Caracterização da cinza da casca de arroz como carga em cerâmica: experimentos de ângulo de contato e resistência à flexão

Characterization of rice husk ash as a filler in ceramics: experiments on contact angle and flexural strength

Cezar Oliveira de Almeida, Mestrando, Universidade Federal de Santa Maria (PPGAUP/UFSM)

cezar.almeida@acad.ufsm.br

Mariana Kuhl Cidade, Prof.ª Dra., Universidade Federal de Santa Maria (PPGAUP/UFSM)

mariana.cidade@ufsm.br

Marcos Antonio Villetti, Prof. Dr., Universidade Federal de Santa Maria (PPGQ/UFSM)

mvilletti@ufsm.br

Ronaldo Martins Glufke, Prof. Dr., Universidade Federal de Santa Maria (PPGAUP/UFSM)

rglufke@ufsm.br

Felipe Luis Palombini, Prof. Dr., Universidade Federal de Santa Maria (PPGAUP/UFSM)

felipe.palombini@ufsm.br

Resumo

O Brasil produz uma quantidade significativa de resíduos de casca de arroz que são considerados de baixo ou nenhum valor econômico, podendo gerar impactos negativos ao meio ambiente. Este estudo apresenta uma experimentação da mistura das cinzas da casca de arroz com a argila comercial, visando aproveitar as propriedades presentes nas cinzas no material. Para isso, as cinzas foram misturadas à argila, em quantidades pré-definidas, para a fabricação de amostras de teste. As amostras foram submetidas a ensaios de ângulo de contato e resistência à flexão, para caracterizar preliminarmente o efeito das cinzas na argila, em diferentes concentrações. Os dados coletados mostraram que este compósito tem potencial para ser utilizado comercialmente até uma faixa de 10% de cinzas, sendo que os resultados obtidos mostraram-se relevantes, pois servirão como base para o aprofundamento da pesquisa e possível desenvolvimento de produtos cerâmicos que necessitem de características levantadas neste estudo.

Palavras-chave: Materiais Cerâmicos; Resíduos; Sustentabilidade

Abstract

Brazil generates a significant amount of rice husk waste, considered to have little to no economic value, which can result in negative environmental impacts. This study presents an experiment involving the

mixing of rice husk ash with commercial clay, aiming to leverage the properties found in the ash to enhance the material quality. For this purpose, rice husk ash was mixed with clay in predefined quantities to create test samples. These samples were subjected to contact angle and flexural strength tests to preliminarily characterize the effect of the ash on the clay at different concentrations. The collected data demonstrated that this composite material has commercial potential with up to 10% ash content, as the results were relevant and will serve as the foundation for further research and potential development of ceramic products requiring the characteristics identified in this study.
Keywords: *Ceramic Materials; Waste; Sustainability*

1. Introdução

O arroz é o segundo cereal mais cultivado e o principal alimento para mais da metade da população mundial, ocupando uma área de quase 163 milhões de hectares, podendo ser cultivado sobre diversos sistemas e em diversos ecossistemas (Coêlho, 2021). Os dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA - *United States Department of Agriculture*) de 2020, conforme Coêlho (2021), mostram que os maiores produtores globais de arroz são: China, Índia, Bangladesh, Indonésia, Vietnam, Tailândia, Myanmar, Filipinas, Japão e Brasil, sendo o último o único país não asiático presente entre os dez maiores produtores. No Brasil, quase 95% da população consome arroz, e mais da metade o faz no mínimo uma vez por dia (CONAB, 2015). A orizicultura está presente em todas as regiões do território brasileiro, contudo, a Região Sul se destaca na produção do cereal. Somente o Rio Grande do Sul corresponde por cerca de 68% da produção de todo o país (Santos; Tavares, 2018). De acordo com os dados do CONAB de 2016 e 2017, conforme Santos e Tavares (2018), a receita bruta da cultura do arroz no Brasil foi de mais de R$ 8,8 milhões em 2015.

Por se tratar de um cereal que está na base da alimentação da população mundial, e possuir uma produção abundante, deve ser levado em consideração que tanto as atividades industriais quanto as agropecuárias produzem uma quantidade de resíduos que não são inerentes aos objetivos da produção em si. Segundo Mayer, Hoffmann, Ruppenthal (2006), diversos materiais, como restos de colheitas e lavouras, ou mesmo sobras de produtos processados no ambiente rural são dispostos de modo inadequado, com consequências adversas ao ambiente, como a poluição e degradação dos solos e águas. Sabendo disso, segundo Della, Kühn, Hotza (2005) arroz, trigo e milho representam as maiores colheitas em se tratando de cereais, e as partes não aproveitáveis como folhas, caule e casca são, no geral, consideradas lixo. Dentre eles, o arroz é o maior gerador de resíduos. Ainda, segundo Della, Kühn, Hotza (2005), para cada tonelada de arroz produzido, 23% correspondem a casca, e 4% correspondem a cinzas. Para fins de comparação, a produção mundial em 2004 foi de 608 milhões de toneladas, e no Brasil foram produzidos 13,3 milhões de toneladas (Della; Kühn; Hotza, 2005).

A alternativa primária considerada pelos produtores para o descarte desses resíduos é a compostagem da casca de arroz que, segundo Mayer, Hoffmann, Ruppenthal (2006), é um método empregado de forma indireta pela maioria dos produtores de arroz, pois boa parte da casca gerada é disposta no solo. Os problemas desse método são o tempo de decomposição deste resíduo, que demora aproximadamente 5 anos, o grande volume de metano gerado durante o processo e, devido à baixa densidade da casca, o resultado é um grande volume de material a ser disposto no solo. Segundo Mayer, Hoffmann, Ruppenthal (2006), outro destino dado à casca de arroz é a queima não controlada a céu aberto, o que gera grandes quantidades de monóxido e dióxido de carbono. Dessa forma, torna- se imprescindível buscar por soluções com o objetivo de atenuar ou solucionar os problemas ambientais causados pelo descarte ineficiente desses resíduos, a fim de buscar um desenvolvimento sustentável. O reaproveitamento total desse recurso, além de solucionar o problema ambiental pode ser fonte de renda através de sua

utilização direta como combustível para geração de energia termoelétrica, ou como matéria prima para outros processos como a produção de sílica a partir das cinzas geradas após a combustão da casca (Mayer; Hoffmann; Ruppenthal, 2006).

