

**CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA CINZA DA CASCA DE ARROZ
PRODUZIDA NA CIDADE DE CONDADO – PB**
**MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF RICE HUSK ASH PRODUCED
IN THE CITY OF CONDADO – PB**

Maria Dasdores Clara Sales Mota¹
Erica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto²

RESUMO:

A crescente preocupação com a preservação ambiental e a busca por soluções sustentáveis têm impulsionado o desenvolvimento de materiais alternativos a partir de resíduos nas últimas décadas. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar e caracterizar as propriedades microestruturais da cinza da casca de arroz (CCA) proveniente do estado da Paraíba, com foco em como as variações em sua composição afetam seu desempenho e potenciais aplicações na construção civil. A pesquisa utilizou técnicas de caracterização, como fluorescência de raios-X (FRX) e difração de raios-X (DRX), que demonstraram um elevado teor de sílica amorfa, essencial para a reatividade pozolânica da CCA. Os resultados indicam que a CCA é uma alternativa viável ao cimento Portland convencional, contribuindo para práticas construtivas sustentáveis e valorizando resíduos agrícolas. As análises mostraram que a CCA possui alto teor de sílica amorfa, essencial para sua reatividade pozolânica. O difratograma de raios-X indicou a presença de cristobalita, confirmando o potencial da CCA como uma pozolana altamente reativa, capaz de aumentar a densidade e resistência das argamassas. Assim, a CCA não apenas promove a sustentabilidade na construção civil, mas também representa um avanço significativo na transformação de resíduos agrícolas em recursos valiosos para o setor. A pesquisa sugere novas investigações, focadas na combinação da CCA com outros aditivos, para potencializar suas propriedades e ampliar suas aplicações na construção civil.

Palavras-chave: super pozolana; adições minerais; difração de raio-x fluorescência de raios-x.

ABSTRACT

Growing concern about environmental preservation and the search for sustainable solutions have driven the development of alternative materials from waste in recent decades. In this context, this study aimed to evaluate and characterize the microstructural properties of rice husk ash (RHA) from the state of Paraíba, focusing on how variations in its composition affect its performance and potential applications in civil construction. The research used characterization techniques such as X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD), which showed a high content of amorphous silica, essential for the pozzolanic reactivity of CCA. The results indicate that CCA is a viable alternative to conventional Portland cement, contributing to sustainable construction practices and adding value to agricultural waste. The analyses showed that CCA has a high content of amorphous silica, which is essential for its pozzolanic reactivity. The X-ray diffractogram indicated the presence of cristobalite, confirming CCA's potential as a highly reactive pozzolan, capable of increasing the density and strength of mortars. Thus, CCA not only promotes sustainability in construction, but also represents a significant advance in the transformation of agricultural waste into valuable resources for the sector. The research suggests further investigations, focused on combining CCA with other additives, to enhance its properties and broaden its applications in construction.

Key words: super pozzolan; mineral additions; x-ray diffraction x-ray fluorescence.

1. INTRODUÇÃO

Os ligantes cimentícios desempenham um papel fundamental em diversas atividades de construção, sendo a utilização de pozolanas como alternativas ao cimento Portland convencional um tema de crescente interesse nas últimas décadas. Essa tendência deve-se a

¹Graduando(a) em Engenharia Civil, Ufersa, Campus Caraúbas, e-mail: mariacclarasales29@gmail.com

²Professor(a) orientador(a), Departamento de Engenharias, Ufersa, Campus Angicos, e-mail: erica.gurgel@ufersa.edu.br

fatores como redução de custos, melhoria de desempenho, aumento da durabilidade e, sobretudo, considerações ambientais. De acordo com Thiedeitz, Ostermaier e Kränkel (2022), as pozolanas são materiais siliciosos ou siliciosos-aluminosos que, apesar de possuírem pouca ou nenhuma capacidade cimentante por si só, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio na presença de água e em temperatura ambiente, formando compostos com propriedades cimentícias.

