XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8821

Estudo da influência de resíduos de vidro na durabilidade em argamassas cimentícias

Study of the influence of glass waste on durability in cementitious mortars

Elizeth Neves Cardoso Soares
IFNMG | Januária | Brasil | elizeth.soares@ifnmg.edu.br
Elias Bertulino Souza
IFNMG | Januária | Brasil | ebs@ifnmg.edu.br
Ana Rita Lopes Salustiano
IFNMG | Januária | Brasil | arls@ifnmg.edu.br
João Victor de Oliveira Lopes
IFNMG | Januária | Brasil | joao.lopes@ifnmg.edu.br

Resumo

Esta pesquisa investigou a influência da incorporação de resíduos de vidro na durabilidade de argamassas cimentícias, por meio da substituição parcial do agregado miúdo em teores de 0%, 10%, 15% e 20%. Foram moldados corpos de prova com traço 1:2:3:0,5 (cimento CPII, cal hidratada, areia e água), mantendo-se a relação a/c constante, e avaliadas as propriedades de resistência à compressão, absorção de água e resistência ao ataque químico (sulfato de sódio e ácido sulfúrico). Os resultados indicaram redução da resistência à compressão com o aumento do teor de vidro. Sob ataque por sulfato de sódio, houve perda média de até 21,5%, sendo 15% o mais resistente (-15,77%). No ácido sulfúrico, as perdas chegaram a 26,7%, com melhor desempenho em 20% (-3,43%). O traço de referência mostrou maior suscetibilidade. O teor de 10% apresentou desempenho equilibrado, indicando potencial ótimo. Conclui-se que o uso de resíduos de vidro pode melhorar a resistência a ambientes agressivos, desde que em teores adequados.

Palavras-chave: Argamassa. Sustentabilidade. Cimento. Durabilidade. Resíduos de vidro.

Abstract

This study investigated the influence of incorporating glass waste on the durability of cementitious mortars through partial replacement of fine aggregate at levels of 0%, 10%, 15%, and 20%. Specimens were molded with a 1:2:3:0.5 mix proportion (CPII cement, hydrated lime, sand, and water), keeping the water-to-cement ratio constant. The properties evaluated included compressive strength, water absorption, and resistance to chemical attack (sodium sulfate and sulfuric acid). The results showed a reduction in compressive strength with increasing glass content. Under sodium sulfate attack, an average strength loss of up to 21.5% was observed, with the 15% content showing the best performance (-15.77%). Under sulfuric acid attack, losses reached about 26.7%, with the best result at 20% (-3.43%). The reference mix showed greater susceptibility to aggressive agents. The 10% content presented balanced performance, indicating a potentially optimal level. It is concluded that the use of glass waste can improve resistance to aggressive environments when used at appropriate contents.

Keywords: Mortar. Sustainability. Cement. Durability. Glass waste.

Como citar:
SOARES, E. N. C. *et al*. Estudo da influência de resíduos de vidro na durabilidade em argamassas cimentícias. ENTAC 2026. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8821

INTRODUÇÃO

Na construção civil, utiliza-se um grande volume de concreto e argamassas, o que demanda o uso contínuo de recursos naturais. O uso excessivo e descontrolado de areia natural na indústria da construção tem intensificado as preocupações com o equilíbrio dos recursos naturais (Lima, 2023). Estima-se a utilização mundial de areia em torno de 50 bilhões de toneladas por ano, cerca de 18 kg por dia por pessoa (UNEP, 2022). Além da elevada demanda, a extração intensiva de areia tem sido associada a impactos ambientais como a degradação de ecossistemas, erosão de margens de rios, perda de biodiversidade e alterações nos recursos hídricos, evidenciando a necessidade de alternativas que reduzam a dependência desse recurso natural (Carvalho *et al.,* 2019).