Como ferramenta de estudo e experimentações, a cerâmica se apresenta como um dos materiais mais adequados para a aplicação da sílica na sua composição, devido à sua versatilidade. Segundo Ashby e Johnson (2011), a cerâmica possui uma grande durabilidade, todas são duras e frágeis, possuem pontos de fusão alto e coeficientes de dilatação térmica baixos, além do fato de que a maioria é bom isolante elétrico. O tamanho das peças de cerâmica comercial pode abranger desde pequenos componentes como isoladores de velas de ignição até grandes cones frontais para veículos de reentrada na atmosfera. As cerâmicas tradicionais são muito conhecidas, como tijolos, telhas e ladrilhos, peças para banheiros, e louça doméstica; já as cerâmicas técnicas são usadas como mancais, pás de turbinas, cames, ferramentas de corte, blocos de extrusão, bocais, vedações, filtros, cadinhos e bandejas, isoladores elétricos, substratos e escoadouros de calor para circuitos eletrônicos (Ashby; Johnson, 2011).

Dos muitos materiais descartados como resíduo cabe ressaltar o impacto muitas vezes negligenciado que certos tipos podem possuir (Palombini; Cidade, 2022), levando a questões de sustentabilidade, por envolver atributos ambientais, econômicos e sociais (Palombini; Cidade; De Jacques, 2017). Nesse contexto, o papel do Design se mostra essencial, não apenas como transformador de forma e função, mas também na sua capacidade de influenciar aspectos econômicos, ecológicos e sociais (Cidade; Palombini, 2023). De acordo com Pazmino (2007), o design sustentável é uma alternativa que vem sendo utilizada com o objetivo de diminuir ao máximo os impactos ambientais, maximizar os objetivos econômicos e aumentar o bem-estar social, além disso propõe um valor de responsabilidade de não prejudicar o equilíbrio ambiental atual e garantir este equilíbrio para as gerações futuras. Além disso, como cita Papanek (1971), o design deve ser uma ferramenta inovadora, altamente criativa e interdisciplinar, responsiva às necessidades dos homens. Sabendo disso, o presente estudo pretende explorar a adição de cinzas provenientes da queima controlada de casca de arroz como carga modificante em cerâmica tradicional. Deste modo, foram realizados ensaios experimentais preliminares como ângulo de contato e resistência à flexão, para avaliar a influência das cinzas no material em diferentes concentrações.

2. Materiais e Métodos

A metodologia descrita a seguir foi aplicada de maneira experimental com o objetivo inicial de explorar as propriedades físicas resultantes da adição de cinzas da casca de arroz à argila. Com o intuito de utilizar as cinzas que fossem oriundas de um processo real de produção, foi realizada uma coleta em um moinho de arroz de Santa Maria – RS (Figura 1). Neste moinho, são produzidos aproximadamente 70 metros cúbicos de casca de arroz por dia (aprox. 12 toneladas) no processo de beneficiamento. Dessa quantia, com o objetivo de gerar calor para a secagem do arroz (Figura 1A) aproximadamente 2 toneladas de casca são queimadas em um forno próprio (Figura 1B). Dessa queima, resultam aproximadamente 400 Kg de cinzas produzidas diariamente, que geram um custo a mais para o moinho, pois possuem um grande volume, e necessitam ser dispostas em locais adequados. Após a coleta das cinzas, a próxima etapa a ser realizada foi a preparação dos materiais e a definição dos critérios para a construção dos corpos de prova.

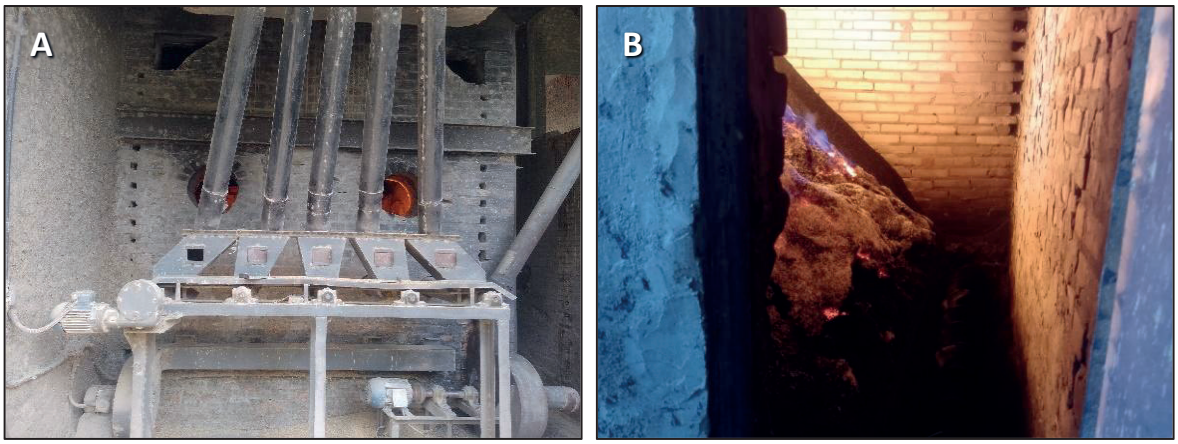


Figura 1 – Processamento da casca de arroz em moinho em Santa Maria – RS: (A) forno de secagem e (B) câmara de queima da casca. Fonte: Autores (2025).

2.1. **Preparação dos Materiais**

Para a construção dos corpos de prova, optou-se por fazer uma mistura das cinzas da casca de arroz com a argila em pó, e adicionar uma quantidade que fosse considerada ideal de água para a mistura, pois se constatou que este era o processo manual mais eficiente.

2.2. **Moagem da argila**

A primeira etapa da preparação dos materiais foi a moagem da argila seca, para transformá-la em pó, conforme é mostrado na Figura 2. Nesse processo, os blocos de argila seca (Figura 2A) foram colocados dentro de um recipiente e foram fragmentados com um martelo (Figura 2B) em uma trituração grossa. Em seguida, esses fragmentos foram colocados em um liquidificador para serem moídos (Figura 2C) em uma trituração fina. Após a moagem, o pó foi peneirado (Figura 2D) e armazenado em um recipiente plástico.



Figura 2 – Processo de moagem da argila: (A) argila seca bruta; (B) trituração grossa; (C) trituração fina; (D) peneiramento. Fonte: Autores (2024).

2.3. **Definição dos corpos de prova**

A seguir, foram definidos os critérios para a construção dos corpos de prova. Para isso, foi utilizada como referência a Norma ABNT NBR ISO 10545-4:2020, que explica a determinação da carga de ruptura e o módulo de resistência à flexão para placas cerâmicas e as diretrizes presentes nela foram determinantes para as dimensões dos corpos de prova. A partir disso foi definido que os corpos de prova deveriam ter aproximadamente 150 mm de comprimento, 50 mm de largura e 10 mm de espessura. Essas medidas foram utilizadas

primeiramente para o desenvolvimento de um gabarito para a construção das amostras de teste (Figura 3), envolvendo o uso de guias. O material utilizado para a construção desse gabarito foram chapas de madeira de espessura 10 mm, com o espaçamento de 120 mm entre elas.

