

FORMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA DE CURA DE GEOPOLIMÉRICOS UTILIZANDO RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL*

Vinicius Lemos Pereira¹

Beatriz Cordeiro de Bona²

Isaac Gabriel Peixoto Borges de Oliveira¹

Ponnyk Melo Torres³

Dilson Nazareno Pereira Cardoso⁴

Lygia Maria Policarpio Ferreira⁵

Clesianu Rodrigues de Lima⁶

Resumo

A destinação inadequada dos resíduos de construção civil gerados através de demolições, reformas e construções de obras ocasionam impactos socioambientais. A reciclagem é o método mais adequado para a reutilização desses resíduos. Com intuito de dar finalidade a estes resíduos, foram desenvolvidos geopolímeros a base de resíduos de construção civil (resíduo de cerâmica vermelha e resíduo cimentício) usando hidróxido de sódio, solução de silicato de sódio alcalino e água. Foram produzidas duas formulações para a produção dos corpos de prova, os quais foram curados à temperatura ambiente e em estufa a 80°C por 7 dias. Após a cura, foram realizados testes de resistência à compressão axial, absorção de água por capilaridade, porosidade aparente e densidade. Os resultados apresentaram um geopolímero com 22,47 MPa de resistência a compressão, 9,65 % de absorção d'água aparente, 16,45 % de porosidade aparente e densidade de 1,70 g/cm³, para a cura a 80°C, sendo observado que ao aumentarmos a temperatura de cura, aumentamos a resistência a compressão do geopolímero obtido. Isso demonstra um potencial para o seu uso no setor de construção civil, bem como destinação adequada dos resíduos para este setor.

Palavras-chave: Geopolímeros; Resíduos de construção civil; Reciclagem de resíduos.

FORMULATION AND EVALUATION OF THE EFFECT OF HEALING TEMPERATURE OF GEOPOLIMERICUS USING CIVIL CONSTRUCTION RESIDUES

Abstract

The inadequate allocation of construction waste generated through demolition, renovation and construction of works cause social and environmental impacts. Recycling is the most appropriate method for the reuse of such waste. In order to give purpose to these residues, the synthesis of geopolymers based on construction waste (red ceramic waste and cement residue) was developed using sodium hydroxide, alkali sodium silicate solution and water. Two formulations were produced for the production of the specimens, which were cured at room temperature and in an oven at 80°C for 7 days. After the healing, tests of resistance to axial compression, water absorption by capillarity, apparent porosity and density were performed. The results showed a geopolymer with 22.47 MPa of compressive strength, 9.65% apparent water absorption, 16.45% apparent porosity and density of 1.70 g/cm³, for healing at 80 ° C, it being observed that when increasing the healing temperature, we increase the compressive strength of the obtained geopolymer. This demonstrates a potential for its use in the construction industry, as well as adequate waste disposal for this sector.

Keywords: Geopolymers; Ceramic residue red; Recycling of waste.

¹ Graduando em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, UNIFESSPA, Marabá, Pará, Brasil.

² Graduada em Engenharia de Materiais, Faculdade de Eng. de Materiais, UNIFESSPA, Marabá, Pará, Brasil.

³ Engenheira Civil, Faculdade Metropolitana de Marabá, Marabá, Pará, Brasil.

⁴ Engenheiro Químico, Tec., Faculdade de Engenharia Química, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

⁵ Engenheira de Materiais, Prof., Faculdade de Engenharia Civil, UNIFESSPA, Marabá, Pará, Brasil.

