

UTILIZAÇÃO DE PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA NA SÍNTESE DE GEOPOLÍMEROS*

*Isaac Gabriel Peixoto Borges de Oliveira¹
Beatriz Cordeiro de Bona²
Vinicius Lemos Pereira¹
Ponnyk Melo Torres³
Dilson Nazareno Pereira Cardoso⁴
Clesianu Rodrigues de Lima⁵*

Resumo

Com legislações mais rigorosas e fiscalizações mais incisivas, além da dificuldade de destinação dos resíduos gerados, as empresas têm buscado melhorar seus processos produtivos a fim de reduzir seus rejeitos. Por conseguinte, o presente trabalho buscou a aplicação de pó de aciaria elétrica (PAE) com argila caulínica na elaboração de geopolímero, mostrando uma possibilidade de utilização dos resíduos provenientes da fabricação do aço. Avaliou-se o comportamento do produto via análise química por fluorescência de raios-X, granulometria a laser, difração de raios-X, teste de resistência à compressão axial e análises físicas. Sendo obtido geopolímeros com resistência a compressão axial de 16,67MPa, demonstrando ser possível essa destinação para o PAE.

Palavras-chave: Geopolímero; Pó de aciaria elétrica; Sustentabilidade ambiental;

USE OF ELECTRIC ARC FURNACE DUST IN THE GEOPOLIMERIC CEMENT CONFECTION

Abstract

With more rigorous legislation and more incisive inspections, in addition to the difficulty of disposing of generated waste, companies have sought to improve their production processes in order to reduce their waste. Therefore, the present academic work sought the application of electric arc furnace dust with kaolinite clay in the elaboration of a polymeric cement, showing a possibility of use of the residues coming from the steel industry. The behavior of the product was evaluated through chemical analysis by X-ray fluorescence, laser granulometry, X-ray diffraction, axial compression resistance test and physical analyzes. Geopolymers with axial compressive strength of 16.67MPa were obtained, demonstrating that this destination is possible for the electric arc furnace dust.

Keywords: Geopolymer Cement; Electric Arc Furnace Dust; Environmental Sustainability;

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

² Graduada em Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia 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 Engenheiro Químico e Civil, Prof., Faculdade de Química, UNIFESSPA, Marabá, Pará, Brasil..

1 INTRODUÇÃO

Com legislações mais rigorosas e fiscalizações mais incisivas, além da dificuldade de destinação dos resíduos gerados, as empresas têm buscado melhorar seus processos produtivos a fim de reduzir e redirecionar seus rejeitos através de novos conceitos de administração e gerenciamento. E, como apresentado por Aloísio Aly [1]: “Os problemas de poluição e seus efeitos negativos sobre o homem levaram a reconhecer que a qualidade do meio ambiente é um pré-requisito para prosperar econômica e tecnicamente”. Partindo desse pressuposto, levantou-se a possibilidade da aplicação de pó de aciaria elétrica (PAE) – resíduo advindo do processo de obtenção do aço – na síntese de geopolímeros.

A produção do aço via forno a arco elétrico – da qual origina o PAE – apresenta-se como responsável anualmente por cerca de 30% da fabricação mundial [2]. Da qual, são gerados aproximadamente 20 kg de PAE por tonelada de aço produzido [2]. Assim, evidenciando o grande volume gerado e consequentemente aumentando a dificuldade de destinação por parte da indústria para este material.

Outro fator que deve ser levado em consideração é a grande quantidade de concreto que é produzido, sendo um dos materiais mais consumidos mundialmente. Isso se deve, pelo fato de que não há como discutir sobre desenvolvimento de qualquer país sem levar em consideração a indústria da construção civil. Fazendo com que se deva dar mais atenção aos impactos ambientais decorrentes da fabricação de cimentos convencionais, visto que também é fonte de poluição e, por sua vez, geradora de efeitos negativos a saúde humana durante todo o processo industrial – desde a contaminação do ar na britagem de pedra calcária até o ensacamento do produto final.

Ademais, a preocupação com a diminuição de impactos ambientais é outro fator que impulsiona a academia a buscar fontes alternativas de matéria-prima para confecção do concreto. Isto é, diminuição no consumo de recursos naturais, menor emissão de CO₂, além da menor demanda de energia. E, uma das possibilidades que vem se mostrando viável com estudos já realizados, são os cimentos geopoliméricos. Esses são formulados por aluminossilicatos alcali-ativados, ou seja, são constituídos por um ou mais materiais com presença de SiO₂ e Al₂O₃, dos quais contêm razão suficiente e em forma reativa (como argilas ativas, cinzas, pozolanas e escórias), homogeneizados a uma solução alcalina aquosa ativadora, contendo, por exemplo, hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de sódio (NaOH), silicato de sódio ou potássio [3].