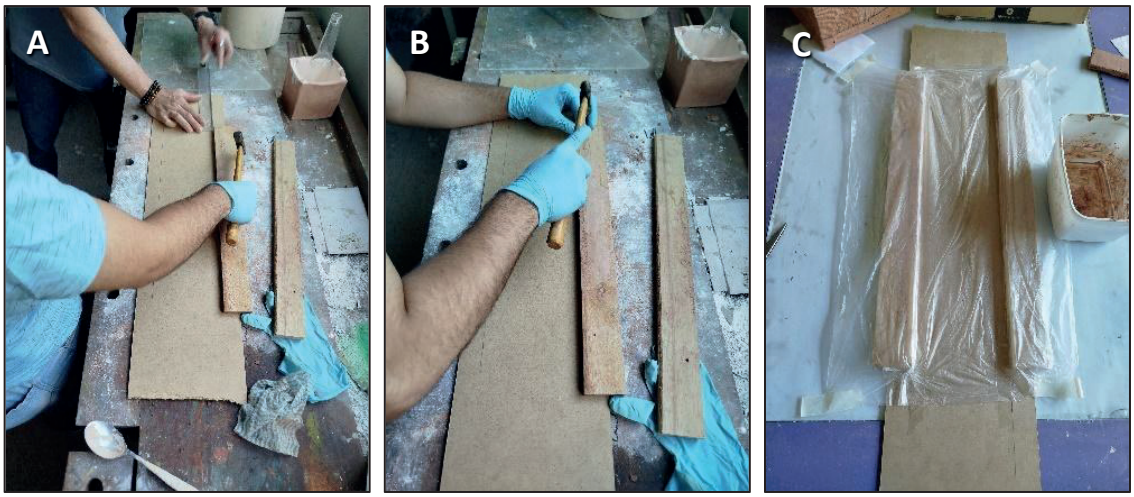


Figura 3 – Processo de construção do gabarito para argila: (A) Alinhamento das guias; (B) Fixação das guias; (C) Gabarito pronto com isolamento plástico. Fonte: Autores (2025).

Com o gabarito pronto, a etapa subsequente foi a definição das diferentes porcentagens de cada material para a construção dos corpos de prova. Levando em consideração a amostragem necessária para a realização dos testes, ficou definido que os corpos de prova seriam construídos em lotes de cinco, partindo de 5% de cinzas em massa, e adicionando 5% da quantidade de cinzas na mistura, à cada lote, até chegar em 30%, totalizando seis lotes.

2.4. **Mistura dos materiais e construção dos corpos de prova**

Definidas as porcentagens, iniciou-se o processo de mistura dos materiais e construção dos corpos de prova. A primeira etapa do processo para a construção de um lote de amostras foi a pesagem dos materiais (figura 4), onde foram separadas as quantidades suficientes para a construção de cinco corpos de prova.

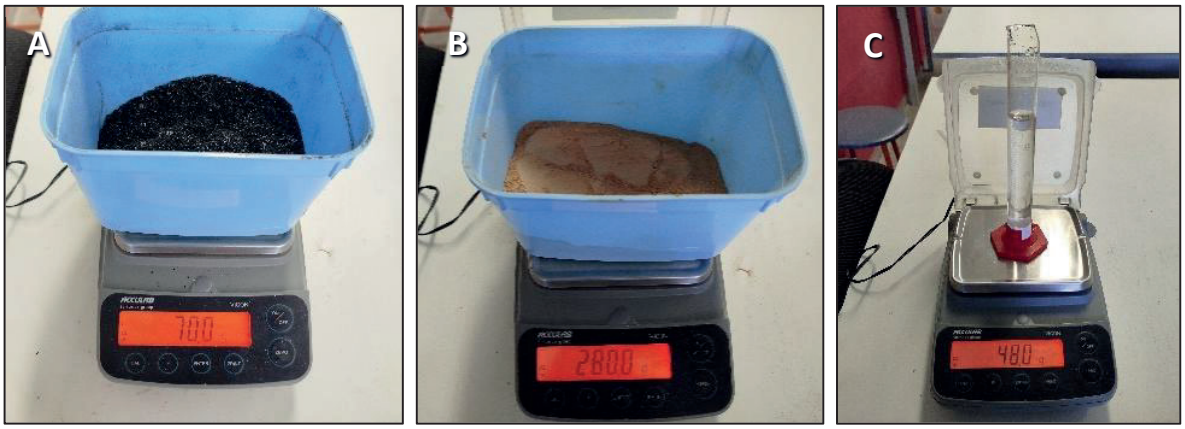


Figura 4 – Pesagem: (A) cinza da casca de arroz; (B) argila em pó; e (C) água. Fonte: Autores (2025).

A seguir, o processo de mistura ocorreu de forma manual (Figura 5), onde a argila e as cinzas foram unidas e, na sequência, adicionou-se pequenas quantidades de água, até que a

mistura se tornasse homogênea e tivesse a plasticidade ideal para a moldagem das amostras (Figura 5A).

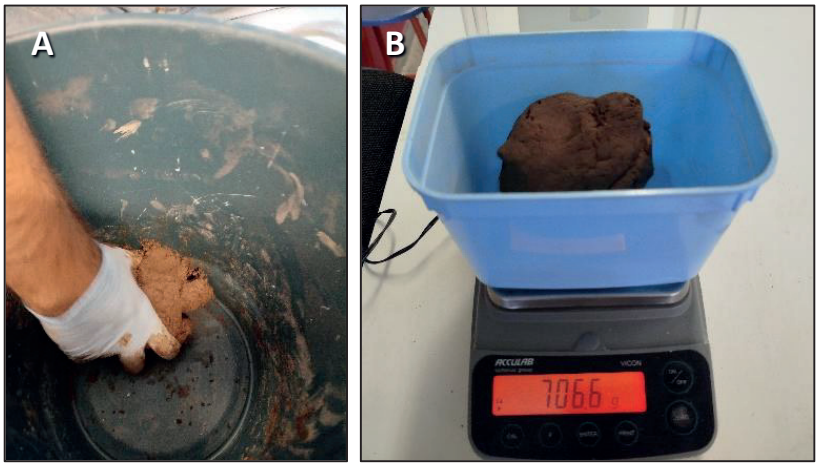


Figura 5 – Mistura para os corpos de prova: (A) homogeneização e (B) pesagem. Fonte: Autores (2025).

