

Estudo preliminar sobre o uso da casca de arroz na construção civil

Preliminary study on the use of rice hunk in civil construction

Estudio preliminar sobre el uso de la cáscara de arroz en la construcción

DOI: 10.34140/bjbv6n1-029

Submitted: Feb 01st, 2024

Approved: Feb 22th, 2024

Valentina Teichmann Rodrigues

Engenheira Civil pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul)
Passo Fundo, RS. Brasil
E-mail: vaale.rodrigues@gmail.com

Mariana Knoff Vargas

Engenheira Civil pela Universidade de Passo Fundo (UPF)
Passo Fundo, RS. Brasil
E-mail: knoffmariana@gmail.com

Esther Aparecida dos Santos

Estudante de Agronomia da ATITUS EDUCAÇÃO
Passo Fundo, RS. Brasil
E-mail: dossantosesther36@gmail.com

Rodrigo de Almeida Silva

Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: rodrigo.silva@atitus.edu.br

Richard Thomas Lermen

Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: richard.lermen@atitus.edu.br

RESUMO

A indústria da construção civil é uma das principais consumidoras de recursos naturais e gera uma quantidade significativa de resíduos. Com o crescimento populacional o desenvolvimento e adoção de materiais suplementares com o objetivo de prolongar a vida útil das estruturas e reduzir os impactos ambientais têm crescido nos últimos anos. Nesse contexto, a busca por soluções sustentáveis tem se tornado uma prioridade. A casca de arroz (CA) é um subproduto agrícola abundante e de baixo custo, resultante do beneficiamento do arroz. Tradicionalmente considerada um resíduo, a casca de arroz tem demonstrado potencial para diversas aplicações na construção civil. Pesquisas relacionadas ao uso da casca de arroz, principalmente no formato de cinza, demonstram vantagens significativas tanto do ponto de vista técnico quanto ambiental. A utilização desse resíduo agrícola pode reduzir o impacto ambiental da indústria da construção, promovendo a economia circular e a utilização eficiente dos recursos naturais. Além disso, o uso da casca de arroz pode reduzir a quantidade de resíduos gerados pela indústria do arroz e diminuir a demanda por agregados naturais. O seguinte artigo apresenta revisões literárias sobre a aplicação da casca de arroz, com destaque para o uso da cinza como substituto parcial do cimento no

concreto. Essa revisão de literatura fornece informações importantes sobre as propriedades e comportamentos de compostos à base de casca de arroz.

Palavras-chave: construção civil, casca de arroz, impactos ambientais

ABSTRACT

The construction industry is one of the main consumers of natural resources and generates a significant amount of waste. With population growth, the development and adoption of supplementary materials aimed at prolonging the lifespan of structures and reducing environmental impacts have been increasing in recent years. In this context, the search for sustainable solutions has become a priority. Rice husk (RH) is an abundant and low-cost agricultural byproduct resulting from rice processing. Traditionally considered waste, rice husk has demonstrated potential for various applications in the construction industry. Research related to the use of rice husk, particularly in the form of ash, has shown significant advantages from both technical and environmental perspectives. The utilization of this agricultural waste can reduce the environmental impact of the construction industry, promoting circular economy and efficient utilization of natural resources. Additionally, the use of rice husk can reduce the amount of waste generated by the rice industry and decrease the demand for natural aggregates. The following article presents literature reviews on the application of rice husk, with a focus on the use of ash as a partial substitute for cement in concrete. This literature review provides important information about the properties and behaviors of rice husk-based compounds.