Diante disso, alguns pesquisadores buscam estudar o potencial de uso de vários produtos residuais, como resíduos de vidro e cerâmicos como alternativas à areia natural em misturas cimentícias (Sharifi *et al*., 2020; Kim *et al*., 2018; Siddique *et al.*, 2018), o que infere na redução de exploração de recursos naturais e na busca de uma destinação alternativa para resíduos sólidos, sobretudo os de vidro.

Segundo Lima (2023) vale destacar que a argamassa é um material formado pela mistura de aglomerantes (cimento e cal), agregados miúdos e água, podendo também conter aditivos com a finalidade de melhorar suas propriedades, que após a cura endurece atendendo às propriedades e desempenhos especificados. Além disso, no estado fresco, possuem boa plasticidade, e no estado endurecido, possuem rigidez, resistência e aderência. Assim, alterações na composição dos agregados podem influenciar diretamente o comportamento mecânico e a durabilidade das argamassas, tornando necessária a avaliação criteriosa de materiais alternativos antes de sua aplicação (Lima, 2023).

Somado a isso, o estudo da aplicação de resíduos de vidro em substituição de agregados naturais como em concreto e argamassas pode ser uma alternativa viável para promover a economia circular sustentável e reduzir o uso de recursos naturais como areia. Como resultado, existem algumas exigências da sociedade, setores públicos e ambientais sobre a engenharia civil para que suas inovações tecnológicas contribuam com construções mais sustentáveis, e sejam capazes de reduzir os impactos ambientais (Soliman e Tagnit-Hamou, 2017; Sharifi *et al*., 2015).

Além do benefício ambiental relacionado à redução do consumo de agregados naturais, o reaproveitamento de resíduos de vidro possibilita a valorização de um material frequentemente descartado, contribuindo para a redução de impactos ambientais e, também, redução do volume de resíduos destinados a aterros sanitários (Campbell, 2023). Para que isso seja possível, é necessário estudar materiais alternativos, com o reaproveitamento de resíduos de vidro, frequentemente descartados em aterros sanitários, o que ajudará a reduzir o impacto ambiental.

Entre os resíduos vítreos passíveis de reaproveitamento, destacam-se os vidros sodo-cálcicos provenientes de embalagens pós-consumo não retornáveis, como embalagens de bebidas, em geral, que apresentam ampla disponibilidade e potencial

de utilização. A sua incorporação em argamassas cimentícias pode diminuir a extração de matérias-primas naturais e reduzir a quantidade de resíduos acumulados. Além disso, o vidro apresenta composição rica em sílica e granulometria, quando tratado, similar a da areia, características que desperta interesse para sua utilização em materiais cimentícios e justifica a investigação de seu potencial como substituto parcial dos agregados miúdos naturais (Alves *et al*., 2022).

Apesar dos avanços observados na literatura quanto à utilização de resíduos de vidro em materiais cimentícios, ainda existem incertezas relacionadas à influência desse material sobre as propriedades mecânicas e de durabilidade das argamassas. Considerando que alterações na composição da argamassa podem afetar seu desempenho e sua vida útil, surge a necessidade de avaliar se a substituição parcial da areia por resíduos de vidro é capaz de produzir argamassas com desempenho mecânico e durabilidade adequados para sua aplicação na construção civil.

Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência dos resíduos de vidro na durabilidade de argamassas cimentícias, por meio da análise da resistência à compressão, absorção de água e resistência ao ataque de agentes químicos em misturas produzidas com diferentes proporções desse resíduo. Com isso, busca-se contribuir para o desenvolvimento de argamassas mais sustentáveis, conciliando desempenho técnico e redução dos impactos ambientais associados à extração de recursos naturais e ao descarte de resíduos sólidos de vidro.

METODOLOGIA

MATERIAIS

Para a execução deste estudo, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: como aglomerante, cimento CP II Z 32, da marca Montes Claros, e cal hidratada; como agregado natural, o agregado miúdo, a areia; como agregado reciclado, o resíduo de vidro sodo-cálcico, proveniente da moagem de embalagens de vidro pós-consumo, que substituiu parcialmente a areia nas concentrações de 10%, 15% e 20%; e, como aditivo, o superplastificante drycast.

