

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE CIMENTO ÁLCALI ATIVADO OBTIDO A PARTIR DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E CINZA DE CASCA DE ARROZ**DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.V-006>**Luciana Silvino Virgolino (*), Samanta Ferreira Azevedo, Élen Cristina Galdino de Sena, Fabrício Aurélio Fernandes Braga, Aedjota Matos de Jesus*** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – IFRO Campus Calama
luciana.s.virgolino@htomail.com**RESUMO**

O objetivo desta pesquisa é desenvolver e avaliar as propriedades dos cimentos álcali ativados obtidos a partir de lodo de Estação de Tratamento de Água e cinza da casca de arroz. Para tanto foram desenvolvidos cimentos álcali ativados variando a relação molar entre sílica e alumina e mantendo constante a molaridade do ativado alcalino a base de hidróxido de sódio. Os precursores sólidos foram caracterizados por meios das análises térmica (TG e DTA), química (FRX) e física (DRX). As pastas de cimentos foram analisadas em função da absorção de água e resistência à compressão, de acordo com as orientações normativas da ABNT. Os resultados mostraram que os materiais utilizados são adequados para desenvolvimentos de cimentos álcali ativados, visto que possuem característica de materiais amorfos e são ricos em sílica e alumina. Quanto as propriedades das pastas de cimento álcali ativados, observou-se que o aumento da relação molar entre sílica e alumina de 3,0 para 3,5 nas dosagens dos cimentos promoveu um aumento na absorção de água (7,47%) e na resistência à compressão (10,75%), tal que foram produzidos cimentos com resistência superior à 8 MPa. Isso permite concluir que o lodo de Estação de Tratamento de Água e cinza da casca de arroz são ambientalmente viáveis para o desenvolvimento de cimentos álcali ativados.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos industriais, Resíduos agroindustriais, Sustentabilidade.**ABSTRACT**

The objective of this research is to develop and evaluate the properties of activated alkali cements obtained from water treatment plant sludge and rice husk ash. For this purpose, activated alkali cements were developed by varying the molar ratio between silica and alumina and keeping the molarity of the alkaline activated sodium hydroxide base constant. The solid precursors were characterized by means of thermal (TG and DTA), chemical (FRX) and physical (XRD) analysis. Cement pastes were analyzed in terms of water absorption and compressive strength, in accordance with ABNT's normative guidelines. The results showed that the materials used are suitable for the development of activated alkali cements, since they have characteristics of amorphous materials and are rich in silica and alumina. As for the properties of activated alkali cement pastes, it was observed that the increase in the molar ratio between silica and alumina from 3.0 to 3.5 in the cement dosages promoted an increase in water absorption (7.47%) and in the compressive strength (10.75%), such that cements with strength greater than 8 MPa were produced. This allows to conclude that the sludge from the Water Treatment Plant and rice husk ash are environmentally viable for the development of activated alkali cements.

KEY WORDS: Industrial waste, Agro-industrial waste, Sustainability.**INTRODUÇÃO**

A produção de cimento Portland em 2016 representou cerca de 24,9% do CO₂ produzido pelo Brasil (BRASIL, 2020). Esse fato vem preocupando a indústria da construção civil que, por conta de políticas públicas ambientais, buscam alternativas com intuito de reduzir a emissão de gases poluentes e até mesmo substituir esse material. Para tanto, são desenvolvidos novos compostos que se assemelham ou superem o cimento Portland em características, como a resistência à compressão e a durabilidade. Entre esses compostos, podem-se destacar os mais promissores: cimentos álcali ativado e geopolimérico (STACHERA JUNIOR, 2008).

Tanto o cimento álcali ativado quanto o cimento geopolimérico são obtidos a partir de uma fonte de aluminossilicato, que reage com uma solução ativadora alcalina e resulta em uma policondensação (PINTO, 2006). A fonte de aluminossilicato pode ser diversos materiais, como caulinita (PINTO, 2006), para cimento geopolimérico ou outros materiais para cimentos álcali ativados, como resíduo de caulim (BRITO et al., 2019), escória de alto forno (SILVA et al., 2014), lodo de estação de tratamento de água (JESUS; VIEIRA; VIEIRA, 2020), entre outros. Além disso, pode-se ainda utilizar na produção



de geopolímero e cimentos álcali ativado uma fonte complementar de sílica alternativa, como a cinza de casca de arroz (APOLONIO, 2017).