A crescente demanda por práticas construtivas sustentáveis tem impulsionado pesquisas voltadas para a inovação em materiais de construção, destacando-se o uso de resíduos agrícolas, como a cinza da casca de arroz (CCA). Este resíduo desperta interesse pelo seu potencial de contribuição à sustentabilidade ambiental, especialmente quando utilizado como adição mineral em argamassas.

Nesse sentido a tabela 1 apresenta estudos sobre o uso de CCA em materiais cimentícios, incluindo título da pesquisa, ano, e a base de publicação. Essas pesquisas demonstram o potencial da CCA como alternativa sustentável no desenvolvimento de materiais de construção, explorando suas propriedades pozolânicas em diversas formulações.

Tabela 1: Estudos sobre a CCA.

Título do estudo	Ano	Base de publicação
Vantagens e desvantagens da utilização de cinza da casca de arroz em argamassas	2019	Research, Society and Development
Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica	2012	SciELO, Revista Ambiente Construído
Análise do efeito sinérgico da CCA e resíduos de cerâmica vermelha em resistência à compressão	2019	Repositório da UNISINOS
Caracterização da cinza da casca de arroz visando aplicação na confecção de materiais alternativos para construção civil	2020	Revista de ciências ambientais - rca (issn 1981-8858)
Concrete incorporating rice-husk ash without processing	2011	ScienceDirect

Fonte: Autoria própria (2024)

¹Graduando(a) em Engenharia Civil, Ufersa, Campus Caraúbas, e-mail: mariacclarasales29@gmail.com

²Professor(a) orientador(a), Departamento de Engenharias, Ufersa, Campus Angicos, e-mail: erica.gurgel@ufersa.edu.br

Essas pesquisas confirmam que a CCA tem sido aplicada em diferentes formulações para aumentar a durabilidade e reduzir o custo de materiais, além de minimizar impactos ambientais associados ao uso de cimento Portland.

Dessa forma, a caracterização microestrutural da CCA é essencial para compreender suas propriedades e avaliar seu desempenho em misturas cimentícias. Segundo Pereira *et al.* (2021), adições como a CCA proporciona ganhos significativos de resistência e durabilidade ao material, mesmo com a redução da quantidade de cimento, promovendo uma matriz mais densa e menos porosa, o que resulta em maior resistência à ação de agentes agressivos e em aprimoramento da resistência mecânica.

Para que a CCA seja reconhecida como uma pozolana altamente reativa, é crucial que contenha sílica em estado amorfo, similar à sílica ativa (MA *et al.*, 2023). A incorporação da CCA não apenas eleva o desempenho dos materiais de construção, mas também promove práticas construtivas mais sustentáveis, atendendo à urgência de mitigar os impactos ambientais das atividades construtivas. Nesse contexto, a CCA emerge como uma alternativa promissora ao cimento convencional, oferecendo uma solução eficiente para a destinação de resíduos agrícolas e contribuindo para o desenvolvimento de estruturas mais robustas e duráveis.

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar e caracterizar as propriedades microestruturais da cinza da casca de arroz proveniente do estado da Paraíba, com o intuito de compreender como essas variações influenciam suas propriedades e potenciais aplicações na construção civil. A relevância do estudo reside na necessidade de explorar e entender o potencial da CCA como material construtivo alternativo, além de seu caráter inovador em transformar um resíduo agrícola em um recurso valioso para a construção civil. Assim, este trabalho contribui para a promoção da sustentabilidade e o avanço de práticas mais eficientes e ecológicas na indústria da construção.