Este trabalho teve por objetivo avaliar as potencialidades da aplicação do pó de aciaria elétrica na formulação e produção de geopolímeros, avaliando propriedades físico-mecânicas do material obtido. E, segundo critérios estabelecidos pela NBR 10004 [4], esse resíduo é classificado como Classe I – perigoso. O que, por conseguinte, torna seu gerenciamento com custos elevados, devido à problemática de descarte e armazenamento. No entanto, sua aplicação no produto proposto se torna viável – tanto em segurança quanto em critérios econômicos – por haver um encapsulamento dos materiais perigosos no interior da estruturados geopolímeros, tornando-o estável frente à lixiviação. Ademais, os geopolímeros apresentam propriedades de grande importância para a engenharia civil: elevada resistência mecânica inicial, dureza superficial e durabilidade. Assim, o fazendo como potencial substituto de concretos e argamassas tradicionais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Para a elaboração do cimento geopolimérico utilizou-se as seguintes matérias-primas:

- Argila caulínica;
- Pó de aciaria (PAE);
- Hidróxido de sódio;
- Silicato de Sódio Alcalino (SSAA);
- Água.

2.2 Equipamentos

Foram utilizados: moinho de mandíbulas, moinho de bolas, balança, peneira, argamassadeira eletromecânica digital (AMC), moldes de tubos PVC. E as técnicas de caracterização empregadas foram: fluorescência de raios-X (por Espectrômetro Pan-Catalítico EDX 720), difração de raios-X (Diffractometer Bruker modelo D8 Advance por Philips X'Pert HighScore software), análise de granulometria a laser (analysette 22 MicroTec Plus by Fritsch) e ensaio de resistência a compressão axial através da máquina de ensaio universal EMIC modelo SSH388, com taxa de carregamento constante de 0,5MPa/s.

2.3 Procedimento experimental

Em primeiro instante, o procedimento consistiu na análise química por fluorescência de raios-X, seguido da análise granulométrica a laser. Esses testes foram realizados na argila caulínica e no pó de aciaria (PAE). Para a formulação dos geopolímeros utilizou-se razão sólido/líquido igual a 2, da qual foi obtida através de tentativas levando em consideração variáveis como trabalhabilidade e quantidade de fluido suficiente para hidratar a matéria-prima.

A concentração de hidróxido de sódio (NaOH) utilizada foi de 7,5M e a razão de volume de silicato de sódio alcalino (SSAA) por volume de NaOH foi igual a 2,5. Estas, são diretamente ligadas ao percentual de água, visto que, proporcionalmente, quanto maior o fator de NaOH menor será a quantidade de SSAA, devido a necessidade de uma parcela maior de materiais álcalis-agregados para a realização da reação química, contribuindo assim para o processo de síntese da geopolimerização do produto. Três formulações e geopolímeros foram produzidas e analisadas, onde se tem 40%, 30% e 20% de PAE em relação à massa total – amostras A, B e C, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Proporções para formulação dos traços

Amostra	Argila	PAE	V_{SSAA}/V_{NaOH}	Sol/Liq
A	60%	40%	2,5	2,0
B	70%	30%	2,5	2,0
C	80%	20%	2,5	2,0

Foi utilizado o moinho de mandíbulas para cominuir o PAE, do qual também foi passado pelo moinho de bolas. Posteriormente foi peneirado para utilização do passante na peneira de 65Mesh. Com o intuito de provocar a mudança de fase de

caulinita para metacaulinita, a argila foi calcinada a 600°C por 2 horas, foi desaglomerada e peneirada na peneira de 65Mesh. Tanto os materiais sólidos quanto os líquidos foram unidos separadamente, obtendo-se uma mistura de sólidos e uma mistura de líquidos. Em seguida as duas misturas foram unidas e levadas a uma argamassadeira eletrônica digital onde foram homogeneizadas por 4 minutos. Por fim, os corpos de provas foram confeccionados conforme exigências da NBR 5738 [5] e NBR 5739 [6], que apontam que os corpos de prova devem ter altura igual ao dobro do diâmetro – logo, foram moldados em formas de tubos PVC de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura.

Nas pesquisas realizadas sobre geopolímeros, majoritariamente, o hidróxido de sódio (NaOH) é empregado como parte da solução ativadora, ao invés de hidróxido de potássio (KOH). Isso se dá pelo fato de que o primeiro tem um custo de produção bem mais baixo, o que justifica sua escolha. Salientando que NaOH é concebido principalmente via métodos eletrolíticos, usando-se solução aquosa de cloreto de sódio [7].

