

Efeito do sódio e teor de água nas propriedades do geopolímero

Neusa Aparecida Munhak Beltrame | neusa.beltrame@ifsc.edu.br¹
Arthur Nicolas Da Silva Pinto Pereira | arthur.nsp22@aluno.ifsc.edu.br²
Guilherme Bernardes Nunes | guilherme.bn2009@aluno.ifsc.edu.br³
Daiane Caroline Wagner | daiane.caroline@ifsc.edu.br⁴
Andreza Frare | andreza.frare@ifsc.edu.br⁵

Trabalho de Ensino e Pesquisa
DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

Os geopolímeros estão ganhando interesse como alternativa ao cimento Portland, pois são produzidos a partir de um aluminossilicato ativado por uma solução alcalina, formando um gel de alta resistência e durabilidade. Sua eficiência depende de uma dosagem adequada dos materiais, o que ainda requer pesquisas. Este estudo investigou o efeito da relação água/metacaulim e do conteúdo de sódio dos ativadores nas propriedades do geopolímero, usando metacaulim e solução de silicato e hidróxido de sódio. Após 28 dias de cura, a absorção de água, o índice de vazios e a resistência à compressão foram avaliadas. Os resultados indicaram que a resistência máxima e menor porosidade foram alcançadas com uma proporção sódio/metacaulim de 22% e uma relação água/metacaulim de 0,74. Os achados evidenciam que a resistência e a porosidade do geopolímero dependem da dosagem dos materiais.

Palavras-chave: geopolímero; absorção de água; resistência à compressão.

Introdução

Os cimentos alternativos são essenciais para o avanço tecnológico na construção civil, visando estruturas mais resistentes e duráveis. Apesar do cimento Portland ser o aglomerante mais comum, sua produção é uma das principais fontes de emissão de CO₂. Nesse contexto, o geopolímero tem gerado interesse devido ao seu potencial como alternativa ao cimento Portland. Os geopolímeros são produzidos a partir de aluminossilicatos e ativadores químicos, formando ligantes que, quando em solução alcalina, endurecem e ganham resistência. A combinação de materiais, cura e aditivos resultam em cimentos com bom desempenho mecânico, durabilidade e benefícios

¹ Docente do Eixo de Infraestrutura/Edificações do Instituto Federal de Santa Catarina – Campus de Canoinhas.

² Estudante do curso Técnico de Edificações Integrado do Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Canoinhas.

³ Estudante do curso Técnico em Edificações Integrado do Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Canoinhas.

⁴ Docente do Eixo de Infraestrutura/Edificações do Instituto Federal de Santa Catarina – Campus de Canoinhas.

⁵ Docente do Eixo de Infraestrutura/Edificações do Instituto Federal de Santa Catarina – Campus de Canoinhas.

ambientais, como menor emissão de CO₂ e uso de resíduos industriais. Entretanto, como não há um método padronizado para a dosagem do geopolímero, utiliza-se uma variedade de materiais e proporções, especialmente em relação aos ativadores e água/cimento, o que resulta em efeitos bastante variados. Embora alguns estudos tenham abordado essas propriedades, a inovação deste estudo consiste em investigar os geopolímeros com diferentes conteúdos de sódio e relações água/cimento, aspectos geralmente ignorados em outras pesquisas. Além disso, o propósito do estudo inclui o ensino técnico em materiais de construção, a pesquisa de novos cimentos com menor impacto ambiental e a futura aplicação extensionista na construção de moradias populares.

Fundamentação teórica

Os geopolímeros são materiais obtidos pela reação entre um precursor aluminossilicato e uma solução ativadora (Shehata *et al.*, 2021). Materiais contendo sílica e alumina podem atuar como precursores, como metacaulim, cinzas de casca de arroz, cinzas volantes e escória de alto-forno (Witzke *et al.*, 2023). Os ativadores mais usados para dissolver os materiais precursores são os hidróxidos de sódio e silicatos de sódio (Guo *et al.*, 2020).

O excesso de silicato e a concentração de óxido de sódio podem afetar a estrutura e reduzir a resistência mecânica dos geopolímeros (Zhang *et al.*, 2013). Cho *et al.* (2017) mostraram que um maior teor de sódio contribuiu para o ganho de resistência à compressão, devido à maior dissolução de sílica e alumina e à geração de mais produtos de síntese. No entanto, o excesso resultou em ganho de resistência mais lento, devido à formação de géis ao redor das partículas do precursor, inibindo a geopolimerização.

Como as propriedades dos geopolímeros podem ser afetadas por diversos parâmetros, como tipo de materiais, concentrações de ativadores e condições de cura (Cho *et al.*, 2017), diferentes formulações podem alterar a microestrutura e afetar as propriedades físicas e mecânicas. Além disso, a relação água/precursor influencia a trabalhabilidade, a densidade e a resistência do geopolímero, em especial as proporções dos ativadores (Verma; Dev, 2021).