⁶ Engenheiro Químico e Civil, Prof., Faculdade de Química, UNIFESSPA, Marabá, Pará, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A pauta sobre desenvolvimento sustentável para as cidades do futuro traz consigo discussões a respeito dos resíduos de construção civil (RCC), que são gerados através de demolições, reformas e construções de obras. Atualmente a reciclagem é o método mais difundido para a reutilização dos resíduos gerados em todos os setores industriais. Entre os países com maior quantidade de geração de resíduos de construção civil encontram-se a China, Estados Unidos da América e países da Europa. A “geração formal” de resíduos compreende o setor de reforma e construção empresarial e governamental, com aproximadamente 76,6% de disposição de resíduos de construção civil do montante total. Em contrapartida, o setor de construção e reforma privada denominado “informal” gera apenas 23,4% quando comparado a produção total. Esses dados em quantidade representam cerca de 605,5 milhões de toneladas/ano para os países com maior potencial de geração de resíduos de construção. A grande produção desses resíduos leva a consideração da ativação alcalina como alternativa no processo de reutilização de materiais inorgânicos, como RCC [1].

A aplicação da ativação álcali em ligantes vem tornando-se uma técnica comum na obtenção de materiais granulares com resistência, rigidez e durabilidade. Os geopolímeros são uma alternativa sustentável para a substituição do cimento Portland, que emite uma quantidade consideravelmente alta de dióxido de carbono, contribuindo com cerca de 5% do volume total da emissão global. Ao utilizar os geopolímeros, é possível obter uma redução entre 40 e 80% na emissão de dióxido de carbono [2].

No trabalho de Robayo [1], foi realizada a síntese de cimentos ativados por álcali e híbridos a base de resíduos de tijolos vermelhos, com a utilização de hidróxido de sódio (NaOH) e solução de silicato de sódio, os resultados demonstraram a viabilidade do uso desse material na produção de elementos estruturais e não estruturais na indústria da construção civil. Em uma abordagem de produção de geopolímeros com 60% de resíduos de concreto e 40% de resíduos de tijolos, submetendo a ativação alcalina de hidróxido de sódio e silicato de sódio, o material produzido apresentou resistência a compressão de 50MPa aos 28 dias de cura. A sugestão do uso de aditivos ricos em alumina garante um melhor reticulação do geopolímero e menor mobilidade do álcali [1].

Bassani [2] realizou uma avaliação do comportamento das misturas com agregados não selecionados de resíduos de construção civil ao serem submetidos ao tratamento de ativação alcalina, para verificar a potencial aplicação desses geopolímeros em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários.

O presente trabalho tem como objetivo investigar a ativação alcalina de compostos aluminossilicatos presentes em agregados obtidos do processo de reaproveitamento de resíduos de construção civil, como resíduos cimentícios e resíduos de cerâmica vermelha. Para tanto, o experimento contou com a realização de análise química por fluorescência de raios-X para determinar a composição das matérias-primas, análise granulométrica a laser para obter a distribuição do tamanho das partículas, e ensaios de resistência à compressão axial aos 7 dias de cura do material produzido, além de análises físicas como absorção de água por capilaridade, porosidade aparente e densidade.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

Para a formulação do geopolímero foram utilizadas as seguintes matérias-primas: resíduo de cerâmica vermelha (RCV), resíduo cimentício (RC), hidróxido de sódio (NaOH), silicato de sódio alcalino (SSAA) e água. Os equipamentos e técnicas empregadas foram: moinho de mandíbulas, moinho de bolas, balança analítica, peneira, argamassadeira eletromecânica digital (AMC), moldes cilíndricos de PVC, fluorescência de raios-X e análise de granulometria a laser. Após o período de cura os corpos de prova foram caracterizados pelas técnicas de análise de resistência a compressão axial, absorção d'água por capilaridade, porosidade aparente e densidade.

2.1.1 Procedimento experimental

Os resíduos de construção civil foram coletados e classificados em resíduo de cerâmica vermelha (RCV), resíduo cimentício (RC) e material sem aplicação ao trabalho: papel, madeira, metal, polímero (Figura 1).



Figura 1. Resíduo de construção oriundo de reforma de uma residência (RCC).

Posteriormente, os resíduos foram cominuídos em moinho de mandíbulas e moinho de bolas, em seguida, peneirados em uma peneira de 65Mesh, utilizando o material passante, enquanto que o material retido retornava para a cominuição (Figura 2).

