbica e a porcentagem de substituição em relação ao cimento.

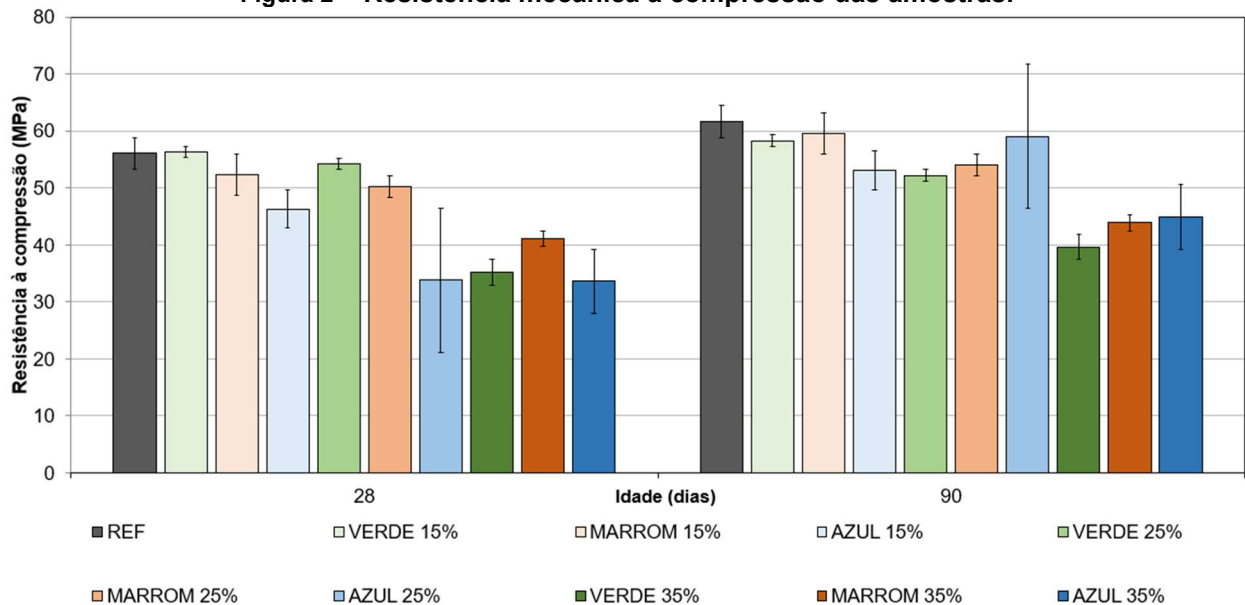
Figura 1 – Índice de consistência das amostras.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Observa-se, na Figura 2, uma diminuição nos valores de resistência à compressão aos 28 dias, conforme relatado por Du et al. (2015), devido à redução dos compostos de clínquer responsáveis pelo desenvolvimento da resistência inicial. Entretanto, tem-se ao decorrer do tempo de hidratação aumento considerável dessa propriedade.

Figura 2 – Resistência mecânica à compressão das amostras.



