

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Amanda Rampelotto de Azevedo

**ALTERNATIVAS PARA A CINZA DE CASCA DE ARROZ: UMA
REVISÃO**

Cachoeira do Sul, RS
2021

Amanda Rampelotto de Azevedo

ALTERNATIVAS PARA A CINZA DE CASCA DE ARROZ: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em **Engenharia Agrícola**

Orientadora: Profa. Dra. Mariana Vieira Coronas

Cachoeira do Sul, RS
2021

Amanda Rampelotto de Azevedo

ALTERNATIVAS PARA A CINZA DE CASCA DE ARROZ: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em **Engenharia Agrícola**.

Mariana Vieira Coronas, Dra. (UFSM)
{Presidenta/Orientadora}

Viviane Dal-Souto Frescura, Dra. (UFSM)

Zanandra Boff de Oliveira, Dra. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS
2021

EPÍGRAFE

*“Num país como o Brasil, manter a esperança
viva é em si um ato revolucionário”*

(Paulo Freire)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Gerson e Andrea, avó Marisa e irmã Vanessa, pela compreensão, amor e carinho incondicional. Obrigada por tudo, amo vocês!

A minha segunda família Ernesto e Monica, sou eternamente grata pelo amor que recebi de vocês.

Ao meu amado Jaderson, por ser meu porto seguro, meu refúgio e meu aconchego. Te amo.

A minha grande amiga e orientadora, Mariana Vieira Coronas, pelas orientações, dedicação, incentivo e ensinamentos. Pela oportunidade que me proporcionou como bolsista do LAPROBIO. Sou grata pela sua amizade, carinho que teve comigo, palavras de conforto e por sempre estar comigo. Sempre terei você em minhas melhores lembranças.

Aos meus amigos, por sempre estarem comigo, por tudo aquilo que passamos juntos dentro ou fora da faculdade, pela parceria e força.

Aos prof. Marcus Vinícius Tres e prof. Giovane Leone Zabot, por oportunizarem a realização do meu estágio obrigatório no laboratório, ensinamentos e apoio prestado.

A todos os professores e servidores da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, os quais tenho extrema admiração e respeito.

A Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, por todo o auxílio financeiro prestado, auxílio moradia, auxílio alimentação, entre outros, durante esses dez semestres de graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Fundo de Incentivo à Pesquisa/UFSM - FIPE Sênior/UFSM, pelas bolsas de iniciação científica, incentivo e apoio ao desenvolvimento de pesquisas.

RESUMO

ALTERNATIVAS PARA A CINZA DE CASCA DE ARROZ: UMA REVISÃO

AUTOR: Amanda Rampelotto de Azevedo
ORIENTADORA: Mariana Vieira Coronas

O Brasil, no continente americano, é o maior produtor de arroz, sendo o Rio Grande do Sul o estado responsável por mais de 70% dessa produção. Na produção e beneficiamento do arroz, dentre os resíduos gerados, a casca é o mais volumoso e corresponde a 23% do peso do grão. O processo de queima da casca de arroz origina como subproduto a cinza e corresponde a 4% da massa de arroz em casca. O objetivo deste estudo foi fazer uma revisão da literatura sobre a cinza da casca de arroz (CCA) e alternativas para utilização desse resíduo. A pesquisa foi realizada por meio de levantamento bibliográfico nas bases de dados Google Acadêmico, Web of Science e Scopus, sendo utilizado os últimos 22 anos de pesquisa e como ferramenta da pesquisa os termos: Cinza de casca de arroz; Caracterização da CCA; Alternativas para a CCA; Rice Husk Ash e Rice Husk Ash Alternatives. A partir da revisão de 48 estudos se fez o levantamento dos constituintes da CCA e seus respectivos teores e suas principais aplicações. Dentre as principais aplicações da CCA encontradas foram a utilização como substituto parcial do cimento e argamassa em materiais de construção; na confecção de vidrarias; como material adsorvente na remoção de poluentes; adição em solos agrícolas. A CCA é material viável e de fácil acesso. A importância e consumo do arroz e sua produção, especialmente no sul do Brasil, deve considerar também alternativas sustentáveis de sua prática e gerenciamento e alternativas aos seus resíduos.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L. Energia. Resíduos agrícolas. Sílica. Aplicações.

ABSTRACT

ALTERNATIVES FOR RICE HUSK ASH: A REVIEW

AUTHOR: Amanda Rampelotto de Azevedo

ADVISOR: Mariana Vieira Coronas

On the American continent, Brazil is the largest rice producer, Rio Grande do Sul state is responsible for 70% of this production. In the production and processing of rice, among the residues generated, the husk is the most voluminous and corresponds to more than 23% of the weight of the grain. The rice husk burning process originates ash as a by-product and corresponds to 4% of the rice husk mass. The aim of the study was to review the literature of this rice husk ash (RHA) and alternatives for using this residue. The research was carried out through a bibliographic survey in the Google Academic, Web of Science and Scopus databases, being used in the last 22 years of research and as a search tool for terms: Rice husk ash; Characterization of RHA; Alternatives to an RHA; Rice Husk Ash and Rice Husk Ash alternatives. From the review of 48 studies, the RHA constituents and contents and their main applications were surveyed. The main applications of RHA found were its use as a partial substitute for cement and mortar in building materials; in making glassware; as an adsorbent material in the removal of pollutants; addition to agricultural soils. RHA is a viable and easily accessible material. The importance and consumption of rice and its production, especially in southern Brazil, must also consider sustainable alternatives to its practice and management and alternatives to waste.

Keywords: *Oryza sativa* L. Energy. Agricultural waste. Silica. Applications.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de arroz com casca: 10 maiores produtores.	11
Figura 2 - Principais cultivares de arroz utilizadas na safra 2019/2020 no município de Cachoeira do Sul – RS.	16
Figura 3 - Matriz Energética Brasileira de 2020.	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Usinas termoeletricas brasileiras que utilizam a casca de arroz como materia prima.	19
Tabela 2 - Constituintes da cinza da casca de arroz (CCA) e sua respectiva composicao.	21

SUMÁRIO

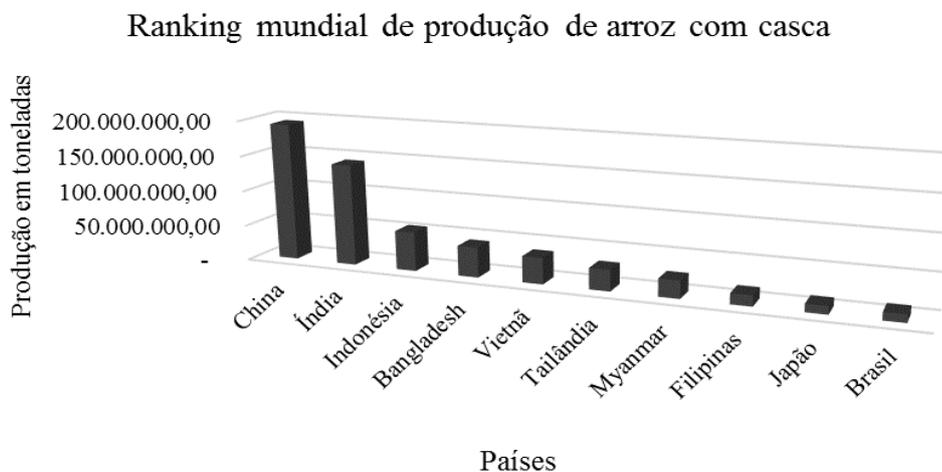
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo Geral.....	12
1.2 Objetivos Específicos	12
2. METODOLOGIA	13
3. O ARROZ	14
4. CASCA E CINZA DA CASCA DO ARROZ	17
5. APLICAÇÕES DA CINZA DA CASCA DE ARROZ	23
5.1 SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO E ARGAMASSA	23
5.2 PRODUÇÃO DE VIDRARIAS	25
5.3 USO DA CINZA COMO MATERIAL ADSORVENTE	26
5.4 EFEITOS DA CINZA NO AMBIENTE	28
5.5 INCORPORAÇÃO EM SOLOS E EFEITOS EM CULTURAS.....	29
5.6 OUTRAS APLICAÇÕES.....	32
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	35
ANEXO – DECLARAÇÃO DE ACEITE	45

1. INTRODUÇÃO

O arroz é o alimento básico diário para mais de 3,5 bilhões de pessoas, representando 19% da energia alimentar globalmente (THE SUSTAINABLE RICE PLATFORM, 2021). O consumo mundial de arroz varia em mais de 200 kg *per capita* por ano em alguns países da Ásia, enquanto em outros a média fica em 5 kg *per capita*/ano, como a França, por exemplo (FERREIRA et al., 2005). O consumo médio do Brasil gira em torno de 45 kg ao ano de arroz beneficiado, sendo um país representativo do grupo modelo de consumo subtropical (FERREIRA et al., 2005). Segundo o Guia Alimentar para a População Brasileira (2014) o tradicional arroz com feijão equivale a 1/4 da alimentação e quando combinados, fornecem proteínas, carboidratos, ferro, entre outros nutrientes essenciais para o consumo humano.

Conforme a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura -FAO (2019) a China é o maior produtor mundial de arroz, enquanto o Brasil ocupa o 10º lugar no ranking de produção, com média de 193,7 milhões e 11,2 milhões de toneladas, respectivamente (Figura 1). O estado do Rio Grande do Sul é líder na produção nacional, representando mais de 70 % da produção de arroz (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2021). Nesse estado predomina o cultivo do arroz irrigado, sendo a mesorregião do Sudoeste Rio-grandense a maior produtora (RIO GRANDE DO SUL, 2020). Cachoeira do Sul, a mesorregião Centro-Sul do Rio Grande do Sul, não está localizada entre as áreas mais produtivas de arroz atualmente, mas já foi o maior produtor de arroz do Brasil. Atualmente observa-se uma diminuição da área plantada de arroz para outras culturas, principalmente a soja, mas ainda se destaca na produção daquele grão (IBGE, 2017).

Figura 1 - Produção de arroz com casca: 10 maiores produtores no mundo.



Fonte: Adaptado de Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAO (2019).

Na produção e beneficiamento do arroz, dentre os resíduos gerados, a casca é o mais volumoso e corresponde a 23 % do peso total (casca e grão) (DELLA et al. 2001), o que equivale aproximadamente a mais de 2,55 milhões de toneladas de resíduo a serem produzidas na safra de 2020/21 no Brasil. O principal uso da casca de arroz é para a produção de energia elétrica (ZUQUINAL, 2016).