Após a realização da mistura, o material foi novamente pesado (Figura 5B), e na sequência moldado no gabarito (Figura 6). Para conformação foi utilizado um rolo de PVC (Figura 6A). Após ser moldado, o material foi cortado nos cinco corpos de prova do lote, com o auxílio de uma lâmina (Figura 6B), e cada corpo foi pesado, conforme é mostrado na Figura 6C.

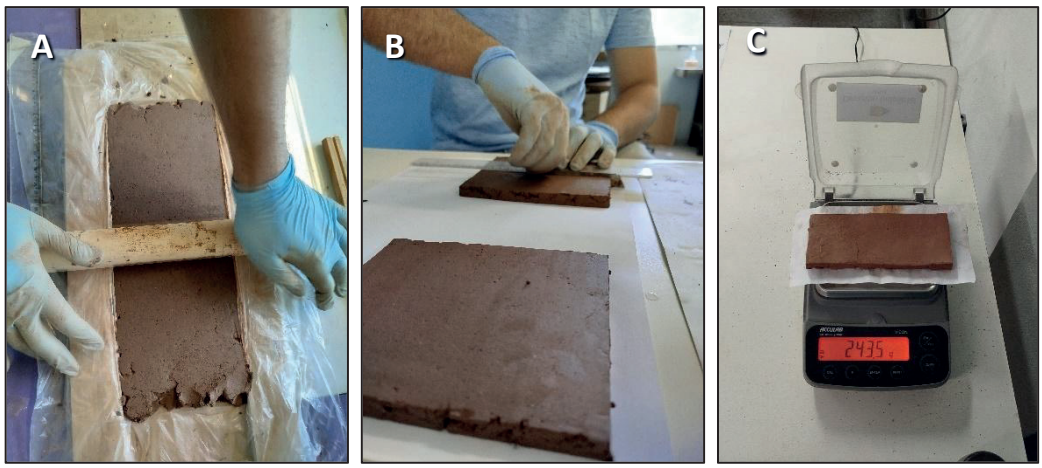


Figura 6 – Fabricação dos corpos de prova: (A) conformação da mistura no gabarito; (B) recorte da mistura em formato de amostra 5x15; (C) pesagem da amostra úmida. Fonte: Autores (2025).

Após o processo de moldagem, os corpos de prova passaram por um processo de secagem de uma semana, e após esse período foram novamente pesados. Após o processo de moldagem e secagem, partiu-se para a sua queima.

2.5. **Queima das peças**

Por fim, as amostras foram submetidas a um processo de queima (Figura 7) por um período de 10h em um forno do tipo mufla (Figura 7A), com controlador digital (marca Jung, modelo 0213), onde a temperatura inicial foi de 25°C e foi elevada gradualmente até a temperatura de 900 °C. Após a queima, as amostras foram novamente pesadas e com os corpos de prova

finalizados (Figura 7B), a etapa subsequente da pesquisa foi a realização dos testes de ângulo de contato e do teste de resistência à flexão.

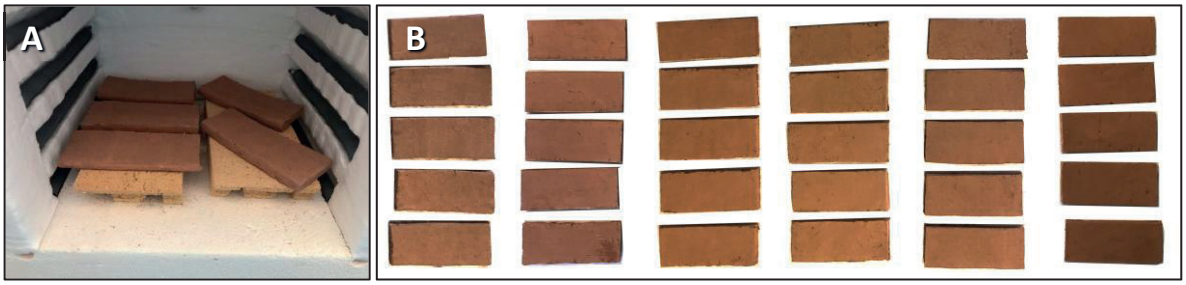


Figura 7 – Processo de queima: (A) amostras no forno tipo mufla; (B) corpos de prova finalizados. Fonte: Autores (2025).

2.6. **Teste de ângulo de contato**

O teste de ângulo de contato ou teste de hidrofobicidade/repelência, foi realizado no Laboratório de Biomateriais em Odontologia (BIOMAT/UFSM). Segundo Altafim, Gelfuso e Thomazini (2010), a hidrofobicidade é definida como a repulsão de um filme de água sobre uma superfície. Além disso, os autores citam que quando uma superfície hidrofóbica é molhada, a água tende a formar gotas discretas e que não se espalham pela superfície, já em superfícies hidrofílicas, a água não é repelida por ela, formando um filme que a recobre (Altafim, Gelfuso e Thomazini; 2010). Com base nesses conceitos, foi realizado o teste de ângulo de contato, que buscou apresentar se as diferentes porcentagens de cada material presente na mistura tornariam as amostras mais hidrofóbicas (repelem mais a água) ou mais hidrofílicas (absorvem mais a água). O teste de ângulo de contato consiste em gotejar com uma pipeta uma gota de 10 mm sobre o material analisado e, em seguida analisar o ângulo formado pela gota em relação à superfície do material. Se o ângulo formado pela gota for maior que 90 graus, a superfície é hidrofílica, e se for menor, é hidrofóbica. Para esse teste, foram selecionadas as amostras número 5 de cada lote produzido, sendo pingadas diferentes gotas em cada.

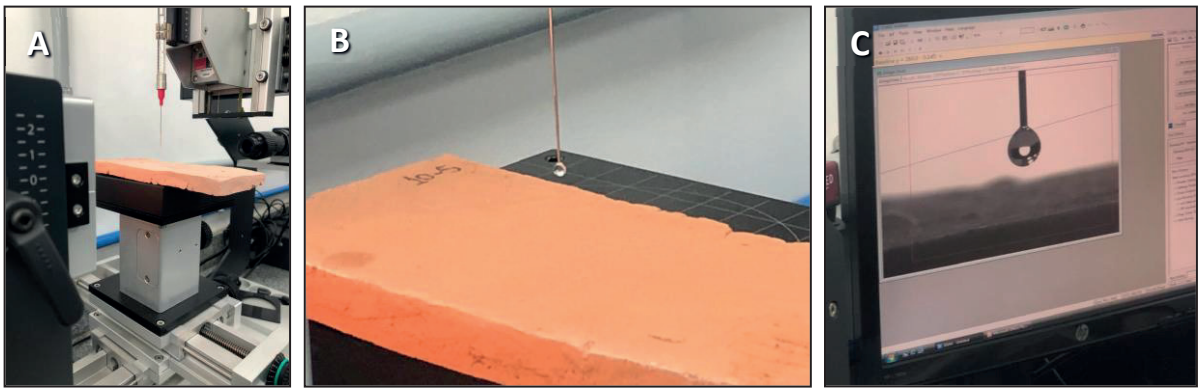


Figura 8 – Ensaio de hidrorrepelência: (A) posicionamento da amostra; (B) gotejamento; (C) visualização do experimento na câmera. Fonte: Autores (2025).

