

## Produção de geopolímeros ativado alcalinamente utilizando resíduos de construção e demolição (RCD)

### Production of alkaline activated geopolymers using construction and demolition waste (RCD)

D. N. Cardoso<sup>1\*</sup>, A. M. P. F. Felipe<sup>1</sup>, E. C. Rodrigues<sup>1</sup>, J. L. Ferreira<sup>1</sup>, L. E. A. Álvares<sup>1</sup>, R. M. Oliveira<sup>1</sup>, W. G. dos Santos<sup>2</sup>, J. A. S. Souza<sup>1</sup>.

---

#### RESUMO

Elaborou-se um material geopolimérico a partir de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), selecionado e classificado em Resíduos de Cerâmica Vermelha (RCV) e Resíduos Cimentícios (RC). Os parâmetros avaliados estão em função do aumento de resistência à compressão por meio da variação da porcentagem de água no preparo, contribuindo assim como alternativa para o aproveitamento do RCD. O geopolímero foi produzido em três formulações C1, C2 e C3, variando a porcentagem de água, sendo a maior porcentagem no traço C1 e a menor no traço C3, utilizou-se RCV e RC como fontes de aluminossilicatos, hidróxido de sódio (NaOH) e silicato de sódio alcalino aquoso (SSAA) como solução ativadora, em proporções iguais para todas as formulações. Após 28 dias de cura à temperatura ambiente, foram realizados os ensaios de resistência à compressão, porosidade aparente. O traço C3 foi o que apresentou maior valor de resistência a compressão (13,76 MPa), o que o classifica, de acordo com a norma NBR 13281, como argamassa classe P6, tendo aplicação em assentamentos e revestimentos de paredes e tetos.

**Palavras-chave:** Geopolímero; Resíduos de Construção e Demolição; Ativação Alcalina.

---

#### ABSTRACT

A geopolymer material was prepared from Construction and Demolition Waste (RCD), selected and classified into Red Ceramic Waste (RCV) and Cement Waste (RC). The parameters evaluated are a function of the increase in compressive strength through the variation of the percentage of water in the preparation, thus contributing as an alternative to the use of RCD. The geopolymer was produced in three formulations C1, C2 and C3, varying the percentage of water, with the highest percentage in the C1 mix and the smallest in the C3 mix, RCV and RC were used as sources of aluminosilicates, sodium hydroxide (NaOH) and aqueous alkaline sodium silicate (SSAA) as activating solution, in equal proportions for all formulations. After 28 days of curing at room temperature, the compressive strength and apparent porosity tests were carried out. The C3 mixture was the one with the highest compressive strength value

---

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia Química (FEQ), Universidade Federal do Pará

<sup>2</sup> Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Ciências Agrárias / Engenharia de Alimentos

\* E-mail: dnpcardoso@gmail.com

(13,76 MPa), which classifies it, according to the NBR 13281, as class P6 mortar, having application in settlements and coatings for walls and ceilings.

**Keywords:** Geopolymer; Construction and Demolition Waste; Alkaline Activation.

---

## INTRODUÇÃO

O geopolímero se apresenta como um material alternativo ao cimento Portland. E, de acordo com Boca Santa, (2012).

A indústria da construção civil é o ramo da atividade tecnológica que pelo grande volume de recursos naturais consumidos, parece ser bastante indicado para absorver estes resíduos sólidos (CARDOSO, 2020 a). No entanto verifica-se também que as indústrias de exploração mineral, quanto as de beneficiamento de insumos industriais são locais onde se gera grande volume de resíduos de origem orgânica quanto inorgânica, logo, estes locais parecem ser bastante indicado para se recolher estes materiais inservíveis e passíveis de se tornarem poluentes ambientais (CARDOSO, 2020 b).

Com o aumento da produção de cimento, um material que gera grande poluição para sua produção, e de resíduos de construção civil devido ao crescimento populacional, há uma necessidade urgente da produção de novos materiais menos agressivos ao meio ambiente e ao mesmo tempo eliminando os resíduos constantemente gerados pela sociedade respeitando o desenvolvimento sustentável.

É importante destacar que para que ocorra o processo de geopolimerização a reação de policondensação é essencial, segue os mesmos eventos que a maioria das zeólitas, diferenciando-se pelo rápido endurecimento. Segundo Davidovits (1999), a reação é endotérmica e pode ser descrita conforme demonstrado na Figura 1 (a) e (b) (KOMNITSAS, 2011).