Quanto ao processo de cura, os CP's A foram curados a temperatura ambiente de 29°C, levando em consideração o tempo de 7 e 28 dias. Logo em seguida, os CP's foram submetidos ao ensaio mecânico de resistência à compressão axial, bem como estudos de análises físicas – absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Composição química

A Tabela 2 indica em percentual a composição química das matérias-primas utilizadas – argila caulínica e PAE. Os resultados foram obtidos através de análise por fluorescência de raios-X. Assim, comprovando a presença de espécies químicas (aluminossilicatos) desejadas e necessárias para reação de geopolimerização – como SiO₂ e Al₂O₃, no caso da argila. E a presença de espécies químicas nocivas como o PbO e Cr₂O₃.

Tabela 2. Análise química por fluorescência de raios-X

Argila Caulínica				PAE			
Composição	%	Composição	%	Composição	%	Composição	%
SiO ₂	58,138	K ₂ O	0,940	Fe ₂ O ₃	59,581	K ₂ O	1,388
Al ₂ O ₃	37,348	TiO ₂	0,653	ZnO	22,957	PbO	0,800
Fe ₂ O ₃	2,068	MnO	0	CaO	5,412	SO ₃	0,495
MgO	0,713	SO ₃	0,091	SiO ₂	2,992	Cr ₂ O ₃	0,371
CaO	0	ZrO ₂	0,043	Cl	2,666	P ₂ O ₅	0,230
Na ₂ O	0	SrO	0,006	MnO	2,661	CuO	0,208

3.2 Distribuição de tamanho de partículas

Através da análise granulométrica a laser foi possível obter informações sobre o tamanho e a distribuição das partículas dos materiais estudados. Os resultados obtidos pela análise para seus diâmetros médios foram de 27,41µm para a argila caulínica e 1,59µm para o pó de aciaria elétrica, demonstrado que o material possui uma pequena dimensão, ou seja, material pulverulento. O D₉₀ obtido foi de 46,28µm para a argila e de 2µm para o PAE, que já expressa o comportamento da maior parte do material estudado. O resultado da análise é apresentado na Figura 1.

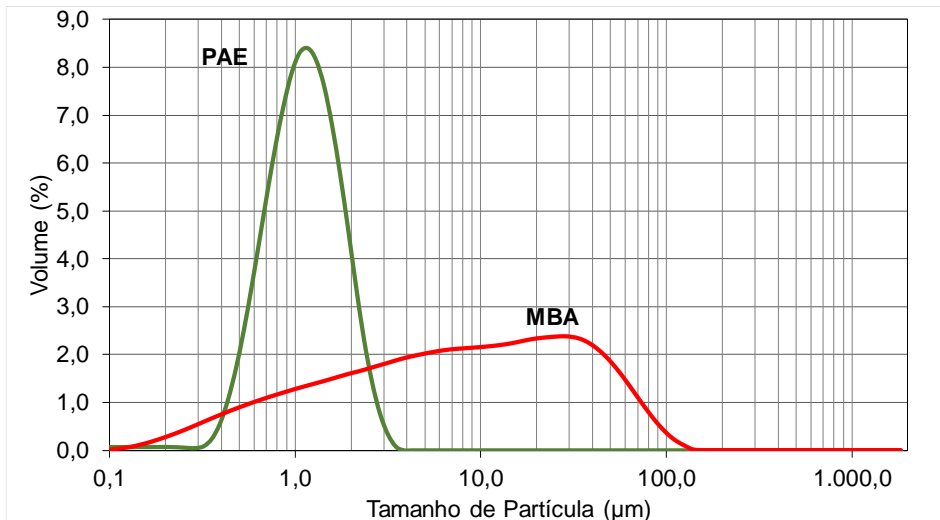


Figura 1. Curvas de ensaio granulométrico a laser.

3.3 Análise de composição mineralógica

Para uma visualização geral das fases cristalinas determinadas, com auxílio da difração de raios-X, observa-se na argila a presença de Hematita (Fe_2O_3), do quartzo (SiO_2) com sistema cristalino hexagonal e da fase caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Já no pó de aciaria tem-se a presença de Óxido de Ferro (Fe_2O_3) de estrutura cúbica, Óxido de Silício (SiO_2) conhecido como Quartzo (ICSD 016331), Óxido de Chumbo (PbO) de sistema cristalino tetragonal, Óxido de Zinco (ZnO) de sistema cristalino hexagonal (Figura 2).