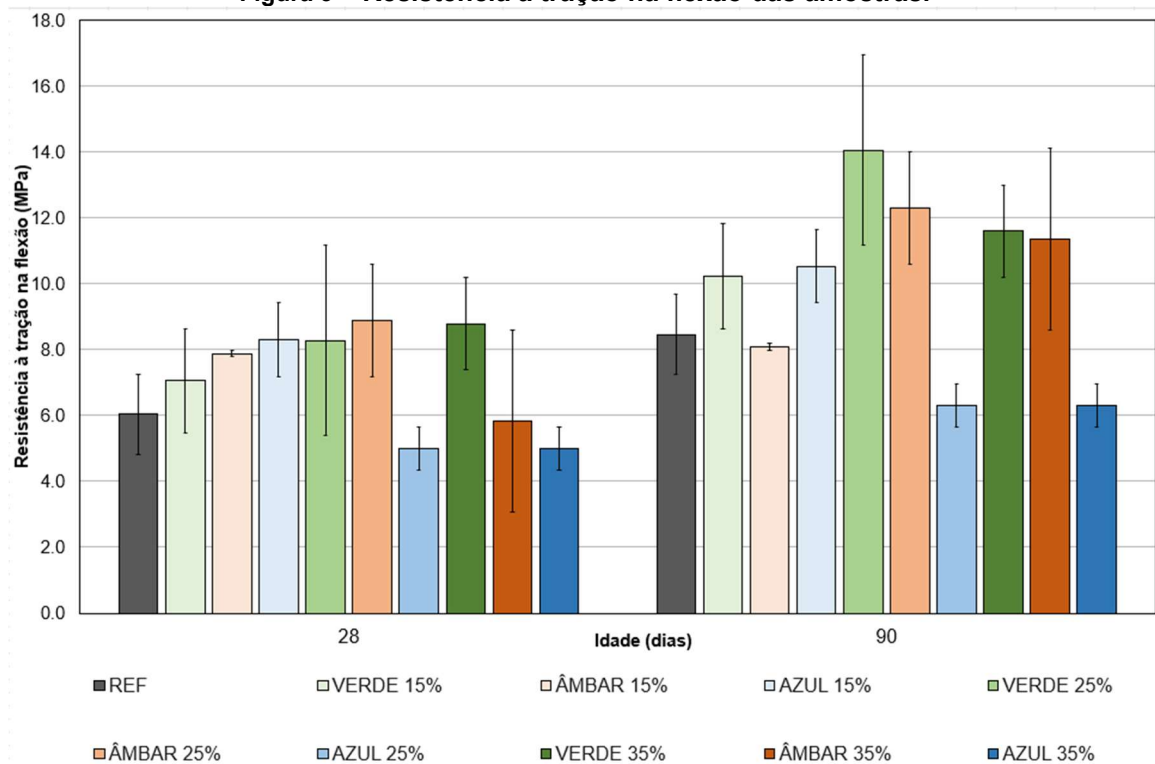
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).



Isso é explicado por meio da atividade de longo prazo das reações pozolânicas, na qual a sílica amorfa do pó de vidro se dissolve lentamente, de forma a contribuir para a melhoria da microestrutura das amostras por meio da redução da porosidade e do fortalecimento da ligação entre as partículas vítreas e a matriz da pasta cimentícia, como relatado previamente pelos autores Nahi et al. (2020) e Tan et al. (2013). É notável, ainda, que as pastas preparadas com substituição de 15% e 25% de vidro moído apresentaram valores de resistência à compressão mais próximos à referência, em relação às demais porcentagens.

Quanto à resistência à tração na flexão, cujos resultados são exibidos na Figura 3, as amostras geralmente apresentaram valores semelhantes à referência, em concordância com os estudos de Zizková et al. (2016) e Jochem et al. (2021).

Figura 3 – Resistência à tração na flexão das amostras.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No entanto, algumas amostras tiveram resultados inferiores devido a menor quantidade de cimento para a formação de produtos hidratados e ao maior dimensionamento das partículas vítreas, enfraquecendo as forças de ligação entre os resíduos e a pasta cimentícia, de acordo com as pesquisas elaboradas por Park et al. (2004), Al-Sibahy et al. (2012) e Ling and Pool (2017).

Ademais, ao comparar-se os resultados de uma mesma amostra aos 28 e aos 90 dias, observa-se aumento significativo dessa propriedade, devido ao fato de que as reações pozolânicas ocorrem a uma taxa mais lenta que a hidratação primária do cimento, resultando no desenvolvimento de resistência mecânica em idades posteriores, conforme explicado por M. Kamali e A. Ghahremaninezhad (2017). Assim, os produtos hidratados formados tardiamente são cruciais para a densificação da zona de transição interfacial,



como destacado nas amostras 35% âmbar (aumento de 94,7%) e 25% verde (65,88% superior à referência).

CONCLUSÕES

Assim, constata-se que a utilização de pó de vidro em substituição parcial do aglomerante é tecnicamente viável, visto que não foram detectadas alterações significativas no que diz respeito às características das pastas cimentícias. Além disso, as cores dos resíduos vítreos não exerceram influência considerável com relação às propriedades frescas. Porém, referindo-se ao estado endurecido, destacam-se os exemplares 35% âmbar, os quais apresentaram aumento de 94,7% dos 28 aos 90 dias, e a amostra 25% verde, cujo valor excedeu em 65,88% a REF, ambos analisados quanto à resistência à tração na flexão. Por fim, o presente estudo contribui não somente para o desempenho técnico das pastas cimentícias, mas também gera impactos socioambientais significativos.