A cinza da casca de arroz (CCA) é o resíduo gerado da queima da casca de arroz (NASCIMENTO, 2015). O descarte incorreto desse resíduo e dispersão no ambiente podem levar a contaminação e prejuízos aos ecossistemas (ISLABÃO, 2013), necessitando aplicações sustentáveis e descarte ambientalmente correto (PRASARA-A; GHEEWALA, 2017). Nessa perspectiva, se faz importante estudar alternativas para diminuição dos impactos negativos sob o ambiente, dos custos de descarte e na pressão sob outras matérias-primas quando esses resíduos são incorporados a outros processos produtivos.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi fazer uma revisão da literatura sobre a cinza da casca de arroz e alternativas para utilização desse resíduo.

1.2 Objetivos Específicos

- Estimar a quantidade de resíduos de casca e cinza da cultura do arroz no Brasil;
- Revisar os usos e efeitos da aplicação da cinza da casca de arroz em solos agrícolas;
- Discutir alternativas para utilização da cinza da casca de arroz.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada por meio de levantamento bibliográfico nas bases de dados Google Acadêmico, Web of Science e Scopus, sendo utilizado os últimos 22 anos de pesquisa e como ferramenta da pesquisa os termos: Cinza de casca de arroz; Caracterização da CCA; Alternativas para a CCA; Rice Husk Ash e Rice Husk Ash Alternatives. As monografias de trabalho de conclusão de curso, dissertações e teses, resumos e trabalhos publicados em anais de eventos científicos também foram consideradas nesse levantamento na pesquisa com os termos em português. A partir da revisão de 48 estudos se fez o levantamento dos constituintes e teores CCA e suas principais aplicações.

3. O ARROZ

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal pertencente à família das Poaceae, de ciclo anual, originária do sudeste da Ásia, introduzida no ano de 1904 no município de Pelotas no Rio Grande do Sul (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015). O cultivo pode ser realizado em várias condições climáticas. No entanto, é o cereal mais exigente em umidade do solo e só se desenvolve normalmente quando sujeito a longos períodos de luz e temperaturas adequadas.

Os órgãos vegetativos da planta de arroz são as raízes, folhas, colmos e perfilhos, enquanto as panículas são as estruturas com as flores que são os órgãos reprodutivos. As raízes emitidas na primeira semana da emergência são chamadas de raízes seminais ou embrionárias, enquanto as raízes emitidas durante o crescimento da planta e persistentes até o final do ciclo da cultura são as raízes adventícias. Os colmos são compostos de nós e entrenós e se apresentam como colmo principal (colmos primários) de onde se desenvolvem os perfilhos (colmos secundários) (MEUS et al., 2020). As folhas são formadas por lâmina, bainha, lígula e aurícula, sendo o ponto de união entre bainha e lígula chamado de colar. A última folha formada abaixo da panícula é a folha bandeira e a panícula possui uma haste central e ramificações onde se inserem as espiguetas e o fruto é chamado de cariopse, compreendendo o grão sem casca protegido pelo pericarpo, por isso, também é chamado de fruto-semente (FONSECA et al., 2008). Características como presença de pelos nas folhas e a coloração da aurícula e da lígula, cor e forma da cariopse, ângulos da folha bandeira e dos perfilhos, presença de arista, dentre outras características são inerentes às cultivares (FONSECA et al., 2008).

O ciclo da cultura é dividido basicamente em três principais fases: fase de plântula (semeadura até a emergência), fase vegetativa (emergência até a quarta folha do colmo apresentar o colar formado) e a fase reprodutiva (diferenciação do primórdio da panícula até a maturação fisiológica), segundo a escala proposta por Counce et al. (2000). O conhecimento das fases fenológicas do arroz ajuda na identificação de problemas na cultura e auxiliam nas decisões de manejo (SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO, 2007).

No Brasil o arroz é cultivado em ecossistema de várzea e de terras altas. Em várzea são utilizados os sistemas de cultivo com irrigação controlada (arroz irrigado) e o cultivo sem irrigação controlada. No ecossistema de terras altas, ou arroz de sequeiro, o plantio é realizado em áreas não alagadas e dependentes de condições pluviométricas favoráveis (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015). O cultivo em sequeiro ocorre principalmente em regiões do Cerrado, onde os solos são caracterizados pela alta acidez e deficiência de

fósforo (P), cálcio, magnésio, zinco e boro (FAGERIA; STONE, 1999), o uso de irrigação é opcional e pode ser realizado por aspersão (GUIMARÃES; SANT'ANA, 1999).

O cultivo de arroz de sequeiro tem sido intensificado ao longo dos anos, mas ainda é incipiente, necessitando de novas tecnologias disponíveis, desenvolvimento de cultivares de ciclo precoce e resistentes ao ataque de pragas, doenças e competitividade de outras plantas (LANNA et al., 2003). O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2020) classifica as cultivares de arroz em três grupos, de acordo com a duração do ciclo: Grupo I ($n < 115$ dias); Grupo II ($115 \text{ dias} < n < 130$ dias); e Grupo III ($n > 130$ dias), sendo n o número de dias da emergência à maturação fisiológica da cultura.

No estado do Rio Grande do Sul o cultivo do arroz é realizado principalmente pelo sistema irrigado por inundação, onde a água é preenchida no sistema até formar uma lâmina que permanece até a maturação da planta (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015). Nesse sistema, as plantas necessitam principalmente de nitrogênio (N) e P para o seu desenvolvimento (FAGERIA et al., 2003). O N é o nutriente mais limitante para produtividade das culturas agrícolas e na cultura do arroz é um dos nutrientes mais acumulados pela planta. A fonte e a época adequada de aplicação de N otimizam a sustentabilidade econômica e diminuem a poluição ambiental pela redução de perdas por lixiviação, volatilização e outros processos (FAGERIA et al., 2011).

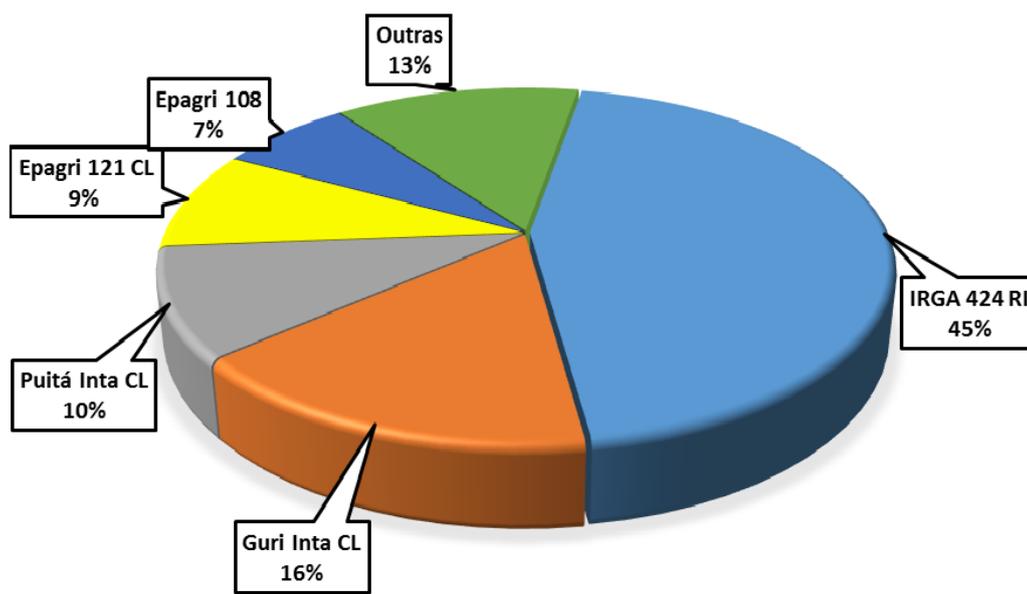
No cultivo do arroz a demanda hídrica pode variar conforme a cultivar, condições climáticas, tipo de solo e estágio fenológico da planta. O arroz de sequeiro pode consumir em todo seu ciclo em média 450 a 700 mm de água (RODRIGUES et al., 2004). No cultivo do arroz irrigado foi estimado que para produzir 1kg de arroz é necessário 1.300 litros de água (PARFITT, 2018).

No Rio Grande do Sul é comum a escolha de cultivares de arroz de ciclo médio diferente do estado de Santa Catarina, que preferencialmente são escolhidas cultivares de ciclo tardio. Além disso, também há as cultivares de ciclo precoce ou muito precoce escolhidas pelo produtor somente se há necessidades ou interesse de antecipar a colheita, essas opções de ciclo estão diretamente relacionadas ao local de produção e tipo de manejo adotado pelo produtor (SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO, 2018). As principais cultivares de arroz para cultivo irrigado utilizadas no estado do Rio Grande do Sul na safra de 2019/2020 foram IRGA 424 RI, Guri INTA CL e IRGA 431 CL, totalizando 936.316 ha plantados por essas e todas as outras cultivares de arroz (INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ, 2020). Na região central, onde está localizado o município de

Cachoeira do Sul, as principais cultivares de arroz utilizadas na safra 2019/2020 foram IRGA 424 RI, Guri Inta CL, Puitá Inta CL, Epagri 121 CL, Epagri 108 (Figura 2).

Figura 2 - Principais cultivares de arroz utilizadas na safra 2019/2020 no município de Cachoeira do Sul – RS.

Principais cultivares de arroz utilizadas na safra 2019/2020 em Cachoeira do Sul - RS.



Fonte: Adaptado de Instituto Rio Grandense do Arroz - IRGA (2020).

4. CASCA E CINZA DA CASCA DO ARROZ

Segundo Penha et al. (2016) a casca de arroz (CA) é um resíduo de densidade leve, o que faz aumentar a dispersão pelo vento e o risco de poluição ambiental, e de baixo valor nutritivo. A degradação completa desse material na natureza pode levar cerca de cinco anos (MAYER et al., 2006). Assim, a prática incorreta de descarte em terrenos desocupados contribui para a formação de solos arenosos e de baixa produtividade (DINIZ, 2005), além de causar a contaminação ambiental (FOLETTTO et al., 2005), prolifera a liberação de gases, como, o metano, monóxido de carbono e outros, pela degradação desse resíduo (MURARO et al., 2018), contribuindo para o agravamento do efeito estufa.

