



Ministério da Educação – Brasil  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM  
Minas Gerais – Brasil  
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas  
ISSN: 2238-6424  
QUALIS/CAPES – LATINDEX  
Nº. 23 – Ano XI – 05/2023  
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

## **Estudo da pozolanicidade do resíduo de mineração proveniente da Companhia Brasileira de Lítio (CBL) para incorporação ao cimento Portland**

Pedro Henrique Amaral Lima  
Graduado em Engenharia Civil - UFVJM/MG - Brasil  
Discente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade da  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM  
<http://lattes.cnpq.br/3128359296518109>  
E-mail: [pedrohenriqueamaral11@hotmail.com](mailto:pedrohenriqueamaral11@hotmail.com)

Prof. DSc. Marcio Coutinho de Souza  
Doutor em Engenharia de Produção - UNIMEP/SP - Brasil  
Docente dos Programas de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade e  
Administração Pública da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
- UFVJM  
<http://lattes.cnpq.br/4954759031108819>  
E-mail: [marcio.souza@ufvjm.edu.br](mailto:marcio.souza@ufvjm.edu.br)

Prof. DSc. Leonardo Gonçalves Pedroti  
Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais - UENF/RJ - Brasil  
Docente na área de Materiais de Construção Civil para os cursos de Engenharia  
Civil e Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual do Norte Fluminense  
Darcy Ribeiro - UENF  
<http://lattes.cnpq.br/8770106216994640>  
E-mail: [leonardo.pedroti@ufv.br](mailto:leonardo.pedroti@ufv.br)

Prof. DSc. Stênio Cavalier Cabral  
Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais - UENF/RJ - Brasil  
Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade da  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM  
<http://lattes.cnpq.br/2452889693767673>  
E-mail: [stenio.cavalier@ufvjm.edu.br](mailto:stenio.cavalier@ufvjm.edu.br)

**Resumo:** O estudo teve como objetivo analisar os aspectos químicos referentes à pozolanicidade dos resíduos provenientes da CBL para serem utilizados como adição mineral ao cimento Portland. O resíduo gerado é resultante dos processos de extração de sais de lítio (carbonato de lítio e hidróxido de lítio) para comercialização, sendo proveniente do concentrado de espodumênio que inicialmente é calcinado para torná-lo suscetível ao ataque ácido, e em seguida é moído e sulfatado com ácido sulfúrico. Este material é lixiviado com água, sua polpa é filtrada e o resíduo sólido é um aluminossilicato/silicato de alumínio (SA). Nesse sentido, o SA foi avaliado seguindo os parâmetros da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 12653:2015, que estabelece os requisitos para materiais pozolânicos destinados ao uso com cimento Portland em argamassa, pasta e concreto. Os resultados indicam que o SA obedeceu parcialmente aos requisitos químicos para ser considerado um material pozolânico. Entretanto, torna-se necessária a avaliação dos requisitos físicos do material, tendo em vista que no índice de desempenho pozolânico de um determinado material, o efeito além de químico, também é físico.

**Palavras-chave:** Adição Mineral. Cimento Portland. Silicato de Alumínio. Desempenho Pozolânico.

## Introdução

O setor da indústria de mineração encontra-se presente em grande parte do mundo. Entretanto, o descarte incorreto dos resíduos industriais e o aumento da sua produção inconsciente tem acentuado significativamente os problemas nos grandes centros urbanos (PEDROSO, 2020).

Uma das alternativas encontradas para disposição adequada dos rejeitos é a sua associação em matrizes cimentícias como adição mineral, permitindo a experimentação de novos materiais como pozolanas em adição ou substituição parcial ao cimento Portland (BARBOSA, 2017; LANA, 2017).

Na presença de água, a pozolana reage com o hidróxido de cálcio, que é resultante da hidratação do cimento Portland, formando uma quantidade de silicato de cálcio hidratado a mais. Esse silicato de cálcio hidratado possui função essencial no processo de enrijecimento de matrizes cimentícias e comumente é designado como principal composto formado pela hidratação do cimento Portland (VAZZOLER, 2015).

