INFLUÊNCIA DA CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS E ARGAMASSAS ESTRUTURAIS: UMA REVISÃO

Influence of rice husk ash as a partial replacement for cement on the mechanical properties of structural concretes and mortars: a review

Juan Victorio Lima Montenegro da Silva
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | juanvictorioarapiraca@gmail.com

Mayara Gibosky
Universidade Federal do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro, Rio de Janeiro | mayara.gibosky@fau.ufrj.br

Lucas Rosse Caldas
Universidade Federal do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro, Rio de Janeiro | lucas.caldas@fau.ufrj.br

White José dos Santos
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | white.santos@demc.ufmg.br

Antônio Neves de Carvalho Júnior
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | anjunior@demc.ufmg.br

RESUMO

A crescente produção de resíduos agroindustriais, como a casca de arroz, e o alto impacto das emissões de CO_2 provenientes da indústria cimentícia impulsionam pesquisas voltadas a descobrir formas de reduzir os impactos ambientais dessas indústrias. A cinza de casca de arroz (RHA), caracterizada por sua alta reatividade pozolânica, após a moagem, e presença de sílica amorfa, desde que com processo e controle de queima ou queima adequada, tem demonstrado potencial para melhorar propriedades mecânicas e de durabilidade em misturas cimentícias. Neste trabalho, foram analisados 25 estudos, destacando os percentuais de substituição de cimento por RHA misturas de concreto, os efeitos nas suas propriedades físicas e químicas e os teores ideais de uso. Assim, constatou-se que substituições de até 20% são frequentemente associadas a ganhos de resistência à compressão e à redução da porosidade. Este estudo buscou evidenciar as vantagens e limitações do uso do resíduo, além de apontar lacunas para projetos futuros, sobretudo quanto a otimização dos teores de substituição.

Palavras-chave: RHA; CCA; Concreto; Resíduo; Substituição de cimento.

ABSTRACT

The increasing production of agro-industrial waste, such as rice husk, and the significant impact of CO_2 emissions from the cement industry drive research aimed at finding ways to reduce the environmental impact of these industries. Rice husk ash (RHA), characterized by its high pozzolanic reactivity after grinding and its amorphous silica content, has shown potential to improve mechanical properties and durability in cementitious mixtures. This study analyzed 25 works, highlighting the percentages of cement substitution with RHA in concrete mixtures, the effects on their physical and chemical properties, and the optimal replacement levels. It was found that substitutions of up to 20% are often associated with increased compressive strength and reduced porosity. This research aimed to highlight the advantages and limitations of using this waste, as well as to identify gaps for future projects, particularly regarding the optimization of substitution levels.

Keywords: RHA; CCA; Concrete; Waste; Cement replacement.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024), a safra de arroz produzido no Brasil no período 2023/2024 foi de 10.585,5 mil toneladas, com previsão de produção para o período de 2024/2025 de 12.046,7 mil toneladas. A casca do arroz corresponde a aproximadamente 20% do total produzido, gerando assim uma quantidade de resíduos significativa com grande potencial de aproveitamento, após sua queima 11% deste volume se transforma em cinza. A crescente produção de resíduos agroindustriais representa um desafio ambiental e uma oportunidade para o desenvolvimento de soluções sustentáveis. Este resíduo apresenta elevada superfície específica, a presença de sílica amorfa e com capacidade de atuar como material pozolânico, contribuindo para a resistência e durabilidade de misturas cimentícias (Fapohunda *et al*., 2017).

O cimento Portland, amplamente utilizado na construção civil, é uma das principais fontes de emissões de dióxido de carbono (CO_2). Paralelamente, a gestão inadequada de resíduos como a cinza de casca de arroz (RHA) pode causar impactos ambientais negativos (Fapohunda *et al.,* 2017). No entanto, esses problemas podem ser mitigados por meio do uso eficiente desse resíduo.

Sendo assim, estudos recentes têm explorado o potencial da cinza da casca de arroz (RHA), em substituições parciais do cimento Portland, evidenciando benefícios em termos de propriedades mecânicas, como resistência à compressão, e propriedades químicas, como a redução da alcalinidade da matriz cimentícia (Fapohunda *et al.*, 2017). No entanto, ainda existem lacunas a serem investigadas, como os percentuais ideais de substituição e o desempenho em diferentes contextos e aplicações. Diante disso, uma revisão bibliográfica foi realizada para analisar os percentuais de substituição de cimento por RHA e as tendências, buscando evidenciar as vantagens e limitações dessa prática.