MÉTODOS

A pesquisa caracteriza-se como experimental, de natureza aplicada, abordagem quantitativa sendo desenvolvida em laboratório por meio da realização de ensaios físicos e mecânicos em corpos de prova. Foi desenvolvida com o objetivo de avaliar a influência da incorporação de resíduos de vidro na durabilidade de argamassas cimentícias, sendo estruturada em etapas sequenciais que envolveram a caracterização dos materiais, produção das argamassas, moldagem dos corpos de prova e realização dos ensaios no estado fresco e endurecido.

Inicialmente, procedeu-se à caracterização dos materiais constituintes com ênfase na análise granulométrica do resíduo de vidro e da areia, conforme a ABNT NBR NM 248. Esse ensaio permitiu determinar a distribuição das partículas e ajustar a granulometria

do resíduo de vidro de modo a torná-lo compatível com o agregado miúdo natural, garantindo maior homogeneidade nas misturas.

Com base nesses resultados, realizou-se o ajuste granulometria do resíduo de vidro, de modo a aproximar sua distribuição à da areia natural, garantindo maior uniformidade das misturas e minimizando interferências no comportamento das argamassas.

As argamassas foram produzidas utilizando o traço 1:2:3:0,5 (cimento, cal hidratada, areia e água), mantendo-se constante a relação água/cimento. Foram avaliados quatro teores de substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduo de vidro: 0% (traço de referência), 10%, 15% e 20%. O resíduo de vidro foi previamente beneficiado e incorporado às misturas em substituição à areia com base na massa do agregado miúdo natural. Para todas as composições, utilizou-se aditivo superplastificante do tipo drycast, em teor fixo de 0,5% da massa de cimento. A composição dos traços é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Dosagem das argamassas estudadas no procedimento experimental

Argamassa	Proporção	Aditivo Plastificante
Referência	(1:2:3) cimento:cal:areia – Referência (REF)	0,5%
RV10	(1:2:3:0,5) cimento:cal:areia:resíduo de vidro	0,5%
RV15	(1:2:3:1) cimento:cal:areia:resíduo de vidro	0,5%
RV20	(1:2:3:1,4) cimento:cal:areia:resíduo de vidro	0,5%

Fonte: os autores.

O preparo das argamassas foi realizado manualmente, envolvendo as etapas de pesagem dos materiais, mistura dos componentes secos e posterior adição de água e aditivo, buscando-se garantir a uniformidade da mistura. Em seguida, foram moldados corpos de prova cilíndricos (Ø5 × 10 cm) e prismáticos (4 × 4 × 16 cm), os quais permaneceram em moldes por 24 horas. Após a desmoldagem, os espécimes foram submetidos à cura em câmara climatizada, a temperatura de aproximadamente 23 °C e umidade relativa de 80%, até atingirem a idade de ensaio.

No estado fresco, foi determinado o teor de ar incorporado por meio do método pressométrico, conforme a ABNT NBR 13278, utilizando equipamento do tipo Air Meter.

Já no estado endurecido, foram realizados ensaios de resistência à compressão (ABNT NBR 13279) e absorção de água por capilaridade (ABNT NBR 15259), com o intuito de avaliar o comportamento mecânico e físico das argamassas.

Para análise da durabilidade, os corpos de prova, após 28 dias de cura, foram submetidos a ataques químicos em soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 2,5% e sulfato de sódio (Na_2SO_4) a 1500 mg/L. Os espécimes permaneceram imersos nessas soluções por um período de 30 dias, em temperatura ambiente, com controle da relação entre volume da solução e volume dos corpos de prova, de modo a garantir a uniformidade da ação agressiva. Após o período de exposição, os corpos de prova foram retirados, secos superficialmente e submetidos novamente ao ensaio de resistência à compressão, permitindo a comparação com amostras não expostas.

Além dos ensaios mecânicos, foram realizadas análises visuais dos corpos de prova, com o objetivo de identificar possíveis manifestações patológicas, como fissuração, desagregação superficial e alterações de coloração, associadas aos processos de degradação química.