¹Graduando(a) em Engenharia Civil, Ufersa, Campus Caraúbas, e-mail: mariacarasales29@gmail.com

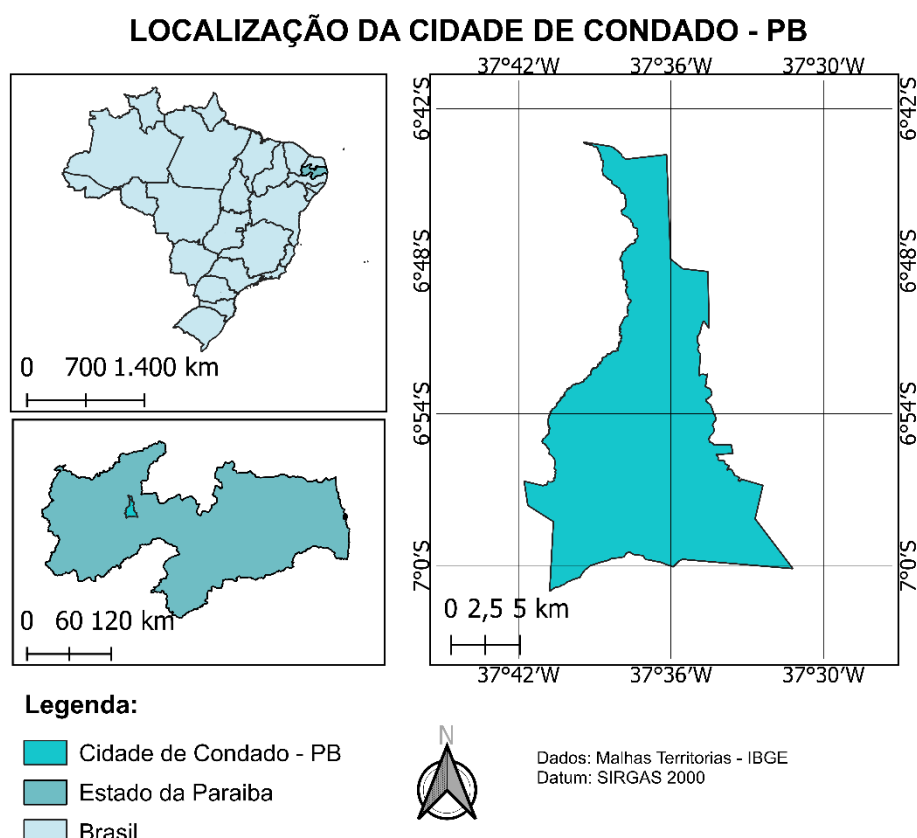
²Professor(a) orientador(a), Departamento de Engenharias, Ufersa, Campus Angicos, e-mail: erica.gurgel@ufersa.edu.br

2. DESENVOLVIMENTO

Este estudo configura-se como uma pesquisa experimental e descritiva, focada na avaliação das características físico-químicas e microestruturais da CCA produzida no estado da Paraíba. A abordagem experimental possibilita a investigação sistemática das propriedades da CCA, enquanto a natureza descritiva do estudo facilita a documentação detalhada e compreensiva dos resultados obtidos.

A coleta e preparação da amostra seguiram etapas específicas. A casca de arroz foi obtida diretamente de produtores localizados no município de Condado, estado da Paraíba, assegurando a representatividade da amostra para o estudo, como mostrado na Figura 1. Após a coleta, a casca de arroz foi queimada em um forno de mufla a 500°C por 3 horas para produzir a CCA.

Figura 1: Local de obtenção da casca de arroz



Fonte: Autoria própria (2024)

Inicialmente, procedeu-se à homogeneização de 400 g da casca de arroz (CA), o qual foi dividido em amostras. Estas foram acondicionadas em cadinhos de porcelana de 1500 mL.

Em seguida, as amostras foram submetidas ao processo de calcinação em uma mufla da marca Magnus como mostrado na Figura 2.

Figura 2: Calcinação na mufla



Fonte: Autoria própria (2024)

A calcinação foi realizada por meio do método de queima controlada, com o objetivo de obter a CCA. O processo foi conduzido a uma temperatura de 500°C, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min.

Após o processo de combustão, as amostras foram resfriadas em um dessecador à temperatura ambiente, a fim de evitar a exposição à umidade. Posteriormente, elas foram retiradas e devidamente armazenadas em recipientes plástico. Durante a etapa de caracterização, foram realizadas análises químicas e físicas das cinzas da casca de arroz, essenciais para avaliar suas propriedades e possíveis aplicações. Esses resultados dependem de variáveis como a taxa de aquecimento, a temperatura e o tempo de calcinação, bem como as condições atmosféricas e o método de resfriamento adotados.