No Brasil, a Companhia Brasileira de Lítio (CBL) é responsável pela lavra subterrânea de pegmatito litífero e no beneficiamento do espodumênio – mineral esverdeado do qual é retirado o lítio – nos municípios de Araçuaí e Itinga, em Minas Gerais.

Nesse contexto, uma grande quantidade de resíduos sólidos ricos em sílica

e alumina oriundos do processo de obtenção de sais de lítio (carbonato de lítio e hidróxido de lítio) através do minério de espodumênio é gerada e acumulada em virtude da inutilização por parte da indústria mineradora supracitada. Em síntese, o resíduo é proveniente do concentrado de espodumênio que inicialmente é calcinado para torná-lo suscetível ao ataque ácido, e em seguida é moído e sulfatado com ácido sulfúrico. Este material é lixiviado com água, sua polpa é filtrada e o resíduo sólido é um aluminossilicato/silicato de alumínio (SA) (CBL, 2022).

Destarte, o estudo teve como objetivo analisar os requisitos químicos voltados à pozolanidade dos resíduos provenientes da CBL para serem utilizados como adição mineral ao cimento Portland. Para atingir esse objetivo, tomou-se como base os parâmetros da ABNT NBR 12653:2015 “Materiais Pozolânicos – Requisitos” e demais normas complementares.

## **Revisão de Literatura**

O elevado grau de reconhecimento de que as características dos materiais cimentícios apresentam capacidade de serem melhoradas a partir da adição de alguns elementos tem sido responsável pelo amplo avanço da indústria de aditivos e adições nas últimas décadas (ANDRADE, 2017).

Esse avanço está atrelado à implantação de novos materiais seja no que se refere à substituição ou adição no concreto ou no próprio cimento visando o aprimoramento das propriedades mecânicas e na redução dos impactos ambientais gerados na fabricação do clínquer (MARTINS, 2018).

Devido ao efeito de enchimento das partículas de sílica contida nessas adições e à reação pozolânica da sílica com  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  gerado pela hidratação do cimento, as adições minerais podem efetivamente melhorar a microestrutura, propriedades mecânicas e durabilidade do concreto produzido (LI *et al.*, 2017).

De acordo com Dal Molin (2011), as adições minerais são classificadas quanto à sua reação físico-química, sendo elas: materiais pozolânicos, cuja composição apresenta sílica e/ou alumina, e que quando moídos e expostos à água, reagem com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento exibindo aspectos aglomerantes; materiais cimentantes, que se caracterizam em decorrência da ausência de hidróxido de cálcio no cimento para constituírem produtos como C-S-H

(silicato de cálcio hidratado) – no entanto, a hidratação acontece lentamente e a qualidade dos produtos cimentantes confeccionados é inviável para uso do material com finalidades estruturais; e *filler*, que se apresenta como um material finamente moído e ausente de atividade química, em que sua reação está vinculada ao efeito físico de empacotamento granulométrico.

Em relação aos materiais pozolânicos, estes são frequentemente utilizados para substituir parcialmente o cimento Portland comum, uma vez que a sua finalidade principal consiste na obtenção de melhores propriedades de concretos ou argamassas dependendo da necessidade de um usuário, além de diminuir o custo em razão da redução no uso de cimento na mistura de concreto. Vários materiais pozolânicos, tais como cinza volante, cinza de bagaço, cinza de óleo de palma e cinza de casca de arroz foram estudados e analisados o potencial de utilização no setor da indústria cimentícia (ABDULMATIN; TANGCHIRAPAT; JATURAPITAKKUL, 2018).

A ABNT NBR 12653:2015 - Materiais pozolânicos – Requisitos, por sua vez, estabelece a definição de materiais pozolânicos como:

Materiais silicosos ou silicoaluminosos que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma propriedade ligante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades ligantes (NBR 12653:2015, p. 2).