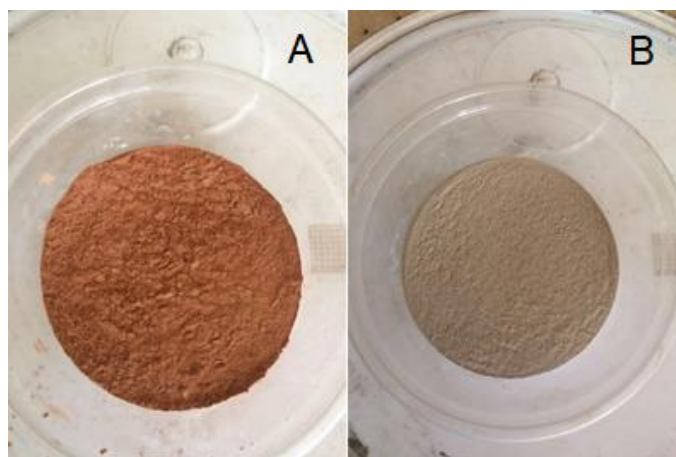


Figura 2. (A) Resíduo de cerâmica vermelha (RCV); (B) Resíduo cimentício (RC).

Com o material selecionado e cominuídos, foram realizados a análise química por fluorescência de raios-X e a análise de granulometria a laser. Adicionalmente, foram desenvolvidas as formulações dos geopolímeros utilizando para os traços empregados razão sólido/líquido, razão SSAA/NaOH e concentração de NaOH de 5,5M. Além dos percentuais de resíduos utilizados para ambas misturas A e B. Sendo empregado duas temperaturas de cura diferentes para as amostras A e B, conforme a Tabela 1.

Amostra	$m_{RVC}(\%)$	$m_{RC}(\%)$	V_{SSAA}/V_{NaOH}	Sol/Liq	$T_{healing} (^{\circ}C)$
A	57	43	2,75	2,8	29
B	57	43	2,75	2,8	80

Tabela 1. Traço das matérias primas utilizadas na formulação do geopolímero

Os resíduos (RCV e RC) foram misturados em argamassadeira e reservados. Os líquidos (NaOH, SSAA e H₂O) foram misturados nas proporções adequadas, e em sequência adicionados aos resíduos na argamassadeira, com homogeneização por 4 minutos, figura 3 (A). Após esse período a mistura foi colocada em moldes cilíndricos de PVC, com dimensões de 50 mm de diâmetro por 100mm de altura. Os Corpos de Prova (CP's) foram envoltos com filme PVC. Os CP's A foram curados por 7 dias a temperatura ambiente, 29°C, enquanto que os CP's B foram curados em estufa por 7 dias a temperatura de 80°C, figura 3(B).



Figura 3. A) Pasta geopolimérica na argamassadeira; B) Corpos de prova retirados dos moldes de PVC e selados com filme plástico.

2.2 Resultados e Discussões

2.2.1 Composição do RCV e RC

A Tabela 2 mostra a análise de composição química do RCV e do RC, apresentando as matérias-primas como possíveis precursores de geopolímeros, por apresentarem em sua composição óxidos de silício e alumínio. O RCV apresentou 66,69% de SiO₂ e 15,58% de Al₂O₃, sendo um promissor material para produção de geopolímeros. O RC apresentou percentuais de 77,08% e 2,46%, respectivamente para SiO₂ e Al₂O₃. A composição química dos resíduos de Araújo [5] possuem menores teores de dióxido de silício em relação ao presente trabalho, com média de 53,28%.

Entretanto, os teores médios de óxido de alumínio mantiveram-se equivalentes com 15,79%.

Tabela 2. Análise química por fluorescência de raios-X dos resíduos.

