

## **Desenvolvimento de concretos utilizando aglomerantes ativados alcalinamente com resíduo de vidro moído.**

INGRID SOUSA RODRIGUES<sup>1</sup>, JOSÉ AMÉRICO ALVES SALVADOR FILHO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduanda em Bacharel em Engenharia Civil, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, sousa.ingrid@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Professor Doutor, Departamento de Construção Civil, IFSP Campus Caraguatatuba, jasalvador@ifsp.edu.br. Área de conhecimento (Tabela CNPq): Materiais e Componentes da Construção – 3.01.01.01-9

**RESUMO:** A produção de concreto é uma atividade relevante na construção civil, mas também gera resíduos e consome recursos naturais. Para buscar soluções sustentáveis, o uso de aglomerantes ativados alcalinamente (AAA) com resíduo de vidro moído tem sido estudado. Os (AAA) são produzidos pela reação de materiais sílico aluminoso com uma solução alcalina, resultando em propriedades cimentantes, e têm demonstrado bom desempenho em termos de resistência e durabilidade do concreto. Esse resíduo pode substituir parcial ou totalmente o cimento Portland, reduzindo o consumo de recursos e a quantidade de resíduos gerados. Esta pesquisa propõe o estudo de concretos ativados alcalinamente, e a utilização desses aglomerantes na produção de concreto, e contribui para ter um concreto mais sustentável. O vidro residual será um dos materiais estudados, pois ele tem um grande potencial de aproveitamento devido ao seu alto teor de sílica. A abordagem metodológica envolve a revisão da literatura sobre projetos com concreto e argamassas ativados alcalinamente, elaboração de gráficos, comparando a resistência dos projetos. Com isso, espera-se que o uso de resíduos do vidro, contribua não apenas para o desempenho técnico, mas também para uma construção civil mais sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduo de vidro; sustentabilidade; concreto; ativação alcalina; resistência.

**ABSTRACT:** Concrete production is a relevant activity in civil construction, but it also generates waste and consumes natural resources. To seek sustainable solutions, the use of alkaline activated binders (AAA) with ground glass waste has been studied. (AAA) are produced by the reaction of aluminous silica materials with an alkaline solution, resulting in cementing properties, and have demonstrated good performance in terms of concrete strength and durability. This waste can partially or completely replace Portland cement, reducing resource consumption and the amount of waste generated. This research proposes the study of alkaline activated concretes, and the use of these binders in the production of concrete, and contributes to having a more sustainable concrete. Waste glass will be one of the materials studied, as it has great potential for use due to its high silica content. The methodological approach involves reviewing the literature on projects with alkaline-activated concrete and mortars, creating graphs, comparing resistance. With this, it is expected that the use of glass waste will contribute not only to technical performance, but also to more sustainable civil construction.

**KEYWORDS:** glass residue; sustainability; concrete; alkaline activation; resistance.

## **INTRODUÇÃO**

Atualmente, a produção de cimento Portland (CP) contribui com 5% a 7% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, liberando 0,66 a 0,82 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de cimento produzido. A International Energy Agency (IEA) estima que a produção de cimento alcançará 4,4 bilhões de toneladas até 2050, (GARCIA-LODEIRO; PALOMO; FERNÁNDEZJIMÉNEZ, 2015).

Assim alinhar o propósito do concreto mais sustentável com o de utilizar resíduo de vidro moído como aglomerante em concretos ativados alcalinamente, pois sendo os vidros residuais (WGs) um dos resíduos que mais causam problemas ambientais globalmente, ocupando uma grande porção nos aterros sanitários. Relatórios indicam que aproximadamente 130 milhões de toneladas de vidros residuais são produzidas anualmente em todo o mundo, sendo a maior parte descartada em aterros, (MOBASHERI et al, 2022).

O desenvolvimento de concretos utilizando aglomerantes ativados alcalinamente com resíduo de vidro moído é um assunto de crescente relevância na área da construção civil. Esta questão aborda a utilização de resíduos de vidro moídos, que são incorporados e ativados por álcalis, como alternativa sustentável aos materiais tradicionais de construção, como na utilização do Cimento Portland na fabricação do concreto.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para desenvolver essa pesquisa, foi realizada uma busca seletiva e uma análise crítica de artigos relacionados ao tema. A revisão bibliográfica envolveu a coleta, leitura e síntese de trabalhos acadêmicos e outras fontes relevantes para identificar tendências, lacunas de conhecimento, metodologias e resultados de outros pesquisadores. O estudo focou em autores que produziram argamassas e concretos, substituindo parcial ou totalmente o Cimento Portland por resíduo de vidro moído e ativadores alcalinos.