2.7. **Teste de Resistência à Flexão**

O teste de resistência à flexão por três pontos foi realizado após o teste de hidrofobicidade, utilizando os mesmos corpos de prova (Figura 9). O teste buscou apresentar se as diferentes porcentagens de cada material tornam as amostras mais ou menos resistentes à flexão. Os testes

foram realizados a partir da norma ABNT NBR ISSO 10545-4:2020, sendo realizado em um equipamento EMIC DL2000, localizado no Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento e a Inovação de Produtos e Processos (LADIPP/UFSM).

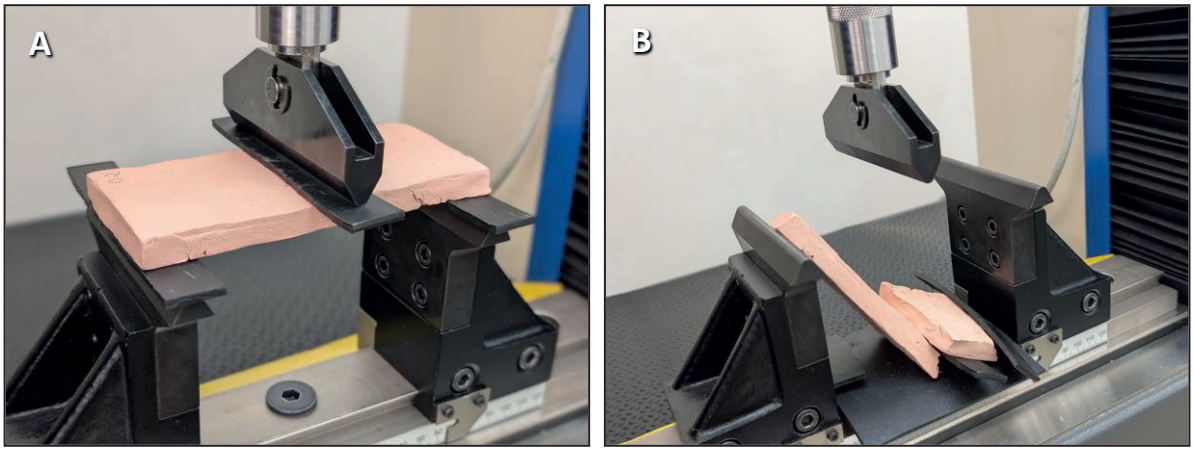


Figura 9 – Ensaio de flexão três pontos: (A) posicionamento da amostra; (B) amostra quebrada após o ensaio. Fonte: Autores (2025).

A preparação consiste no posicionamento das amostras a uma distância de 130 mm de cada apoio inferior fixo, com um lençol de borracha de 3 mm entre cada um dos 3 pontos (Figura 9A). A utilização de um lençol de borracha dá-se pela maior distribuição da carga aplicada até a ruptura (Figura 9B), sem uma concentração da mesma que poderia levar a um resultado falso.

3. Resultados e Discussão

De modo geral, as principais características analisadas no experimento foram a perda de massa, a hidrofobicidade do material e a resistência estrutural das amostras. Em relação à massa dos corpos de prova, de modo geral foi os valores foram inversamente proporcionais ao aumento da porcentagem de cinzas, conforme mostra a Figura 10, com as médias dos corpos em cada composição, para as etapas de pós-moldagem, pós-secagem e pós-queima.

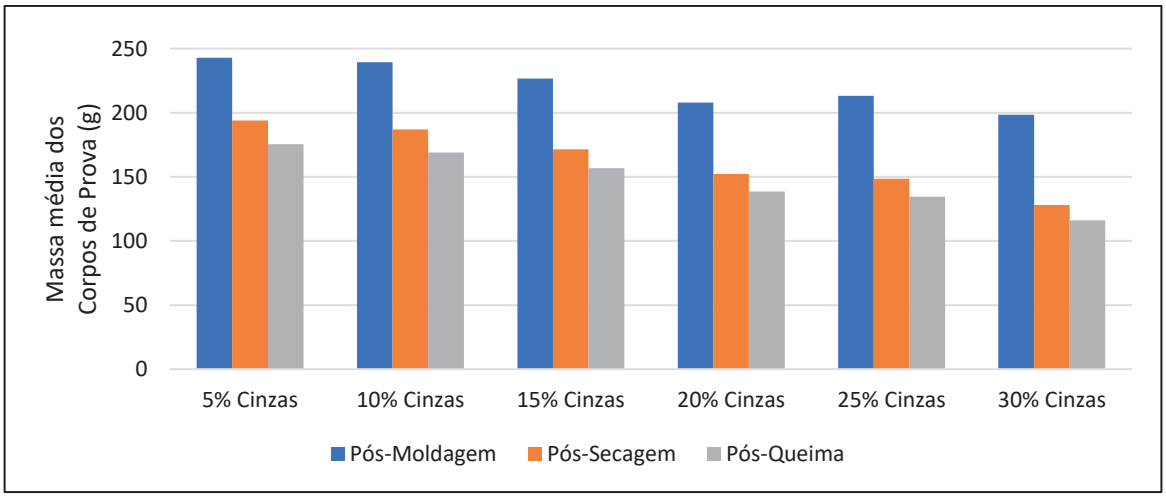


Figura 10 – Perda de massa dos corpos de prova durante o processo de fabricação. Fonte: Autores (2025).

Considerando as amostras pós-moldagem (ainda úmidas), os corpos com 30% de cinzas apresentaram aproximadamente 82% da massa dos corpos de prova que possuíam 5% de cinzas. Já após os processos de secagem e queima, esta diferença foi para 66%. Em termos relativos entre cada composição os corpos de prova com 5% de cinzas perderam cerca de 20% na secagem, e a 10% na queima, levando a 28% no total. Os corpos das demais composições também perderam cerca de 10% de massa nas queimas, mas variaram no processo de secagem, aumentando conforme o acréscimo de cinzas. No total de todos os processos, portanto, os corpos com cinzas de 10%, 15%, 20%, 25% e 30% perderam em média cerca de 29%, 31%, 33%, 37% e 42% de massa, respectivamente. Isso mostra como o acréscimo de cinzas faz com que o material absorva mais água e, consequentemente, perca mais massa ao longo do processo.