Contudo, algumas alternativas vêm sendo desenvolvidas em busca de diminuir o extenso território ocupado pela casca de arroz em processos de biodegradação (DELLA et al., 2001). Uma das alternativas é a utilização da casca de arroz para a redução da quantidade de metais dissolvidos em água de resíduos industriais e agrícolas (HUDSON et al., 1999). A casca de arroz se mostrou eficiente na remoção de Cádmiio (Cd) da água a partir do tratamento com o bicarbonato de sódio (KUMAR et al., 2006), na remoção de fenólicos da água e das águas residuais (MAHVI et al., 2004), e na remoção de metais pesados da água, dentre estes, os metais Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Níquel (Ni) (TOKAY, AKPINAR, 2021).

A utilização da casca de arroz misturada com cimento e solo, para a fabricação de materiais de construção, também vem sendo investigada (MILANI; FREIRE, 2006). Ferreira et al. (2008) estudaram as proporções na mistura de solo, cimento e resíduo de casca de arroz que não alterariam as características mecânicas do material e encontraram que o uso de 10 % do resíduo não apresenta comprometimento da resistência do material.

Estudo utilizando a casca de arroz como componente de painéis arquitetônicos para forro em aviários obteve como resultado maior conforto térmico para aves com três semanas de vida nos horários das 12 h e 16 h (GLAVINA, et al., 2018). A casca de arroz é comumente utilizada como cama de aviário (RIBEIRO, 2016). Após esse uso, esse novo resíduo (cama de aviário), pode ser um componente para a produção de mudas de *Eucalyptus Dunnii* Maiden nas proporções de 20 % de adubo de cama de aviário no substrato comercial à base de turfa e casca de arroz carbonizada (MENEGATTI, et al., 2017).

Conforme uma pesquisa realizada por Moraes (2019), caracterizando a produção de morangos no município de Cachoeira do Sul – RS, a autora constatou que 80% dos produtores utilizam a casca de arroz sem carbonizar para a produção de morangos. Essa técnica não é recomendada, uma vez que a casca de arroz sem carbonizar possui altos teores de carbono e nitrogênio (C/N), tornando-se necessário a carbonização da casca para uso como cobertura de

solo (MORAES, 2019). Outros usos para a casca de arroz, é na olericultura para a produção de tomates (CARRIJO, et al., 2004), pimentão (ARAÚJO NETO, et al., 2009) e alface (SIMÕES, et al., 2015).

A casca de arroz é um material rico em lignocelulose (ABAIDE et al., 2019). Visando uma rota tecnológica para esse material, há o conceito de biorrefinaria, que consiste na transformação do material lignocelulósico (celulose, lignina e hemicelulose) na geração de um produto de interesse comercial (SILVA et al., 2019), por exemplo, o bioetanol. A produção de bioóleo através da pirólise da casca de arroz também é uma alternativa limpa que visa uma destinação correta para os resíduos de casca de arroz (DINIZ, 2005). Conforme Bevilaqua (2010), a média das proporções de material lignocelulósico na casca de arroz são de 32,1 % celulose, 24,7 % hemicelulose e 16,8 % lignina, além de outros constituintes, como a cinza e extrativos que correspondem a 29 % da biomassa.

Atualmente, o principal uso da casca de arroz é para a produção de energia elétrica, mas também é realizado o aproveitamento energético térmico através da sua queima como nos engenhos e propriedades agrícolas para a secagem de grão durante a safra (OCHÔA; MARTINS 2015). Conforme Coelho et al., (2000) o Poder Calorífico Inferior (PCI) da casca de arroz é de 3.384 kcal/kg, ou seja, a casca de arroz tem potencial de produzir 3,93 kwh/kg. Quando multiplicado pela quantidade de casca estimado para o Brasil na safra de 2020/21 que é de 2,55 milhões de toneladas, resulta em um potencial energético total de aproximadamente 10 Gwh.

Nogueira (2019) analisou a viabilidade econômica da implantação de uma usina termoelétrica no município de Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul, utilizando como biomassa a casca de arroz. Nesse estudo, foi constatado que é economicamente viável implantar uma usina termoelétrica com o potencial de geração de 1,1 MW, considerando a eficiência do ciclo termodinâmico de 15 % (sistemas de baixo rendimento termodinâmico, caldeira 20 bar e turbina de condensador atmosférico), 15.504 toneladas de casca de arroz, PCI de 3,93 kwh/kg e 8.300 horas de operação por ano.

O aproveitamento da casca de arroz em termoelétricas para a produção de energia tem sido intensificado no estado do Rio Grande do Sul. No Brasil existem doze usinas termoelétricas que utilizam dessa biomassa, sendo nove delas no Rio Grande do Sul (Tabela 1). Essas usinas termoelétricas apresentam uma potência total instalada de 45.333 kW, representando 0,1 % da potência instalada total de usinas termoelétricas no Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2019). Uma dessas usinas, localizada no município de São Sepé (RS), utiliza 217 mil toneladas de casca de arroz por dia, totalizando em torno de

6.730 milhões de toneladas por mês, transformando a queima da casca de arroz em energia limpa (informação verbal)¹.

Tabela 1 - Usinas termoelétricas brasileiras que utilizam a casca de arroz como matéria prima.

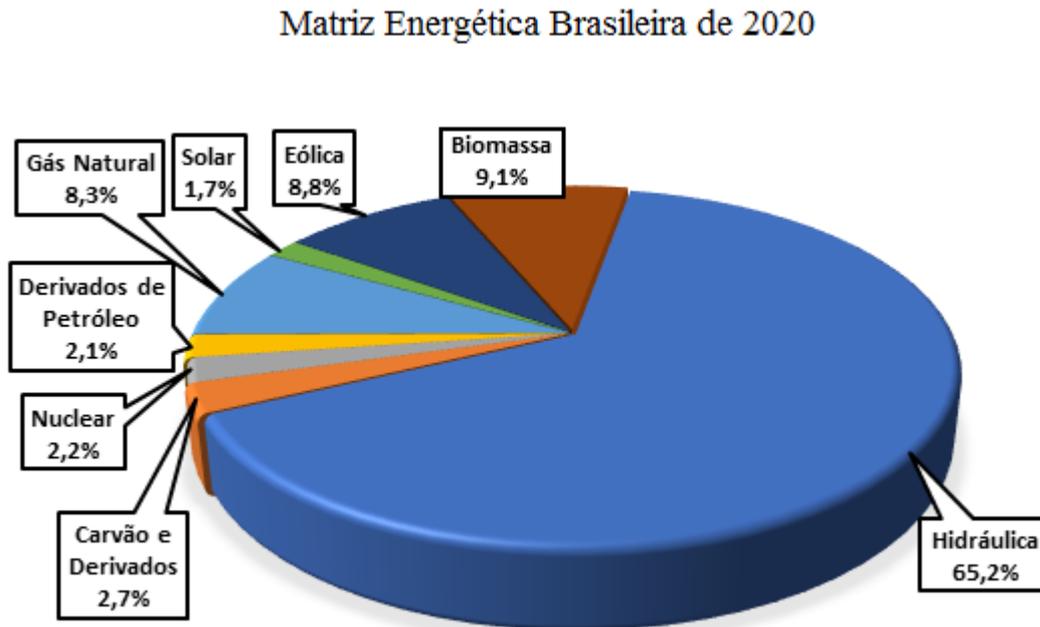
Nome	Município, UF	Potência (Kw)	Situação
SVA	Alegrete, RS	4.900	Operação
CAAL	Alegrete, RS	3.825	Operação
Engenho Coradini	Dom Pedrito, RS	1.200	Operação
Rical	Vilhena, RO	2.288	Operação
São Sepé	São Sepé, RS	8.000	Operação
Kiarroz	Morro da Fumaça, SC	1.200	Operação
Arevale	Roseira, SP	2.000	Operação
PCT SLC Alimentos	Capão do Leão, RS	5.800	Operação
Camil Alimentos – Camaquã	Itaqui, RS	4.000	Operação
Urbano São Gabriel	São Gabriel, RS	2.220	Operação
São Borja	São Borja, RS	12.500	Operação
Urbano Sinop	Sinop, MT	1.200	Operação
Itaqui	Itaqui, RS	10.880	Revogada

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL (2019).

A utilização desse e outros resíduos para a produção de energia no Brasil é uma alternativa promissora na matriz energética, favorecendo setores industriais, de transporte e comércio, residenciais, agropecuários, entre outros (CORTEZ, 2014). Além disso, segundo dados do Balanço Energético Nacional – ENE (2020), de 2019 a 2020 o uso da energia através de biomassa (incluindo bagaço de cana-de-açúcar, lixo, lenha, e outras fontes primárias) teve um aumento de 0,7 % na matriz energética brasileira, representando 6,9 % de energia elétrica gerada no país (Figura 3).

¹ Informação cedida por Thomas Trindade Pitelkow, gerente da usina termoelétrica de São Sepé, janeiro de 2020.

Figura 3 - Matriz Energética Brasileira de 2020.



Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional - EPE (2020).

Segundo Paro (2011) o funcionamento de grande parte das centrais de cogeração de energia elétrica no Brasil que utilizam da biomassa como fonte de matéria prima operam através do ciclo Rankine. O ciclo Rankine convencional é um ciclo de potência a vapor que utiliza um fluido, normalmente a água, além do vapor para a geração de energia (SHAPIRO; MORAN, 2009). Para o desempenho deste ciclo alguns componentes são necessários, sendo um evaporador, uma máquina de expansão (turbina ou motor), condensador e uma bomba (HOFFMANN, 1999). Neste caso, para o funcionamento de uma termoelétrica se utiliza o ciclo Rankine orgânico (ORC) que parte do mesmo princípio de funcionamento do ciclo Rankine convencional, porém, utiliza o fluido orgânico, neste caso a casca de arroz através da queima de combustível em uma caldeira para a geração de energia (SALEH et al., 2005) substituindo a função do evaporador.

O processo de queima da casca de arroz para aproveitamento energético origina como resíduo a cinza da casca de arroz – CCA. Esse resíduo é um material de baixa densidade, aproximadamente 1800 Kg/m³ (MORAES et al., 2014). Assim como a casca de arroz, a CCA quando descartada sem controle, representa problemas ambientais, dispersando e poluindo o ar e, também, lixiviando compostos químicos tóxicos, como metais pesados e sílica, para os rios (PAUSTENBACH, 2015), além de apresentar altos teores de carbono residual, um potencial poluente para os solos (FOLETTTO et al., 2005).