A ABNT NBR 12653:2015 também estabelece os requisitos para materiais pozolânicos destinados ao uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta. Nela estão definidas a classificação de uma pozolana (Quadro 1); os requisitos químicos (Tabela 1); e os requisitos físicos (Tabela 2).

**Quadro 1 – Classificação das Pozolanas**

| <b>Classe</b> | <b>Materiais que obedecem aos requisitos</b>   |
|---------------|--|
| N             | Pozolanas naturais e artificiais, como materiais vulcânicos petrográficos ácidos, <i>cherts</i> silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas |
| C             | Cinzas volantes produzidas pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas  |
| E             | Qualquer pozolana cujos requisitos difiram das classes anteriores  |

**Fonte:** NBR 12653 (ABNT, 2015). Adaptado.

**Tabela 1 – Requisitos Químicos dos Materiais Pozolânicos**

| Propriedades (%)   | Classe de Material Pozolânico |        |        |
|--|-------------------------------|--------|--------|
|  | N                             | C      | E      |
| SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ≥ 70,0                        | ≥ 70,0 | ≥ 50,0 |
| SO <sub>3</sub>  | ≤ 4,0                         | ≤ 5,0  | ≤ 5,0  |
| Teor de umidade  | ≤ 3,0                         | ≤ 3,0  | ≤ 3,0  |
| Perda ao fogo  | ≤ 10,0                        | ≤ 6,0  | ≤ 6,0  |
| Álcalis disponíveis em Na <sub>2</sub> O   | ≤ 1,5                         | ≤ 1,5  | ≤ 1,5  |

Fonte: NBR 12653 (ABNT, 2015). Adaptado.

**Tabela 2 – Requisitos Físicos dos Materiais Pozolânicos**

| Propriedade   | Classe de material pozolânico |        |        |
|---|-------------------------------|--------|--------|
|   | N                             | C      | E      |
| Material retido na peneira 45 µm (%)  | < 20,0                        | < 20,0 | < 20,0 |
| Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, em relação ao controle (%) | ≥ 90,0                        | ≥ 90,0 | ≥ 90,0 |
| Atividade pozolânica com cal aos 7 dias (MPa)                                     | ≥ 6,0                         | ≥ 6,0  | ≥ 6,0  |

Fonte: NBR 12653 (ABNT, 2015). Adaptado.

É válido enfatizar que existem ainda ensaios não indicados pela ABNT NBR 12653:2015 comumente utilizados na avaliação de pozolanidade dos materiais. Dentre eles estão: o ensaio de Chapelle modificado, regido pela NBR 15895 (ABNT, 2010) – que indica o teor de hidróxido de cálcio fixado pela pozolana; o ensaio de Luxán, Madruga e Saavedra (1989) – que está relacionado à medição da variação da condutividade elétrica do material; e o ensaio de Fratini, normatizado pela NBR 5753 (ABNT, 2016) – que avalia a pozolanidade de cimentos pozolânicos.

## Metodologia Experimental

Para esse artigo foram aplicados diversos métodos experimentais, que serão discutidos nas próximas seções.

## Fluorescência de Raios-X (FRX)

Através desta técnica foi realizada a análise química semi-quantitativa no resíduo de SA. Em síntese, a Fluorescência de Raios-X (XRF do inglês X-Ray

Fluorescence) é uma técnica de análise multielementar não destrutiva que consiste em medir a intensidade de energia dos raios-X característicos emitidos por uma amostra a fim de obter a composição química da mesma por meio de espectros (LUIZ *et al.*, 2019). Para isso, foram necessários 100 g de material passante em peneira de 200 *mesh*, e foi utilizado um espectrofotômetro de fluorescência de raios-X da marca UNICAM, modelo Solar 969, do SENAI – Unidade de Criciúma/SC – Centro de Tecnologia em Materiais – Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais.