RCV (%)		RC (%)	
SiO ₂	66,69	SiO ₂	77,08
Al ₂ O ₃	15,58	Al ₂ O ₃	2,46
Fe ₂ O ₃	8,18	Fe ₂ O ₃	1,18
MgO	1,79	MgO	0,96
CaO	1,42	CaO	9,21
Na ₂ O	1,18	Na ₂ O	0
K ₂ O	3,84	K ₂ O	0,12
TiO ₂	0,83	TiO ₂	0,49

2.2.2 Granulometria a laser do RCV e RC

A análise de granulometria a laser para os resíduos é apresentada na Figura 4, onde pôde-se determinar o D₅₀, 17,13μm para RCV e 68,87μm para RC, D₉₀, 58,33μm e 212,36μm, respectivamente, bem como o D_{Médio}, 37,73μm e 140,62μm, respectivamente.

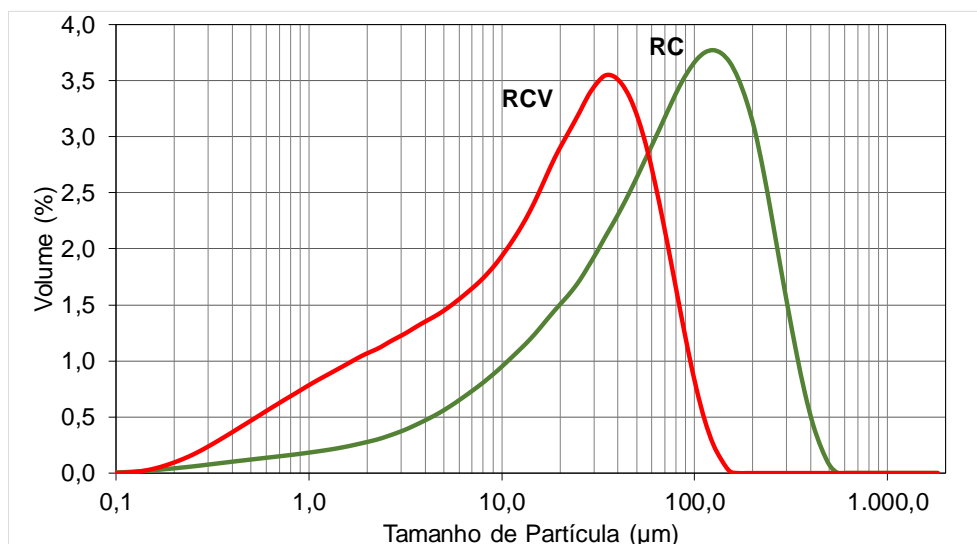


Figura 4. Análise de Granulometria a laser do RCV e RC.

2.2.3 Resistência a compressão axial aos 7 dias de cura e resultados das análises físicas

Após os sete dias de cura dos geopolímeros, foi realizado o ensaio de resistência a compressão dos CP's. Foram utilizados cinco CP's para cada amostra. Os valores médios de resistência a compressão axial para a amostra A curada com temperatura ambiente de 29°C, e da amostra B com cura a temperatura de 80°C em estufa estão dispostos na Tabela 3. O desvio padrão dos resultados de ambos geopolímeros foram em torno de 0,7 MPa, mostrando boa reprodução de resultados. Esses valores indicam que a cura a temperaturas mais elevadas que a ambiente para a região de análise, afeta positivamente a resistência a compressão axial dos geopolímeros. Com esse incremento de resistência, mais de 450 vezes maior, pode-se sugerir a utilização de resíduos de construção civil como precursores de

geopolímeros, porém para que ocorra um ganho de aplicação final para esses materiais, faz-se necessário uma cura a temperaturas superiores a ambiente.

Tabela 3. Resultados das análises: resistência a compressão axial, absorção de água por capilaridade, porosidade aparente e densidade.