A CCA corresponde a 4 % da massa de arroz em casca (DELLA et al., 2005). Assim, estimando a queima de toda a casca para a safra de 2020/21, teríamos aproximadamente 102 mil toneladas de cinza produzidos no Brasil, procedente da queima da casca de arroz. A proporção de cada elemento químico presente na cinza da casca do arroz pode variar conforme as características químicas do solo em que a cultura do arroz foi implantada e desenvolvida (DELLA et al., 2006), cultivar de arroz, insumos agrícolas, fatores geográficos (NASCIMENTO et al., 2015), temperatura de queima da casca de arroz e tempo de exposição (FRANÇA NETA, 2020). Os principais compostos presentes na CCA estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Constituintes e suas respectivas composição relativa da cinza da casca de arroz (CCA).

Constituinte	Composição (%)							
	1	2	3	4	5	6	7A	7B
SiO ₂	97,87	72,10	83,53	86,37	75,93	91,01	91,55	71,81
Al ₂ O ₃	0,13	0,30	1,42	0,86	1,87	3,07	2,11	1,98
Fe ₂ O ₃	0,06	0,15	0,86	1,16	0,43	0,54	0,25	0,64
CaO	0,50	0,43	1,79	0,63	9,40	0,81	1,65	17,58
MgO	0,74	0,70	0,36	0,68	0,80	0,37	0,47	1,30
K ₂ O	0,88	0,72	0,79	3,09	3,15	1,55	2,45	2,67
P ₂ O ₅	0,71	0,60	NC	4,79	1,64	0,35	0,79	2,42
MnO	0,25	0,15	NC	NC	NC	0,37	NC	NC
Na ₂ O	0,12	0,50	NC	NC	NC	NC	NC	NC
TiO ₂	0,01	0,05	NC	NC	NC	NC	NC	NC
SO ₃	NC	NC	0,45	NC	0,99	NC	NC	NC
Parâmetros								
Perda ao fogo (%)	NC	24,30	NC	2,10	NC	5,35	NC	NC
Tratamento	QST	CTC	QCT	QCT	QCT	CTC	QCT	QCT
Temperatura °C	NC	700	850	1300	600	800	800	1000
Tempo (Horas)	NC	6	36	NC	4	5	2	2
Referência	1	2	3	4	5	6	7A	7B

Fonte: ¹DELLA et al., (2001); ²DELLA et al., (2006); ³TASHIMA et al., (2012); ⁴NASCIMENTO et al., (2015); ⁵DA SILVA et al., (2020); ⁶SILVA, (2020); ^{7A}FRANÇA NETA, (2020); ^{7B}FRANÇA NETA, (2020). NC – Não citado; QST = Queima sem controle de temperatura; QCT = Queima com controle de temperatura; CTC = Cascas de arroz tratadas e calcinadas.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, o principal constituinte presente em amostras de CCA é o Dióxido de silício (SiO₂): 97,87 – 71,81 %; seguido de Óxido de

alumínio (Al_2O_3): 3,07 – 0,13 %; Óxido de ferro: (Fe_2O_3) 1,16 – 0,06 %; Óxido de cálcio (CaO): 17,58 – 0,43 %; Óxido de magnésio (MgO): 1,30 – 0,36 %; Óxido de potássio (K_2O): 3,15 – 0,72 %; e Pentóxido de fósforo (P_2O_5): 4,79 – 0,35 %. Também foram identificados os constituintes como Monóxido de manganês (MnO): 0,37 – 0,15 %; Óxido de sódio (Na_2O): 0,50 – 0,12 %; Dióxido de titânio (TiO_2): 0,05 – 0,01 %; Anidrido sulfúrico (SO_3): 0,99 – 0,45 %.

A diferença da composição dos constituintes químicos nas amostras, se dá principalmente em função da variação da temperatura de queima da CCA e tempo de exposição do material. Dos trabalhos analisados, dois apresentaram temperaturas de calcinação da CCA inferiores a 800 °C (DA SILVA, 2020; DELLA et al., 2006), um trabalho apresentou temperaturas de 800 °C (SILVA, 2020), dois trabalhos apresentaram temperaturas superiores a 800 °C (TASHIMA et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2015), um trabalho analisou duas temperaturas, de 800 °C e 1000 °C (FRANÇA NETA, 2020), e um trabalho não indicou a temperatura utilizada para a calcinação (DELLA et al., 2001). A perda ao fogo quantifica o material orgânico presente na amostra, como, carbono livre, dióxido de carbono e a água combinada (CALHEIRO, 2011). Altos teores de perda ao fogo indicam baixa eficiência na queima de cinzas e altos teores de carbono residual (POUEY, 2006). As cinzas analisadas apresentam diferenças em suas características e composição, devido ao uso de tratamentos da casca de arroz ou calcinação da CCA residual.

Com isso, pode-se observar que o Dióxido de silício (SiO_2) é o constituinte que apresenta maiores teores (97,87 %) na composição da CCA. A variação dos teores dos constituintes presente na amostra da CCA pode estar associada principalmente a temperatura de queima da casca de arroz ou calcinação da CCA, tempo de exposição do material e uso de tratamentos na casca de arroz ou na CCA calcinada.

5. APLICAÇÕES DA CINZA DA CASCA DE ARROZ

Neste capítulo serão abordadas algumas alternativas encontradas na literatura para o aproveitamento da CCA. Para o desenvolvimento deste capítulo as principais aplicações da CCA encontradas foram o uso como substituto parcial do cimento e argamassa em materiais de construção; na confecção de vidrarias; como material adsorvente na remoção de metais, fenólicos corantes têxteis, resíduos, compostos orgânicos em soluções e adição a solos agrícolas; confecção de materiais com formulações a base de sílica e aplicação de CCA em solo.

5.1 SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO E ARGAMASSA

A sílica (SiO_2) formada pelos elementos químicos silício e oxigênio é o composto que se encontra em maior abundância na CCA podendo gerar teores de até 97,87 % (DELLA et al., 2001). A CCA é uma pozolana, e a aplicação desse resíduo está potencialmente concentrado na confecção de cimento e argamassa. Camilo (2018) investigou a produção de argamassa com diferentes proporções de CCA na formulação, concluindo que a resistência da argamassa na composição de 10 % e 20 % de CCA é semelhante, porém menor, que a resistência da argamassa de referência (sem adição de CCA).

Daros (2019), estudou os efeitos da aplicação de dois tipos de CCA no concreto, uma amostra proveniente de um engenho beneficiador do grão, e a outra amostra proveniente de uma usina termoeletrica. Os resultados do estudo indicaram que, para qualquer tipo de cinza analisada, o uso de 10 % de CCA na composição de concreto, possui resistência a compressão, mostrando ser viável o seu uso na substituição parcial do cimento. Olivo (2020) comparou a influência da temperatura de queima da CCA no desempenho de argamassa mista de revestimento. Foram analisadas quatro cinzas, sendo três dessas resultado da calcinação controlada em temperaturas de 300, 400 e 500 °C por 90 minutos, e a quarta residual. A autora concluiu que a CCA residual, sem controle de temperatura, pode ser utilizada em proporção de 15 % nas argamassas de revestimento. Lo et al., (2021) avaliaram a CCA como substituto parcial do cimento Portland na confecção de concreto permeável, concluindo que a CCA pode ser considerada um material pozolânico.

Umasabor e Okovido, (2018) investigaram a resistência ao fogo de concretos de CCA, concluindo que o concreto de cimento combinado com a substituição de 5 % de CCA submetido a temperaturas de até 700 °C por duas horas, apresentou maior capacidade de resistência à compressão que o concreto confeccionado de cimento Portland comum. JUNG et al. (2018) avaliaram a substituição parcial do cimento Portland pelas CCA e pelo pó de cal e

constataram que a adição de 10 % de CCA e 10 % de pó de cal na formulação melhora a resistência do concreto e forma um gel em torno das partículas que indica uma maior resistência a rachaduras. Gautam et al., (2019), substituíram parcialmente o cimento Portland pela CCA para a obtenção de um concreto com resistência semelhante ao concreto convencional. Os autores concluíram que o nível ideal de substituição de CCA para a confecção do concreto é de 7,5 %. Ahsan e Hossain, (2018) investigaram o uso da CCA como material suplementar para a substituição parcial do cimento, e constataram que uma mistura produzida a partir de 10 % de CCA, apresentando coloração cinza escuro, pode ser utilizada em obras de calçadas, enquanto a outra CCA, de coloração mais clara, pode ser utilizada como substituto parcial do cimento. Principais resultados dos trabalhos analisados na literatura que utilizaram a CCA como substituto parcial do cimento e argamassa são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Trabalhos analisados utilizando a CCA como substituto parcial do cimento e argamassa.

Substituto parcial do cimento e argamassa	
Principais resultados	Autor (es)
Resistência da argamassa na composição de 10 % e 20 % de CCA.	CAMILO (2018)
Uso de 10 % de CCA na composição de concreto.	DAROS (2019)
Uso de 15 % de CCA residual nas argamassas de revestimento.	OLIVO (2020)
CCA pode considerado um material pozolânico.	LO et al., (2021)
Concreto de cimento combinado com a substituição de 5 % de CCA.	UMASABOR; OKOVIDO (2018)
Adição de 10 % de CCA e 10 % de pó de cal na formulação do cimento.	JUNG et al. (2018)
Substituição de 7,5 % de CCA para a confecção do concreto.	GAUTAM et al., (2019)
Uso de 10 % de CCA, pode ser utilizado em obras de calçadas ou substituto parcial do cimento.	AHSAN; HOSSAIN (2018)

A CCA possui em sua composição altos teores de Dióxido de Silício (SiO₂) e, assim, fica evidente o potencial da utilização desse resíduo em materiais de construção a base de

sílica. Além disso, também apresenta propriedades para ser utilizado como corretivo dos solos. Muitos estudos indicam o potencial desse resíduo para a adsorção de contaminantes presentes em efluentes e na água. O descarte incorreto do resíduo também é avaliado para mensurar a potencialidade do risco para o ambiente.