Keywords: construction, rice husk, environmental impacts

RESUMEN

El sector de la construcción es uno de los principales consumidores de recursos naturales y genera una importante cantidad de residuos. Con el crecimiento demográfico, el desarrollo y la adopción de materiales complementarios destinados a prolongar la vida útil de las estructuras y reducir el impacto ambiental han ido en aumento en los últimos años. En este contexto, la búsqueda de soluciones sostenibles se ha convertido en una prioridad. La cascarilla de arroz (RH) es un subproducto agrícola abundante y de bajo coste resultante del procesamiento del arroz. Tradicionalmente considerada un residuo, la cascarilla de arroz ha demostrado su potencial para diversas aplicaciones en la industria de la construcción. Las investigaciones relacionadas con el uso de la cascarilla de arroz, sobre todo en forma de ceniza, han mostrado ventajas significativas tanto desde el punto de vista técnico como medioambiental. La utilización de este residuo agrícola puede reducir el impacto medioambiental de la industria de la construcción, promoviendo la economía circular y la utilización eficiente de los recursos naturales. Además, el uso de la cáscara de arroz puede reducir la cantidad de residuos generados por la industria arrocera y disminuir la demanda de áridos naturales. El siguiente artículo presenta revisiones bibliográficas sobre la aplicación de la cascarilla de arroz, con especial atención al uso de la ceniza como sustituto parcial del cemento en el hormigón. Esta revisión bibliográfica proporciona información importante sobre las propiedades y el comportamiento de los compuestos a base de cascarilla de arroz.

Palabras clave: construcción, cáscara de arroz, impactos ambientales

1 INTRODUÇÃO

O arroz é cultivado em todos os continentes. Em 2018, no Mercado Comum do Sul (Mercosul), o Brasil foi o maior destaque que ocupou o primeiro lugar em área colhida na produção de arroz com 11,7 milhões de toneladas (DA SILVA *et al*, 2021). O Rio Grande do Sul possui a maior parcela da produção brasileira. No entanto, essa alta produção gera um grande volume de casca (corresponde aproximadamente

20% do peso do grão), as quais as cascas e as cinzas da queima da casca podem ser aproveitadas de diferentes formas.

O aproveitamento de resíduos provindos da agricultura tem se tornado indispensável devido aos altos custos ambientais provenientes do seu descarte inadequado no meio ambiente (LUDWIG, 2014). Na construção civil, são variadas as possibilidades do uso da casca de arroz e da cinza da casca de arroz, por exemplo. A geração de energia através da queima da casca de arroz é uma alternativa praticável do ponto de vista tecnológico, viável do ponto de vista econômico e ética do ponto de vista ecológico (FOLETTTO *et al*, 2005).

A casca de arroz é um material de construção com características isolantes, o que contribui para a eficiência energética dos edifícios. Quando utilizada como isolante térmico em paredes, pisos e telhados, por exemplo, ajuda a reduzir a transferência de calor, diminuindo a necessidade de uso de sistemas de aquecimento e resfriamento, o que resulta em menor consumo de energia e, conseqüentemente, na redução das emissões de gases de efeito estufa (SILVA, 2009). Há, também, painéis produzidos com casca de arroz e eles apresentam como característica fundamental a durabilidade, uma vez que sendo material não-lenhoso, torna-se imune ao ataque de brocas de madeira (DE MELO *et al*, 2010).

A cinza proveniente da queima da casca de arroz é um ótimo substituto parcial do cimento Portland no processo de produção de concreto e no processo de produção da argamassa. Esse resíduo, desde que adequadamente processada, se torna uma pozolana, ou seja, um produto silicoso ou sílico-aluminoso (DA SILVA, 2009). Além de acelerar o ganho de resistência, ele contribui para reduzir a segregação e a exudação, tornando o concreto com melhor trabalhabilidade (LUDWIG, 2014). Outra vantagem, quando ocorre a substituição do cimento, conseqüentemente há redução do consumo de energia e de reservas naturais que seriam empregados para a sua fabricação, em vista disto há uma significativa redução na liberação de CO₂ (VIEIRA *et al*, 2023). A sílica extraída da CCA pode ser utilizada na confecção de vidros como substituto a outros materiais convencionais, por exemplo, a areia (AZEVEDO, 2021).