Procedimentos metodológicos

Metacaulim foi usado como precursor para produção do cimento geopolimérico, ativado com hidróxido de sódio (NaOH) e silicato de sódio (Na_2SiO_3). O silicato é composto por 14,77% de Na_2O , 32,26% de SiO_2 e 52,97% de H_2O . Em outros estudos (Pelisser *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2020), a relação molar entre os ativadores ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) de 1,60 e as relações água/precursor entre 0,70-0,80 indicaram boa trabalhabilidade e resistência mecânica. Assim, as relações $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 1,61$ e as proporções de água/metacaulim de 0,70, 0,74 e 0,80 foram adotadas neste estudo, além de duas proporções de sódio de 15% e 22% em relação ao metacaulim. A Fig. 1 mostra os materiais, a mistura e os cubos geopoliméricos finalizados.

Figura 1 – Materiais, mistura e cubos geopolimérico.



Fonte: elaborado pelos autores.

A proporção de metacaulim, areia e pedrisco (1:2,03:2,47) para produção do concreto geopolimérico foi baseada em Beltrame *et al.* (2023), como mostra a Tabela 1. As misturas foram nomeadas com base no teor de sódio e relação água/metacaulim. Exemplo, o geopolímero GEO-22-0,70 foi ativado com 22% de sódio e relação água/metacaulim de 0,70. A produção do concreto começou com o ativador, que envolveu dissolver o hidróxido de sódio em água e misturado à solução de silicato, deixando resfriar por 24 h. Em seguida, foi adicionado metacaulim, areia e pedrisco, e homogeneizado em um misturador. Cubos de 50 mm foram moldados em duas camadas com 16 golpes cada para compactação (ASTM C1012, 2018) e curados por 24 h no molde. Depois, foram desmoldados e curados por mais 28 dias. Testes de absorção de água e índice de vazios (ASTM C140, 2020) e resistência à compressão (ASTM C109, 2016) foram realizados com três repetições. Os dados foram avaliados pela ANOVA e teste de Tukey, com nível de significância de 5%.

Tabela 1: Composição dos geopolímeros, em kg/m³.

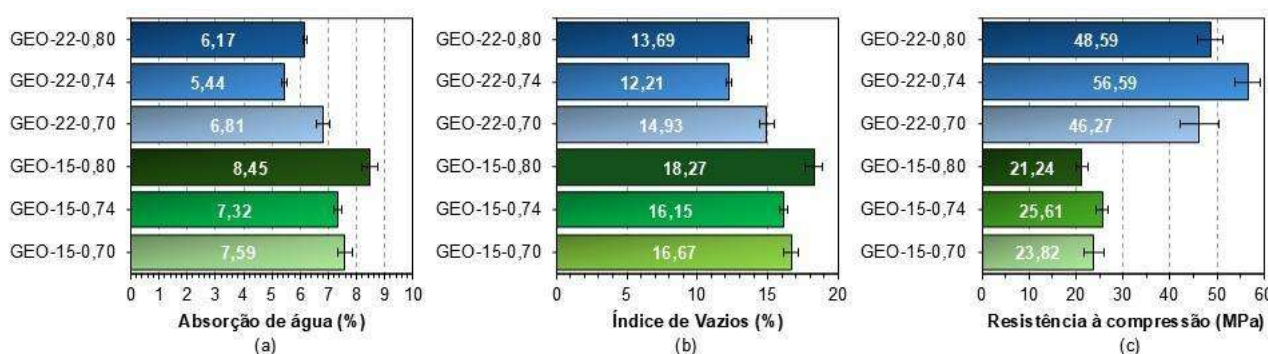
Tipologia	GEO-15-0,70	GEO-15-0,74	GEO-15-0,80	GEO-22-0,70	GEO-22-0,74	GEO-22-0,80
Silicato de sódio	256,20	256,20	256,20	375,74	375,74	375,74
Hidróxido de sódio	24,52	24,52	24,52	35,97	35,97	35,97
Metacaulim	378,93	378,93	378,93	378,93	378,93	378,93
Água adicional	129,54	144,70	167,43	66,22	81,38	104,12
Areia	769,24	769,24	769,24	769,24	769,24	769,24
Pedrisco	935,97	935,97	935,97	935,97	935,97	935,97

Fonte: elaborado pelos autores.

Resultados e discussões

A Fig. 2a mostra a capacidade de absorção de água dos geopolímeros com diferentes teores de sódio e relações água/metacaulim, enquanto as Figs. 2b e 2c exibem os resultados dos índices de vazios e as resistências à compressão das mesmas composições, respectivamente. No geral, o geopolímero apresentou resistência significativamente maior quando a mistura continha maior teor de sódio, levando a um menor nível de absorção de água e índice de vazios. Isso indica que a síntese das amostras com 22% de sódio foi mais efetiva em comparação aquelas com 15%. Esse resultado pode ser atribuído à maior dissolução de sílica e alumina e à geração de mais produtos de síntese do geopolímero (Cho *et al.*, 2017), o que sugere uma estrutura mais densa e menos porosa.