5.2 PRODUÇÃO DE VIDRARIAS

A sílica extraída da CCA pode ser utilizada na confecção de vidros como substituto a outros materiais convencionais, por exemplo, a areia. Gonçalves (2019) realizou a extração da sílica da CCA para a fabricação de vidros, e observou que a transparência do vidro aumenta em temperaturas de 600 e 800 °C, e também, com a lavagem ácida da casca de arroz. Lima et al. (2020) também visaram a produção de vidros a partir da sílica obtida da CCA, constatando que a adição de antimônio aumenta a coloração transparente de vidros, tornando-se uma alternativa viável e sustentável. Kaewkhao e Limsuwan (2012) objetivaram a fabricação de vidros coloridos a partir da sílica da CCA, obtendo vidros de cor azul claro, azul escuro, marrom, rosa, verde e incolores.

Os vidros bioativos são materiais utilizados como substituto ósseo, por representarem uma classe de material biocompatível, ou seja, que apresenta interações com o sistema biológico é utilizado em implantes de enxerto ósseo (DA CRUZ et al., 2006). Kopp et al. (2015) utilizaram a sílica oriunda da CCA para a fabricação de vidros bioativos, concluindo que é possível a confecção do material, a partir da sílica de CCA oriundas da indústria beneficiadora de arroz, mediante a pré-tratamentos da cinza. Na Quadro 2 serão apresentados os autores e principais resultados obtidos para a produção de vidrarias a partir da sílica extraída da CCA.

Quadro 2 – Principais resultados e respectivos autores do levantamento bibliográfico sobre produção de vidrarias a partir da sílica extraída da CCA.

Produção de vidrarias	
Resultados	Autor (es)
Transparência do vidro em temperaturas de 600 e 800 °C, e com a lavagem ácida da casca de arroz.	GONÇALVES (2019)
Adição de antimônio aumenta a coloração transparente de vidros da sílica da CCA.	LIMA et al. (2020)
Obtenção de vidros de cor azul claro, azul escuro, marrom, rosa, verde e incolores da sílica da CCA.	KAEWKHAO; LIMSUWAN (2012)
Fabricação de vidros bioativo a partir da sílica da CCA.	KOPP et al. (2015)

O uso da sílica extraída da CCA para a produção de vidrarias resulta na confecção de vidros transparentes e coloridos. A transparência dos vidros aumenta conforme realização de um pré-tratamento da casca de arroz. Este tratamento corresponde a lavagem da casca de arroz com intuito da remoção de impurezas e, conseqüentemente, aumentando a pureza da sílica extraída da CCA. Além disso, a aplicação desse resíduo na confecção de materiais, reduz o preço de produção e aquisição do produto, além de reduzir o esgotamento dos recursos naturais para a produção (areia).

5.3 USO DA CINZA COMO MATERIAL ADSORVENTE

A quantidade de material adsorvida pela CCA, depende da maior área superficial disponível para a adsorção, e, da temperatura de queima da casca de arroz. Altas temperaturas de queima diminuem a área de superfície e diâmetro de poros da CCA, tornando um material de menor adsorção (KIM, 2008).

Manique (2011) utilizou a CCA como material adsorvente para a purificação do biodiesel obtido a partir da reação química do óleo residual de fritura com metanol. O uso da CCA para remover compostos orgânicos e inorgânicos mostrou ser eficaz, além de que, a CCA possui grande diâmetro de poros adsorvendo as impurezas, é um resíduo agroindustrial de baixo custo.

Caetano et al. (2018) utilizou as CCA como tratamento para remediação de águas subterrâneas contaminadas com metais. O indicativo de toxicidade de águas subterrâneas

contaminadas foi analisado através do ensaio ecotoxicológico com bulbos da espécie vegetal *Allium cepa* (cebola). O estudo indicou que a CCA é um resíduo com alto potencial de aplicação na remoção de metais de águas subterrâneas contaminadas. Além disso, o ensaio ecotoxicológico com o bioindicador mostrou que o tratamento BTEX100 (Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno não diluído em água) resultou em maiores valores para a inibição de crescimento de raiz para o desenvolvimento da cebola. Kieling et al., (2019) também utilizaram bulbos da cebola como bioindicador de controle de toxicidade do efluente e águas contaminadas por Cromo (Cr) e tratados por CCA. O uso da CCA para remoção do Cromo (Cr) teve sua melhor eficiência em tratamentos onde o pH foi de 1 e 2, acima desses valores se tinha a neutralização dos íons responsáveis pelo processo de adsorção. Contudo, para os ensaios de toxicidade com a cebola, os melhores resultados do índice de germinação (IG) foram obtidos com pH 7, independente da concentração de Cr na solução.

Além de estudos avaliando a remoção de metais, tem-se a investigação do uso da CCA para remoção de corantes têxteis em soluções (BARCELLOS, 2009). A eficácia da CCA como adsorvente de soluções de corantes reativos (azul e amarelo), empregado no tingimento de fibras de algodão, foi analisado e os resultados indicaram uma eficiência na remoção dos corantes reativo amarelo e azul, chegando em uma eficiência de até 96,2 % na remoção do corante reativo azul (BARCELLOS, 2009). Engel (2018) estudou a aplicação da CCA como material adsorvente de corantes Rodamina-B e Azul de Metileno de meio aquoso, obtendo resultados positivos na aplicação da CCA como material adsorvente. Silva et al. (2016) também analisou os efeitos de adsorção da CCA sob o corante Azul de Metileno. O estudo indicou que após 2 horas de tempo de contato a adsorção diminuiu, contudo, a CCA possui potencialidade na adsorção de corante. Os trabalhos analisados na literatura que avaliaram o uso da CCA como material adsorvente e seus principais resultados serão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Trabalhos analisados na literatura e seus principais resultados usando a CCA como material adsorvente.

Uso da cinza como material adsorvente	
Resultados	Autor (es)
Purificação do biodiesel a partir da adsorção pela CCA de compostos orgânicos e inorgânicos.	MANIQUE (2011)
Remoção de metais de águas subterrâneas contaminadas a partir da CCA.	CAETANO et al. (2018)
Remoção do Cromo (Cr) em pH foi de 1 e 2 a partir da CCA.	KIELING et al. (2019)
Remoção de corantes têxteis (azul e amarelo) em soluções pela CCA.	BARCELLOS (2009)
Remoção dos corantes Rodamina-B e Azul de Metileno de meio aquoso.	ENGEL (2018)
Remoção do corante Azul de Metileno.	SILVA et al. (2016)

A adsorção de poluentes em água pela CCA é eficaz, contudo, não significa que o efluente poderá ser descartado no ambiente após o tratamento com CCA. Nesse contexto, se faz necessário novas avaliações para mensurar os contaminantes ainda presente no efluente, para que assim, possa ser descartado sem apresentar risco para o ambiente.

5.4 EFEITOS DA CINZA NO AMBIENTE

O conhecimento sobre os efeitos da CCA para os sistemas biológicos ainda é incipiente na literatura (Quadro 4). Brandalise (2018) investigou os efeitos ecotoxicológicos das CCAs, oriundas de três processos de queima, nas espécies vegetais *Lactuca sativa* L (alface); *Allium cepa* L. (cebola) e *Brassica oleracea* L. (repolho). Foi avaliada a fitotoxicidade nas três espécies vegetais, a citotoxicidade e a genotoxicidade da cebola. Os resultados do estudo indicaram que a CCA, proveniente da temperatura de queima de 800 – 900 °C e tempo de queima de 15 a 20 minutos, restringem a germinação e crescimento radicular, apresentando efeito fitotóxico sobre a alface, cebola e repolho e, que a CCA, contém elementos bioativos que inibem a divisão celular e o desenvolvimento dos vegetais, apresentando citotoxicidade para a cebola. Lou et al. (2013), constataram que a alta dose (5 mg/ml) de cinza de palha de arroz reduz significativamente a densidade celular de cianobactérias. Em outro trabalho, tem-se a avaliação dos benefícios ambientais recorrentes

da aplicação da CCA na agricultura, entre estes, foram destacados a redução da aplicação de insumos, fertilizantes e ingredientes ativos em solos (SANTOS, 2011). Contudo, apesar da CCA aumentar a disponibilidade de alguns nutrientes no solo, como o potássio (P) e silício (Si), também há o efeito residual da CCA nos solos, podendo promover a lixiviação de solos que possuem baixa adsorção de nutrientes (KATH et al., 2017). Nesses casos, o controle devido ao escoamento para lagos e rios, além dos efeitos da biota do solo, é fundamental para garantir os benefícios e reduzir os efeitos.

Quadro 4 – Estudos avaliando os efeitos da CCA no ambiente.

Efeitos da cinza no ambiente	
Resultados	Autor (es)
As CCAs restringem a germinação e crescimento radicular, apresentando efeito fitotóxicos sobre a alface, cebola e repolho e, a CCA, contém elemento bioativos que inibem a divisão celular.	BRANDALISE (2018)
Altas doses (5 mg/ml) de cinza de palha de arroz reduz significativamente a densidade celular de cianobactérias.	LOU et al. (2013)
Uso da CCA reduz a aplicação de insumos, fertilizantes e ingredientes ativos em solos.	SANTOS (2011)
Uso da CCA aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes no solo, como o potássio (P) e silício (Si).	KATH et al. (2017)

A CCA possui efeitos ecotoxicológicos detectados em ensaios realizados em espécies vegetais (alface, cebola e repolho), enquanto a cinza de palha de arroz (CPA) também apresentou efeitos ecotoxicológicos para cianobactérias (Quadro 4). Para resultados mais abrangentes dos efeitos desses resíduos para os sistemas biológicos, faz-se necessário estudos que avaliem o potencial risco da CCA ou da CPA em bioindicadores.

5.5 INCORPORAÇÃO EM SOLOS E EFEITOS EM CULTURAS

A cinza pode agir formando uma camada de cobertura capaz de diminuir a compactação, além de realizar a correção do pH do solo e diminuir a incidência de fungos na cultura (Quadro 5) (SANTOS, 2011). Donegá et al. (2011) analisaram as características químicas do solo e desenvolvimento inicial de plantas de milho submetidos a tratamento com CCA. Como resultado, os autores observaram que a aplicação de doses de CCA aumentou os teores de P no solo, além de aumentar a altura e diâmetro do colmo de milho, massa fresca e

seca das raízes e da parte aérea, minimizando os custos com adubação. Em estudo analisando a aplicação da CCA nos atributos químicos, físicos e químico-físico de solos sob pastagem foi observada a redução da acidez do solo e aumento da disponibilidade de nutrientes, alterando benéficamente as condições estruturais do solo analisado (MARTINS FILHO et al., 2020).

