



International Conference for
Academia and Industry Co-operation

20/11/2023 – 24/11/2023

São Luis - Maranhão - Brasil



International Meeting in Materials
Science and Engineering of Maranhão

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MICROESTRUTURAL DE CIMENTO GEOPOLIMÉRICO COM VARIAÇÃO MOLAR

PHYSICAL AND MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF GEOPOLIMER CEMENT WITH MOLAR VARIATION

***Giovana Z. de França¹ Paulo A. A. Ferreira¹ Rayanne O. L. Santana² Diego J. S.
Santos¹ Alisson C. R. da Silva² Verônica S. Candido²**

¹Faculdade de Engenharia de Materiais - FEMat, Universidade Federal do Pará (UFPA),
Ananindeua, PA, Brasil.

²Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará
(UFPA), Ananindeua, PA, Brasil.
g1ovannafranca022@gmail.com

RESUMO

Os geopolímeros são materiais inorgânicos que têm ganhado destaque entre cientistas e estudiosos devido à sua importância em diversas aplicações, especialmente na construção civil e na indústria. São materiais formados a partir da geopolimerização, que envolvem aluminossilicatos ativados por uma solução fortemente alcalina. Dessa forma, a molaridade da solução alcalina desempenha um papel fundamental na formação, desempenho e propriedades dos geopolímeros. O presente estudo investigou a absorção de água, em percentual, de cimentos geopoliméricos produzidos com metacaulim e escória de alto-forno (EAF), variando a concentração molar da solução ativadora de hidróxido de sódio (NaOH), em 6, 8, 10, 14 e 16 (Mol/L), seguido da análise microestrutural utilizando microscopia óptica. O geopolímero ativado com 10 Mol/L apresentou uma absorção de água de 21%, dentro da norma (22%<), com uma microestrutura densa, o que indica um provável desempenho mecânico superior comparado aos outros cimentos ativados por diferentes molaridades.

Palavras-chave: Geopolímero; cimento; concentração molar.

ABSTRACT

Geopolymers are inorganic materials that have gained prominence among scientists and scholars due to their importance in various applications, especially in construction and industry. These are materials formed from geopolymerization, which involve aluminosilicates activated by a strongly alkaline solution. Therefore, the molarity of the alkaline solution plays a fundamental role in the formation, performance and properties of geopolymers. The present study investigated the water absorption, in percentage, of geopolymeric cements produced with metakaolin and blast furnace slag (BFS), varying the molar concentration of the sodium hydroxide (NaOH) activating solution in 6, 8, 10, 14 and 16 (Mol/L), followed by microstructural analysis using optical microscopy. The geopolymer activated with 10 Mol/L showed a water absorption of 21%, within the norm (22%<), with a dense and highly microstructure, which indicates a probable superior mechanical performance compared to other cements activated by different molarities.

Keywords: *Geopolymer; cement; molar concentration.*

1 INTRODUÇÃO

Os geopolímeros têm despertado um interesse crescente na comunidade científica e na indústria de materiais de construção devido às suas propriedades notáveis e ao seu potencial de substituição de materiais convencionais, como cimento Portland, em várias aplicações. Além de desempenharem um papel importante na redução do impacto ambiental associado à construção e à indústria, promovendo a sustentabilidade e a conservação de recursos naturais.

Os geopolímeros são formados por tetraedros de Silício SiO_4 e Alumínio AlO_4 ligados alternadamente pelo compartilhamento de todos os átomos de oxigênio, formando uma rede tridimensional. Sua síntese ocorre a partir de reações entre fontes de sílico-aluminatos (silício e alumínio) em meio aquoso e alcalino, onde a estrutura do sólido varia entre completamente amorfo a semi-cristalina, resultando em um material com grande potencial de aplicabilidade [1]. Partindo desse conceito, a absorção de água e a molaridade são dois fatores essenciais que desempenham um papel fundamental na formação, estrutura e desempenho dos geopolímeros, onde ambos estão intrinsecamente interligados, e o controle preciso desses parâmetros é essencial para otimizar a formação do geopolímero.

Sendo assim, a absorção de água em geopolímeros ocorre devido à presença de grupos químicos que têm afinidade pela água, como as ligações Si-OH. Quando expostos à umidade, os geopolímeros podem absorver água, o que pode resultar em aumento de volume, mudanças na resistência e degradação ao longo do tempo. Portanto, o controle da absorção de água é uma consideração importante no desenvolvimento e uso de geopolímeros, especialmente em aplicações de construção e materiais de engenharia. Estratégias para reduzir a absorção de água incluem a modificação da composição química dos geopolímeros e a utilização de matérias-primas adequadas [2].