### **Perda ao Fogo**

Os valores de perda ao fogo estão relacionados à oxidação de matéria orgânica, decomposição de carbonatos, sulfetos e hidróxidos presentes em um determinado material (VIEIRA; SÁNCHEZ; MONTEIRO, 2008). Nesse sentido, a perda ao fogo do SA foi determinada através da obtenção das massas antes e depois de aquecimento. Para isto, a amostra seca foi aquecida em um forno tipo mufla até 1000°C, com uma taxa de 10°C/min e mantido por 1h no patamar. Ao final do ensaio e já em temperatura ambiente, a massa foi medida para avaliar a perda ao fogo.

### **Teor de Álcalis disponíveis em Óxido de Sódio (Na<sub>2</sub>O)**

Esse ensaio teve como objetivo determinar o teor de álcalis liberados pelos materiais pozolânicos quando em reação com o hidróxido de cálcio, conforme preconiza a ABNT NBR NM 25:2003 – “Materiais pozolânicos – Determinação do teor de álcalis disponíveis.” A partir das porcentagens obtidas no ensaio FRX, pôde-se determinar os percentuais de álcalis disponíveis em Na<sub>2</sub>O por meio da Equação 1:

$$Na_2O_{resultante} = Na_2O + 0,658.K_2O \quad (1)$$

Onde:

$Na_2O_{resultante}$  – corresponde ao percentual de álcalis disponíveis em Na<sub>2</sub>O no material pozolânico (%);

$Na_2O$  – corresponde ao teor de óxido de sódio presente na amostra (%);

$K_2O$  – corresponde ao teor de óxido de potássio presente na amostra (%);

0,658 – corresponde ao fator de transformação estequiométrico de  $K_2O$  em  $Na_2O$ .

### Teor de Umidade

A determinação do teor de umidade do resíduo de SA foi realizada a partir da metodologia prescrita pela ABNT NBR 17051:2022. Cerca de 1 g da amostra foi acomodada em recipiente de porcelana de massa conhecida. Posteriormente, o recipiente com a amostra foi colocado em estufa a uma temperatura de 110°C e mantido até que a diferença entre duas determinações sucessivas fosse menor do que 0,001 g, respeitando um período mínimo de secagem inicial de 30 minutos e um intervalo de 10 minutos entre as medições consecutivas posteriores, até não haver variação da massa maior que 0,001 g. Logo, o teor de umidade do material pozolânico foi calculado a partir da Equação 2, a seguir:

$$U = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$U$  – corresponde à umidade da amostra (%);

$m_1$  – corresponde à massa da amostra, antes da secagem (g);

$m_2$  – corresponde à massa da amostra, após a secagem (g).

### Resultados e Discussões

Os resultados e discussões tomaram como base os ensaios discutidos na metodologia experimental e serão detalhados nas próximas seções.

### Fluorescência de Raios-X

A Tabela 3 mostra a composição química em óxido do resíduo SA (% em peso) analisado. É válido destacar que o ensaio de Fluorescência de Raios-X foi necessário para avaliar o atendimento do silicato de alumínio (SA) quanto aos requisitos químicos

estabelecidos pela ABNT NBR 12653:2015.

**Tabela 3 – Composição em óxidos do SA (% em peso) por FRX**

| <b>Componente químico</b>      | <b>SA (%)</b> |
|--------------------------------|---------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 57,821        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23,653        |
| CaO                            | 7,436         |
| SO <sub>3</sub>                | 3,182         |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,720         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,569         |
| K <sub>2</sub> O               | 0,314         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,220         |
| MgO                            | 0,077         |
| SrO                            | 0,074         |
| MnO                            | 0,068         |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,055         |
| Perda ao Fogo                  | 7,573         |

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Analisando a Tabela 3, enfatiza-se a porcentagem de dióxido de silício - SiO<sub>2</sub> (57,821%), óxido de alumínio - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (23,653%) e óxido férrico - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,569%), sendo que o somatório desses valores corresponde a um percentual de 82,043%. O valor elevado desta soma abre a possibilidade de aplicação desse rejeito como material pozzolânico de classe N, C ou E, visto que a somatória das porcentagens dos óxidos citados acima é maior que 50% (para classe E) e 70% (para classe N ou C).