2 METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa descritiva acompanhada de uma análise quantitativa de uma revisão bibliográfica sobre a utilização da cinza da casca de arroz como substituição parcial de cimento em concretos e argamassas estruturais. Para a pesquisa, utilizou-se como base de pesquisa, portais de busca, e bancos de dados/artigos como: *Scielo, Scopus*, Periódicos CAPES e Google Acadêmico. A pesquisa concentrou-se exclusivamente em artigos publicados em periódicos internacionais. Ademais, utilizou-se as palavras-chave: *rice husk ash; RHA; suplementary cementing material; mortar; concrete*.

Utilizando o software Excel, fez-se a tabulação dos dados expostos nos artigos acerca das alterações nas propriedades das misturas cimentícias com o uso dos resíduos, elaborando gráficos que relacionam os teores de RAA utilizados com as propriedades. Após a análise dos dados levantados, foi possível realizar as considerações acerca da influência da utilização da cinza da casca de arroz.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

São apresentados os resultados e discussões referentes à caracterização química da cinza de casca de arroz, assim como aos dados obtidos quanto à influência da utilização da RHA em concretos, no que se refere a durabilidade e resistência mecânica. Visando uma melhor organização/apresentação dos dados no gráficos, utilizou-se uma numeração referencial aos autores, conforme exposto no Quadro 1.

Quadro 1: Estudos Analisados

Estudo	Código
S. Nasiru *et al.* (2021)	1
S.K. Tulashie *et al.* (2017)	2
M. Jamil *et al.* (2016)	3
S. Manubothula e M. Gorre (2022)	4
H.T. Le e H. M. Ludwig (2016)	5
M. Thiedeitz *et al.* (2022)	6
K.C. Panda *et al.* (2020)	7
P. Rattanachu *et al*. (2020)	8
F.A. Olutoge e P.A. Adesina (2019)	9
S.K. Antiohos *et al.* (2014)	10
Chao Liu *et al.* (2022)	11
Venkatanarayanan *et al.* (2014)	12

Estudo	Código
Miyandehi *et al.* (2016)	13
Lingling Hu *et al.* (2020)	14
Depaa *et al*. (2020)	15
Behera *et al*. (2021)	16
Bixapathi e Saravanan (2021)	17
Sathe *et al.* (2022)	18
R. Dharmaraj *et al.* (2023)	19
J. Alex *et al.* (2016)	20
Gunduz *et al*. (2019)	21
Le *et al*. (2014)	22
Lam *et al.* (2018)	23
W. Khan *et al.* (2018)	24
Chopra *et al.* (2015)	25

3.1 CINZA DE CASCA DE ARROZ

Constata-se (Figura 1) que em relação ao SiO_2 pouca variação (intervalo de 74,94% a 95,99% em Hu *et al*., 2020). Contudo Alex *et al.* (2016) tem-se uma variação considerável, chegando a 57,96. Acredita-se que a diferença seja em função de algum erro experimental. Similar ao óxido de cálcio variando de 0,22% (Behera; Rahman, 2021) a 3,85% (Sathe *et al*., 2022) e do óxido de magnésio (MgO) com valores entre 0,08 (Hu *et al*., 2020) e 1,24% (Olutoge; Adesina, 2019).