Islabão et al. (2014) também constataram influência da CCA na neutralização da acidez do solo. Nesse estudo, o solo avaliado tinha implantação de pastagem cultivada que servia de alimento para bovinos de leite nos cinco anos anteriores ao experimento. Como resultado, os autores constataram que CCA neutraliza a acidez do solo em uma reação mais rápida que o calcário convencional.

Além de fonte de silício, Stracke et al. (2020) analisaram a CCA como reservatório molecular de água na produção de soja. A CCA foi aplicada em solo após a semeadura de soja e amostras de solo que receberam a CCA foram coletadas após a colheita. Quanto maiores as quantidades de CCA aplicadas no solo, maior foi o volume de armazenamento de água e melhor foi o desenvolvimento fisiológico da cultura de soja e rentabilidade da cultura (STRACKE et al., 2020). Oliveira (2013) também avaliou o efeito do silício da CCA nas características fisiológicas, rendimento e na qualidade fisiológica das sementes de soja produzidas e observou efeito positivo no desenvolvimento fisiológico, aumento de produtividade e no peso de mil sementes. Castellanos et. al. (2016) investigaram a influência da aplicação da CCA como fonte de silício no solo. No estudo apresentado foram aplicados 1000, 2000 e 3000 kg ha⁻¹ de sílica. Os resultados obtidos através desse estudo, indicaram que doses até 2000 kg ha⁻¹ de sílica faz aumentar o número de espigas de milho e o peso de mil sementes (indicativo da qualidade de sementes). Lemes (2013) também analisou a influência da aplicação da CCA como fonte de silício no solo no que tange o rendimento e a qualidade fisiológica de sementes de arroz irrigado produzidas sob estresse salino. A autora constatou efeito positivo de silício na qualidade fisiológica de sementes, além de contribuir no aumento no peso de sementes por planta.

Quadro 5- Principais resultados dos estudos sobre incorporação da CCA em solos e efeitos em culturas.

Incorporação em solos e efeitos em culturas	
Resultados	Autor (es)
A CCA forma uma camada de cobertura diminuindo a compactação. Correção do pH do solo e redução da incidência de fungos na cultura.	SANTOS (2011)
A CCA alterou o teor de P no solo, além de aumentar a altura e diâmetro do colmo de milho, massa fresca e seca das raízes e da parte aérea, minimizando os custos com adubação.	DONEGÁ et al. (2011)
Uso da CCA redução da acidez do solo e aumento da disponibilidade de nutrientes, benéficamente as condições estruturais do solo analisado.	MARTINS FILHO et al. (2020)
Uso da CCA neutraliza a acidez do solo em uma reação mais rápida que o calcário convencional.	ISLABÃO et al. (2014)
Quanto maiores as quantidades de CCA aplicadas no solo, maior foi o volume de armazenamento de água e melhor foi o desenvolvimento fisiológico da cultura de soja e rentabilidade da cultura	STRACKE et al. (2020)
Efeito positivo no desenvolvimento fisiológico, aumento de produtividade e no peso de mil sementes.	OLIVEIRA (2013)
Sílica da CCA faz aumentar o número de espigas de milho e o peso de mil sementes.	CASTELLANOS et. al. (2016)
Efeito positivo na qualidade fisiológica de sementes, além de contribuir no aumento no peso de sementes por planta.	LEMES (2013)

A incorporação em solos agrícolas é uma das principais destinações da cinza da casca de arroz. Essa prática é comum uma vez que a CCA é material viável e de fácil acesso, podendo ser encontrado em indústrias que fazem a queima e a descartam. A CCA possui efeitos positivos nas propriedades físicas e químicas do solo e em culturas aumentando a produtividade. A aplicação desse resíduo nos solos contribui na redução de aplicação de insumos agrícolas, reduzindo o custo de produção e tornando um cultivo mais sustentável.

5.6 OUTRAS APLICAÇÕES

Outras vantagens apontadas pela utilização de CCA (Quadro 6) é no melhoramento das propriedades geotécnicas dos solos, garantindo maior qualidade e durabilidade de obras em terra. A adição de CCA aos solos aumentou a estabilidade de solos e solos residuais em que foi aplicada, aumentando o teor de umidade ideal e diminuindo a densidade seca máxima (ALHASSAN, 2008; BASHA et al., 2005; OKAFOR; OKONKWO, 2009).

Os compósitos de epóxi são polímeros com alto valor agregado devido às suas características de resistividade, adesão e boas propriedades mecânicas. A sílica é um material utilizado na matriz epóxi com intuito de melhorar as características do produto, reduzindo seu custo. (BRAY et al. 2013). A sílica da CCA tem comportamento semelhante da sílica convencional utilizada na matriz epóxi (FERNANDES, 2015) podendo ser usada como substituto na confecção do material (BORGES, 2013; BORGES et al., 2013) e, em outros compósitos poliméricos (FERNANDES, 2014). Além dos compósitos poliméricos, a sílica extraída da CCA pode ser utilizada na fabricação de tinta industrial do tipo epóxi, para confecção de pisos de concreto, devido as suas características de resistência ao desgaste (STRACKE et al., 2018).

As membranas cerâmicas são utilizadas para auxiliar os processos de microfiltração de líquidos, devido a apresentar características de resistividade a altas temperaturas e pressão, inertes e estáveis (FERREIRA, 2018). As membranas cerâmicas porosas encontradas comercialmente tem em sua composição alumina, zircônia, titânia, sílica (CHAVES, 2013). O uso da sílica da CCA na fabricação das membranas cerâmicas porosas foi testado em estudo e constatada sua eficácia, além de baixar o custo do material (RAYCHAUDHURI, 2020).

Os blocos de concreto convencionais são constituídos basicamente por três componentes, cimento, água e agregados (areia, pó de pedra e brita) (GHISLENI; LIMA, 2020). A inserção de outros tipos de aglomerantes nos tijolos de concreto, como a CCA, torna-se interessante, uma vez que não altera as propriedades físicas e mecânicas do material, reduz o consumo de areia na confecção e ainda, a CCA pode ser utilizada na pigmentação dos blocos de concreto (IACKS et al. 2019). Estudos indicam que a CCA também pode ser empregada na substituição parcial do cimento para a confecção de tijolos ecológicos (BARROS, 2016).

Quadro 6- Quadro síntese de outras aplicações para a CCA encontradas na literatura.

Outras aplicações	
Resultados	Autor (es)
Aplicação da CCA para o melhoramento das propriedades geotécnicas dos solos.	ALHASSAN (2008); BASHA et al. (2005); OKAFOR; OKONKWO (2009)
Uso da sílica da CCA utilizado na matriz epóxi.	BRAY et al. (2013); FERNANDES (2015); BORGES (2013); BORGES et al. (2013)
Uso da sílica da CCA na fabricação de tintas industrial do tipo epóxi.	STRACKE, et al. (2018)
Uso da sílica da CCA na fabricação das membranas cerâmicas porosas.	RAYCHAUDHURI (2020)
Uso da CCA na confecção e pigmentação de blocos de concreto.	IACKS et al. (2019)
Uso da CCA na confecção de tijolos ecológicos.	BARROS (2016)

Outras aplicações envolvendo a substituição parcial de materiais convencionais pela CCA é perceptível visualizar a redução de custos de produção. Contudo, para a produção de blocos de concreto com CCA é necessário que o material possua resistência mínima a compressão ≥ 3 MPa para blocos com função estrutural, conforme as normas da ABNT NBR ISO 6136:2016.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A queima da casca de arroz para a transformação em energia elétrica é uma alternativa viável e sustentável, principalmente em regiões onde há produção e processamento de arroz. O estado do Rio Grande do Sul é grande produtor de arroz e, conseqüentemente, gerador do resíduo, sendo assim, a oportunidade de aproveitamento energético da casca de arroz vai ao encontro das demandas de redução da poluição, sustentabilidade econômica e ambiental da produção agrícola. Ainda, quando adequadamente manejados, contribuem para a redução da emissão de gases de efeito estufa e controle da poluição. Em todos os processos produtivos há geração de resíduos. Na produção agrícola não é diferente e a biomassa excedente das culturas e do seu processamento devem ser devidamente manejadas.

Mesmo com o aproveitamento energético da casca de arroz, ainda temos um resíduo resultante, em menor volume, mas não livre de uma adequada solução, a cinza da casca do arroz. A cinza de casca de arroz é um material de caráter pozolânico e com alto teor de silício (97,87 %), assim, a sua maior potencialidade está concentrada na confecção de materiais com formulações a base de sílica. A substituição da sílica comercial pela sílica extraída da cinza de casca de arroz, resulta em materiais com características semelhantes reduzindo o custo de produção do produto. Materiais compostos por cinza da casca de arroz ainda necessitam do resíduo com a cor clara, advindo de faixas de temperatura de combustão da casca de arroz específicas. A coloração escura da cinza da casca de arroz residual indica altos teores de carbono, refletindo na coloração dos materiais produzidos. Essa cinza, ainda não é de interesse para uso comercial, não sendo reaproveitada. Outro interesse comercial é a aplicação da CCA como substituto parcial na confecção de blocos ou tijolos ecológicos, reduzindo o esgotamento dos recursos naturais.

A incorporação em solos agrícolas é uma das aplicações para a CCA, apresentando benefícios nas propriedades físicas e químicas do solo e no desenvolvimento da cultura. Esse uso da cinza da casca de arroz aplicada no solo requer também adequado manejo e monitoramento. O solo é um ecossistema fundamental em vários processos de produção, decomposição, ciclo da água, entre outros. A manutenção das características e propriedades dos solos e sua biodiversidade associada é essencial para preservação da qualidade ambiental e conservação da capacidade produtiva dos solos. A importância e consumo do arroz e sua produção, especialmente no sul do Brasil, deve considerar também alternativas sustentáveis de sua prática gerenciamento e alternativas aos seus resíduos.