Portanto, o uso da casca de arroz na construção civil exemplifica um modelo de economia circular, em que resíduos são valorizados e reintroduzidos na cadeia produtiva. Ao invés de descartar a casca de arroz como um resíduo, ela é reaproveitada como um recurso valioso na produção de materiais de construção, reduzindo a necessidade de novas matérias-primas. Além do mais, o aproveitamento da CCA é importante para o meio ambiente de vez que, quando descartada, provoca poluição por apresentar, em sua constituição, certa quantidade de carbono residual (BEZERRA, 2011).

2 RESÍDUOS DO ARROZ NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 ARROZ E SUA PRODUÇÃO

Acredita-se que o cultivo do arroz se iniciou há mais de 6.500 anos, desenvolvendo-se paralelamente em vários países (FERREIRA *et al*, 2005). Atualmente, o arroz é um alimento consumido

em todo o mundo e possui destaque devido à sua extensa produção. Ele é a terceira maior cultura cerealífera do mundo, depois do trigo e da soja. Além de seu valor econômico, desempenha um papel estratégico em termos sociais. É o alimento de maior importância em muitos países em desenvolvimento, principalmente na Ásia e Oceania, onde vivem 70% da população total dos países em desenvolvimento e cerca de dois terços da população subnutrida mundial (SILVA, 2014).

No Brasil, há dois meios de sistemas de produção. Porém, a principal fonte de produção de arroz é o ecossistema de várzeas, onde a técnica de orizicultura irrigada representa 75% da produção total do país. Esse método é fundamental para estabilizar a safra nacional, pois não depende exclusivamente das condições climáticas, ao contrário do cultivo em áreas de sequeiro. O outro meio é o irrigado por inundação.

Os estados Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Tocantins e Mato Grosso são os estados que mais contribuem com uma produção significativa de arroz para o total nacional. O estado do Rio Grande do Sul é estado líder no ranking nacional, visto que o estado produziu sozinho, em média, 8 milhões de toneladas na safra 2022/2023 (BELEDELI, 2023).

A cultura do arroz é praticada tanto na agricultura familiar (é responsável por 34% da produção nacional) quanto na empresarial. De acordo com SILVA *et al.* (2014), o mercado nacional do arroz é relativamente equilibrado com a produção atendendo a demanda doméstica. O cultivo desse cereal traz um importante papel na economia brasileira, visto que proporciona muito empregos em todas as etapas da cadeia produtiva (desde o plantio até a comercialização).

2.2 CASCA DE ARROZ (CA)

Durante o processamento do arroz, o grão passa por um beneficiamento que resulta na remoção da sua casca. Essa casca, conhecida como subproduto agrícola, torna-se um resíduo indesejado para os produtores de arroz ao redor do mundo. Devido ao seu baixo valor comercial e falta de interesse na sua utilização na agricultura, um desafio significativo para os produtores.

A casca de arroz é composta principalmente por fibra de celulose, contendo cerca de 20% de sílica em sua forma amorfa. Além disso, aproximadamente 40% da casca é composta por celulose e 30% por lignina, além de proteínas e vitaminas que normalmente são eliminadas da casca durante o processo de queima (CHRISTOPHER *et al.*, 2017). As características dessas cinzas são influenciadas por três fatores: a composição da casca de arroz, a temperatura de queima e o tempo de queima. Em média, as cinzas resultantes de uma queima adequada consistem em 90% de sílica amorfa, 5% de carbono e 2% de K₂O (Óxido de Potássio).

Este material também é uma valiosa fonte de carbono e pode ser aproveitada como uma excelente fonte de energia por meio da combustão. Porém existem certos desafios na geração de energia através da casca de arroz, como: armazenamento e manuseio do material, planejamento em relação a distribuição e

transporte e possível corrosão e acúmulo de resíduos no equipamento de combustão. Existem diversos usos da casca de arroz, incluindo aplicações industriais e agrícolas (SILVA *et al.*, 2021).

A massa unitária da casca de arroz in natura é de, aproximadamente, 101 kg/m³; a massa específica aparente é de aproximadamente 900 Kg/m³; e a massa específica é de aproximadamente 1400 Kg/m³ (AGOPYAN, 1991). Portanto, considerando essas propriedades, Martinez (2006) ao discutir o efeito da celulose e a lignina que se encontram presentes na casca de arroz in natura, percebeu que ambos tendem a reagir com o cimento, proporcionando boa aderência ao longo do tempo.