Em relação ao ensaio de ângulo de contato (Figura 11), não foi possível extrair um resultado conclusivo. Após o gotejamento (Figura 11A), as amostras de todas as concentrações absorveram rapidamente o líquido (Figura 11B). Em seguida foi realizada a tentativa de gotejamento com pipeta utilizado ácido oleico (extraído do arroz), contudo obteve-se os mesmos resultados.

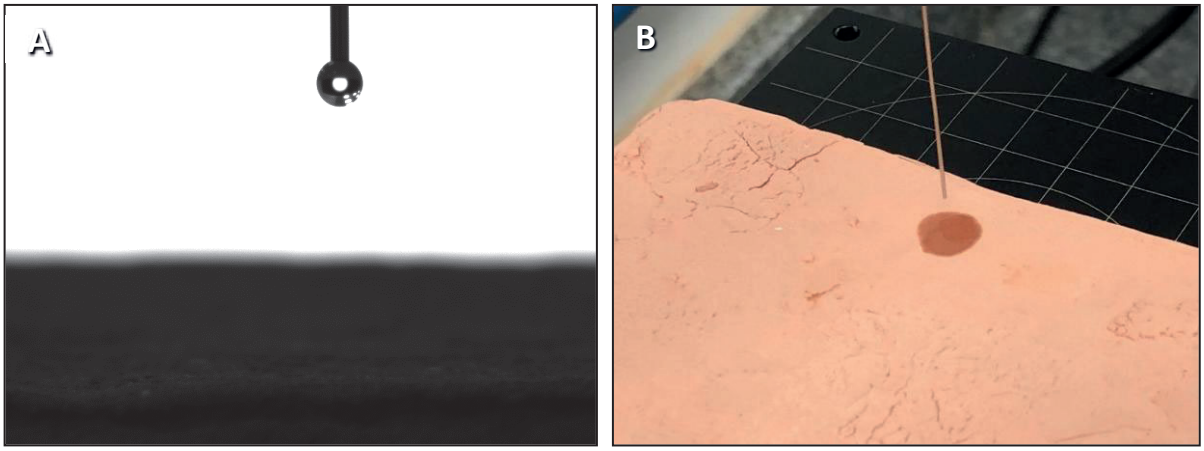


Figura 11 – Resultados do ensaio de ângulo de contato: (A) captura da câmera no momento do gotejamento; (B) superfície da amostra após o gotejamento. Fonte: Autores (2025).

Os resultados mostram que os poros grandes do material absorvem tanto líquidos polares (água) como apolares (ácido oleico). Por se tratar de um material muito poroso, a cerâmica absorveu totalmente e muito rapidamente os líquidos testados, não permitindo uma análise do ângulo formado pela gota na superfície. Com isso, foi possível concluir que o material é extremamente hidrofílico, absorvendo com muita facilidade os líquidos, independentemente da quantidade de sílica, proveniente da casca de arroz, adicionada.

Em seguida, nos ensaios de flexão as amostras foram agrupadas segundo suas diferentes composições. Todos os ensaios individuais podem ser visualizados por meio de gráficos de carga x deformação na Figura 12, separados por cada concentração. De modo geral, as curvas obtidas foram consideradas típicas de um gráfico de flexão 3 pontos para materiais frágeis, em que as amostras tiveram uma pequena deformação (na faixa de 2 mm) até sua ruptura, sendo que parte da deformação pode ter-se dado em função da compressão do lençol de borracha. Nota-se, assim uma pequena fase elástica (deformação retornável) no material sendo que, após a tensão de escoamento, o material colapsa, representando uma ausência de fase plástica (deformação permanente).