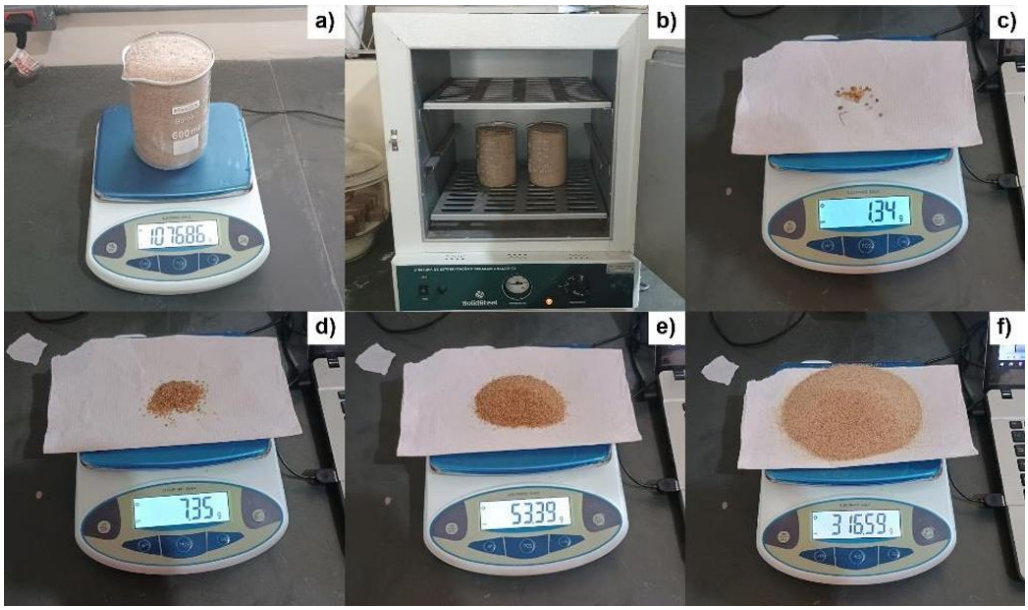
Por fim, os dados obtidos foram organizados e analisados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA) de um fator (*One-Way*) do *Microsoft Excel*, adotando-se nível de significância de 5% (confiança de 95%). A significância foi avaliada para 3 repetições de cada tratamento com base no valor de F calculado (estatística do teste), F crítico (valor de referência para decisão) e no valor de p (nível de significância observado), considerando diferenças significativas quando $p < 0,05$, possibilitando a comparação entre os diferentes teores de substituição e condições de exposição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AREIA

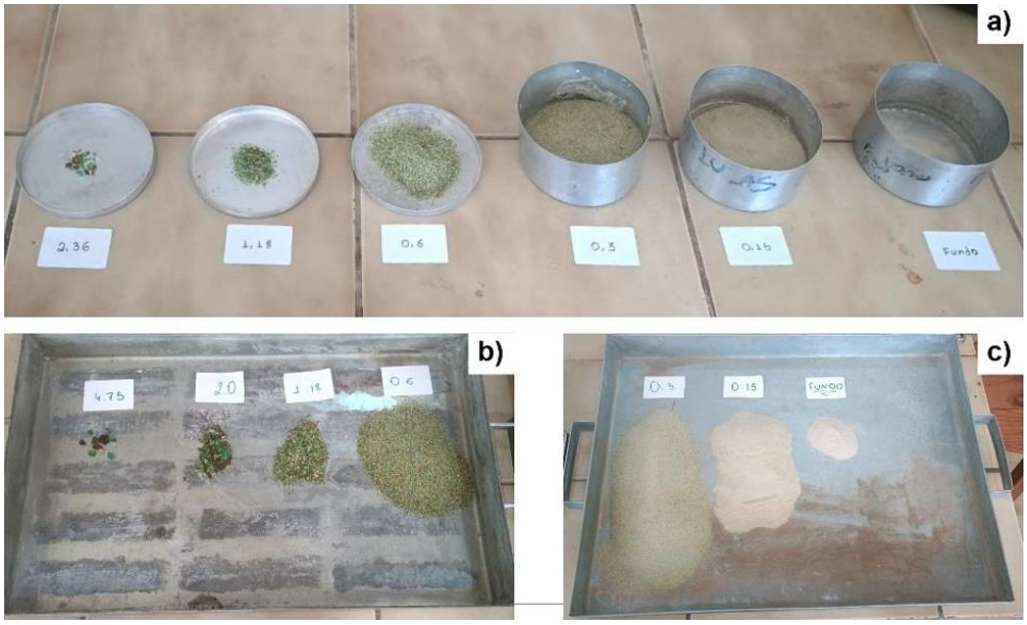
A distribuição granulométrica Figuras 1 e 2 tanto do agregado quanto do resíduo foi realizado de acordo com a NM 248 (ABNT, 2003) e as especificações da NBR 7211 - agregados para concreto (ABNT, 2022).