A molaridade refere-se à concentração de íons ou grupos químicos presentes na solução usada para formar o geopolímero. Geralmente, os geopolímeros são produzidos a partir de precursores alcalinos, como hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH), e fontes de alumínio e silício. A molaridade desses reagentes desempenha um papel crítico na formação e nas propriedades finais do geopolímero, como resistência, durabilidade e absorção de água. Portanto, o estudo da molaridade é essencial para obtenção de características desejáveis no geopolímero, tornando-o um aspecto importante no desenvolvimento e fabricação desses materiais [3].

Logo, no presente trabalho será abordado como ensaio físico, a absorção de água em amostras fragmentadas de cimento geopolimérico produzidos com metacaulim e escória de alto-forno (EAF), variando a concentração molar da solução ativadora de hidróxido de sódio (NaOH). Em seguida, as amostras geopoliméricas serão expostas no Microscópio Óptico para analisar a microestrutura do material e investigar como a absorção de água e a molaridade influenciam nas propriedades do geopolímero, como na resistência mecânica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais foram executados no Laboratório de Práticas Tecnológicas da Faculdade de Engenharia de Materiais (LAPTec/FEMat/CANAN/UFPa). O metacaulim foi utilizado como fonte de aluminossilicato, a escória de alto-forno (EAF) como fonte de cálcio, o hidróxido de sódio como ativador alcalina, e silicato de sódio como fonte suplementar de

silício. Os geopolímeros foram sintetizados variando a concentração molar do hidróxido de sódio (Mol/L) em 6, 8, 10, 12, 14, 16, e em seguida moldados em corpos-de-prova cilíndricos, com dimensões de 5x2,5φcm, conforme a norma ABNT NBR 5738 (2016). Após cura de 7 (sete) dias, os corpos de prova foram rompidos para a execução do ensaio físico de absorção de água e a microscopia óptica. A determinação da absorção de água foi realizada conforme a norma ABNT NBR 15270-2 (2015). Para realização do ensaio, inicialmente as amostras foram secas em temperatura de $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas em estufa de marca QUIMIS com capacidade de 200°C . Em seguida, as amostras foram pesadas em balança analítica de marca BALMARK, e posteriormente imersas em água por 24 horas em um recipiente identificado de acordo com a concentração molar que o geopolímero foi ativado.

Para determinação da porcentagem do teor de umidade, foram feitos os cálculos utilizando a equação 1:

$$AA = \frac{M_U - M_S}{M_S} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

AA: Absorção de água (%)

M_U: Massa úmida (g)

M_S: Massa seca (g)

A microscopia óptica foi realizada utilizando Microscópio Estereoscópio Binocular Zoom 1X ~ 4X Aumento 10X da marca EVEN com câmera acoplada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Absorção de água do cimento geopolimérico variando a concentração molar

A figura 1 apresenta a absorção de água dos cimentos geopoliméricos com a variação de concentração molar.