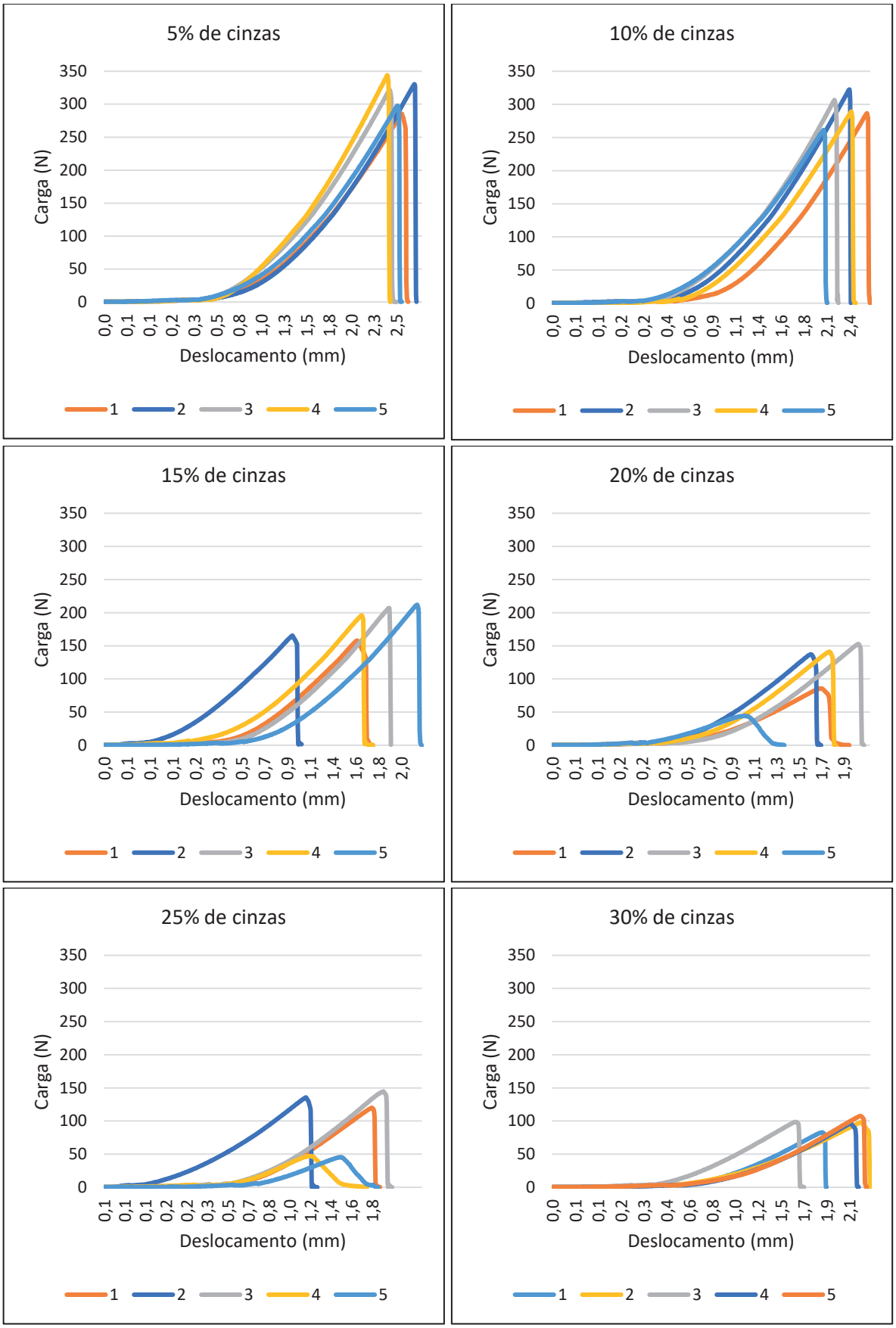


Figura 12 – Resultados do ensaio de flexão, com deslocamento em função da carga aplicada, para cada composição de cinzas. Fonte: Autores (2025).

Ressalta-se que, em todas as concentrações, as curvas de carga e deformação foram muito similares em termos de característica (baixa deformação e ausência de fase plástica). Contudo as cargas máximas obtidas foram distintas de acordo com as concentrações. Neste sentido, a Figura 13 apresenta os valores médios do módulo de resistência à flexão obtidos por cada grupo de amostras, dividido entre as concentrações, juntamente com os valores demarcados para desvio-padrão.

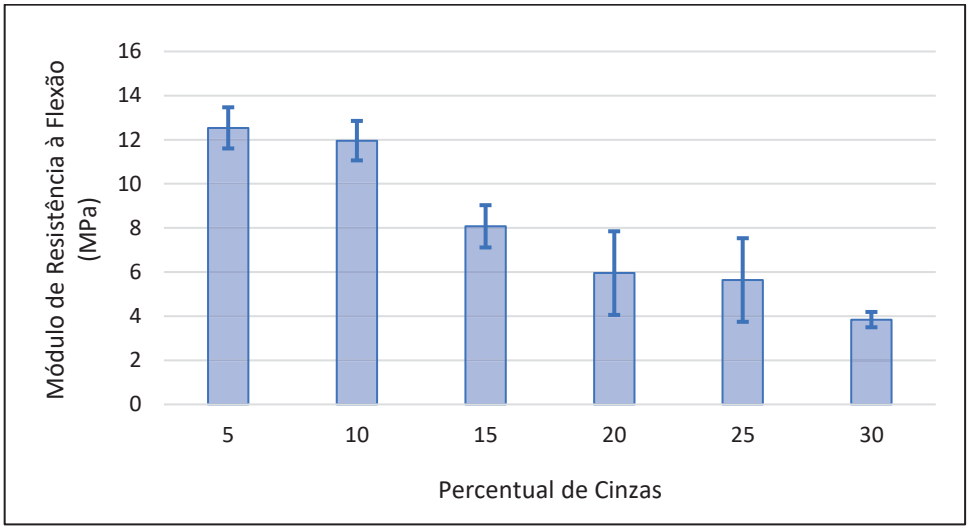


Figura 13 – Média do Módulo de Resistência à flexão para cada grupo de amostras. Fonte: Autores (2025).

Segundo a Norma ABNT NBR ISO 10545-4:2020, o cálculo do Módulo de Resistência à Flexão (R) é calculado com base nas relações de carga aplicada com as dimensões dos corpos de prova, segundo a Equação (1):

$$R = \frac{3.F.I_2}{2.B.h^2} \quad (1)$$

em que F é a carga de ruptura, expressa em Newtons (N); I_2 é a distância entre as barras de apoio, expressa em milímetros (mm), sendo para o experimento igual a $130\ mm$; B é o lado menor do corpo de prova, expresso em milímetros (mm), ou no experimento igual a $50\ mm$; e h é a espessura mínima do corpo de prova ensaiado, ao longo da borda de fratura, expressa em milímetros (mm), sendo igual a $10\ mm$, neste experimento.

De modo geral, conforme aumenta-se a concentração de cinzas nas amostras, sua resistência à flexão é reduzida. Em comparação com as amostras contendo 5% de cinzas, as amostras contendo 10%, 15%, 20%, 25% e 30% de cinzas tiveram uma resistência relativa de 93%, 59%, 36%, 31% e 31%, respectivamente. Além disso, as amostras com maiores quantidades de cinzas tiveram maior variação em sua estrutura, indicadas por um maior desvio-padrão dos resultados. Isso mostra a dificuldade em se homogeneizar misturas cerâmicas com maiores quantidades de cargas de cinzas. Por outro lado, pode ser observado que o uso de até 10% de cinzas não apresenta uma mudança significativa de desempenho à flexão nem homogeneidade, sendo que as maiores diferenças ocorrem no intervalo de 10% a 20% de cinzas, quando seu desempenho inferior tende a estabilizar.

4. Considerações Finais

O reaproveitamento da casca de arroz, através das suas cinzas, para produtos cerâmicos é uma maneira importante de agregar valor a um insumo normalmente considerado de pouco, ou até nenhum valor agregado, trazendo um impacto ambiental, econômico e social. Esse estudo apresentou um experimento preliminar da mistura de argila comercial com cinzas de casca de arroz, através de etapas majoritariamente manuais. As principais dificuldades encontradas durante o processo de construção dos corpos de prova estão relacionadas ao processo de mistura manual dos materiais, etapa em que se faz necessário uma composição homogênea da mistura. Uma alternativa possível para acelerar o processo seria a utilização de equipamentos mecanizados para realizar a mistura.

Em termos de propriedades físicas, o material apresentou uma perda de massa ao longo do processo proporcional ao aumento da porcentagem de cinzas, ou seja, que quanto maior a adição de cinzas na mistura mais leve o material final se torna. De modo geral, é possível considerar que o material testado é muito poroso, muito em consequência da presença de cinzas, que o deixou com uma menor densidade relativa. Por consequência, o material apresentou-se como extremamente hidrofílico, absorvendo líquidos com muita facilidade independentemente da concentração de cinzas e do tipo de líquido utilizado (água ou ácido oleico) no gotejamento.

Com relação às propriedades mecânicas, verificou-se que assim como a adição de cinzas na mistura aumenta sua porosidade, seu módulo de resistência à flexão também diminui. Também foi constatada uma maior influência do processo de fabricação empregado, sendo que a homogeneização da mistura tornou-se um fator mais crítico à medida em que um maior percentual de cinzas é adicionado, observado pelos desvios-padrão de amostras com maiores concentrações. Entretanto, de maneira preliminar, pode-se afirmar que uma utilização de mistura cerâmica com carga de até 10% de cinzas de casca de arroz pode conferir propriedades de redução de massa aos corpos de prova, mantendo uma resistência à flexão similar, com pouca influência do processo de fabricação em sua homogeneidade.