Figura 1: Ensaio de granulometria da areia



Fonte: os autores.

Figura 2: Ensaio de granulometria dos resíduos de vidro

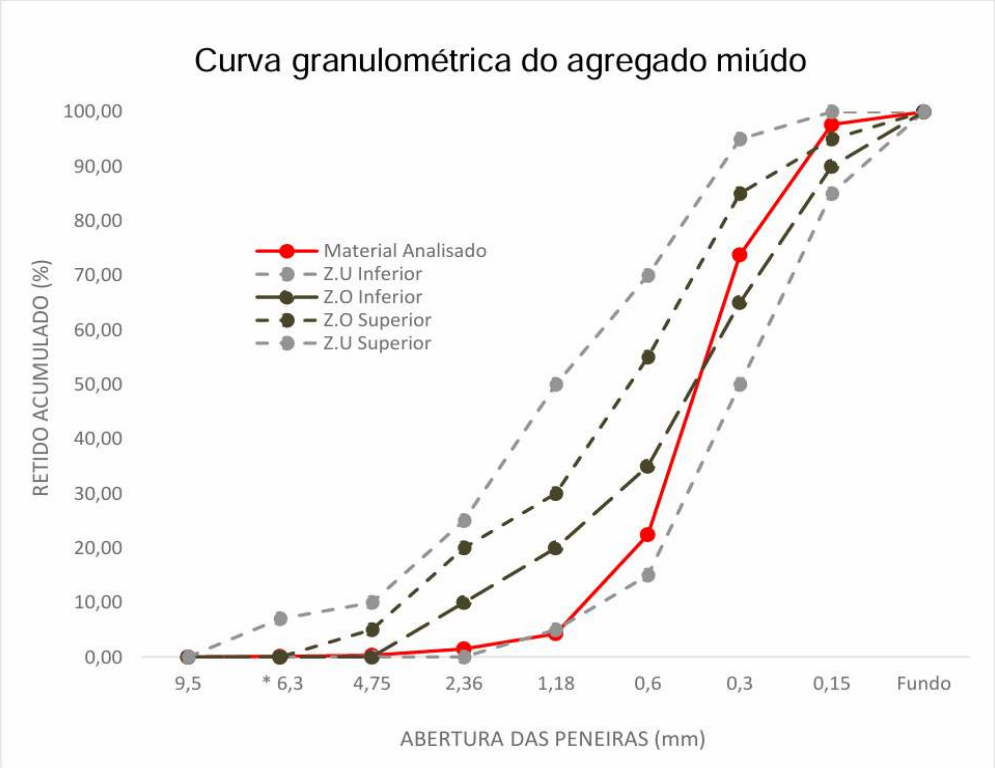


Fonte: os autores.

SEPARAÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO POR FAIXA DE AGREGADO MIÚDO

Na Figura 3, o processo de separação foi feito para poder garantir semelhança entre o resíduo e a areia em questão, no tocante a granulometria de ambos, como escreve Barela; Moura; Bellinaso (2015) no artigo “Concreto produzido com substituição parcial do agregado miúdo por sucata de vidro”.