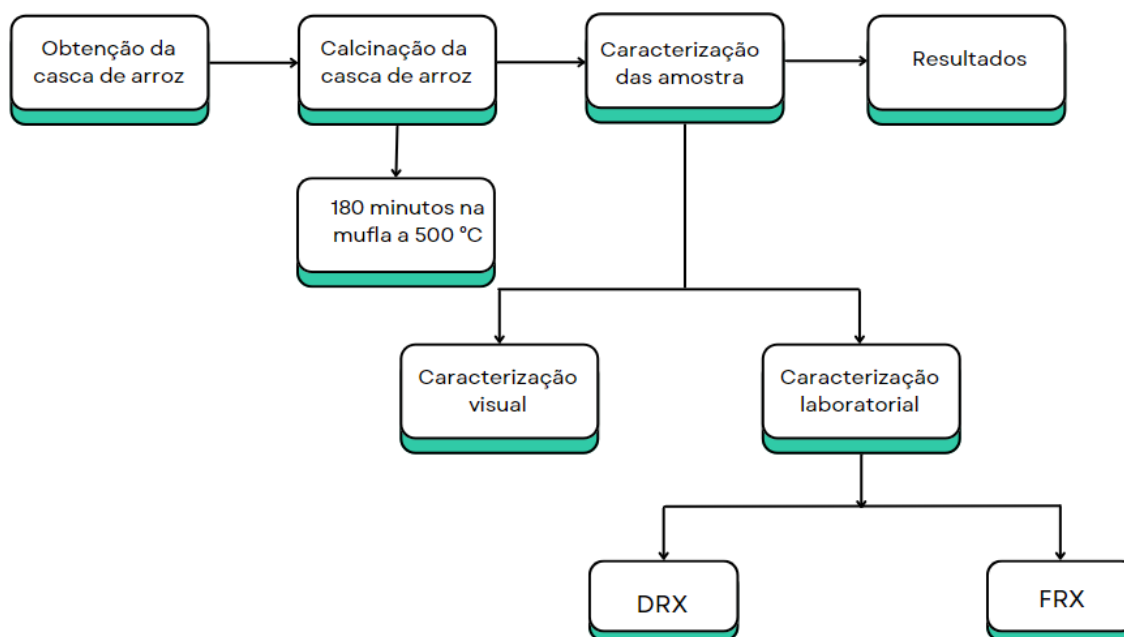
Para a caracterização físico-química e microestrutural da CCA, foram utilizados instrumentos como fluorescência de raios-X (FRX) para determinar a composição elementar das amostras, difratômetro de raios-X (DRX) para identificar as fases cristalinas presentes na CCA e a Caracterização visual que classifica de forma qualitativamente a coloração e os aspectos da amostra.

A técnica de fluorescência de raios-X pode ser empregada para análises qualitativas e quantitativas, baseando-se na detecção das intensidades dos raios-X característicos emitidos pelos elementos da amostra quando excitados por partículas como elétrons, prótons ou íons, ou por radiação eletromagnética. Um dos métodos mais comuns de excitação é realizado por meio

de tubos de raios-X. No presente estudo, a análise química das cinzas foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDX), utilizando o equipamento Shimadzu, modelo EDX-720, com a amostra devidamente preparada na forma de pó.

Os dados coletados foram analisados utilizando métodos estatísticos e comparativos. A análise estatística foi realizada para identificar correlações e significâncias entre as variáveis estudadas. Esse procedimento metodológico visou fornecer uma compreensão detalhada do potencial da CCA como material construtivo alternativo, contribuindo para um setor da construção mais sustentável e ambientalmente responsável. A Figura 3 apresenta o diagrama detalhado das etapas realizadas, desde a coleta da casca de arroz até sua caracterização em laboratório.