Tendo em vista a disponibilidade regional dos resíduos lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz, que são precursores sólidos adequados para produção de cimento álcali ativado, se faz necessário desenvolvimentos de estudos para aproveitamentos desses resíduos. Uma das alternativas é o desenvolvimento de matrizes cimentícias a partir desses precursores com o intuito de dar uma destinação ambientalmente adequada ao lodo de estação de tratamento de água e cinza da casca de arroz.

OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é desenvolver e avaliar as propriedades dos cimentos álcali ativados obtidos a partir de lodo de estação de tratamento de água e cinza da casca de arroz. Para isso, inicialmente foi realizada a caracterização dos precursores, em seguida o planejamento experimental para desenvolvimento das pastas cimentícias e, por fim, avaliação das propriedades física e mecânica das pastas de cimento álcali ativado.

METODOLOGIA

Materiais

Para a produção da pasta cimentícia álcali ativada foi utilizado o lodo de estação de tratamento (LETA) coletado na estação de tratamento de água de Porto Velho-RO, como fonte de Al_2O_3 e SiO_2 . Já como fonte complementar de SiO_2 foi utilizada a cinza de casca de arroz. Além disso, utilizou-se o hidróxido de sódio (NaOH), como ativador alcalino.

Inicialmente coletou-se 40 litros de LETA na Companhia de Águas e Esgotos (CAERD), localizada em Porto Velho-RO, em seguida o material foi seco com o auxílio de uma estufa a $105^\circ C$, até a constância da massa. Após a secagem, o material foi moído utilizando almofariz e o pistilo e com auxílio de pincel foi peneirado na peneira de abertura de 150 micrômetros, tal que foi utilizado apenas o material passante na peneira. Posteriormente o material foi calcinado em forno mufla por 3 horas a temperatura de $750^\circ C$, conforme recomenda Jesus (2018).

A suplementação de sílica do cimento álcali ativado foi feita a partir do ativador alcalino, para isso foi realizada a diluição de sílica na forma de cinza de casca de arroz na solução de hidróxido de sódio previamente preparada.

O LETA tanto natural quanto calcinado, bem como a cinza de casca de arroz foram analisados por meio das técnicas de termogravimetria (TG), difração de raio X (DRX) e fluorescência de raios X (FRX), no intuito de caracterizar os materiais quanto ao comportamento térmico, identificação das fases cristalinas e composição química, respectivamente.

Planejamento experimental e preparo da pasta e corpos de prova

A dosagem do cimento álcali ativado foi realizada baseando-se em dois parâmetros: concentração do ativador alcalino e relação molar entre sílica e alumina. Para tanto, foram desenvolvidos cimentos álcali ativados com concentração igual a 10 molar e relação molar entre sílica e alumina igual 3,0 e 3,5, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Planejamento e dosagem dos cimentos álcali ativados.
Fonte: Autor do trabalho.

Cimentos	Razão molar entre SiO_2 e Al_2O_3	Molaridade da solução de NaOH
CAA-3,0	3,0	10
CAA-3,5	3,5	10

Os cimentos álcali ativados foram caracterizados apenas no estado endurecido, conforme recomendações das normas técnicas apresentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Para tanto, foram analisadas a absorção de água e a resistência mecânica à compressão axial aos 7 dias de cura em temperatura ambiente.

O preparo da pasta de cimento álcali ativado consistiu primeiramente no preparo da solução ativadora pela diluição da cinza da casca de arroz em solução de hidróxido de sódio de 10 molar em béquer sobre um agitador magnético à $90^\circ C$ por 15 minutos, conforme adaptações da metodologia desenvolvida por Jesus, Vieira e Vieira (2020). Depois que a solução esfriou, foi realizado a mistura da solução ativadora com LETA calcinado em um liquidificador, para isso



adicionou-se a solução alcalina e depois colocou-se o LETA e acionou-se o equipamento por 3 minutos, quando houve a completa homogeneização da pasta.