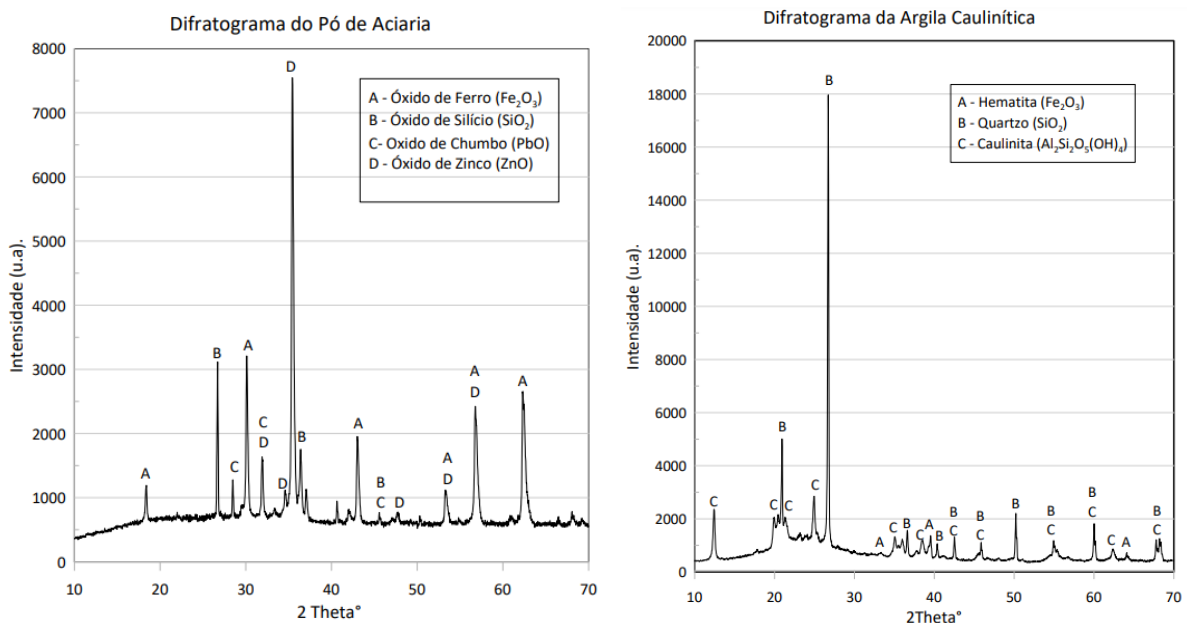


Figura 2. Difratograma de raios-X.

Atentando-se ao fato de que há presença de óxido de chumbo (PbO), do qual nessa situação apresenta real risco à saúde e ao meio ambiente, visto que este material dito perigoso, está no PAE na forma que facilmente é lixiviado.

3.4 Resistência à compressão axial

Após o processo de cura os corpos de prova, produzidos em triplicatas, foram submetidos ao teste de resistência à compressão axial. Os geopolímeros ensaiados (A, B e C) com 40%, 30% e 20% de PAE em relação à massa total, respectivamente.

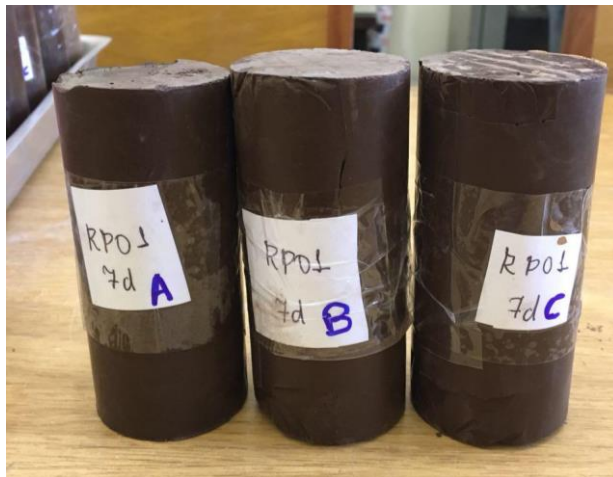


Figura 3. Difratoograma de raios-X.

Foi possível perceber que a composição com menor quantidade de PAE apresentou-se com resistência significativamente maior quando comparada com as que tiveram 40% e 30% de PAE em sua composição. Isso fica evidenciado conforme valores expostos na Tabela 3, obtidos através de média aritmética dos três corpos de prova para cada composição.