REFERÊNCIAS

- ABAIDE, E. R. et al. Obtaining fermentable sugars and bioproducts from rice husks by subcritical water hydrolysis in a semi-continuous mode. **Bioresource technology**, v. 272, p. 510-520, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Informações gerenciais** 2019. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/informacoes-gerenciais>>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- AHSAN, M. B.; HOSSAIN, Z. Supplemental use of rice husk ash (RHA) as a cementitious material in concrete industry. **Construction and Building Materials**, v. 178, p. 1-9, 2018.
- ALHASSAN, M. Potentials of rice husk ash for soil stabilization. **Assumption university journal of technology**, v. 11, n. 4, p. 246-250, 2008.
- ARAÚJO NETO, S. E. de et al. Produção de muda orgânica de pimentão com diferentes substratos. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1408-1413, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resolução: ABNT NBR ISO-6136:2016. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos**. Rio de Janeiro (Brasil): ABNT; 2016.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – EPE. Relatório Síntese 2021. 2021. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- BARCELLOS, I. O. et al. Remoção de cor de soluções de corantes reativos com cinza de casca de arroz. **Dynamis**, v. 15, n. 2, p. 1-6, 2009.
- BARROS, F. da S. **Efeito da substituição do cimento portland por cinza de casca de arroz e cal nas propriedades de tijolos ecológicos**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2016.
- BASHA, E. A. et al. Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. **Construction and building materials**, v. 19, n. 6, p. 448-453, 2005.
- BEVILAQUA, D. B. **Produção de ácido levulínico por meio de hidrólise ácida da casca de arroz**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.
- BRANDALISE, J. N. **Avaliação ecotoxicológica da cinza de casca de arroz**. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2018.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS). **Secretaria de Atenção à Saúde. Guia alimentar para a população brasileira - Promovendo alimentação saudável**. Brasília: MS; 2006. (Série A, Normas e Manuais Técnicos).

BRAY, D. J. et al. The modelling of the toughening of epoxy polymers via silica nanoparticles: The effects of volume fraction and particle size. **Polymer**, v. 54, n. 26, p. 7022-7032, 2013.

BORGES, G. B. **Adição de cinza de casca de arroz em matriz de epóxi**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2013.

BORGES, G. B.; MORAES, C. A. M.; ROCHA, T. L. A. C. Compósito de cinza de casca de arroz em matriz de epóxi. **12º Congresso Brasileiro de Polímeros- 12ºCBPol**, 2013.

CAETANO, M. O. et al. Ecotoxicity tests with *Allium cepa* to determine the efficiency of rice husk ash in the treatment of groundwater contaminated with benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 13, p. 12849-12858, 2018.

CALHEIRO, D. **Influência do uso de aditivos na moagem de cinzas de casca de arroz para sua adequação como co-produto**. 2011. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2011.

CAMILO, M. G. **Estudo do uso de cinza de casca de arroz como material cimentício suplementar para produção de concreto**. 2018. 38 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC, 2018.

CARRIJO, O. A. et al. Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casas de vegetação. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 5-9, 2004.

CASTELLANOS, C. I. S. et al. Aplicação ao solo de cinza de casca de arroz como fonte de silício: efeito na qualidade de sementes de trigo produzidas sob stresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 95-104, 2016.

CHAVES, A. C. et al. Obtenção e caracterização de membranas cerâmicas tubulares a partir de massas incorporadas com argila, caulim e quartzo. **Cerâmica**, v. 59, p. 192-197, 2013.

COELHO, S. T.; PALETTA, C. E. M.; VASCONCELOS, M. A. **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica**. Brasília: Dupligráfica, 2000, 222p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **A cultura do arroz**. Brasília: Conab, 2015. 180 p. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Portal de Informações Agropecuárias - Arroz - Mapa Produção 2020/21 8º levantamento**. Brasília: Conab, 2021 Disponível em: < <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html>>. Acesso em: 04 jun. 2021.

CORTEZ, L. A. B. (Ed.). **Roadmap for sustainable aviation biofuels for Brazil: A flightpath to aviation biofuels in Brazil**. Editora Blucher, 2014.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

DA CRUZ, Ariadne Cristiane Cabral et al. Utilização de vidros bioativos como substitutos ósseos: revisão de literatura. **Revista de Odontologia da Universidade Cidade de São Paulo**, v. 18, n. 3, p. 287-95, 2006.

DA SILVA, J. O. et al. Caracterização da cinza da casca de arroz visando aplicação na confecção de materiais alternativos para construção civil. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 1, p. 17-23, 2020.

DAROS, M. F. **Investigação da substituição parcial de cimento portland por cinzas de casca de arroz provenientes da região rizicultora sul brasileira**. 2019. 43 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC, 2019.

DELLA, V. P. **Processamento e caracterização de sílica ativa obtida a partir de cinza de casca de arroz**. 2001. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.

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, 2001.

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, 2005.

DELLA, V. P. et al. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1175-1179, 2006.

DINIZ, J. **Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura: produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente**. 2005. 185 f. Tese (Doutorado em Química), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

DONEGÁ M. A. et al. Atributos químicos do solo e crescimento inicial de plantas de milho em Latossolo arenoso com adição de cinza de casca de arroz. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 86, n. 3, p. 192-199, 2011.

ENGEL, K. M. Adsorção dos corantes Rodamina-B e azul de metileno de meio aquoso em cinza de casca de arroz. Salão UFRGS: SIC - XXX SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS. Campus do Vale, Porto Alegre, RS, 2018. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/191844/Resumo_59795.pdf?sequence=1> .

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil. **Embrapa Arroz e Feijão. Documentos**, 1999.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; DOS SANTOS, A. B. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Embrapa Arroz e Feijão, 2003, 250p.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; COELHO, A. M. Growth, yield and yield components of lowland rice as influenced by ammonium sulfate and urea fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, n. 3, p. 371-386, 2011.

FERNANDES, I. J. et al. Comparação de cinza da casca de arroz e sílica comercial como carga em compósitos poliméricos. **Proceedings of XXI CBECIMAT**, v. 2665, p. 2672, 2014.

FERNANDES, I. J. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos de cinza de casca de arroz em matriz epóxi**. 2015. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2015.

FERREIRA, E. de P. **Produção de membranas cerâmicas do tipo fibra oca utilizando pentóxido de nióbio**. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2018).

FERREIRA, C. M. et al. **Qualidade do arroz no Brasil: evolução e padronização**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 61p. 2005.

FERREIRA, R. de C.; GOBO, J. C. da C.; CUNHA, A. H. N. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 1-11, 2008.

FOLETTTO, E. L. et al. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 1055, 2005.

FONSECA, J. R. et al. **Descritores botânicos, agronômicos e fenológicos do arroz (*Oryza sativa* L.)**. Embrapa Arroz e Feijão, 2008, 28 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Production share of Rice, paddy by region**. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

FRANÇA NETA, M. de L. X. **Influência da temperatura de calcinação da casca de arroz no comportamento de tijolos ecológicos**. 2020. 46 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, RN, 2020.

GAUTAM, A.; BATRA, R.; SINGH, N. A study on use of rice husk ash in concrete. **Engineering Heritage Journal (January 1, 2019)**, p. 01-04, 2019.

GHISLENI, G.; LIMA, G. T. dos S. Estudo da viabilidade de reutilização da areia de fundição na produção de blocos de concreto e concreto convencional. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 551-570, 2020.

GLAVINA, A. S. G. et al. Avaliação térmica de aviários com painéis de resíduos da agroindústria. **Energia na Agricultura**, v. 33, n. 3, p. 224-230, 2018.

GONÇALVES, J. L. dos S. **Fabricação de vidros utilizando sílica proveniente da cinza da casca de arroz**. 2019. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS, 2019.

GUIMARÃES, E. P.; SANT'ANA, E. P. Sistemas de cultivo. **A cultura do arroz no Brasil**, 1999.

HOFFMANN, R. **Método avaliativo da geração regionalizada de energia, em potências inferiores a 1MW, a partir da gestão dos resíduos de biomassa – o caso da casca de arroz**. 1999. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1999.

HUDSON, T. L.; FOX, F. D.; PLUMLEE, G. S. Metal mining and the environment. 1999.

IACKS, J. A. et al. Propriedades tecnológicas de blocos de concreto com cinza de casca de arroz destinados a pavimentos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 6, n. 1, p. 22-28, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores IBGE Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Estatística da Produção Agrícola**. 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2019_dez.pdf> Acesso em: 03 mai. 2021.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **Boletim de resultados da lavoura - safra 2019/20 - Condições meteorológicas e seus impactos sobre as lavouras de arroz irrigado e soja em rotação**. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202008/19144808-boletim-de-resultados-da-lavoura-safra-2019-2020-irga.pdf>> Acesso em: 04 jun. 2021.

ISLABÃO, G. O. **Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e condicionador do solo**. 2013, 84 f. Dissertação (Mestrado Ciências dos Solos) - Faculdade de Agronomia Eliceu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2013.

ISLABÃO, G. O. et al. Rice husk ash as corrective of soil acidity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 934-941, 2014.

JUNG, S. et al. Microstructure characteristics of fly ash concrete with rice husk ash and lime stone powder. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 12, n. 1, p. 1-9, 2018.

KAEWKHAO, J.; LIMSUWAN, P. Utilization of rice husk fly ash in the color glass production. **Procedia Engineering**, v. 32, p. 670-675, 2012.

KATH, A. H.; TEIXEIRA, J. B. da S.; ISLABÃO, G. O. Efeito residual da cinza de casca de arroz na disponibilidade de silício e fósforo no solo. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 3, p. 15-22, 2017.

KIELING, A. G.; MENDEL, T.; CAETANO, M. O. Efficiency of rice husk ash to adsorb chromium (VI) using the *Allium cepa* toxicity test. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 28, p. 28491-28499, 2019.

KIM, M. et al. Comparison of the adsorbent performance between rice hull ash and rice hull silica gel according to their structural differences. **LWT-Food Science and Technology**, v. 41, n. 4, p. 701-706, 2008.

KOPP, V. et al. Aproveitamento da sílica da cinza da casca do arroz para obtenção de vidro bioativo. In: 7º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNIPAMPA, 2., 2015, Alegrete. **Anais do 7º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA**, Alegrete: 2015. p. 1-5.

KUMAR, U.; BANDYOPADHYAY, M. Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 1, p. 104–109, 2006.

LANNA, A. C. et al. Análise da situação da cultura do arroz de terras altas no Meio Norte do Mato Grosso. **Embrapa Arroz e Feijão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.

LEMES, E. S. **Aplicação de cinza da casca de arroz, via solo, como fonte de silício em arroz irrigado sob estresse salino**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2013.