Figura 3: Diagrama indicando as etapas desde a obtenção da CA até a caracterização das amostras.



Fonte: Autoria própria (2024)

3. RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos durante a preparação e caracterização das cinzas. O objetivo é determinar as características da CCA frente as três técnicas descritas na metodologia.

3.1 Caracterização visual

Após a etapa de combustão controlada, o peso final da amostra foi reduzido para 119 g, resultando em uma diminuição significativa de massa, atribuída à perda de componentes voláteis e à eliminação do carbono presente na matéria orgânica. Essa redução de massa, equivalente a aproximadamente 70,25%, valor este consistente com a conversão da casca de arroz em cinza, onde os resíduos inorgânicos são predominantemente constituídos de sílica e outros compostos minerais. Diversos estudos corroboram com a redução de massa em torno de 70,25% na conversão da casca de arroz em cinza (CCA), resultado da alta concentração de sílica nos resíduos inorgânicos. Um exemplo é o trabalho de Ganesan, Rajagopal e Thangavel (2008), que também relatam uma redução de cerca de 70% durante a calcinação da casca de arroz, evidenciando a predominância de sílica nos resíduos gerados.

Ao final do processo de calcinação foram observadas diferentes tonalidades na cinza, variando de claro na superfície a escuro no interior da massa no cadinho. Essa variação de coloração está associada ao teor de carbono residual na cinza, resultante da combustão da celulose. Segundo Santos *et al.* (2020), o carbono é eliminado por oxidação, um processo dependente da disponibilidade de oxigênio. Cinzas de coloração preta indicam um elevado teor de carbono, enquanto tons brancos sugerem um teor reduzido, e uma coloração rosada indica a quase total ausência de carbono.

Figura 4: (a) Casca de Arroz antes da calcinação; (b) Casca de Arroz calcinada próxima à superfície; (c) Casca de Arroz calcinada no centro da mufla



(a)

(b)

(c)

Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 4 ilustra a casca de arroz no seu estado natural antes da calcinação e após calcinação. A disparidade de coloração foi atribuída à proximidade das cinzas em relação à abertura do cadinho. As cinzas localizadas próximas à superfície, expostas a uma maior concentração de oxigênio, apresentaram uma coloração mais clara, enquanto as áreas centrais,

com menor oxigenação, resultaram em uma tonalidade mais escura. Para realizar as análises foram usadas a cinza de coloração mais escura.

3.2 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX)

A Tabela 2 apresenta as porcentagens dos compostos químicos presentes na CCA, obtidas por meio de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX), permitindo a identificação precisa da composição elementar da amostra.

Tabela 2: Resultados do ensaio de FRX	
Elemento	Valores medidos (%)
SiO_2	88,337
K_2O	7,640
Al_2O_3	2,022
Fe_2O_3	0,273
Impurezas	1,728

Fonte: Autoria própria (2024)

A análise dos dados apresentados na Tabela 1 revela que a amostra possui um elevado teor de dióxido de silício (SiO_2), atingindo um valor de 88,337%. Além disso, observa-se uma concentração significativa de óxido de potássio (K_2O), em torno de 8%, enquanto o óxido de ferro (Fe_2O_3) está presente em baixas quantidades, com uma porcentagem de 0,273%. Esses resultados indicam uma predominância de sílica na composição da amostra, com contribuições menores de outros compostos. Dessa forma, pode-se concluir que a CCA avaliada possui uma composição química apropriada para ser classificada como pozolânica, uma vez que sua sílica é predominantemente amorfa. Ao comparar os valores de teor de sílica apresentados por Souza (2008) e Bezerra (2011), de 88,13% e 83,41%, respectivamente, o teor encontrado neste estudo se mostrou próximo aos mencionados pelos autores, embora tenha sido ligeiramente inferior.