O uso da casca de arroz in natura na construção civil pode apresentar uma série de desafios e problemas. Existem algumas considerações importantes a serem levadas quando se pensa na utilização desse material: absorção de água e umidade (esse material tende a absorver água facilmente, o que se pode ocasionar a deterioração e deformação do material), biodegradação e ataques biológicos (a presença de resíduos orgânicos na casca de arroz pode atrair organismos como fungos e bactérias), durabilidade e resistência mecânica (a casca de arroz in natura tem uma estrutura fibrosa, sendo considerada mais frágil que outros materiais tradicionais de construção) entre outros. Por isso, a importância de realizar testes rigorosos antes de utilizar esse recurso tão abundante.

2.3 CINZA DE CASCA DE ARROZ (CCA)

Diversos estudos têm explorado a utilização de adições na composição do concreto, sendo as mais estudadas a sílica ativa e os resíduos agroindustriais, como a cinza da casca de arroz (CCA), entre outros. O uso dessas adições traz consigo várias vantagens, uma delas é a melhoria da resistência do concreto, mesmo quando a quantidade de cimento na mistura é reduzida. Além disso, essas adições contribuem para o desenvolvimento de uma microestrutura mais definida, resultando em uma estrutura geral menos porosa. Isso confere ao concreto uma maior resistência contra a ação de agentes agressivos, melhorando sua durabilidade, ao mesmo tempo que proporciona uma maior resistência mecânica (VAN *et al.*, 2014).

A cinza da casca de arroz (CCA) pode ser obtida por processos de queima que se classificam como sistema artesanal, semi-industrializado e industrializado. No primeiro processo, a casca de arroz é queimada sem controle de temperatura; já no segundo processo, a casca de arroz é incinerada através de dutos metálicos e por último, a pressão de vapor gerada é controlada em função da queima (MARTINS, 2020 apud MILANI, 2008). A casca de arroz configura um grave problema ambiental, pois contribui para a geração de gases que aceleram o efeito estufa quando destinada de maneira inadequada (ROSA, 2022). Portanto, o uso da CCA como aditivo na composição no concreto é uma forma de valorizar esse resíduo, proporcionando benefícios significativos ao meio ambiente. Esses benefícios incluem a eliminação da necessidade de aterros, a redução do risco tóxico e a diminuição da demanda por matérias primas.

A temperatura da queima desempenha um papel crucial na determinação da morfologia da CCA. A atividade pozolânica da cinza de casca de arroz está intimamente relacionada à sua composição

morfológica, bem como o tempo de moagem. A CCA é produzida por meio de queima controlada, com temperaturas inferiores a 600°C, sua morfologia exhibe a presença de sílica no estado amorfo, o que resulta em uma maior reatividade com o cimento e a cal. No entanto, quando a CCA é queimada em temperaturas muito elevadas, observa-se o surgimento de fases cristalinas em sua estrutura morfológica, o que reduz sua reatividade com outros componentes, tornando-a impraticável para uso em concretos e argamassas (CORDEIRO *et al.* 2014).

Em paralelo aos estudos sobre materiais, as técnicas de preparo e cura do concreto têm avançado significativamente, impulsionadas pelas novas demandas do mercado da construção civil, especialmente no setor de pré-moldados. Nesse contexto, tem-se observado benefícios promissores no uso de cinzas de casca de arroz na produção de concretos de alto desempenho.

Esses benefícios têm sido amplamente constatados, destacando-se como uma alternativa promissora na indústria da construção civil (PEREIRA *et al.*, 2015).