Ressalta-se que o resultado da soma dos óxidos SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presentes na composição do SA ficou dentro do intervalo obtido pela literatura para outros materiais silicosos e/ou silicoaluminosos. A exemplo, Moraes (2019) obteve um valor de 78,84% para a cinza da folha de bambu. Para o mesmo material, o autor Menegat (2020) apresentou em seu trabalho um percentual de 79,78% para a soma dos óxidos mencionados.

Para mais, de acordo com os dados da Tabela 1, para ser considerado um material pozzolânico de classe N, a porcentagem de óxido sulfúrico (SO<sub>3</sub>) no material deve ser igual ou inferior a 4%, enquanto para ser considerado um material pozzolânico de classe C ou E, a porcentagem de SO<sub>3</sub> no material deve ser igual ou inferior a 5%,



haja vista que a presença desse componente químico em quantidades superiores às indicadas na norma pode afetar as matrizes cimentícias.

Sendo assim, o material analisado (SA) atende ao requisito químico mencionado, uma vez que o percentual encontrado de  $\text{SO}_3$  foi de 3,182% através da análise química por FRX. A priori, o material poderia ser aplicado como material pozolânico de classe N, C ou E, visto que o percentual de  $\text{SO}_3$  é menor que 4%.

### **Perda ao Fogo**

De acordo com o que estabelece a ABNT NBR 12653:2015, para um material ser considerado como pozolânico de classe N, este deve apresentar valor de perda ao fogo igual ou inferior a 10%, e valor de perda ao fogo igual ou inferior a 6% para pozolanas de classe C ou E.

Através da Tabela 3 pôde-se constatar que o resíduo em análise apresentou uma perda ao fogo equivalente a 7,573%. Esse valor, de acordo com os requisitos químicos apresentados na Tabela 1, encontra-se dentro do limite estabelecido pela ABNT NBR 12653:2015. Dessa forma, considerando o parâmetro perda ao fogo, o rejeito de SA poderia ser aplicado como material pozolânico de classe N.

O autor Tashima (2006) encontrou resultado de perda ao fogo para a cinza da casca de arroz e para a sílica ativa, objetos de estudo da sua pesquisa, de 5,28% e 4,61%, respectivamente. Ambos os materiais abriram possibilidade de aplicação como pozolana do tipo N, C ou E. Num estudo recente desenvolvido por Silva (2020), a perda ao fogo obtida para a cinza da casca de arroz foi de 5,35%.

### **Teor de Álcalis Disponíveis em óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ )**

A partir do ensaio de Fluorescência de Raios-X tem-se que o percentual de óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) equivale a 0,720% e o percentual de óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) corresponde a 0,314%. Pela Equação 1, o teor de álcalis disponível no resíduo de SA é igual a 0,93%. O valor encontrado obedece aos limites estabelecidos pela ABNT NBR 12653:2015, que preconiza para as três classes de material pozolânico (N, C e E) um teor desejável igual ou inferior a 1,5% de álcalis disponíveis em  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Em comparação com outros trabalhos apresentados na literatura, o resíduo de

cerâmica vermelha (RCV) analisado no trabalho de Fernandes (2018) apresentou teor de álcalis disponíveis em  $\text{Na}_2\text{O}$  abaixo do limite estabelecido por norma, atingindo um valor de 1,20%. Laureano (2014) encontrou o mesmo resultado para a lama vermelha em seu estudo. Em Aguas (2014), esse teor foi de 0,17% para a sílica ativa.

### Teor de Umidade

Tanto a nível nacional quanto internacional, é requisitado para materiais pozolânicos um teor de umidade inferior ou igual a 3%. Para essa análise, duas amostras dispostas em cadinhos de porcelana (1 e 2) foram ensaiadas para avaliação da umidade do resíduo de SA, conforme mostra a Figura 1.

**Figura 1 – Amostras 1 e 2 para o ensaio de teor de umidade**



Fonte: Acervo digital dos autores.