**Tabela 1** – Composição química dos resíduos.

Resíduo	Composição química, %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	p.f.
RCV	66,69	15,58	8,18	3,84	1,18	1,42	1,79	0,83	0,49
RC	77,08	2,46	1,18	0,12	-	9,21	0,96	0,49	7,53

Fonte: Autor.

Os traços foram feitos a partir da mistura do RC e o RCV, com o ativador alcalino, NaOH 10M a 97% de pureza e SSAA. A formulação é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2** – Formulação dos traços utilizados.

Traço	Resíduos		Solução Ativadora		
	RCV, g	RC, g	V <sub>NaOH</sub> , mL	V <sub>SSAA</sub> , mL	V <sub>H<sub>2</sub>O</sub> , mL
C1	170	130	20	55	32
C2	170	130	20	55	22
C3	170	130	20	55	16

Fonte: Autor.

A solução ativadora foi produzida através da mistura de NaOH e SSAA, com variação na quantidade de água, os resíduos e a solução ativadora foram colocados em um misturador mecânico, da marca SOLDTEST com capacidade para 13 litros, e movimento planetário por aproximadamente 3 minutos.

Os geopolímeros para os traços C1, C2 e C3 foram colocados em moldes cilíndricos de PVC de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, medidas de acordo com a ABNT NBR 5738 que determina que a altura possua o dobro do diâmetro, em triplicatas para cada traço. Após este processo, os corpos de prova foram colocados numa mesa vibratória por cerca de 1 min para a retirada de bolhas, então foram vedados com filme PVC e reservados em cura por 28 dias. Os geopolímeros foram submetidos ao ensaio destrutivo de determinação de resistência à compressão no Laboratório de Resistência a Compressão da Engenharia Civil na UFPA, pela prensa EMIC SSHC300, com capacidade de 100KN e célula de carga 20KN, velocidade no ensaio de 5mm/min.

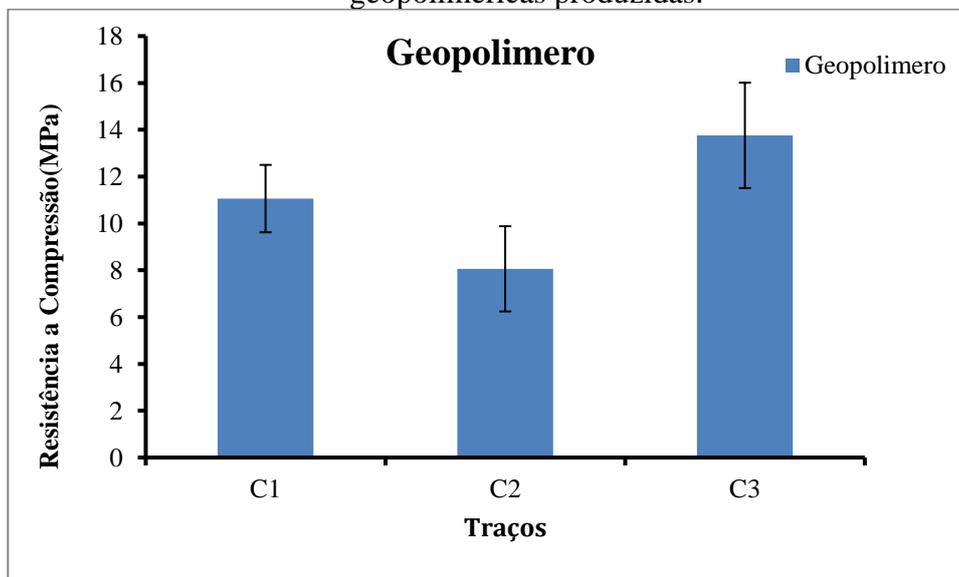
As análises físicas de absorção aparente, densidade aparente, porosidade aparente e massa específica, foram realizadas em quadruplicada para os traços C1, C2 e C3, feitas no laboratório de reologia do laboratório de engenharia química da UFPA.