Traço	Absorção Ap. (%)	Desv. Pad.	Poros. Apar. (%)	Desv. Pad.	Density (g/cm ³)	Desv. Pad.	Resist. Comp.(MPa)	Desv. Pad.
A	8,55	0,65	14,73	1,27	1,72	0,06	4,95	0,76
B	9,65	0,37	16,45	0,82	1,70	0,05	22,47	0,71

O trabalho de Vásquez [6] alcançou resultados de resistência à compressão axial aos 7 dias de cura, tanto a temperatura ambiente quanto com temperatura controlada em estufa, de 9,5 MPa e 24,5 MPa respectivamente, apresentando aumento significativo para a cura em estufa a 70°C, esses dados confirmam os resultados obtidos no presente trabalho.

Os resultados de absorção d'água obtidos para as amostras, são inferiores às observadas no trabalho de Araújo [5], onde foi possível obter resultados com média de 15,22% de absorção de água aos 28 dias de cura. O valor obtido para a amostra A foi de 8,55% e para a amostra B foi de 9,65% aos 7 dias de cura, indicam que o material possui absorção d'água inferior a 10%. A absorção d'água está em acordo com os resultados de porosidade aparente, apresentados, em torno de 16% para ambas amostras, considerando o desvio padrão. Relacionando os resultados de porosidade aparente obtidos com os resultados do estudo de Araújo [5], com média de 25%, observamos uma diferença de 9%. Os resultados de densidade obtidos foram em torno de 1,7 g/cm³ que estão bem próximos ao obtidos por Araújo [5], 1,77 g/cm³.

As análises físicas avaliadas no presente estudo encontram-se de acordo com os estudos pesquisados, o que demonstra uma possibilidade de uso deste material com precursores de geopolímeros.

Entretanto obteve um maior resultado para a resistência a compressão axial, com maior potencial de aplicação para fins construtivos.

3 CONCLUSÃO

Os geopolímeros tem sido estudado como alternativa econômica e ambiental viável no desenvolvimento sustentável na sociedade. A ativação alcalina para materiais inorgânicos é uma abordagem eficiente quando se trata do reaproveitamento de resíduos de construção civil, como uma maneira efetiva na obtenção de resultados satisfatórios de resistência, rigidez e durabilidade de materiais geopoliméricos para aplicação na indústria da construção civil. Os resultados dos geopolímeros formulados e produzidos foram satisfatórios e promissores, podendo ser utilizados em diversas aplicações na área de construção civil. De acordo com a resistência a compressão desejada, pode-se executar a cura dos geopolímeros em temperatura ambiente, ou temperaturas maiores devidamente controladas para a obtenção da resistência necessária. O uso de resíduos de construção é muito desejável, devido ao grande volume produzido anualmente. A ideia de transformar ou de dar uma destinação tecnológica a algo indesejado é muito importante e sustentável, e foi alcançado com o presente trabalho, que continua em andamento com outros direcionamentos científicos.

REFERÊNCIAS

- 1 Robayo RA, Mulford A, Munera J, Gutiérrez RM. Alternative cements based on Alkali-activated red clay brick waste. *Construction and Building Materials*. 2016; 128: 164-169.
- 2 Bassani M, Tefa L, Russo A, Palmero P. Alkali-activation of recycled construction and demolition waste aggregate with no added binder. *Construction and Building Materials*. 2019; 205: 398-413.
- 3 Allahverdi A, Kani EN. Use of construction and demolition (CDW) for alkali-activated or geopolymer cements. *Handbook of recycled concrete and demolition waste*. 2013; Chapter 18:439-475.
- 4 Zaharaki D, Galetakis M, Komnitsas K. Valorization of construction and demolition (C&D) and industrial wastes through alkali activation, *Construction and Building Materials*. 2016; 121: 686-693.
- 5 Araújo L, Meert RLB, Labrincha JÁ, Senff L. Desenvolvimento de geopolímeros a partir de resíduo de construção como agregado. *Fórum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais*. 2017; 8: [s/n].
- 6 Vasqués A, Cárdenas V, Robayo RA, Gutiérrez RM. Geopolymer based on concrete demolition waste. *Advanced Powder Technology*. 2016; 27: 1173-1179.