**Tabela 4 – Ensaio de teor de umidade para o SA**

| Parâmetros  | Amostra 1 | Amostra 2 |
|---|-----------|-----------|
| Massa do cadinho (g)  | 37,270    | 45,072    |
| Massa da amostra antes da secagem (g)                         | 10,015    | 10,330    |
| Massa do cadinho (g) + massa da amostra depois da secagem (g) | 46,624    | 54,734    |
| Umidade (%)   | 6,60      | 6,47      |

Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com a Tabela 4, o SA apresenta teor de umidade médio equivalente a 6,535%. Em comparação à Tabela 1, o rejeito apresenta umidade superior ao limite

estabelecido pela ABNT NBR 12653:2015. Sendo assim, para que o material possa ser empregado como material pozolânico, é necessário que o rejeito seja submetido a etapas de secagem para que a porcentagem de umidade esteja reduzida em até 3%, que é o teor limite estipulado pela norma.

No estudo de Mitri *et al.* (2018), voltado para análise da caracterização pozolânica do resíduo de rochas ornamentais, o respectivo material passou pelo processo de secagem em estufa a  $100 \pm 5^\circ\text{C}$  para retirada de toda a umidade e atingir o percentual de 0,0%, apresentando resultado satisfatório em relação ao limite preconizado pela ABNT NBR 12653:2015.

### **Considerações Finais**

A partir dos ensaios laboratoriais e análises realizadas pode-se concluir que o resíduo silicato de alumínio (SA) em estudo atendeu parcialmente aos requisitos químicos definidos pela ABNT NBR 12653:2015.

O somatório dos óxidos  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  obtido por FRX foi de 82,043%. Conforme a norma para material pozolânico de classe N ou C, o somatório de tais óxidos deve ser igual ou superior a 70%, e de classe E, igual ou superior a 50%. Já em relação ao percentual de  $\text{SO}_3$ , para o SA foi encontrado um teor de 3,182%. Quanto ao teor de álcalis disponíveis em  $\text{Na}_2\text{O}$ , o valor encontrado foi igual a 0,93%. Nesse sentido, os critérios supracitados foram atendidos.

A perda ao fogo do material (7,573%) é maior que o limite estabelecido pela norma para materiais pozolânicos de classe C ou E, que é de 6%. No entanto, devido ao resultado obtido, o SA apresenta possibilidade de ser aplicado como pozolana de classe N, que exige um percentual de perda ao fogo menor ou igual a 10%.

O SA apresentou teor de umidade médio igual a 6,535% e o limite máximo estabelecido é de 3% para materiais pozolânicos de classe N, C ou E. Entretanto, é possível atingir este valor com operações de secagem do material. Em síntese, caso este último requisito químico citado atendesse às exigências da ABNT NBR 12653:2015 em conjunto aos outros parâmetros químicos obtidos, o resíduo de SA poderia ser aplicado como material pozolânico de classe N.

Convém salientar que embora o resíduo SA tenha atendido parcialmente aos requisitos químicos estabelecidos por norma, a pozolanicidade também deve ser

avaliada através dos requisitos físicos preconizados, uma vez que no índice de desempenho pozolânico de um material, o efeito além de químico, também é físico. Nesse sentido, outros aspectos são levados em consideração, tais como: tamanho das partículas, reatividade, resistência mecânica, além de outros.

Em suma, pode-se afirmar que o material não atende a todas as demandas normatizadas pela ABNT NBR 12653:2015 quanto aos requisitos químicos, no entanto, suas características físicas podem permitir sua utilização em associação aos parâmetros químicos. À vista disso, sugere-se a necessidade de estudos complementares a fim de otimizar o desempenho desse material em compósitos com potencial uso em pastas, argamassas e concretos visando a sua durabilidade.

## Referências

ABDULMATIN, Akkadath, TANGCHIRAPAT, Weerachart, JATURAPITAKKUL, Chai. An investigation of bottom ash as a pozzolanic material. *Construction and Building Materials*, v. 186, p. 155-162, 2018.