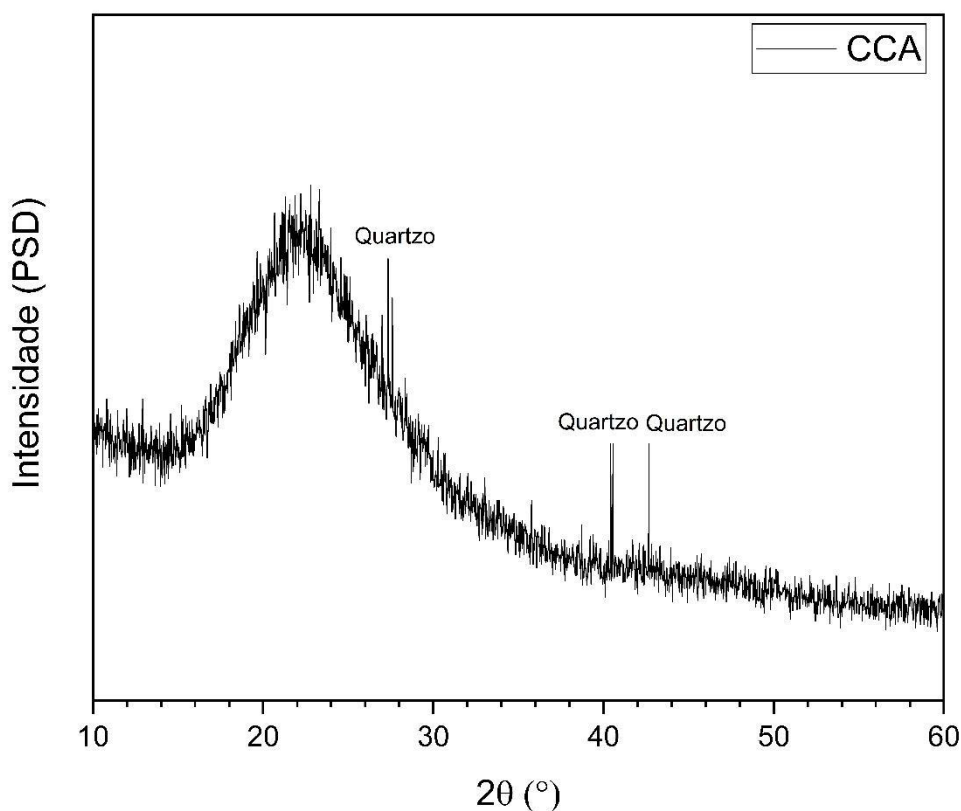
Na literatura, é amplamente reconhecido que as principais impurezas presentes na CCA são compostas por óxido de potássio (K_2O), pentóxido de fósforo (P_2O_5) e óxido de sódio (Na_2O). A concentração dessas impurezas está diretamente relacionada às características do solo e ao uso de fertilizantes, empregados tanto para correção de pH quanto para a adubação das plantações de arroz. No presente estudo, a análise revelou um teor de impurezas de 1,728%, o que está de acordo com a variabilidade reportada na literatura, que atribui a presença desses compostos à interação entre o cultivo e o ambiente de origem. Essa porcentagem reforça a

correlação entre a composição química da CCA e os fatores agronômicos, conforme também observado por Pereira *et al.* (2021).

3.3 Difração de Raio-X (DRX)

A Figura 5 apresenta a intensidade em função do ângulo 2θ , típica de difratogramas de raios-X. Observa-se um pico proeminente em torno de 22° em 2θ , seguido por uma queda gradual. Além disso, há uma faixa relativamente estável com pequenas flutuações em ângulos maiores. Esse padrão sugere a presença de material amorfo ou semicristalino, indicando a natureza da amostra analisada.

Figura 5: Difratograma da CCA gerada pela queima da casca de arroz a 500°C



Fonte: Autoria própria (2024)

O pico intenso observado em torno de 27° indica a presença de uma fase cristalina específica, frequentemente associada a materiais que contêm alto teor de sílica amorfa ou cristobalita, como é o caso das cinzas derivadas da queima de biomassa, especialmente a cinza de casca de arroz.