Com base nos artigos selecionados e estudados na revisão bibliográfica, foi analisado o desempenho dos resultados para os testes de compressão e flexão e os tipos de ativadores para produção do concreto, com, NaOH, CaOH, Na<sub>2</sub>CaO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, Sílica ativa e Metacaulim, identificando cada substância o seu emprego na produção do concreto, que possam melhorar as propriedades do material.

Verificando e estudando as normas pertinentes para a produção de concretos com aglomerantes ativados alcalinamente com resíduo de vidro moído envolvendo a identificação e análise dos regulamentos técnicos e padrões de qualidade aplicáveis.

Este processo inclui a consulta a normas como as NBRs, que orientam a composição, os métodos de ensaio, os requisitos de desempenho e as práticas de segurança.

A partir da investigação dos dados e da metodologia de cada autor, foi realizada uma adaptação dos traços dos concretos e das argamassas para a produção com aglomerantes ativados alcalinamente, utilizando resíduo de vidro moído, ajustando cada traço para manter a mesma estrutura. O estudo revelou o pesquisador (JÚNIOR, N. T. A. et al., 2021), que obteve bons desempenhos no teste de compressão sem utilizar vidro ou cimento, o que inspirou uma possível ideia de reproduzir a metodologia do autor adicionando vidro e cinza volante, para realizar um comparativo com os resultados originais.

Tabela 1. Apresenta os autores estudados, em relação aos maiores desempenhos nos testes de compressão e flexão e o seu tempo de cura em dias.

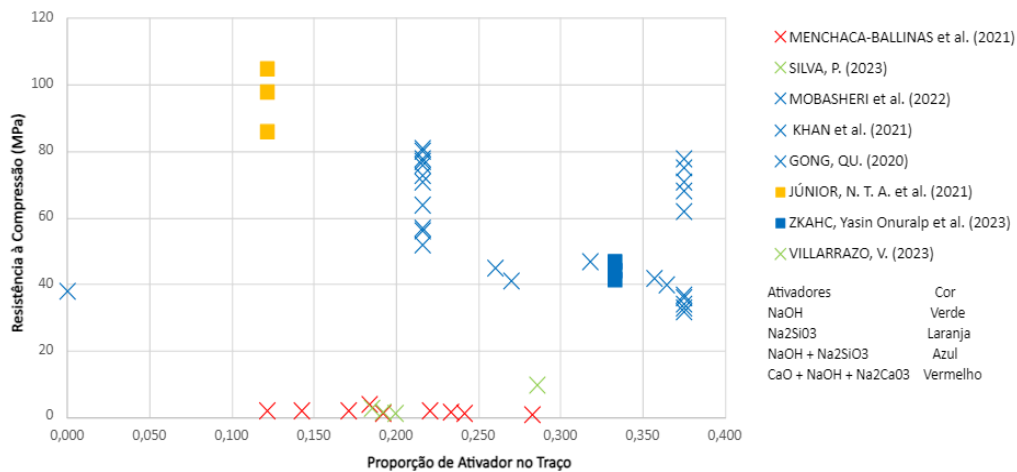
Autor	Ano	Idade	Resistência à Compressão (MPa)	Resistência à Flexão (MPa)
JÚNIOR, N. T. A. et al.	2021	28	105	
ZKIHC et al. et al.	2023	1	43	6,45
GONG, QU.	2020	28	81	7,5
KHAN et al.	2021	28	78	
MOBASHERI et al.	2022	28	46,8	6,7
VILLARRAZO, V.	2023	28	9,7	1,17
SILVA, P.	2023	28	2,8	1
MENCHACA-BALLINAS et al.	2021	28	4,1	

Um banco de dados foi criado, contendo todas as informações necessárias de cada pesquisa. A partir desses dados, gráficos foram elaborados e analisados para que seja possível desenvolver um traço e reproduzi-lo futuramente na parte experimental.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicam uma correlação significativa entre os estudados, sugerindo uma direção consistente ao longo do período analisado. A seguir, serão apresentadas as implicações dessas descobertas e suas possíveis contribuições para futuras pesquisas.

