

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS POR DRX PARA  
AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE NA PRODUÇÃO DE GEOPOLÍMEROS**

*Rhayssa Silva Dos Santos (rhayssa.silva.98@outlook.com)*

*Angélica Alessandra Gonçalves De Souza  
(angelicaalessandradesouza@yahoo.com.br)*

*Hélio Fernandes Machado Júnior (hfmjr@ufrj.br)*

*Danieli Martins Do Carmo (danielimartins@ufrj.br)*

*Rafael Dors Sakata (rafaelsakata@professores.utfpr.edu.br)*

*Antonio Renato Bigansolli (bigansolli@ufrj.br)*

*Douglas Queiroz Francisco (douglasfrancisco@fccsa.com.br)*

A busca por alternativas sustentáveis ao cimento Portland, que é responsável por cerca de 7% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, tem impulsionado o estudo de geopolímeros como materiais de menor impacto ambiental e alto desempenho. Tradicionalmente, as pesquisas se concentram em precursores convencionais como metacaulim e cinzas volantes, mas a exploração de resíduos industriais ainda é incipiente, especialmente aqueles com composição mineralógica mista, contendo tanto fases cristalinas quanto amorfas. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade de um resíduo industrial, caracterizando-o por difração de raios X (DRX), como aditivo parcial ao metacaulim na formulação de geopolímeros, investigando se suas propriedades estruturais permitem a incorporação sem prejuízo de sua

reatividade e com potencial de ganhos ambientais e econômicos. Para isso, o resíduo foi coletado, seco a 100 °C, moído até granulometria fina e homogeneizado com 20% de fluorita ( $\text{CaF}_2$ ), empregada como padrão interno a fim de viabilizar a quantificação da fração amorfa e reduzir interferências por orientação cristalina. Os difratogramas foram obtidos em varredura de 5° a 80° ( $2\theta$ ), utilizando radiação  $\text{Cu K}\alpha$ , e analisados com base em padrões do banco ICDD, possibilitando identificar fases cristalinas e estimar a fração amorfa presente. Os resultados mostraram que o resíduo industrial possui múltiplas fases cristalinas associadas a minerais distintos, além de uma fração amorfa detectável em regiões de halo difuso, embora em menor intensidade quando comparado ao metacaulim de referência, cujo halo amorfo entre 20–35° ( $2\theta$ ) é mais pronunciado. Essa diferença indica que o metacaulim atua como precursor altamente reativo, enquanto o resíduo apresenta papel misto, funcionando parcialmente como reagente e parcialmente como carga inerte. A presença de fases ricas em alumina no resíduo é favorável, uma vez que contribui para a formação do gel N-A-S-H característico dos geopolímeros, embora a coexistência de fases menos reativas, como carbonatos, limite sua contribuição direta. Ainda assim, tais componentes podem desempenhar papel positivo no reforço mecânico e na estabilidade dimensional da matriz, funcionando como elementos de preenchimento. A comparação entre o resíduo e o metacaulim evidencia, portanto, que o resíduo apresenta potencial para uso como precursor complementar em formulações geopoliméricas, reduzindo a necessidade de metacaulim e promovendo a valorização de um passivo industrial. A discussão aponta que, embora a menor fração amorfa sugira limitações para substituições totais, sua utilização parcial é viável e alinhada a estratégias de economia circular, reforçando a importância de explorar alternativas que conciliem desempenho técnico e sustentabilidade. Conclui-se que o resíduo industrial analisado pode ser incorporado a geopolímeros como aditivo parcial, transformando um passivo ambiental em recurso de valor tecnológico, com benefícios ambientais e econômicos associados, contribuindo para ampliar o conhecimento sobre o aproveitamento de resíduos alternativos na produção de materiais de construção sustentáveis, ao mesmo tempo em que reforça a relevância de pesquisas que integrem inovação tecnológica e responsabilidade ambiental.

1. FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; e PALOMO, A. Composition and microstructure of alkali activated fly ash binder: Effect of the activator. Cement and Concrete

Research, [s. l.], v. 35, n. 10, p. 1984–1992, 1 out. 2005. ISSN 0008-8846. DOI 10.1016/j.cemconres.2005.03.003.

2. RAMOS, Giovanny. Cimento geopolimérico contendo resíduo do polimento de placas cerâmicas. [s. l.], [s. d.].

3. SCRIVENER, Karen L.; JOHN, Vanderley M.; e GARTNER, Ellis M. Cimentos ecoeficientes: potenciais soluções economicamente viáveis para uma indústria de materiais à base de cimento com baixo teor de CO<sub>2</sub>. *Cement and Concrete Research*, [s. l.], v. 114, p. 2–26, 1 dez. 2018. ISSN 0008-8846. DOI 10.1016/j.cemconres.2018.03.015.

Palavras-chave: geopolímeros; difração de raios x (drx); caracterização mineralógica; sustentabilidade.