Figura 1: Composição Química do RHA: SiO2

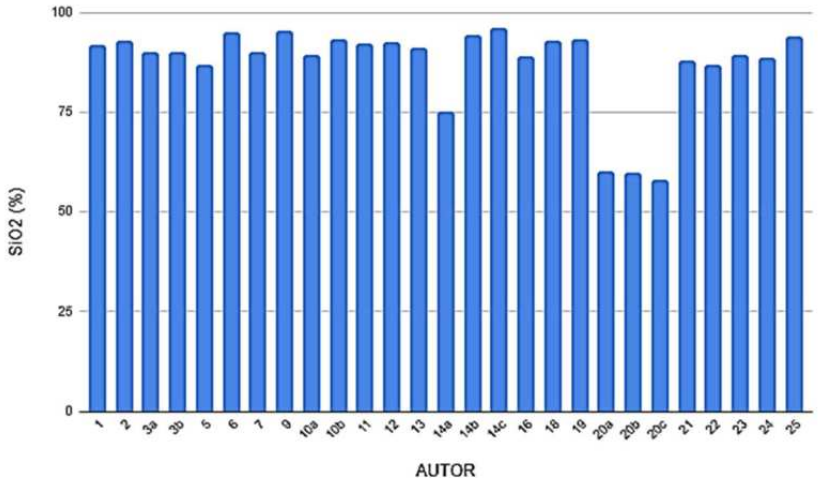
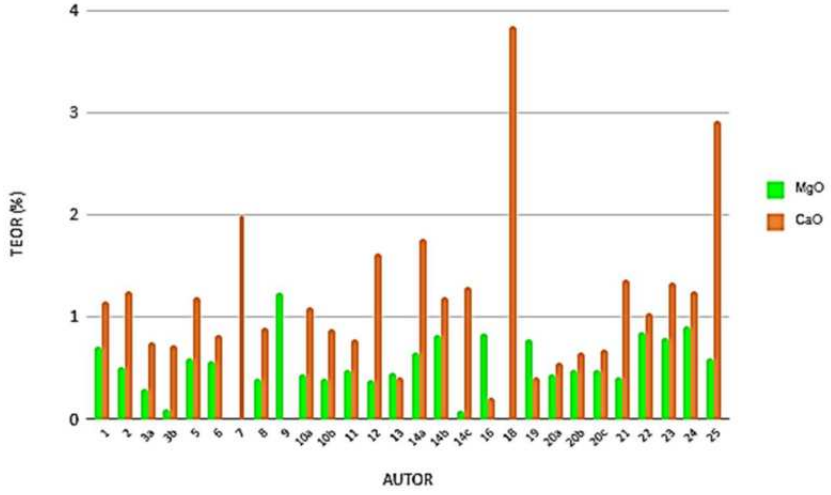


Figura 2: Composição Química do RHA: MgO e CaO

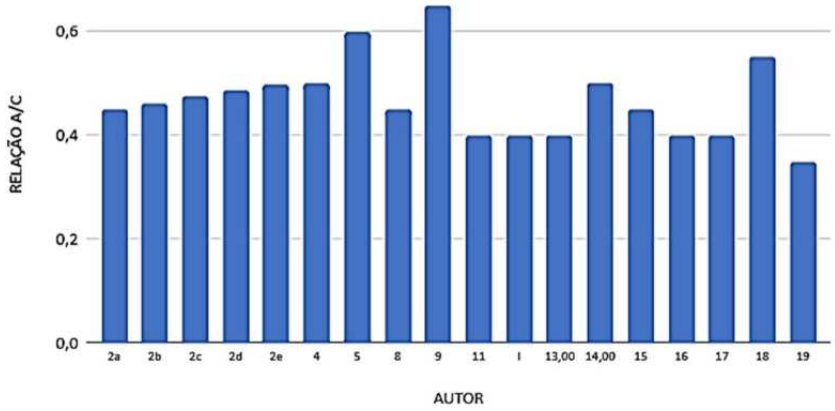


Na granulometria, a distribuição de tamanho das partículas variou entre 5 µm e 45 µm em estudos como o de Venkatanarayanan *et al.* (2014). Já na área superficial específica, foi observada uma variação de 15 m²/g (Tulashie *et al.,* 2017) até 29 m²/g (Le; Ludwig, 2016), dependendo das condições de queima e moagem da RHA. A densidade aparente da RHA variou entre 1,9 g/cm³ e 2,2 g/cm³ (Thiedeitz *et al.,* 2022; Mehdizadeh Miyandehi *et al*., 2016). A análise mineralógica apresentou predominância de fases amorfas de sílica reativa (Hu *et al*., 2020), além de quantidades menores de cristobalita e tridimita.