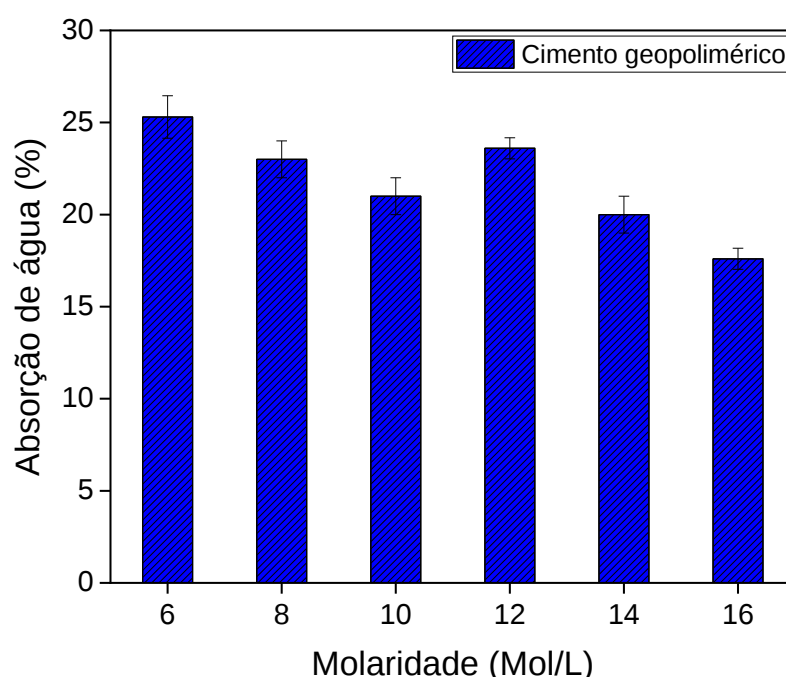


Fig. 1 – Absorção de água do cimento geopolimérico variando a concentração molar.

A ABNT NBR 15270-2 (2015) determina que materiais cerâmicos cimentícios devem apresentar entre 8 a 22% de absorção de água. Os cimentos geopoliméricos ativados com a molaridade 10 e 16 se encaixaram nos parâmetros da norma, com 21,0 e 17,6%, respectivamente. Na síntese dos geopolímeros, a concentração molar presente na solução ativadora determina o poder reacional da geopolimerização quanto as proporções de materiais reativos e percentuais de íons existentes na solução alcalina [2], [6]. Quando há uma quantidade excessiva de íons alcalinos a resistência mecânica é comprometida devido os defeitos que surgem na microestrutura do cimento geopolimérico. Por outro lado, quando há uma quantidade escassa de íons alcalinos há defeitos na microestrutura dos geopolímeros, devido a dissolução incompleta do material reativo. Apesar do cimento geopolimérico ativado com 16 Mol/L apresentar melhor desempenho quanto a absorção de água, sua microestrutura apresenta grandes defeitos devido a supersaturação de alcáli, decaindo no seu potencial mecânico quando aplicado para alto desempenho. Elegendo o geopolímero ativado com 10 Mol/L com melhor desempenho quanto a absorção de água, por se enquadrar na norma, e apresentar uma microestrutura densa e altamente compacta, sugerindo um bom desempenho do cimento quando solicitado mecanicamente [7], [8].

3.2 Análise microestrutural do cimento geopolimérico variando a concentração molar

A figura 2 apresenta a microestrutura dos cimentos geopoliméricos variando a concentração molar.