Figura 3: Faixa granulométrica da areia



Fonte: os autores.

Tendo em vista que o objetivo é a utilização do resíduo de vidro como substituto da areia fina, a maneira que se ajustou a granulometria do resíduo de modo a aproximar as características da argamassa produzida com resíduo de vidro das características daquela sem nenhum teor de substituição, gerando uma curva praticamente idêntica à distribuição granulométrica da areia.

ENSAIO DE TEOR DE AR INCORPORADO

Foi utilizado o equipamento chamado de Air Meter, um medidor do teor de Ar Incorporado pelo método pressométrico tratado na NBR 13278:2005, ele já apresenta o resultado do teor de ar incorporado na argamassa diretamente, e sem necessidade de cálculos adicionais. O equipamento funciona com o preenchimento da argamassa fresca no recipiente até o volume padrão, adensada conforme o procedimento, vide Figura 4.

Figura 4: Ensaio de teor de ar incorporado



Fonte: os autores.

Segue com o fechamento hermético da tampa com manômetro, e se injeta água de um lado do tubo de cobre até que saia pela extremidade oposta, em seguida se aplicação a pressão injetando ar comprimido até o valor de calibração (no caso deste fabricante o aparelho se calibra no 0%). Após isso é apertada a válvula principal da tampa que libera o ar excedente e marca o valor de ar incorporado na argamassa em %, no manômetro. Os resultados de teor de ar incorporado mostrado na Tabela 2 indicam que a substituição parcial da areia por resíduos de vidro não promoveu alterações significativas na quantidade de ar presente nas argamassas. Observou-se um leve aumento nos teores de 10% e 15%, possivelmente associado à maior angularidade das partículas de vidro, que pode favorecer o aprisionamento de pequenas quantidades de ar. Para o teor de 20%, verificou-se redução do ar incorporado, atribuída ao melhor empacotamento granular e ao efeito filler do material. De modo geral, os valores permaneceram baixos (inferiores a 2%), indicando boa compacidade das misturas e adequada execução do ensaio conforme a ABNT NBR 13278:2005.

Tabela 2: Resultados de ar incorporado nas amostras frescas de referências e com resíduos de vidro

Argamassa	Amostras frescas – Ar (%)
Referência	0,75
RV10	1,25
RV15	1,25
RV20	0,9

Fonte: os autores.

DENSIDADE, ABSORÇÃO DE ÁGUA E POROSIDADE

Os resultados relacionados às propriedades físicas das argamassas evidenciam alterações associadas à incorporação do resíduo de vidro, sobretudo no que se refere à densidade, absorção de água e porosidade.

A partir dos resultados obtidos, verificou-se uma discreta redução na densidade das argamassas com adição de resíduo de vidro, quando comparadas à amostra de referência. Essa redução pode estar relacionada à diferença de massa específica entre os materiais e à modificação da estrutura interna da matriz. Em relação à absorção de água, observou-se um aumento nos valores para as argamassas contendo resíduos de vidro, sendo mais expressivo para o teor de 20% de substituição. Esse comportamento está diretamente associado ao aumento da porosidade do material, uma vez que a maior presença de vazios facilita a penetração de água. De forma geral, os resultados indicam que a incorporação do resíduo de vidro tende a aumentar a porosidade e, consequentemente, a absorção, ainda que de forma moderada para teores menores.

AVALIAÇÃO DO ATAQUE QUÍMICO

A análise visual das amostras após a exposição aos agentes agressivos permitiu identificar alterações significativas na integridade superficial das argamassas conforme a Figura 5.