3.2 ÁGUA DEMANDADA

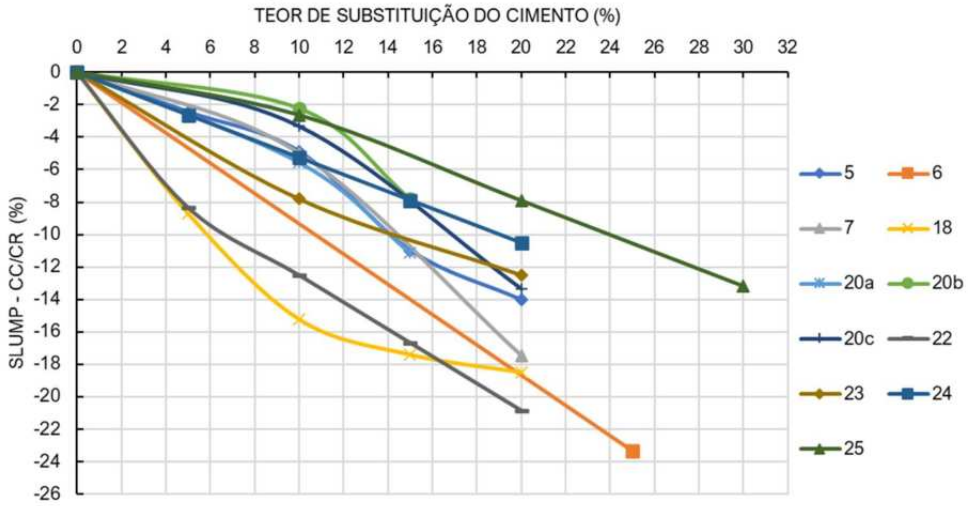
Para a dosagem de misturas de concreto, a relação água/cimento foi mantida constante, geralmente entre 0,4-0,5 para concretos e argamassas estruturais (Figura 3). Gunduz e Kalkan (2019) investigaram argamassas leves utilizando relações a/c entre 1,5-2,1. Os resultados indicam que, ao controlar a relação a/c, a RHA pode ser incorporada como substituição parcial do cimento sem comprometer o desempenho. Pequenos ajustes na relação a/c ou o uso de aditivos são estratégias comuns para compensar a maior demanda de água causada pela finura da RHA. Esses dados reforçam a viabilidade da RHA como uma alternativa sustentável em misturas cimentícias.

Figura 3: Relação a/c



Os estudos analisados apontaram que a plasticidade dos compósitos cimentícios diminui com o aumento do teor de RHA, como evidenciado na Figura 4. Isso ocorre devido à alta finura e maior área superficial da RHA, que elevam a demanda por água e reduzem a trabalhabilidade, refletida na queda do *slump*. No estudo de Le & Ludwig (2016), a substituição de 20% por RHA reduziu o *slump* em 14,02%, enquanto Thiedeitz *et al.* (2022) relataram uma queda de 23,35% com 25% de RHA. Apesar dessa redução, ajustes no teor de água ou o uso de aditivos plastificantes podem mitigar os efeitos. Esses resultados demonstram que a RHA é uma alternativa sustentável e viável para a substituição parcial do cimento. A viabilidade técnica da RHA reforça seu potencial como material para concretos com menor impacto ambiental.

Figura 4: Plasticidade das misturas dos estudos



3.3 DENSIDADE NO ESTADO FRESCO

Os estudos (Figura 5) de Nasiru *et al.* (2021) e Olutoge & Adesina (2019) mostram que a substituição parcial do cimento por RHA não tem influência significativa ou geram pequenos aumento em função da elevação do teor de RHA (de 5% a 15%) na densidade das misturas cimentícias. Todavia, Gunduz & Kalkan (2019) observaram que a argamassa de compósito leve com RHA apresentou redução proporcional da densidade conforme o aumento do teor de RHA.

3.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA AOS 28 DIAS

A substituição parcial de cimento por RHA impacta a absorção de água nas misturas cimentícias, variando conforme o teor e as características do material. Estudos como os de Jamil *et al.* (2016) e Khan *et al.* (2018) indicaram que teores moderados (10%-20%) podem reduzir a absorção em até 16,67%, devido à melhora na compactação e ao preenchimento de microporos. Já, Olutoge e Adesina (2019) observaram um aumento de até 23,08% com 15% de RHA, atribuído à maior área superficial do material e à porosidade adicional gerada. Substituições acima de 20% mostraram eficácia limitada na redução da absorção, indicando que a RHA pode atuar tanto como refinador quanto intensificador de porosidade, dependendo da dosagem e propriedades. Conforme visto nos resultados dos ensaios de plasticidade, sobretudo nos estudos de W. Khan *et al.* (2018) e Chopra *et al.* (2015), percebe-se uma redução do *slump* e aumento da absorção de água à medida que há o aumento no teor de substituição do cimento.