Foram realizadas análises microestruturais dos resíduos que foram utilizados na pesquisa bem como as amostras dos corpos de prova após a fratura, para isso utilizou-se um Microscópio eletrônico de varredura da marca HITACHI, modelo TM 3000, Brasil.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios destrutivos para a determinação da resistência à compressão, podem ser vistos na Figura 02. Obtendo maior valor para o traço C3, onde foi utilizado menor percentual de água na sua formulação. A possível explicação para esse fato é que a quantidade de água de amassamento 16 ml foi próximo do ideal, para que fosse possível a realização das reações químicas entre os ativadores alcalinos (NaOH+ Silicato de sódio) e os agregados miúdos, sendo que o restante da água na mistura manteve a reação química, impedindo a formação de poros no corpo do material. Estudos de literatura demonstraram que quanto maior o teor de água na mistura, ocorre uma tendência de formação de cristais maiores, diminuindo a área de superfície específica e levando à diminuição na resistência do material sintetizado (OLIVIA; SARKER; NIKRAZ, 2008).

**Figura 02** - Gráfico de resistência a compressão das argamassas geopoliméricas produzidas.

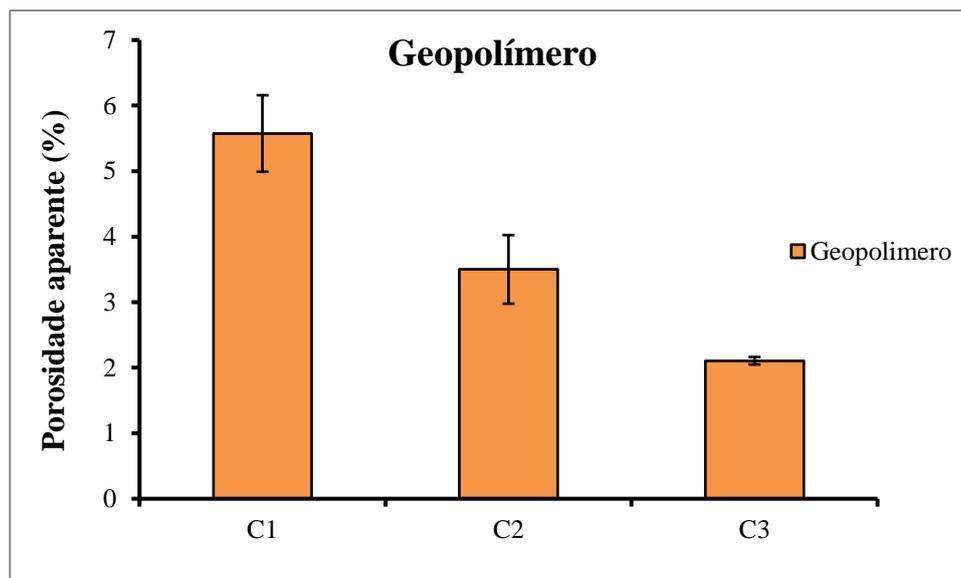


Fonte: Autor.

A Figura 03 apresenta os resultados obtidos nas análises de porosidade por imersão dos fragmentos dos traços do estudo. O traço que obteve um menor valor médio

de porosidade aparente foi o traço C3, com 2,1053, demonstrando uma menor quantidade de poros no seu interior. A entrada da água, seja por capilaridade, absorção ou sorvidade, é deletéria para a durabilidade do material. A diminuição dos poros e a porosidade total nos materiais pode aumentar a vida útil das estruturas. (OLIVIA; SARKER; NIKRAZ, 2008)

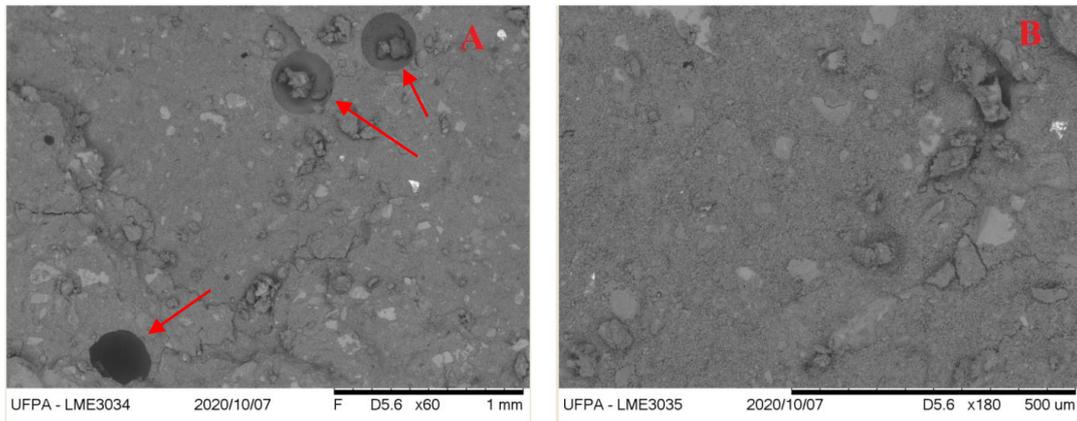
**Figura 03** - Gráfico de Porosidade aparente das argamassas geopoliméricas produzidas.