AGUAS, Marcia Ferreira Fortes. *Influência da adição de cinza de bagaço de cana na reação álcali-silica*. 2014. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

ANDRADE, Daniel da Silva. *Microestrutura de pastas de cimento Portland com nanossílica coloidal e adições minerais altamente reativas*. 2017. 319 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 25: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de álcalis disponíveis*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5753: Cimento Portland – Ensaio de pozolanidade para cimento Portland pozolânico*. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12653: Materiais Pozolânicos – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15895: Materiais Pozolânicos - Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado*. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 17051: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de umidade*. Rio de Janeiro, 2022.

BARBOSA, Jairo Mendes. *A influência da moagem na atividade pozolânica do resíduo de granito*. 2017. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

COMPANHIA BRASILEIRA DE LÍTIO (CBL). Conheça a CBL – Companhia Brasileira de Lítio. 2022. Disponível em: <https://cblitio.com.br/>. Acesso em: 02 jun. 2022.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Adições Minererais. In: ISAIA, Geraldo Cechella. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1. p. 261-310.

FERNANDES, Ana Júlia Maciel Marinho. *Influência do teor de sílica e alumina no comportamento pozolânico de materiais cimentícios suplementares*. 2018. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Unidade Acadêmica de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

LANA, Sâmyla Cotta. *Avaliação da atividade pozolânica do resíduo de corte de ardósia*. 2017. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

LAUREANO, Jorge Luíz. *Redução da alcalinidade disponível da lama vermelha mediante composição com argilas para uso como aditivo suplementar ao cimento portland*. 2014. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014.

LI, L. G. *et al.* Combined effects of micro-silica and nano-silica on durability of mortar. *Construction and Building Materials*, v. 157, p. 337-347, 2017.

LUIZ, Leandro da Conceição *et al.* Uso de Fluorescência de Raios X (XRF) para fins de comparação entre a composição elementar da barba de timão [*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville] com outras pomadas cicatrizantes. *Revista Brasileira de Ciências da Saúde*, v. 23, n. 2, p. 173-178, 2019.

LUXÁN, M. P. de, MADRUGA, F., SAAVEDRA, J. Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. *Cement and Concrete Research*, v. 19, n. 1, p. 63-68, 1989.

MARTINS, Gabriel Lima Oliveira. *Influência do teor de sílica amorfa na atividade pozolânica de adições minerais altamente reativas*. 2018. 131 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MENEGAT, Isabelli. *Produção e análise da cinza da folha de bambu como um potencial material pozolânico para fins geotécnicos*. 2020. 93 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2020.

MITRI, S. H. M. *et al.* Assessment of the pozzolanic activity of ornamental stone waste after heat treatment and its effect on the mechanical properties of concretes. *IBRACON*, v. 11, n. 6, p. 1186-1207, 2018.

MORAES, Maria Júlia Bassan de. *Estudo do potencial da cinza de folha de bambu para sua utilização como material pozolânico e sustentável em matrizes cimentantes*. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019.

PEDROSO, Daniela Evaniki. *Aproveitamento do rejeito de minério de ferro em compósitos para construção civil*. 2020. 115 f. Tese (Doutorado na área de concentração de Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

SILVA, Juliana Oliveira da. *Caracterização da cinza da casca de arroz visando aplicação na confecção de materiais alternativos para construção civil*. *Revista de Ciências Ambientais*, Canoas, v. 14, n. 1, p. 17-23, 2020.

TASHIMA, Mauro Mitsuuchi. *Cinza de Casca de Arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland*. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

VAZZOLER, Janaína dos Santos. *Investigação de potencialidade pozolânica do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais após tratamento térmico para produção de pasta cimentícia*. 2015. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

VIEIRA, C. M. F.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S. N. Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Construction and building materials*, v. 22, p. 781-787, 2008.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

[www.ufvjm.edu.br/vozes](http://www.ufvjm.edu.br/vozes)

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524

ISSN: 2238-6424