FIGURA 1. O gráfico apresenta a relação entre a resistência à compressão e a proporção de ativador.

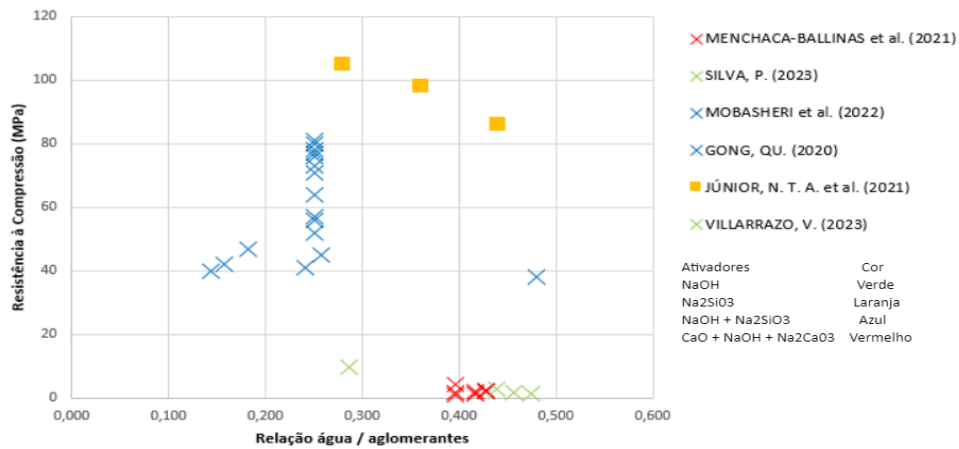


Fonte: Elaborado pelos autores, (2024).

A análise dos dados de resistência à compressão revela que a resistência dos materiais varia significativamente com a proporção de ativador, sem uma relação linear clara entre esses dois parâmetros, sugerindo que outros fatores podem estar influenciando os resultados. Entre os pontos de interesse, destaca-se o pesquisador Júnior, N. T. A. et al. (2021), que apresenta a maior resistência à compressão (105 MPa) com uma proporção relativamente baixa de ativador (0,121). Os pesquisadores Gong, QU. (2020) e Zkaihc et al. (2023) também mostram altas resistências (81 MPa e 78 MPa, respectivamente) com proporções de ativador de 0,216 e 0,378.

Em contraste, os pesquisadores Menchaca-Ballinas et al. (2021) e Silva, P. (2023), têm as menores resistências (4,1 MPa e 2,84 MPa) com a mesma proporção de ativador (0,184). Comparando os dados dos autores, Menchaca-Ballinas et al. (2021) e Silva, P. (2023), com os demais, observa-se que os dois têm a mesma proporção de ativador (0,184) e apresentam resistências à compressão baixas (4,1 MPa e 2,84 MPa), indicando que o tipo de ativador utilizado ( $\text{CaO} + \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CaO}_3$  e  $\text{NaOH}$ ) pode ter um impacto substancial. Já os pesquisadores Mobasher et al. (2022) e Zkaihc et al. (2023), apresentam resistências semelhantes (46,8 MPa e 46,94 MPa) com proporções de ativador próximas (0,319 e 0,333), ambos utilizando  $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$  como ativador.

FIGURA 2. O gráfico apresenta a relação água/aglomerante (a/b) e a resistência à compressão, Lei de Abrams.



Fonte: Elaborado pelos autores, (2024).

A análise dos dados fornecidos revela que, de maneira geral, uma menor relação água/aglomerante tende a resultar em uma maior resistência à compressão. Essa tendência é particularmente evidente nos dados dos cientistas Mobasheri et al. (2022), Gong, QU. (2020) e Júnior, N. T. A. et al. (2021), que apresentam resistências significativamente maiores com relações água/aglomerante menores. Além disso, os tipos de ativadores utilizados têm um impacto notável na resistência à compressão. O uso de NaOH combinado com Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, nos casos dos cientistas Mobasheri et al. (2022) e Gong, QU. (2020), tende a resultar em resistências mais altas comparado ao uso de NaOH sozinho, como no caso dos autores Silva, P. (2023) e Villarrazo, V. (2023).