Tabela 3. Resultados do ensaio de resistência à compressão axial

Traço	PAE	Resistência a comp. (MPa)		Desvio Padrão	
		7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
A	40%	5,83	6,59	0,32	1,82
B	30%	7,66	7,08	0,66	0,73
C	20%	16,67	12,89	0,79	1,36

Outra observação que pode ser feita analisando os resultados do ensaio de resistência a compressão axial é a pouca variação significativa entre os valores encontrados após 7 dias e os valores após 28 dias. Isso comprova uma das características dos geopolímeros, ou seja, o ganho de resistência de forma mais acelerada que os cimentos convencionais, apresentando em torno de 90% da resistência final já nos primeiros dias de cura.

A substituição da argila pelo PAE acarreta na diminuição das propriedades do geopolímero obtido, pois ao adicionar o PAE não é adicionado espécies químicas favoráveis a reação de geopolimerização, porém é realizado o encapsulamento dos materiais perigosos.

3.5 Análises físicas

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios físicos de absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente, dos corpos de prova com as composições de 40% (A), 30% (B) e 20% (C) de PAE em relação à massa total, com tempo de cura de 7 e 28 dias.

Tabela 4. Resultados dos ensaios físicos dos corpos de prova com 7 e 28 dias

Traço	Absorção Apar. (%)	Desv. Pad.	Porosidade Apar. (%)	Desv. Pad.	Densidade (g/cm ³)	Desv. Pad.
A – 7 dias	25,31	1,41	33,63	1,98	1,33	0,12
A – 28 dias	26,23	1,42	33,26	1,03	1,27	0,04
B – 7 dias	27,21	1,16	38,09	1,74	1,39	0,07
B – 28 dias	31,36	1,49	38,43	1,20	1,22	0,07
C – 7 dias	28,40	1,38	37,13	1,69	1,31	0,05
C – 28 dias	29,96	0,84	38,05	0,61	1,27	0,02

Das formulações de geopolímeros produzidas, o geopolímero que obteve menor variação de absorção de água foi o A, com 40% de PAE, do qual ao passar do tempo, ou seja, com maior período de cura apresentou um aumento de 0,92%. Seguido do traço C e B, que obtiveram um aumento de 1,56% e 4,15%, respectivamente.

Já em relação à porosidade aparente, o único que houve uma diminuição percentual ao decorrer do tempo foi o traço A, de 0,37%. Os demais apresentaram aumento inversamente proporcional ao percentual de PAE em relação à massa total, ou seja, o geopolímero B (30% de PAE) apresentou um aumento de 0,34%, enquanto o geopolímero C (20% de PAE) apresentou um aumento de 0,92% de porosidade aparente.

Por fim, ao analisar os resultados de densidade dos geopolímeros produzidos, pôde-se comprovar que todos apresentaram uma diminuição nos seus valores ao longo do tempo de cura, houve uma diminuição de 0,06% para A, 0,17% para B e 0,04% para C.

4 CONCLUSÃO

Com o estudo realizado, observou-se que quanto maior o percentual de pó de aciaria elétrica em relação à massa total, menor a resistência a compressão axial do geopolímero obtido. O que deve ser interpretado como apenas uma limitação ao uso em estruturas que exijam maiores esforços, ou seja, podendo atribuir outra funcionalidade dentre as diversas possibilidades existentes na indústria da construção civil. Faz-se válido lembrar, que essa restrição não se aplica a situação da qual houve utilização de 20% de pó de aciaria em relação à massa total, visto que foi obtida uma resistência equivalente ao material sem adição de PAE, em torno de 17MPa. A pesquisa está em andamento, já foram produzidos geopolímeros de formulações diferentes as apresentadas, com resultados de suas morfologias por microscopia eletrônica de varredura, resistência a exposição a temperaturas elevadas e ataque ácido. Demonstrando que o geopolímero obtido por meio de uso de PAE, é uma alternativa a sua destinação final, evitando malefícios oriundos de sua natureza nociva ao ser humano e meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- 1 Ely A. et al. Economia do meio ambiente. Secretaria de Coordenação e Planejamento do Estado. 1990; 4.
- 2 Basegio T, Berutti FA, Pokorny A, Garcia AP, Bernardes AM, Bergmann CP. Utilização de pó de aciaria no processo de fabricação de telhas cerâmicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia – UFRGS.

- 3 Buchwald A, Zellmann HD, Kaps C. Condensation of Aluminosilicate Gels: model system for geopolymer binders. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2011; 357(5): 1376-1382.
- 4 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Classificação de Resíduos. Rio de Janeiro: ABNT; 2004.
- 5 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT; 2015.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT; 2018.
- 7 Silva IMCB. Métodos de Preparação Industrial de Solventes e Reagentes Químicos. *Revista Virtual de Química*. 2012; 4(1): 73-82.