Figura 5: Densidade (28 dias)

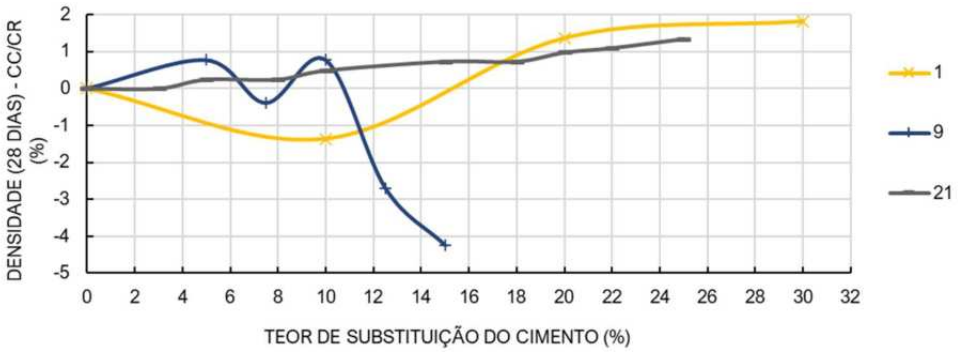
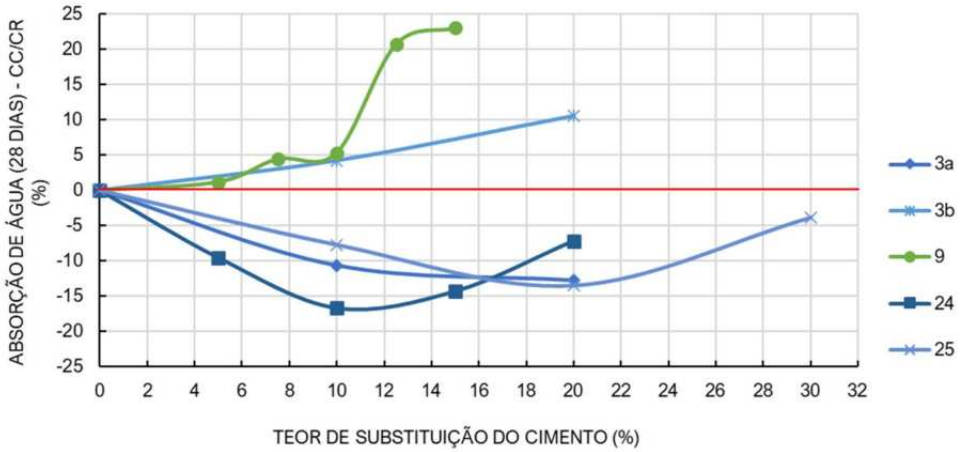


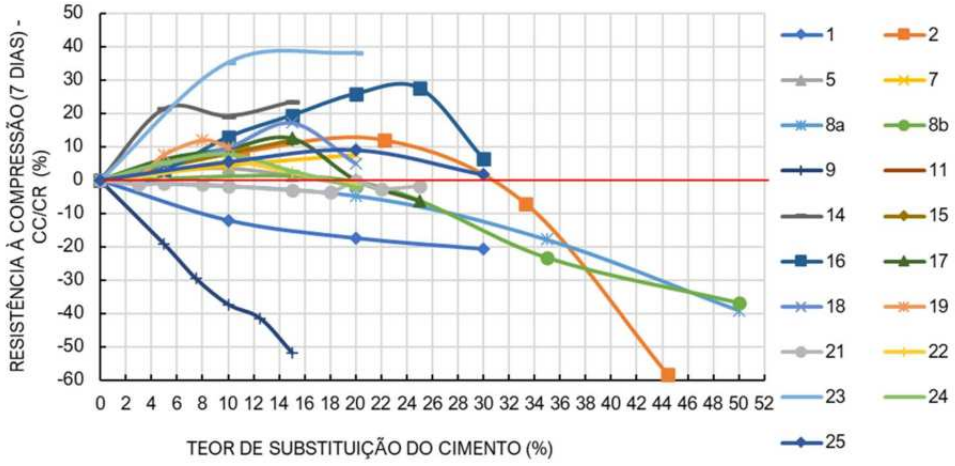
Figura 6: Absorção de Água (28 dias)



3.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam os resultados de resistência à compressão dos estudos aos 7, 14 e 28 dias, respectivamente.