Apesar do processo de refino da matéria-prima demandar tempo e trabalho, a possibilidade de transformar um insumo considerado de baixo ou nenhum valor em um material de maior valor agregado é algo que pode ser considerado e valorizado, principalmente ao aproveitar-se de suas propriedades principais obtidas. Por fim, esse estudo pretende ser uma etapa inicial para novas pesquisas e experimentos, visando ao reaproveitamento deste tipo de materiais e elaboração de novos ensaios de caracterização, com foco na sua possível inserção na criação e fabricação de novos produtos com design aplicado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Biomateriais em Odontologia (BIOMAT/UFSM) pelos ensaios de ângulo de contato, ao Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento e a Inovação de Produtos e Processos (LADIPP/UFSM) pelos ensaios de resistência à flexão, e ao moinho de beneficiamento Arroz Figueira (Santa Maria / RS) pela disponibilização das cascas de arroz.

Referências

ALTAFIM, R. A. C; GELFUSO M. V.; THOMAZINI, D. Método de determinação de hidrofobicidade em superfícies e método de avaliação do envelhecimento de superfícies e sistemas compreendendo tais métodos. Depositante: Fundação Edson de Queiroz - Universidade de Fortaleza - UNIFOR,

Universidade de São Paulo – USP. BR n. PI 0811520-6 B1. Depósito: 11 dez. 2008. Concessão: 07 dez. 2010.

ARAÚJO, M. J. Fundamentos de agronegócios. São Paulo: Editora Atlas SA, 2007.

ASHBY, M; JOHNSON, K. Materiais e Design: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto. 2 ed. Rio de janeiro: Elsevier, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISSO 10545-4: Placas cerâmicas: Parte 4: Determinação das cargas de ruptura e módulo de resistência à flexão. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BRUMMELHAUS, J. L. et al. Estudo de alternativas de utilização de resíduos de arroz na construção civil. XXVI Seminário de Iniciação Científica. Anais eletrônicos… Ijuí: UNIJUÍ, 2018. Disponível em: https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/10461. Acesso em: 11 nov. 2023.

CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L. Design e sustentabilidade: práticas experimentais com materiais problemáticos no ensino de joalheria contemporânea. MIX Sustentável, v. 9, n. 4, p. 17–26, 1 set. 2023. DOI: https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n4.17-26

COÊLHO, J. D. Arroz: produção e mercado. Caderno Setorial ETENE, ano 6, n. 156, p. 1-7, mar. 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/698. Acesso em: 11 nov. 2023.

COLLI, M. Explorando a produção de arroz: maiores produtores no Brasil e no mundo. 2024. Disponível em: https://agroadvance.com.br/blog-producao-de-arroz-no-brasil/. Acesso em: 31 mai. 2024.

CONAB. A cultura do arroz. Brasília: CONAB, 2015. Disponível em: https://biblioteca.conab.gov.br/phl82/pdf/2015_Cultura_do_arroz.pdf. Acesso em: 11 nov. 2023.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. Química nova, v. 24, n.6, p. 778-782, mai. 2001. Disponível em: https://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=803. Acesso em: 11 nov. 2023.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos agro-industriais: Cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. Cerâmica Industrial, v. 10, n. 2, p. 22-25, mar. 2005. Disponível em: https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657227f8c9d6e028b46cb. Acesso em: 11 nov. 2023.

DIAS, M. F. P.; PEDROZO, E. A.; ANICET, C. N. Desafios e respostas inovadoras sustentáveis da agroindústria arrozeira brasileira. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 4, n. 1, 2011.

ESCHER *et al.* Casca: de problema ambiental à solução energética. Lavoura Arrozeira, v.64, n.468, out./nov./dez. 2016. Disponível em: http://biblioteca.irga.rs.gov.br/irga/. Acesso em: 03 jun. 2023.

FOLETTO, E. L. et al. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. Química Nova, V. 28, n. 6, p. 1055-1060, ago. 2005. Disponível em: https://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3217. Acesso em: 11 nov. 2023.

LORENZETT, D; NEUHAUS, M; SCHWAB, N. Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa-PR v. 08, n. 01: p. 219-232, 2012. Disponível em: https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/838. Disponível em: https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/viewFile/838/786. Acesso em: 03 jun. 2023.

MAYER, F. D.; HOFFMAN, R.; RUPPENTHAL, J. E. Gestão energética, econômica, e ambiental do resíduo casca de arroz em pequenas e médias agroindústrias de arroz. XIII SIMPEP. Anais eletrônicos… Bauru: UNESP, 2006. Disponível em: https://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep_aux.php?e=13. Acesso em: 11 nov. 2023.

PALOMBINI, F. L.; CIDADE, M. K. Lixo Invisível: Contribuição do Design para Recuperação de Materiais Problemáticos. MIX Sustentável, v. 9, n. 1, p. 17–26, 22 dez. 2022. DOI: https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n1.17-26

PALOMBINI, F. L.; CIDADE, M. K.; DE JACQUES, J. J. How sustainable is organic packaging? A design method for recyclability assessment via a social perspective: A case study of Porto Alegre city

(Brazil). Journal of Cleaner Production, v. 142, p. 2593–2605, jan. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.016

PAPANEK, V. Design for the real world: Human Ecology and Social Change. 2 ed.: Chicago Review Press, 2005.

PAZMINO, A.V. Uma reflexão sobre design social, eco design e design sustentável. I Simpósio Brasileiro de Design Sustentável. Anais… Curitiba: UFPR, 2007.

SAIDELLES *et al.* Gestão de resíduos sólidos na indústria de beneficiamento de arroz. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Santa Maria/RS – Brasil, v(5), n°5, p. 904 - 916, 2012. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/4314. Acesso em: 31 mai. 2024.

SANTOS, I. O.; TAVARES, M. Eficiência técnica, alocativa e de custos na produção de arroz no Brasil. Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, out. 2018. Disponível em: https://www.eumed.net/rev/oel/2018/10/producao-arroz-brasil.html. Acesso em: 11 nov. 2023.

WANDER, A. E.; DA SILVA, O. F. Rentabilidade da produção de arroz no Brasil. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1016409. Acesso em: 31 mai. 2024.

WANDER, A. E. Oportunidades, desafios e perspectivas para o arroz no Brasil: ponto de vista. Revista de Política Agrícola, v. 32, n. 1, p. 1540156, jan./mar. 2023. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1159750. Acesso em: 31 mai. 2024.