2.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS RELACIONADAS À CASCA DE ARROZ E À CINZA DA CASCA DE ARROZ

A composição química é uma propriedade importante de um aglutinante de concreto e geralmente é obtida através de um processo seco, no qual os materiais secos são moídos e misturados, ou por meio de um processo úmido, utilizando argamassa úmida. Com relação a composição da casca de arroz *in natura*, ela é composta principalmente por celulose, lignina, hemicelulose e silício e contém minerais e compostos orgânicos. Além disso, tem uma boa capacidade de absorção de água e aderência, e pode ser utilizada como adubo orgânico e produção de energia (MICHELON, 2023).

As partículas presentes na CCA possuem um elevado teor de sílica amorfa. Embora em alguns casos a atividade pozzolânica da CCA possa melhorar com o aumento do tamanho das partículas, geralmente recomenda-se uma moagem intensa da CCA, pois sua reatividade principal está associada à área superficial interna dos microporos. A distribuição média do conteúdo químico da cinza de casca de arroz completamente queimada, com o tratamento térmico controlado corretamente, é de mais de 90% de SiO₂ na fase amorfa, cerca de 5% de carbono e 2% de K₂O.

No caso de queima descontrolada das cascas de arroz, como ocorre em terrenos abertos ou fornos inadequados com temperaturas acima de 800 °C, podem ser formadas variedades não reativas de quartzo, como cristobalita e tridimita, nas cinzas resultantes. Durante a formação da estrutura da pasta de cimento, essas fases cristalinas podem atuar como centros de cristalização de novos crescimentos, no entanto, é preferível utilizar cinzas amorfas (SHINOHARA *et al.*, 2004). Existem métodos conhecidos para aumentar a atividade pozzolânica de partículas cristalinas sinterizadas, como a moagem, mas isso torna o processo mais complexo e aumenta os custos financeiros.

No caso de uma combustão controlada, obtém-se uma fase amorfa de sílica, que se torna o

componente principal da cinza, com uma área superficial elevada devido à estrutura microporosa desenvolvida da CCA (VAN *et al.*, 2011).

2.4.1 Atividade pozolânica

A cinza da casca de arroz é frequentemente utilizada como um material pozolânico na indústria da construção. A atividade pozolânica refere-se à capacidade de um material reativo, conhecido como pozolana, de reagir com a cal durante a hidratação do cimento Portland, formando produtos adicionais que contribuem para a resistência e durabilidade do concreto (CORDEIRO, 2009). Esse composto ajuda a melhorar várias propriedades do concreto como: resistência, trabalhabilidade e durabilidade.

A cinza da casca de arroz contém sílica e alumina, que são os componentes essenciais para exibir atividade pozolânica. Durante a hidratação do cimento, esses componentes reagem com a cal liberada durante o processo, formando compostos de hidratação adicionais que preenchem os espaços vazios na matriz de concreto, aumentando sua resistência e diminuindo sua porosidade. As partículas de cinza de casca de arroz adequadamente calcinadas e intensamente moídas, devido a presença de sílica amorfa, são um excelente material pozolânico que melhora as propriedades físico-mecânicas e o desempenho das misturas de cimento e concreto (TASHIMA, 2012).

No entanto, a complexidade do processo tecnológico envolvido na produção de cinzas amorfas dificulta o controle das condições necessárias para obtê-las, o que tem limitado a ampla utilização desse material cimentício suplementar. Portanto, vários métodos têm sido empregados para aprimorar a matéria-prima, como a lixiviação ácida (CHINDAPRASIRT *et al.*, 2015). Esses métodos podem otimizar as propriedades pozolânicas, além de reduzir a influência das condições de tratamento térmico na casca de arroz.

É importante ressaltar que a atividade pozolânica da cinza da casca de arroz pode variar consideravelmente. A eficácia da cinza de casca de arroz como pozolana depende de vários fatores que influenciam sua reatividade química. Alguns dos principais fatores que podem afetar a atividade pozolânica são: composição química (a quantidade e a natureza dos constituintes químicos na cinza de casca de arroz, como sílica e aluminatos, afetam sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio do cimento), finura (o tamanho das partículas influencia na área disponível para reações químicas), cura (as condições de cura do concreto, incluindo temperatura e umidade podem influenciar a velocidade e a extensão das reações pozolânicas), teor de cinza, presença de impurezas (a presença de contaminantes minerais afetam na capacidade de reagir ao cimento) entre outros.