Após o pico principal, é observada uma região de picos com baixa intensidade entre 40° e 50° (2θ), indicando a ausência de fases altamente cristalinas e sugerindo a predominância de material amorfo. As oscilações sutis nesta faixa podem indicar a presença de pequenas quantidades de fases cristalinas de difícil detecção ou impurezas residuais. Esse padrão é esperado em materiais parcialmente amorfos, como a CCA e outros resíduos agrícolas processados, que tendem a exibir a desordem estrutural característica de suas composições (Souza *et al.*, 2020).

Os resultados deste estudo alinham-se com as descobertas de Cordeiro *et al.* (2014), que, ao analisarem o espectro da CCA, também observaram características indicativas de compostos amorfos e cristalinos. Identificaram um pico largo entre 15° e 36° (2θ) relacionado a uma fase amorfa que se transforma em cristobalita com o aumento da temperatura. De forma similar, o pico em torno de 27° neste estudo sugere a presença de cristobalita, enquanto os picos entre 40° e 50° reforçam a coexistência de fases cristalinas.

Segundo Souza *et al.* (2020), a difração de raios -X (DRX) permite a identificação de fases cristalinas em materiais que foram processados termicamente. O pico próximo a 27° (2θ) é característico de sílica amorfa, refletindo a predominância dessa forma em cinzas de biomassa, como a da casca de arroz. Ribeiro *et al.* (2019) explicam que a falta de múltiplos picos é frequentemente atribuída à formação de fases amorfas em materiais submetidos a processos de combustão controlada, como as cinzas de biomassa, que apresentam uma baixa ordenação estrutural.

A natureza amorfa do material, indicada pela ausência de picos definidos, é benéfica para a indústria da construção civil, visto que a sílica amorfa possui uma reatividade química superior em comparação às fases cristalinas (Alves *et al.*, 2018). Além disso, a ausência de cristalinidade sugere que o material passou por um processo de queima controlada, preservando a desordem estrutural característica da sílica amorfa (Ribeiro *et al.*, 2019). Esse comportamento é vantajoso em aplicações que exigem alta reatividade, como em cimentos e enchimentos para compósitos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho explorou a viabilidade da CCA como uma alternativa ao cimento Portland convencional, abordando suas propriedades microestruturais e químicas. A crescente demanda por práticas construtivas sustentáveis impulsiona a pesquisa sobre o uso de resíduos

agrícolas, e a CCA emerge como um material promissor, não apenas pela sua capacidade de substituir parcialmente o cimento, mas também por contribuir para a redução dos impactos ambientais associados à construção civil.

As análises realizadas demonstraram que a CCA possui um elevado teor de sílica amorfa, que é fundamental para a reatividade pozolânica. Essa característica é crucial para a formação de compostos cimentícios quando a CCA é incorporada em misturas, resultando em uma matriz mais densa e resistente. A identificação de picos no difratograma de raios-X indicou a presença de cristobalita, corroborando a hipótese de que a CCA pode atuar como uma pozolana altamente reativa.

Além disso, a caracterização físico-química da CCA mostrou uma baixa cristalinidade, o que é benéfico, pois a sílica amorfa apresenta maior reatividade química em comparação com as formas cristalinas. Essa propriedade se traduz em um melhor desempenho em aplicações que exigem alta resistência a agentes agressivos, como umidade e produtos químicos, características essenciais em ambientes de construção. Portanto, a incorporação de CCA em misturas de cimento não apenas promove um melhor desempenho, mas também se alinha com as práticas de sustentabilidade, ao reduzir a necessidade de materiais não renováveis e minimizar a geração de resíduos.

Os resultados obtidos estão em consonância com os achados de outras pesquisas, que destacam a eficácia da CCA na melhoria das propriedades mecânicas das argamassas e concretos. A utilização da CCA pode ser vista como um passo significativo em direção à economia circular, onde resíduos são reintroduzidos no ciclo produtivo, criando um impacto positivo no meio ambiente. Isso não só facilita a destinação adequada de resíduos agrícolas, mas também potencializa a inovação na indústria da construção civil.