Figura 2 – Resultados dos testes: a) Absorção; b) Vazios; c) Resistência.



Fonte: elaborado pelos autores.

Em relação ao conteúdo de água, observa-se na Fig. 2 que a razão água/metacaulim de 0,74 apresentou a maior resistência à compressão, independente do teor de sódio contido no ativador. Para o GEO-15-0,74, a resistência alcançou 25,61 MPa, enquanto os

GEO-15-0,70 e GEO-15-0,80 apresentaram resistências inferiores de 7% e 17%, respectivamente. No GEO-22-0,74, a resistência atingiu 56,59 MPa, representando 2,2 vezes maior em comparação ao GEO-15-0,74. Por outro lado, as misturas GEO-22-0,70 e GEO-22-0,80 mostraram desempenhos mecânicos inferiores, que foram 18% e 14%, respectivamente. Este resultado apoia o estudo de Verma e Dev (2021), que identificaram um ponto ótimo para a obtenção da resistência mecânica em diferentes combinações de silicato e hidróxido de sódio, que nesse estudo, as relações de sódio de 22% e água/metacaulim de 0,74 foram mais eficientes. Zhang *et al.* (2013) também apontaram que o uso de maior teor de silicato de sódio proporciona uma microestrutura mais densa comparado ao hidróxido de sódio.

As Figs. 2a e 2b também apoiam a relação de sódio de 22% e água/metacaulim de 0,74 para produção de geopolímero. As misturas GEO-15-0,74 e GEO-22-0,74 mostraram os menores níveis de absorção de água e índice de vazios, com valores de 7,32% e 16,15% e de 5,44% e 12,21%, respectivamente. Esses dados estão em consonância com os resultados da resistência à compressão, pois uma quantidade reduzida de poros indica uma estrutura mais compacta, levando a uma maior resistência à compressão. Portanto, a formulação do geopolímero desempenha um papel importante na microestrutura e na densidade do material, o que afeta diretamente a resistência mecânica.

Considerações finais

A pesquisa mostrou que a interação entre os ativadores e a quantidade de água influenciou a porosidade e a resistência à compressão do geopolímero. A proporção de 22% de sódio e uma relação água/metacaulim de 0,74, proporcionou o melhor desempenho devido à maior dissolução de sílica e alumina e à formação de mais produtos durante a síntese. A pesquisa destacou ainda a importância de uma dosagem adequada na produção do concreto abordada durante o ensino, e reforça a necessidade de pesquisas voltadas à sustentabilidade, com potencial de aplicação em projetos sociais para reduzir o impacto ambiental.

Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C109**: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). West Conshohocken: ASTM, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1012**: Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution. West Conshohocken: ASTM, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C140**: Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units. West Conshohocken: ASTM, 2020.

BELTRAME, N.A.M. *et al.* Effect of carbonation curing on the physical, mechanical, and microstructural properties of metakaolin-based geopolymer concrete, **Construction and Building Materials**, v.406, 133403, 2023.

CHEN, S. *et al.* The influence of Si/Al ratio on sulfate durability of metakaolin-based geopolymer, **Construction and Building Materials**, v.265, 120735, 2020.

CHO, Y. K. *et al.* Effect of Na₂O content, SiO₂/Na₂O molar ratio, and curing conditions on the compressive strength of FA-based geopolymer, **Construction and Building Materials**, v.145, p.253-260, 2017.

GUO, L. *et al.* Sulfate resistance of hybrid fiber reinforced metakaolin geopolymer composites, **Composites Part B**, v.183, 107689, 2020.

PELISSER, F. *et al.* Structural analysis of composite metakaolin-based geopolymer concrete, **Ibracon Structures and Materials Journal**, v.11, p.535-543, 2018.

SHEHATA, N.; SAYED, E.T.; ABDELKAREEM, M.A. Recent progress in environmentally friendly geopolymers: A review, **Science of The Total Environment**, v.762, 143166, 2021.

VERMA, M.; DEV, N. Sodium hydroxide effect on the mechanical properties of fly ash-slag based geopolymer concrete. **Structural Concrete**, v.22, p.368-379, 2021.

WITZKE, F.B. *et al.* Abrasion resistance of metakaolin-based geopolymers through accelerated testing and natural wear, **Wear**, v.15, p.530-531, 2023.

ZHANG, Z. *et al.* Quantitative kinetic and structural analysis of geopolymers. Part 2.

Thermodynamics of sodium silicate activation of metakaolin. **Thermochimica Acta**, v.565, p.163-171, 2013.