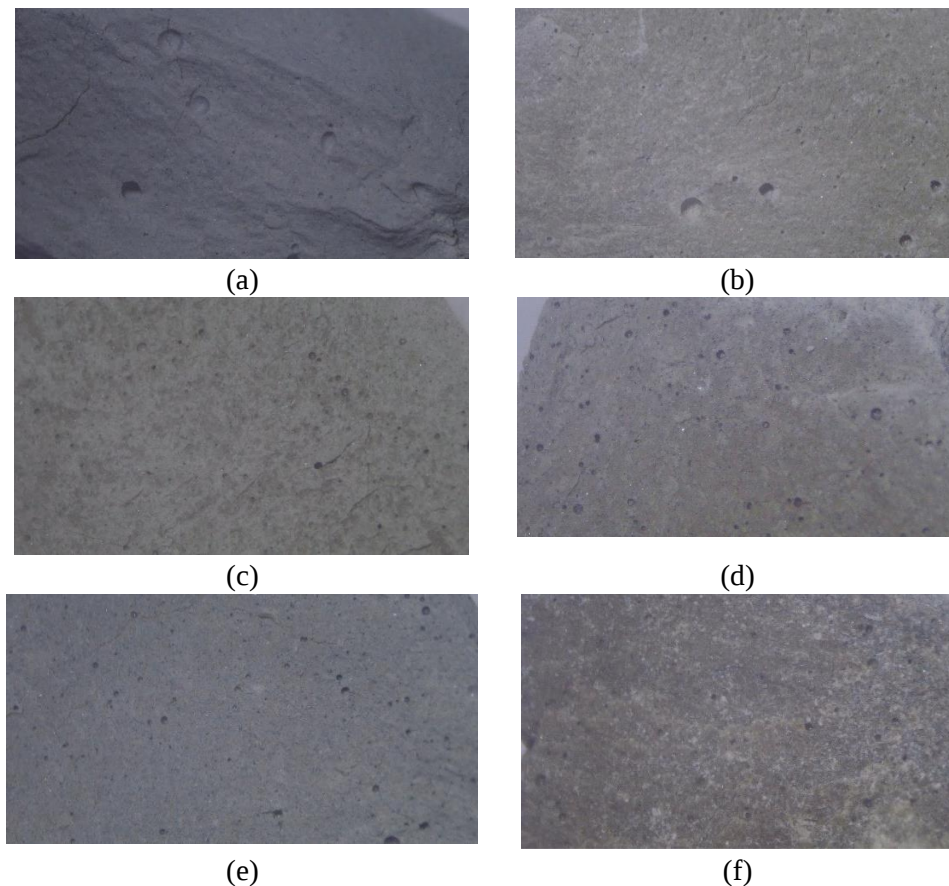


Fig. 2 – Microestrutura dos cimentos geopoliméricos variando a concentração molar (Mol/L). (a) 6; (b) 8; (c) 10; (d) 12; (e) 14; (f) 16.

Os geopolímeros ativados entre 6 a 8 Mol/L apresentam alta porosidade e fissuras, devido a presença de material não reagido no processo de geopolimerização [2]. O cimento geopolimérico ativado com 10 Mol/L apresenta pouca porosidade e alta compactabilidade, indicando um provável desempenho mecânico superior quando comparado aos demais geopolímeros. Lucas [9] em seu estudo com 10 Mol/L apontou uma microestrutura densa e altamente uniforme, resultado da geopolimerização equilibrado quanto aos íons alcalinos e material reativo. As demais variações de 12, 14, 16 Mol/L apresentaram alta porosidade e regiões escuras devido a supersaturação de álcali, a qual reduz o potencial mecânico dos cimentos geopoliméricos produzidos com essas variações de concentração molar.

CONCLUSÕES

A partir das análises obtidas nesse trabalho, foi possível concluir que:

- O cimento geopolimérico ativado com a concentração 10 Mol/L obteve 21% de água e uma microestrutura densa, indicando um potencial mecânico favorável para alto desempenho;
- Os cimentos com baixa concentração molar apresentou alta porosidade, entre 6 a 8 Mol/L, bem como os cimentos com alta concentração molar, entre 12 a 16 Mol/L, com regiões escuras supersaturados.

AGRADECIMENTOS

Á Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação da Universidade Federal do Pará pelo fomento de bolsas para viabilizar a execução do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] DAVIDOVITS, J. Geopolymers and Geopolymeric materials. *Journal of Thermal Analysis*, v. 35, p. 429-441, 1989.
- [2] DAVIDOVITS, J. Properties of geopolymer cements. P.V. Krivenko (Ed.), *Proceedings of the First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, Ukraine, p. 131–149. 1994.
- [3] JAFARI Nadoushan, Mohsen, and Ali Akbar Ramezaniapour. "The Effect of Type and Concentration of Activators on Flowability and Compressive Strength of Natural Pozzolan and Slag-based Geopolymers." *Construction & Building Materials* 111 (2016)
- [4] GHUSSN, L. Síntese e Caracterização de Vidros Niobofosfatos e Ferrofosfatos Utilizados Como Meio para Imobilização de U_3O_8 . 2005, 100p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.
- [5] RÜHLE, M.; CLAUSSEN, N.; HEUER, A.H. Microstructural studies of Y_2O_3 -containing tetragonal polycrystals (Y-TZP). In: CLAUSSEN, N.; RÜHLE, M.; HEUER, A.H. (Eds.) *Advances in Ceramics v. 12: Science and Technology of Zirconia II*. Columbus, OH, The American Ceramic Society, 1984, p.352-370.
- [6] OLIVEIRA, Leandro B. et al. Durability of geopolymers with industrial waste. *Case Studies in Construction Materials*, v. 16, p. e00839, 2022.
- [7] CASTILLO, Hengels et al. Factors affecting the compressive strength of geopolymers: A review. *Minerals*, v. 11, n. 12, p. 1317, 2021.
- [8] WATANABE, Yuta; KOBAYASHI, Takaomi. Synthesis and characterization of metakaolin-based crystalline phase sodium aluminum silicon oxide geopolymers using concentrated alkaline medium. *Ceramics International*, v. 48, n. 24, p. 37448-37452, 2022.
- [9] LUCAS, Mathaus Moraes. Materiais cimentícios geopoliméricos a partir de escória de alto forno: um estudo morfológico preliminar. Orientador: Alisson Clay Rios da Silva. 2021. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) – Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2021.