Em conclusão, o estudo reafirma a relevância da cinza da casca de arroz como um material alternativo no setor da construção, evidenciando suas propriedades e potencialidades. A pesquisa abre espaço para futuras investigações, que podem explorar a combinação da CCA com outros aditivos, visando aprimorar ainda mais suas propriedades e aplicações no setor da construção civil. Dessa forma, a pesquisa abre novos caminhos para a inovação na indústria da construção, incentivando a utilização de materiais alternativos que favorecem a sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

- Alves, J. P., Ferreira, D. S., & Oliveira, M. M. (2018). **Caracterização de materiais à base de sílica utilizando DRX**. *Revista Materiais*, 25(4), 321-333.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 5736, “Cimento Portland pozolânico”, Rio de Janeiro (1991).
- BEZERRA, I. M. T. et al. 2011. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15(6):639-645.
- CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 151-163, abr./jun. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 30 out. 2024.
- GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. **Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete**. *Construction and Building Materials*, v. 22, n. 8, p. 1675-1683, 2008. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2007.06.011.
- GUILLANTE, D. M.; LIMA, J. M.; MARTINS, S. **Análise do efeito sinérgico da CCA e resíduos de cerâmica vermelha em resistência à compressão**. *UNISINOS Repositório Institucional*, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unisinos.br>. Acesso em: 30 out. 2024.
- KIELING, A. G.; SANTOS, R. D.; MENEGAZZI, N. M. **Vantagens e desvantagens da utilização de cinza da casca de arroz em argamassas**. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org>. Acesso em: 30 out. 2024.
- MA, Wenzhuo; WANG, Yutong; HUANG, Liang; YAN, Libo; KASAL, Bohumil. Natural and recycled aggregate concrete containing rice husk ash as replacement of cement: mechanical properties, microstructure, strength model and statistical analysis. *Journal Of Building Engineering*, [S.L.], v. 66, p. 105917, maio 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2023.105917>.
- PEREIRA, A. G.; VIEIRA, C. da S.; OLIVEIRA, M. B. de.; PAIVA, J. C. A.; SILVA, R. L. da.; TRINDADE, A. G. da.; LACERDA, B. de M. Uma revisão sobre a utilização de cinza de casca de arroz na Construção Civil. [S. l.], v. 10, n. 3, 2021.
- Pereira, L. S., Santos, M. A., & Costa, R. F. (2017). **Análise comparativa de cinza de biomassa e suas propriedades reológicas**. *Journal of Building Materials*, 45(2), 159-168.
- Ribeiro, A. C., & Souza, G. M. (2019). **Difração de Raios-X aplicada à caracterização de cinza da casca de arroz para aplicação em materiais de construção**. *Revista Brasileira de Materiais*, 34(3), 229-240.
- Ribeiro, G. A., Lima, T. B., Silva, E. A., & Silva, C. A. (2019). **Physicochemical and Environmental Features of Rice Husk Ash from Brazil to Use in Cement Materials**.
-

Environmental Science and Pollution Research, 26(12), 11963-11972. DOI: 10.1007/s11356-019-04514-5.

SOARES, L. W. O.; SANTIAGO, R. C.; SILVA, L. L. **Influência da cinza da casca de arroz em pastas de cimento para fases iniciais de poços de petróleo offshore, uma alternativa sustentável e econômica.** 2020. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/32621>. Acesso em: 30 out. 2024.

Souza, F. R., Oliveira, J. P., & Silva, D. A. (2020). **Aplicações de subprodutos agrícolas na indústria da construção civil: Uma revisão.** *Journal of Civil Engineering*, 50(1), 105-115.
SOUZA, J. 2008. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz no traço.** Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 160p.

THIEDEITZ, Mareike; OSTERMAIER, Benjamin; KRÄNKEL, Thomas. Rice husk ash as an additive in mortar – Contribution to microstructural, strength and durability performance. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 184, p. 106389, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106389>.

ZERBINO, R.; GIACCIO, G.; ISAIA, G.C.. Concrete incorporating rice-husk ash without processing. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 371-378, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.016>.