Figura 5: Amostras de argamassas de referência e de resíduo de vidro sem ataque químico e com ataque químico



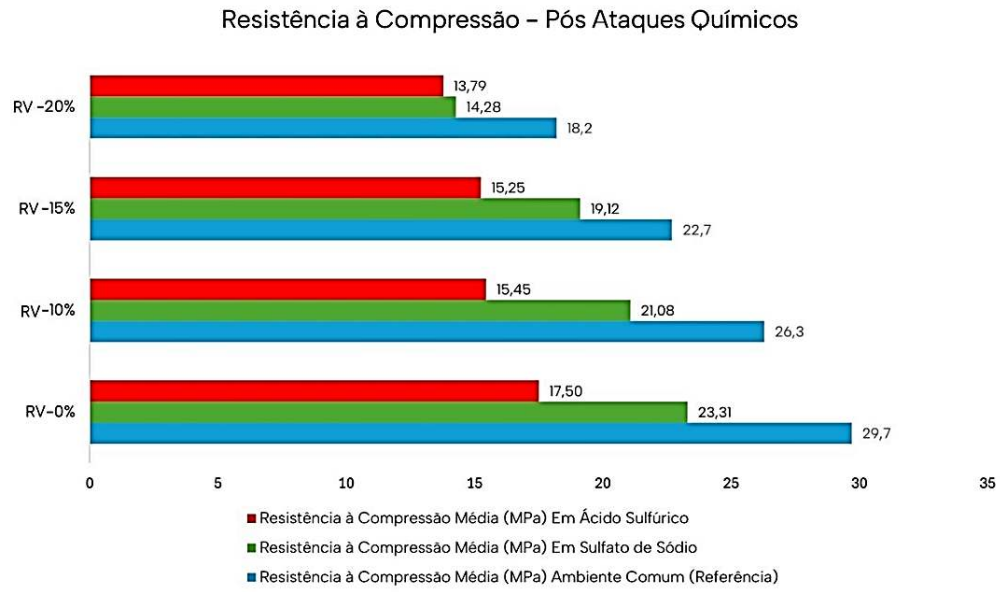
Nota: Argamassas de referência e de resíduo de vidro sem ataque químico (à esquerda) e amostras com ataque químico (à direita). Fonte: os autores.

As amostras não submetidas ao ataque químico mantiveram suas características originais, enquanto aquelas expostas às soluções agressivas apresentaram sinais evidentes de degradação, como perda de massa, arredondamento das arestas, aumento da rugosidade superficial e alterações de coloração. Esses efeitos estão associados a processos de lixiviação e decomposição dos produtos hidratados do cimento, especialmente em ambientes ácidos, onde ocorre a dissolução progressiva da matriz cimentícia.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados de resistência à compressão, Figura 6, evidenciam comportamentos distintos em função do teor de substituição e das condições de exposição.

Figura 6: Gráfico de resistência média à compressão



Nota: Gráfico de resistência média à compressão (28 dias) de amostra pós-ensaio de ataques químicos em comparação com amostras em ambientes comuns. Fonte: os autores.

Em condições de referência, verificou-se uma tendência de redução da resistência à compressão com o aumento do teor de resíduo de vidro, indicando que a substituição do agregado natural influencia a microestrutura da matriz e a zona de transição interfacial.

Entretanto, sob condições de ataque químico, observou-se comportamento diferenciado. No caso do ataque por sulfato de sódio, o teor de 15% apresentou a menor perda de resistência, indicando maior resistência à penetração de íons agressivos. Já no ataque por ácido sulfúrico, o teor de 20% apresentou melhor desempenho, com menor degradação da resistência mecânica.

Por outro lado, o traço de referência apresentou maiores perdas de resistência em ambos os casos, evidenciando maior suscetibilidade aos agentes agressivos. Esse comportamento sugere que a incorporação do resíduo de vidro pode contribuir para o refinamento da microestrutura e redução da permeabilidade, favorecendo a durabilidade química das argamassas.

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os resultados da análise de variância (ANOVA) demonstraram que para as propriedades físicas analisadas (absorção, porosidade, massa específica da amostra seca e saturada e densidade aparente) não foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre os teores de substituição. Entretanto, para a resistência a compressão, observou-se diferenças significativas estatisticamente entre os teores nos corpos de prova mantidos em ambiente comum e após solução de sulfato de sódio ($p < 0,05$).

CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa evidenciam que a substituição parcial da areia por resíduos de vidro influencia diretamente o comportamento das argamassas cimentícias. Em condições de referência, observou-se redução da resistência à compressão com o aumento do teor de substituição, indicando alterações na microestrutura do material. Por outro lado, sob ação de agentes agressivos, as argamassas com resíduos de vidro apresentaram melhor desempenho em comparação ao traço de referência, com destaque para os teores de 15% no ataque por sulfato de sódio e 20% no ataque por ácido sulfúrico, que apresentaram menores perdas de resistência.

De forma geral, verifica-se que, apesar da redução da resistência mecânica inicial, a incorporação de resíduos de vidro contribui para o aumento da durabilidade das argamassas, especialmente em ambientes quimicamente agressivos. O teor de 10% se mostrou mais equilibrado entre propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade, indicando viabilidade técnica para aplicações não estruturais. Além disso, destaca-se o potencial ambiental dessa solução, ao promover a redução do consumo de recursos naturais e o reaproveitamento de resíduos, sendo recomendados estudos complementares para avaliação de longo prazo e aprofundamento da análise microestrutural.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ, CAPES e IFNMG.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o quarto autor utilizou ferramentas para tradução e revisão do texto. Após utilização das ferramentas, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] ALVES, A. P. M. .; MELO, M. de L. N. M. .; GONÇALVES, P. C. .; SANTOS, V. C. dos .; RIBEIRO, V. A. dos S.; TORRES, R. G. Analysis of the replacement of sand by glass residue in self-adhesive concrete in the Mechanical Properties and the Reactivity of Alkali-aggregate Reaction. **Research, Society and Development**. 2022.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto**. Rio de Janeiro 2022.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

[7] BARELA, F. G.; MOURA, R. R. de; BELLINASO, C. A. B. **Concreto produzido com substituição parcial do agregado miúdo por sucata de vidro**. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 2015. Anais [...]. 2015.

[8] CAMPBELL, A. P. Análise da substituição da areia por resíduos de vidro na construção civil. **Revista Científica da Semana Acadêmica**. Fortaleza, 2023, Nº. 000229. 2023.

[9] CARVALHO, F. do S. de S. et al. **Análise do problema da extração mineral: um estudo de caso da exploração de jazida de areia silicosa no município de Belmonte - BA**. Anais I CONIMAS e III CONIDIS. Campina Grande: Realize Editora. 2019.

[10] KIM, S.; CHOI, S. Y.; YANG, E. I. Evaluation of durability of concrete substituted heavyweight waste glass as fine aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 184, p. 269–277, 2018.

[11] LIMA, A. de S. **Estudo da influência da substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro em argamassas**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

[12] SHARIFI, Y.; AFSHOON, I.; ASAD-ABADI, S.; ASLANI, F. Environmental protection by using waste copper slag as a coarse aggregate in self-compacting concrete. **Journal of Environmental Management**, v. 271, p. 111013, 2020.

[13] SHARIFI, Y.; AFSHOON, I.; FIROOZJAIE, Z. Fresh properties of self-compacting concrete containing ground waste glass microparticles as cementing material. **Journal of Advanced Concrete Technology**, v. 13, n. 2, p. 50–66, 2015.

[14] SIDDIQUE, S.; SHRIVASTAVA, S.; CHAUDHARY, S. Influence of ceramic waste as fine aggregate in concrete: Pozzolanic, XRD, FT-IR, and NMR investigations. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 30, p. 1–12, 2018.

[15] SOLIMAN, N. A.; TAGNIT-HAMOU, A. Using glass sand as an alternative for quartz sand in UHPC. **Construction and Building Materials**, v. 145, p. 243–252, 2017.

[16] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). ***Sand and sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis***. Nairobi: United Nations Environment Programme. ISBN: 978-92-807-3932-9. 2022.