Os cientistas Menchaca-Ballinas et al. (2021) e Silva, P. (2023) apresentaram resistências relativamente baixas (4,1 MPa e 2,84 MPa, respectivamente), possivelmente devido às maiores relações água/aglomerante (0,396 e 0,439). Em contraste, Mobasheri et al. (2022) e Gong, QU. (2020), que utilizaram NaOH+Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> como ativador, obtiveram resistências significativamente maiores, sendo 46,8 MPa e 81 MPa, respectivamente, e tendo uma relação água/aglomerante baixa. O pesquisador Júnior, N. T. A. et al. (2021) apresenta a maior resistência à compressão, 105 MPa, com uma relação água/aglomerante de 0,280, utilizando Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> como ativador, sugerindo que Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> pode ser um ativador muito eficaz para aumentar a resistência à compressão.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, a relação entre a proporção de ativador e a resistência à compressão não é linear e parece ser influenciada por outros fatores, como o tipo de ativador utilizado. As variações significativas entre os autores sugerem que as condições

experimentais e os materiais utilizados podem ter um impacto substancial nos resultados. A análise detalhada dos ativadores e das condições experimentais pode fornecer ideias adicionais sobre as causas dessas variações. E a análise dos dados mostra que tanto a relação água/aglomerante quanto o tipo de ativador utilizado são cruciais para determinar a resistência à compressão. Menores relações água/aglomerante e o uso de ativadores como  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ou combinações de  $\text{NaOH}+\text{Na}_2\text{SiO}_3$  tendem a resultar em maiores resistências à compressão. Variações nos métodos experimentais e nas condições de teste podem influenciar significativamente os resultados.

## REFERÊNCIAS

- GARCIA-LODEIRO, I.; PALOMO, A.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A. An overview of the chemistry of alkali-activated cement-based binders. Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes, p. 19-47, 2015.
- GONG, Jianqing; QU, Zhigang. Mechanical properties and drying shrinkage investigation of alkali-activated mortar using waste glass powder. Advances in Civil Engineering, v. 2020, p. 1-13, 2020.
- JÚNIOR, N. T. A. et al. Investigação experimental do projeto de mistura para concreto de escória ativada por álcalis de alta resitência. Materiais de construção e edificação, Pernambuco, v. 291, p. 1-18, 28 de abril de 2021.
- KHAN, Md Nabi Newaz; KURI, Jhutan Chandra; SARKER, Prabir Kumar. Effect of waste glass powder as a partial precursor in ambient cured alkali activated fly ash and fly ash-GGBFS mortars. Journal of Building Engineering, v. 34, p. 101934, 2021.
- MENCHACA-BALLINAS, L. E.; GOROKHOVSKY, A. V.; ESCALANTEGARCIA, J. I. Waste glass as a precursor in sustainable hydraulic cements activated with  $\text{CaO-NaOH-Na}_2\text{CO}_3$ . Construction and Building Materials, v. 302, p. 124099, 2021.
- Silva, Paloma Alves da Silva. Desenvolvimento de argamassas ativadas alcalinamente à base de resíduo de vidro. Seminário de Iniciação Científica do Litoral Norte, Caraguatatuba, p. 1-6, 2023.
- MOBASHERI, Fatemeh et al. Waste glass as a precursor in alkali-activated materials: Mechanical, durability, and microstructural properties. Structural Concrete, v. 23, n. 6, p. 3651-3671, 2022.
- VILLARRAZO, Vitor. Desenvolvimento de argamassas ativadas alcalinamente utilizando resíduos de vidro. Caraguatatuba, 2022. 39 f. TCC (Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Caraguatatuba, 2022. Disponível em: <https://drive.ifsp.edu.br/s/xZVBtvSdCQzhGC0>.
- ZKIHC, Yasin Onuralp O€ et al. O uso de vidro reciclado triturado para concreto geopolimérico à base de cinzas volantes ativadas por álcali e previsão de sua capacidade. Revista de Pesquisa e Tecnologia de Materiais, Turquia, v. 24, n. 1, p. 8267-8281, 11 maio de 2023.