Figura 7: Resistência à Compressão aos 7 dias



Os resultados apontam que a incorporação do RHA com teores de 5% a 20% mantém as propriedades das misturas de referência e, em muitos casos, proporcionam ganhos de resistência. No entanto, para teores mais elevados de substituição de cimento pelo resíduo, a propriedade reduziu. Além disso, Olutoge e Adesina (2019) registraram uma queda considerável na resistência, de -55,87% nas idades iniciais para substituições de 5% a 15%, sugerindo que a origem da cinza (como incineradores movidos a carvão) pode influenciar negativamente as propriedades mecânicas. Ademais, estudos como os de Behera & Rahman (2021) e Chopra *et al.* (2015) também evidenciaram reduções na resistência nas idades mais avançadas com percentuais mais elevados de RHA, variando de -3,22% a -9,68% para substituições acima de 20%. Depaa *et al.* (2020), relataram leve redução com 15% de substituição. Mehdizadeh *et al.* (2016) concluiu que a grande redução na resistência foi decorrente da baixa reatividade e da alta área de superfície específica dos resíduos utilizados.

Figura 8: Resistência à Compressão aos 14 dias

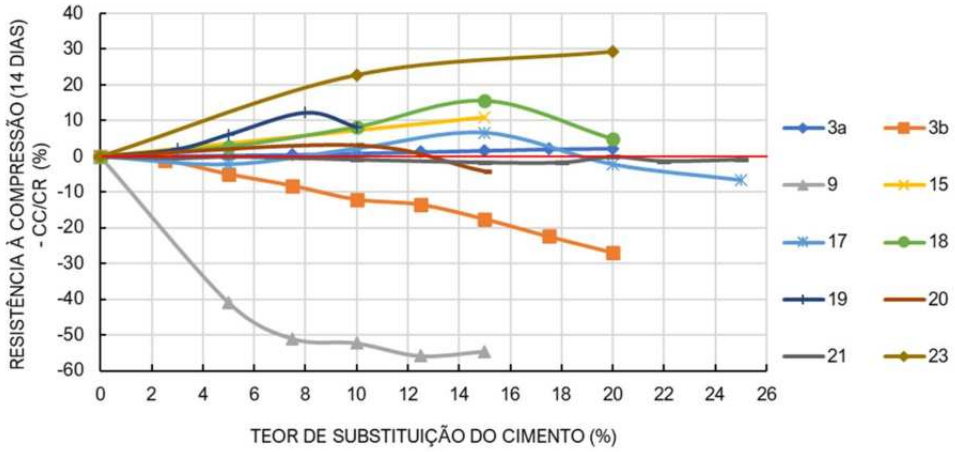
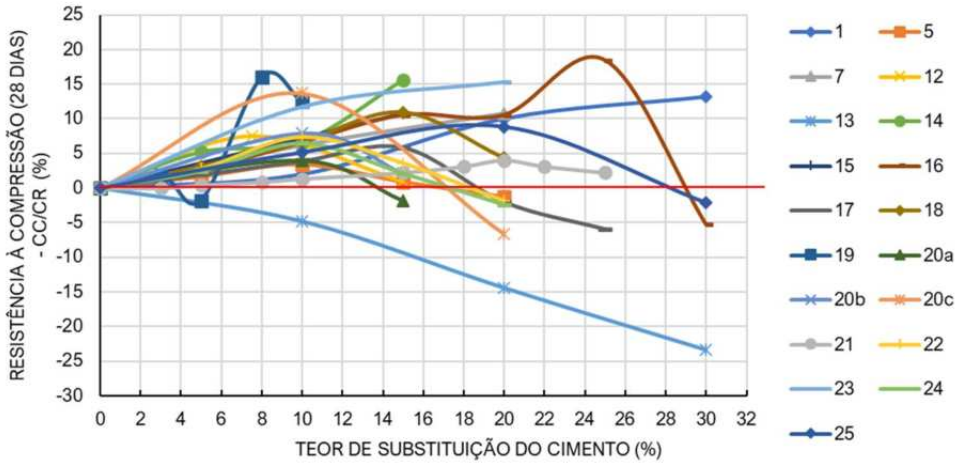