Agradecimentos

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela infraestrutura e à Prof^ª. Dr^ª Lidiane Fernanda Jochem pela orientação no decorrer da pesquisa.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7215**: cimento Portland: determinação da resistência à compressão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

AL-SIBAHY, EDWARDS R., Mechanical and thermal properties of novel lightweight concrete mixtures containing recycled glass and metakaolin, **Constr. Build. Mater.** 31 (2012) 157–167.

BAUER L.A.F., *Materiais De Construção - Volume 2 - Bauer - 5a Edicao. Pdf, 5th ed.*, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2008.

CARSANA M., FRASSONI M., BERTOLINI L., Comparison of ground waste glass with other supplementary cementitious materials, **Cem. Concr. Compos.** 45 (2014) 39–45.



- DU H., TAN K. H., Transport Properties of Concrete with Glass Powder as Supplementary Cementitious Material. **Materials Journal**, Volume 112, Issue 3, Pages 429-438, 2015.
- HUANG L.Z., KRIGSVOLL G., JOHANSEN F., LIU Y.P., ZHANG X.L., 2018. Carbon emission of global construction sector. **Renew. Sustain. Energy Rev.** 81, 1906-1916.
- JOCHEM L. F., CASAGRANDE C. A., ONGHERO L., VENÂNCIO C., GLEIZE P. J. P. Effect of partial replacement of the cement by glass waste on cementitious pastes, **Constr. Build. Mater.**, Volume 273, 2021, 121704, ISSN 0950-0618.
- KAJASTE R., HURME M., 2016. Cement industry greenhouse gas emissions - management options and abatement cost. **J. Clean. Prod.** 112, 4041-4052.
- KAMALI M., GHAREMANINEZHAD A., 2015. Effect of glass powders on the mechanical and durability properties of cementitious materials. **Constr. Build. Mater.** 98, 407-416.
- LI B., LING T.C., YU J.G., WU J., CHEN W., Cement pastes modified with recycled glass and supplementary cementitious materials: Properties at the ambient and high temperatures, **J. Clean. Prod.** 241 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118155>.
- LING T.C., POON C.S., Spent fluorescent lamp glass as a substitute for fine aggregate in cement mortar, **J. Clean. Prod.** 161 (2017) 646–654, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.173>.
- LU J., DUAN Z., POON C.S., Fresh Properties of Cement Pastes or Mortars Incorporating Waste Glass Powder and Cullet. **Constr. Build. Mater.** 131, Pages 793–799, 2017.
- NAHI S., LEKLOU N., KHELIDJ A., OUDJIT M. N., ZENATI A. Properties of cement pastes and mortars containing recycled green glass powder. **Constr. Build. Mater.**, Volume 262, 2020, 120875, ISSN 0950-0618.
- OLIVEIRA R., DE BRITO J., VEIGA R., Reduction of the cement content in rendering mortars with fine glass aggregates, **J. Cleaner Prod.** 95 (2015) 75–88, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.049>.
- PARK S. B., LEE B. C., KIM J. H., Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate, **Cem. Concr. Res.**, Volume 34, Issue 12, 2004, Pages 2181-2189, ISSN 0008-8846.
- SHEN W.G., CAO L., LI Q., ZHANG W.S., WANG G.M., LI C.C., 2015. Quantifying CO2 emissions from China's cement industry. **Renew. Sustain. Energy Rev.** 50, 1004-1012.
- TOPÇU I.B., CANBAZ M., Properties of concrete containing waste glass, **Cem. Concr. Res.** 34 (2004) 267–274, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.07.003>.
- ZIZKOVÁ N., Recycled Waste Glass Powder as a Partial Cement Replacement in Polymer-Modified Mortars, **Int. J. Civ. Environ. Eng.** 10 (2016) 1632–1635.