Portanto, é necessário realizar ensaios de laboratório para determinar a adequação e a dosagem ideal da cinza da casca de arroz em diferentes aplicações de concreto. Porém, é possível otimizar a atividade pozolânica da cinza de casca de arroz (CCA) por meio de um pré-tratamento com ácido clorídrico. Nesse caso, o tempo de tratamento térmico é mais crítico para a CCA não processada em

comparação com aquela processada com ácido clorídrico (PRASARA *et al.*, 2017)

A cinza de casca de arroz apresenta uma alta taxa de consumo de cal durante a fase inicial da reação. Embora o padrão de reação seja influenciado pelo controle de difusão, a CCA demonstrou uma taxa de reação mais elevada quando a cal é incorporada, resultando na formação principal de um gel C-S-H como produto de hidratação (AMRAN *et al.*, 2021). Em estudos experimentais, os pesquisadores constataram que a pasta de cimento contendo CCA apresentava uma menor quantidade de hidróxido de cálcio devido à reação pozolânica.

3 CONCLUSÃO

O uso da casca de arroz na construção civil tem o potencial de oferecer benefícios econômicos, ambientais e sociais significativos. Trata-se de uma abordagem promissora e sustentável que pode trazer benefícios significativos, pois casca de arroz é um subproduto agrícola abundante e de baixo custo. No contexto de práticas sustentáveis e busca por soluções inovadoras, a casca de arroz pode desempenhar um papel importante na indústria da construção civil, mas seu uso deve ser avaliado caso a caso.

Um aspecto positivo é que a casca de arroz é um material de baixo custo, tornando-se uma opção econômica para a indústria da construção civil. Sua disponibilidade em áreas agrícolas, onde o arroz é cultivado em grande escala, facilita o acesso a esse recurso. E ao substituir parcialmente o cimento Portland pela cinza da casca de arroz, é possível reduzir a emissão de dióxido de carbono durante a produção do concreto, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a utilização da cinza da casca de arroz pode melhorar a trabalhabilidade, a resistência à compressão, a resistência à tração e a durabilidade do concreto.

Embora existam desafios a serem superados, a pesquisa e o desenvolvimento contínuos nessa área podem ajudar a aprimorar os materiais à base de casca de arroz e expandir suas aplicações na indústria da construção, contribuindo para uma abordagem mais sustentável e consciente.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, Vahan. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais**. 1991.

AMRAN M., et al. Rice Husk Ash-Based Concrete Composites: **A Critical Review of Their Properties and Applications**. Crystals, 11(2), 168, 2021.

AZEVEDO, Amanda Rampelotto. **Alternativas para a cinza de casca de arroz: uma revisão**. 2021. 45p. Dissertação – Universidade Federal de Santa Maria, 2021.

BELEDELI, Marcelo. Safra de arroz tem a 2ª maior produtividade da história no RS. **Globo Rural**, 2023. Disponível em: <https://globorural.globo.com/agricultura/arroz/noticia/2023/07/safra-de-arroz-tem-a-2a-maior-produtividade-da-historia-no-rs.ghtml> Acesso: 29 agosto de 2023

BEZERRA, Izabelle M.T; SOUZA, Jozilene; CARVALHO, João B. Q.; NEVES, Gelmiros A. Aplicação da cinza da casca de arroz em argamassas de assentamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, p.639-645, 2011.

CHINDAPRASIRT, P.; Cao, T. As propriedades e durabilidade de subprodutos industriais altamente pozolânicos contêm blocos de alvenaria de concreto. Tijolos Blocos Des. Prop. Durab. 2015.

CHRISTOPHER, Fapohunda et al. Structure and properties of mortar and concrete with rice husk ash as partial replacement of ordinary Portland cement – A review. **International Journal of Sustainable Built Environment**. Vol. 6, p. 675–692, 2017.

CORDEIRO, Luciana de Nazaré Pinheiro. Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre a atividade pozolânica. 2009.