LIMA, L.; VALSECCHI, C.; DE MENEZES, J. W. Fabricação de vidros utilizando sílica proveniente da cinza de casca de arroz. In: 12º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNIPAMPA, 2., 2020, Alegrete. **Anais do 12º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA**, Alegrete: 2020. p. 1-2.

LO, F.; LEE, M.; LO, S. Effect of coal ash and rice husk ash partial replacement in ordinary Portland cement on pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 286, p. 122947, 2021.

LOU, L. et al. Ecotoxicological analysis of fly ash and rice-straw black carbon on *Microcystis aeruginosa* using flow cytometry. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 92, p. 51-56, 2013.

MAHVI, A. H.; MALEKI, A.; ESLAMI, A. Potential of Rice Husk and Rice Husk Ash for Phenol Removal in Aqueous Systems. **American Journal of Applied Sciences**, v. 1, n. 4, p. 321-326, 2004.

MANIQUE, M. C. **Caracterização e utilização da cinza de casca de arroz como adsorvente na purificação de biodiesel de óleo de fritura**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

MARTINS FILHO, M. C. F. et al. EFEITO DA APLICAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ SOBRE ATRIBUTOS DE SOLO SOB PASTAGEM. **Revista Agroecossistemas**, v. 11, n. 2, p. 146-163, 2020.

MAYER, F. D.; HOFFMANN, R.; RUPPENTHAL, J. E. Gestão energética, econômica e ambiental do resíduo casca de arroz em pequenas e médias agroindústrias de arroz. In: XIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNESP, 13., 2006, Bauru. **Anais do XIII Simpósio de Engenharia de Produção da UNESP**. Bauru: 2006. p. 1-11.

MENEGATTI, A.; DE ARRUDA, G. O. S. F.; NESI, C. N. O adubo de cama de aviário na produção e na qualidade de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia agraria**, v. 18, n. 1, p. 43-49, 2017.

MEUS, L. D. et al. **Ecofisiologia do arroz visando altas produtividades**. Santa Maria: [s.s.], 2020. 312 p.

MILANI, A. P. S; FREIRE, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Portaria Nº 46, de 5 de maio de 2020**. 2020. Disponível em < <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-46-de-5-de-maio-de-2020-255680951> >. Acesso em: 04 mai. 2021.

MORAES, C. A. M. et al. Revisão do ciclo de produção de arroz: subprodutos e principais aplicações com foco na combustão da casca de arroz e reciclagem de cinzas. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 11, pág. 1034-1048, 2014.

MORAES, R. S. de. **Caracterização da produção de morangos em Cachoeira do Sul – RS**. 2019. 53 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Cachoeira do Sul, RS, 2019.

MURARO, P.; CAMELO, C. O. de; DENIS, F. A. Aproveitamento e valorização da casca de arroz: Uma revisão bibliométrica. In: VI SIMPÓSIO DA CIÊNCIA DO AGRONEGÓCIO: SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NO AGRONEGÓCIO, 6., 2018, Porto Alegre. **Anais do VI Simpósio da Ciência do Agronegócio: serviços ecossistêmicos no agronegócio**. Porto Alegre: 2018. p. 471-48

NASCIMENTO, G. C. et al. Caracterização físico-química da cinza de casca de arroz oriunda do processo termelétrico do sul de Santa Catarina-Brasil. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 634-640, 2015.

NOGUEIRA, L. A. **Análise de viabilidade econômica na implantação de termoeletrica a base de casca de arroz em Cachoeira do Sul-RS**. 2019. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, Cachoeira do Sul, RS, 2019.

OCHÔA, A. L. da S.; MARTINS, G. **Perspectiva do aproveitamento da casca de arroz como fonte de combustível em fornalhas para secagem de grãos**. 2015. 26 f. Monografia (Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Panambi, RS, 2015.

OKAFOR, F. O.; OKONKWO, U. N. Effects of rice husk ash on some geotechnical properties of lateritic soil. **Nigerian Journal of Technology**, v. 28, n. 1, p. 46-52, 2009.

OLIVEIRA, S. de. **Silício oriundo da cinza de casca de arroz carbonizada como promotor do rendimento e da qualidade fisiológica de sementes de soja**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2013.

OLIVO, P. **Estudo da influência da temperatura de queima da casca de arroz no desempenho da argamassa de revestimento**. 2020. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2020.

PARO, A. C. de. **Uma metodologia para gestão da eficiência energética de centrais de cogeração a biomassa: aplicação ao bagaço de cana**. 2011. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, SP, 2011.

PARFITT, J. M. B. et al. Quantificação da demanda hídrica na cultura do arroz em função do manejo da irrigação por inundação. **Embrapa Clima Temperado-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2018.

PAUSTENBACH, D. J. (Ed.). **Human and Ecological Risk Assessment: Theory and Practice** (Wiley Classics Library). John Wiley & Sons, 2015.

PENHA, R. S. et al. Casca de arroz Quimicamente Tratada como Adsorvente de Baixo Custo para a Remoção de Íons Metálicos (Co^{2+} and Ni^{2+}). **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 3, p. 588-604, 2016.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. 345f. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006.

PRASARA-A, J.; GHEEWALA, S. H. Sustainable utilization of rice husk ash from power plants: A review. **Journal of Cleaner production**, v. 167, p. 1020-1028, 2017.

RATTANACHU, P. et al. Performance of recycled aggregate concrete with rice husk ash as cement binder. **Cement and Concrete Composites**, v. 108, p. 103533, 2020.

RAYCHAUDHURI, A.; BEHERA, M. Ceramic membrane modified with rice husk ash for application in microbial fuel cells. **Electrochimica Acta**, v. 363, p. 137261, 2020.

RIBEIRO, S. J. L. **Estudo sobre o reúso da cama de aviário**. 2016. 27 f. Relatório final de Estágio Supervisionado (Bacharel em Gestão do Agronegócio) - Universidade de Brasília, Planaltina, DF, 2016.

RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO GOVERNANÇA E GESTÃO. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento Governança e Gestão. 5 Ed., 125p., 2020. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/>. Acesso em: 05 mai. 2021.

RODRIGUES, R. A. F.; SORATTO, R. P.; ARF, O. Manejo de água em arroz de terras altas no sistema de plantio direto usando o tanque de Classe A. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.3, p. 546-556, 2004.

SALEH, B. et al. Working fluids for low-temperature organic Rankine cycles. **Energy**, v. 32, n. 7, p. 1210-1221, 2007.

SANTOS, C. H. C. **Uso de cinza de casca de arroz na agricultura**. 2011. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnólogo em Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Santo Antônio da Patrulha, RS, 2011.

SHAPIRO, H. N.; MORAN, M. J. Princípios de termodinâmica para engenharia. **LTC, Ed**, v. 6, 2009.

SILVA, G. L. C. da. **Geração e otimização de microesferas vítreas produzidas a partir da cinza da casca do arroz**. 2020. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS, 2020.

SILVA, G. T. et al. Eficiência adsorptiva de cinzas de casca de arroz na remoção de corante Azul de Metileno. 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2016.

SILVA, F. M. et al. Rotas tecnológicas empregadas no aproveitamento de resíduos da indústria da soja. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 1, p. 326-363, 2019.

SIMÕES, A. C. et al. Qualidade da muda e produtividade de alface orgânica com condicionadores de substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 521-526, 2015.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil/Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado; V Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, XXVII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado**. – Pelotas: SOSBAI, 2007. 161 p. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Recomendacoes_Tecnicas_Arroz_2007_000fzrbdd8b02wx5ok0cpoo6adaexge2.pdf>. Acesso em: 06 abr.2020.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. XXXII Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. Farroupilha: SOSBAI. 2018. 205p. Disponível em: <<http://www.sosbai.com.br/?secao=conteudo&id=26>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

STRACKE, M. P.; KIECKOW, F.; SCHMIDT, J. Caracterização, tratamento e utilização da cinza da casca de arroz na produção de tinta. **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 1, p. 324-334, 2018.

STRACKE, M. P. et al. Cinza de casca de arroz como reservatório molecular de água para a produção de soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 949-962, 2020.

TASHIMA, M. M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: Método de produção, caracterização físico-químico e comportamento em matrizes de cimento Portland**. 2006. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2006.

TASHIMA, M. M. et al. Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 151-163, 2012.

THE SUSTAINABLE RICE PLATFORM. (SRP). **Rice Facts**. Disponível em: <http://www.sustainablerice.org/Resources/>. Acesso em: 30 abr. 2021.

TOKAY, B., AKPINAR, I. Um estudo comparativo da remoção de metais pesados usando biossorventes de resíduos agrícolas. **Bioresource technology reports**, v. 15, n., p., 2021.

UMASABOR, R. I.; OKOVIDO, J. O. Fire resistance evaluation of rice husk ash concrete. **Heliyon**, v. 4, n. 12, p. e01035, 2018.

ZUQUINAL, R. **Utilização da casca de arroz na produção de energia para uma indústria de beneficiamento de arroz Sul catarinense**. 2016. 32 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energia), Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, 2016.

ANEXO – DECLARAÇÃO DE ACEITE

DECLARAÇÃO DE ACEITE

A Atena Editora, especializada na publicação de livros e coletâneas de artigos científicos em todas as áreas do conhecimento, com sede na cidade de Ponta Grossa-PR, declara que após avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta editora, o artigo intitulado "RESÍDUOS DA CINZA DA CASCA DE ARROZ: CONTEXTO E ALTERNATIVAS " de autoria de "MARIANA VEIRA CORONAS, AMANDA RAMPELOTTO DE AZEVEDO, VIVIANE DAL-SOUTO FRESCURA, PAULO ADEMAR AVELAR FERREIRA", foi aprovado e encontra-se no prelo para publicação no livro eletrônico "A Face Transdisciplinar das Ciências Agrárias" a ser divulgado em agosto de 2021. Agradeço a escolha pela Atena Editora como meio de transmitir ao público científico e acadêmico o trabalho e parabenizo os autores pelo aceite de publicação. Reitero protestos de mais elevada estima e consideração.

PONTA GROSSA, 07 de maio de 2021.

Prof.^a Dr.^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Chefe

ATENA EDITORA

PREFIXO EDITORIAL DOI 10.22533

PREFIXO EDITORIAL ISBN 93243 Certificado digitalmente por Atena Edição de Livros