Para moldagem dos corpos de provas foram utilizados moldes cilíndricos de PVC com diâmetro de 25 mm e 50 mm de altura. Os corpos de provas foram moldados imediatamente após a homogeneização, tal que foram moldados seis corpos de prova para cada dosagem, que foram curados em temperatura ambiente até o dia dos ensaios de compressão axial e absorção de água.

RESULTADOS

Na Figura 1 tem-se o comportamento o resultado do comportamento térmico do LETA, no qual se observa na curva TG uma perda de massa de aproximadamente 50%, que é oriunda majoritariamente devido a combustão da carga orgânica presente no LETA. Além disso, observa-se na curva de DTA mostra um evento exotérmico, que correspondente a oxidação da matéria orgânica, que tem pico em torno de 400°C.

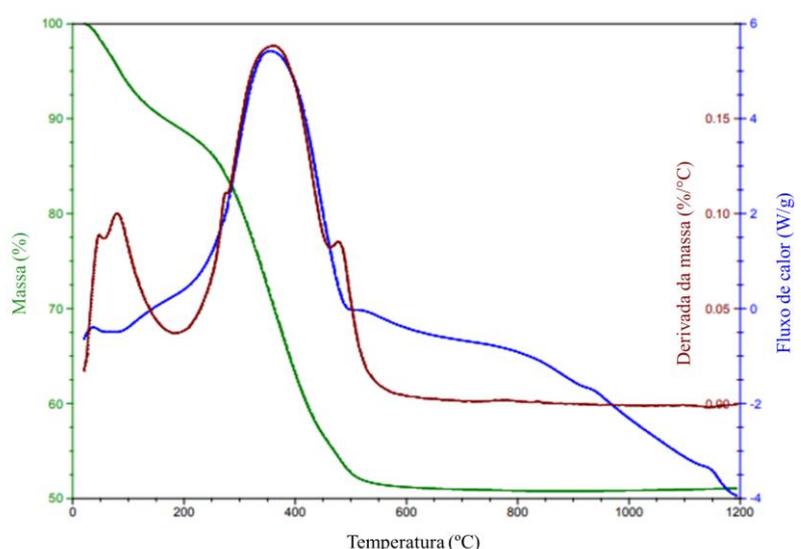


Figura 1. Comportamento térmico do lodo de Estação de Tratamento de Água.

Fonte: Autor do trabalho.

Na Tabela 2 estão as composições químicas expressas em quantidade percentual de óxidos do LETA e da cinza de casca de arroz (CCA). Observa-se, que tanto o LETA quanto a CCA, podem ser classificados em função da composição química como pozolanas, visto que a somatória de óxidos de ferro, silício e alumínio é superior a 70%.

Tabela 2. Composição química do LETA e CCA.

Fonte: Autor do trabalho.

Óxidos (%)	LETA calcinado	CCA
SiO ₂	44,25	96,31
Al ₂ O ₃	40,19	0,12
Fe ₂ O ₃	10,53	0,07
CaO	0,31	0,49
TiO ₂	0,78	0,01
K ₂ O	1,16	0,75
P ₂ O ₅	0,55	0,65



Outros	2,23	1,60
--------	------	------

Na figura 2 tem-se os difratogramas do LETA e da CCA, no qual se observa predominantemente alguns picos residuais quartzo. Além disso, consta-se que ambos materiais possuem alos característicos de materiais amorfos, portanto, que são materiais reativos.

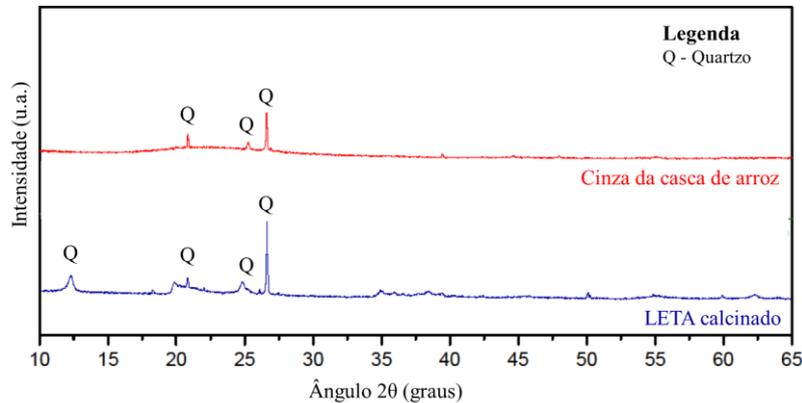


Figura 2. Difratogramas do LETA calcinado e da cinza da casca de arroz.
Fonte: Autor do trabalho.