Fonte: Autor.

Na figura 4-B observou-se que o geopolímero C3 apresentou uma morfologia mais densa e homogênea em relação ao geopolímero C2 apresentado na Figura 4-A, apresentando menor resistência, esta melhor morfologia apresentada em C3 indica que um maior grau de geopolimerização após a reação. O aspecto morfológico mais denso e uniforme com maior desempenho mecânico é devido ao maior avanço de reação de geopolimerização. SALEHI (2017). Os poros que aparecem nas amostras C2 da Figura 4-A, assinaladas em setas vermelhas são típicos de geopolímeros sintetizados com cinzas volantes, pois as cinzas possuem em sua microestrutura algumas partículas ocas que reagem parcialmente ao serem ativadas formando poros na matriz geopolimérica. Os poros precisam ser controlados, pois, é através deles que a água penetra na estrutura, e a entrada da água seja por capilaridade, absorção ou sorvidade é deletéria para a durabilidade do material (OLIVIA et al., 2008).

**Figura 04** - Microscopia eletrônica de varredura das amostras de geopolímero C2 e C3



Fonte: Autor.

## CONCLUSÃO

Com a realização da pesquisa pode-se produzir um geopolímero utilizando RCV, que é de grande importância para dar uma finalidade para este resíduo que vem se tornando abundante na Cidade de Belém-PA, bem como, em todas as grandes cidades. Ao produzir o geopolímero alterando a quantidade percentual de água, obteve-se um maior valor de resistência à compressão no traço com menor quantidade de água, e que pode ser explicado pelo menor valor da porosidade aparente e maior valor da densidade desse traço.

## AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Engenharia Química para realização dos experimentos e formulação das soluções e ao laboratório de Engenharia Civil pela disponibilização do equipamento de ensaio de resistência a compressão.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR5738. **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova** – Requisitos. Rio de Janeiro/RJ. 2015.

BOCA SANTA, R. A. A. **Desenvolvimento de Geopolímeros a Partir de Cinzas Pesadas Oriundas da Queima do Carvão Mineral e Metacaulim Sintetizado a Partir de Resíduo da Indústria de Papel**. 2012. 135 p. Dissertação (Pós- Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

DAVIDOVITS, J., **Properties of Geopolymer Cements. Proceedings First International Conference on Alkaline Cements and Concretes**, p. 131-149, 1994.

DAVIDOVITS, J., **Chemistry of Geopolymeric Systems, Terminology**. Second International Conference Geopolymère'99, Institute Géopolymère, Saint-Quentin, France and I.N.S.S.E.T. Université de Picardie, Saint-Quentin, France, v. 1, p. 9-40, 1999.

CARDOSO, D. N. P. ; MACEDO, A. N. ; RACANELLI, L. A. ; SANTOS, W. G. ; RODRIGUES, E. C. ; OLIVEIRA, R. M. ; SILVA, J. A. . **Influence of the mixed water content on the mechanical and rheological properties of mortars made with sulfacted copper floating waste fines**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n.6, p.41123-41130. jun. 2020.

CARDOSO, D. N. P. ; MACEDO, A. N. ; RACANELLI, L. A. ; SANTOS, W. G. ; RODRIGUES, E. C. ; OLIVEIRA, R. M. ; SILVA, J. A. FELIPE, A.M.P; . **Studies of the application of polymeric additive in the workability of cemential materials prepared with recycled raw material** .Brazilian Applied Science Reviewv. v. 4, n. 1, p. 370-381 jan./fev. 2020

OLIVIA, M.; SARKER, P.; NIKRAZ, H.. Water Penetrability of Low Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete. **Conference on Constitution and Building Technol International**, 2008.

ROSSETTO, Matheus. **Desenvolvimento de geopolímeros com a incorporação do lodo de estações de tratamento de água**. Joinville, 2017.

SALEHI S, KHATTAK MJ, BWALA AH, KARBALAEI FS. **Characterization, morphology and shear bond strength analysis of geopolymers: Implications for oil and gas well cementing applications**. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2017;38:323-332.

*Recebido em: 15/11/2021*

*Aprovado em: 05/12/2021*

*Publicado em: 10/12/2021*