CORDEIRO, Luciana de Nazaré Pinheiro *et al.* Análise do potencial pozolânico da cinza de casca de arroz (CCA) através da técnica de Refinamento de Rietveld. **Resista Matéria**. Vol. 19, p. 150-158, 2014.

DA SILVA, Everton José. **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil**. 2009. 117p. Dissertação – UNESP, Ilha Solteira – São Paulo, 2009

DA SILVA, Osmira Fátima; WANDER, Alcido Eleonor; FERREIRA, Carlos Magri. **Estatística de produção**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao#:~:text=O%20arroz%20%C3%A9%20cultivado%20em,da%20produ%C3%A7%C3%A3o%20mundial%20de%20arroz>. Acesso: 29 agosto de 2023.

DE MELO, Rafael Rodolfo *et al.* Resistência de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz a fungos e cupins xilófagos. **Ciência Florestal**, v.20, n.3, p.501-511, 2010.

FERREIRA, Carlos Magri et al. Qualidade do arroz no Brasil: Evolução e Padronização. **Embrapa Arroz e Feijão**, 2005, 63p.

FOLETTTO, Edson Luiz *et al.* Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. Departamento de Engenharia Química, UFSM – RS. **Quim. Nova**, v.28 n°6, p. 1055-1060.

LUDWIG, Douglas Giongo. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz**. 2014. 59p. Dissertação - UNIVATES, Lajeado, 2014.

MARTINS, Matheus Pires. **Influência de substituição do cimento por pentóxido de nióbio hidratado e CCA na resistência à compressão de argamassas**. 2020. 19p. Dissertação – UNICEUB, Brasília, 2020.

MARTINEZ, Rubens Gargiulo et al. " Placas pré-moldadas de argamassa armada e casca de arroz". 2006.

MICHELON, Carlos Eduardo Luquini. Estudo preliminar da viabilidade de produção de blocos cerâmicos com adição de casca de arroz in-natura e lodo de ETE. 2023.

PEREIRA, A. D. et al. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. **Matéria-rio De Janeiro**, 20(1), 227–238, 2015

PRASARA, AJ; Gheewala, SH. Utilização sustentável de cinzas de casca de arroz de usinas elétricas: uma revisão. **J. Limpo. Prod.** 2017.

ROSA, Daiana Ruschel; BORBA, Henrique Andrews Gerlach Borba; JACQUES, Jocelise Jacques de. Revisão da literatura: as aplicações da casca de arroz para o desenvolvimento de um produto ambientalmente amigável. **ENSUS 2022 – X Encontro de Sustentabilidade em Projeto**, Marabá, 2022

SHINOHARA, Y.; Kohyama, N. Análise quantitativa de tridimita e cristobalita cristalizada em cinzas de casca de arroz por aquecimento. **Ind. Saúde**. 2004

SILVA, Everton Jose da. Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil. 2009. 117 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2009.

SILVA, L *et al.* Rice husk energy production in Brazil: An economic and energy extensive analysis. **Journal of Cleaner Production**, 290, 125188, 2021.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. O arroz no Brasil: evidências do censo agropecuário 2006 e anos posteriores. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2014. 58 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 299).

TASHIMA, Mauro Mitsuchi et al. Reaproveitamento da cinza de casca de arroz na construção civil. **Holos Environment**, v. 11, n. 1, p. 81-89, 2011.

TASHIMA, Mauro Mitsuchi et al. Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. **Ambiente Construído**, v. 12, p. 151-163, 2012.

VAN. *et al.* Rice husk ash as both pozzolanic admixture and internal curing agent in ultra-high performance concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 53, n. 12, p. 270-278, 2014.

VIEIRA, B., NUNES, J. L. O., TESSARO, A., BANDEIRA, J. L. S., & MATTOS, F. C. (2023). Efeito da adição de cinza de casca de arroz em matrizes de cimento Portland. **Holos Environment**, 23(1), p. 19–44. <https://doi.org/10.14295/holos.v23i1.12484>