Quanto a absorção de água dos cimentos álcali ativados, observa-se que quanto maior a relação molar entre sílica e alumina maior é a absorção de água, conforme mostra a Figura 3. A absorção de água geralmente está associada a massa específica dos materiais, tal que quanto menor a massa específica, maior tende a ser a absorção de água. Isso leva a deduzir que o cimento álcali ativado com relação molar entre sílica e alumina igual à 3,5 possui menor massa específica.

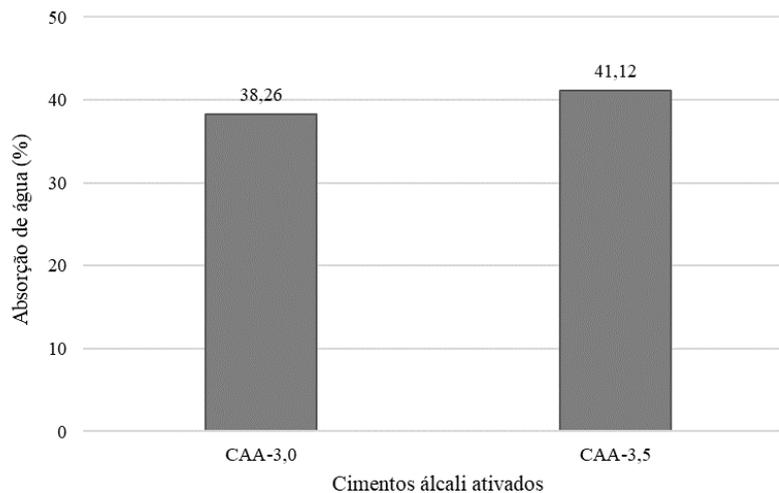


Figura 3. Absorção de água dos cimentos álcali ativados desenvolvidos. Fonte: Autor do trabalho.

Na figura 4 tem-se a resistência média à compressão dos corpos de provas dos cimentos álcali ativados desenvolvidos neste estudo. Observa-se que a resistência à compressão foi maior no cimento álcali ativado com relação molar entre sílica e alumina igual à 3,5.

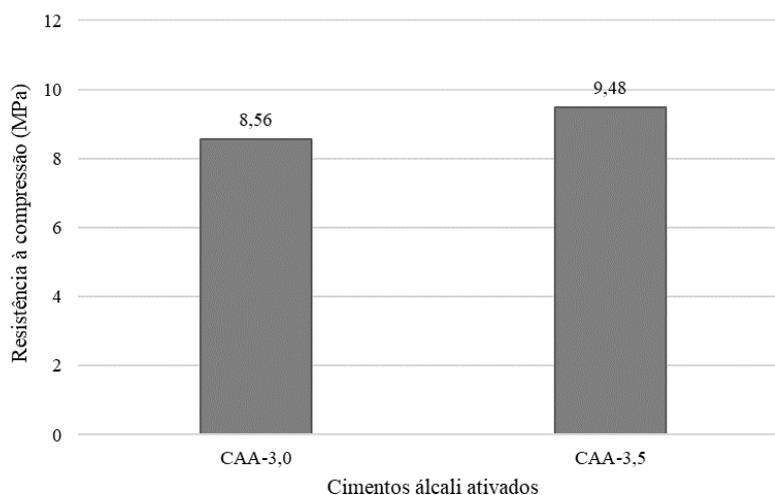


Figura 4. Resistências à compressão dos cimentos álcali ativados desenvolvidos. Fonte: Autor do trabalho.

Observa-se que ao aumentar a relação entre sílica e alumina do cimento álcali ativado ocorreu uma redução da resistência à compressão, conforme já observado por Apolonio *et al.* (2020) e Jesus, Vieira e Vieira (2020), que desenvolveram cimentos álcali ativados com diferentes relações entre sílica e alumina.

CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou as propriedades física e mecânica de cimentos álcali ativados obtidas a partir do lodo calcinado oriundo da Estação de Tratamento de Água de Porto Velho – RO e cinza de casca de arroz. A caracterização dos insumos mostra que os materiais utilizados possuem características adequadas para desenvolvimentos de matrizes cimentícias, visto que possuem composição química de materiais pozolânicos e difratogramas com alos amorfos.

A partir do ensaio de absorção de água, constatou-se que os cimentos álcali ativados desenvolvidos neste estudo possuem elevada capacidade de absorção de água (acima de 38%), o que pode ser prejudicial, visto que o alto teor de absorção de água pelo cimento pode reduzir sua resistência significativamente, bem como a vida útil de estruturas construídas com cimentos com essa característica.

As resistências à compressão dos cimentos álcali ativados desenvolvidos a partir de LETA e CCA foram superiores à 8MPa, tal que houve um aumento de 10,75% na resistência à compressão quando se aumentou a relação molar entre sílica e alumina de 3,0 para 3,5. No entanto, os cimentos desenvolvidos não são adequados para fins estruturais na construção civil, visto que possuem resistência menor que 25 MPa. Todavia, esses cimentos podem ser aplicados a argamassas e concretos sem fins estruturais, como argamassas de emboço e concreto de piso.

Ressalta-se que foi desenvolvido um material com baixa emissão de CO₂, quando comparado com a produção de cimento Portland. Além disso, o cimento álcali ativado produzido é ambientalmente adequado, uma vez que colabora com a destinação alternativa para os resíduos provenientes do tratamento de água, que são geralmente destinados a aterros, lançados em rios ou acumulados nas próprias estações de tratamento de água. Além disso, ao ser utilizado para produção de um novo material, o LETA agrega-se valor aos resíduos industriais, o que poderá ser uma nova fonte de receita.

Sendo assim, sugere-se que em estudos futuros analisem-se a influência da variação da molaridade da solução em referência ao ensaio de resistência à compressão, quantificar os custos e ganhos acerca da utilização e comercialização do cimento álcali ativado a base de LETA, bem como avaliar a progressão das propriedades físicas e químicas do material a longo prazo do mesmo, através do método de calcinação. Se torna necessário ainda estudar a aplicação do cimento álcali ativado a base de LETA para a produção de concretos armados, reforçados e argamassas, tendo ainda um estudo aplicado diretamente na utilização pela indústria da construção civil, mesmo através de modelos protótipos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.
2. APOLONIO, P. **Produção de geopolímeros usando cinza de casca de arroz como fonte complementar de sílica**. 2017. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017.
3. BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil**. 5. ed. Brasília, 2020.
4. BRITO, W. S.; SILVA, A. L. M. F.; SVENSSON, K.; PÖLLMANN, H.; SANTA, R. A. A. B.; RIELLA, H. G.; SOUZA, J. A. S. **Influência da concentração de NaOH na síntese de geopolímero com reaproveitamento de resíduo industrial**. *Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração*, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 45-50, 2019. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20191474>.
5. JESUS, A. M. **Utilização de lodo de estação de tratamento de água para produção de geopolímeros**. 2018. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.
6. JESUS, A. M.; VIEIRA, R. K.; VIEIRA, A. K. Use of sludge from water treatment station to produce Geopolymer cement. **Brazilian Applied Science Review**, [S.L.], v. 4, n. 6, p. 3367-3378, 2020. Brazilian Applied Science Review. <http://dx.doi.org/10.34115/basrv4n6-006>.
7. PINTO, A. T. **Introdução ao estudo dos geopolímeros**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, p. 92. 2006.
8. RODGERS, L. **Aquecimento global: a gigantesca fonte de CO₂ está por toda parte, mas você talvez não saiba**. Brasil: BBC News, 2018.
9. SILVA, A. M.; C.E.PEREIRA.; COSTA, F. O.; SOUSA, B. V.. Síntese de geopolímero usando como precursor a escória. Bento Gonçalves: **58° Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 2014.
10. STACHERA JUNIOR, T. Avaliação de emissões de CO₂ na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2008, Rio de Janeiro. Anais [...] . Rio de Janeiro: Abepro, 2008. p. 2-13.