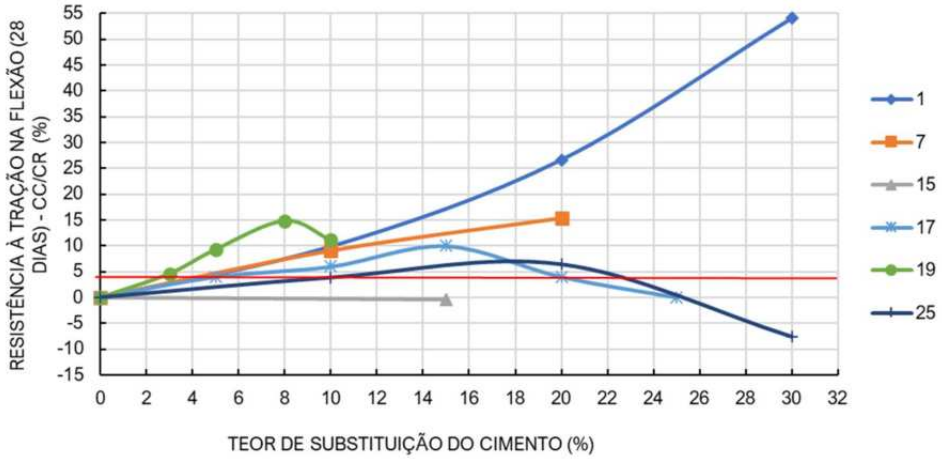
Figura 9: Resistência à Compressão aos 28 dias



3.6 Resistência à Tração na Flexão aos 28 dias

A substituição do cimento por cinza de casca de arroz (RHA) tende a melhorar a resistência à tração na flexão em concentrações moderadas, mas concentrações elevadas podem reduzir essa propriedade. Nasiru *et al.* (2021) e Panda *et al.* (2020) relataram aumentos significativos de resistência com até 30% e 20% de RHA. Porém, estudos como os de Behera e Rahman (2021) e Chopra *et al.* (2015) mostraram quedas na resistência com 30% de RHA. Melhorias progressivas foram observadas por Bixapath e Saravanan (2021) com até 15% de RHA e por Dharmaraj *et al.* (2023) com concentrações entre 3% e 8%. Esses dados indicam que a RHA é benéfica em doses moderadas, mas pode comprometer o desempenho mecânico em proporções mais altas.

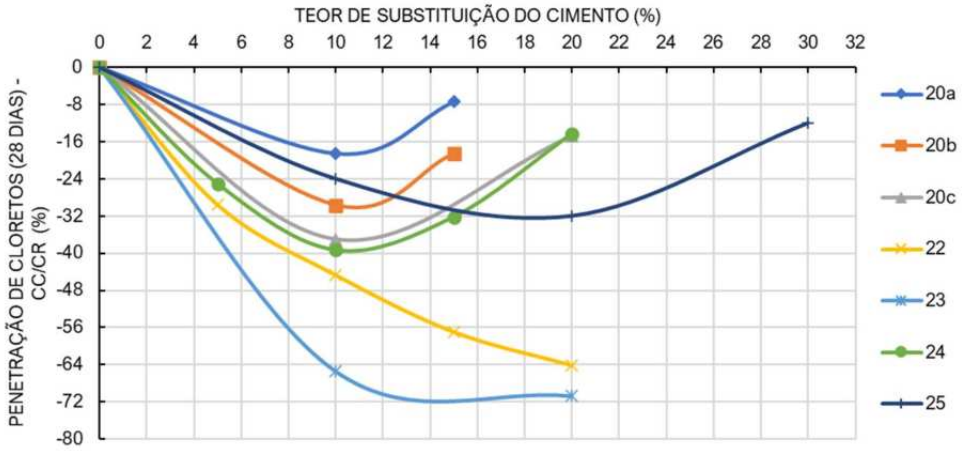
Figura 10: Resistência à Tração na Flexão aos 28 dias



3.7 PENETRAÇÃO DE CLORETOS AOS 28 DIAS

Conforme Figura 11, o RHA tende a aumentar a durabilidade do compósito cimentício (Alex *et al.*, 2016; Le *et al.,* 2014; Lam *et al.*, 2018; Khan *et al.*,2018; Chopra *et al.*, 2015), com redução expressiva na penetração de cloretos nos teores de 5% a 20% de substituição de cimento pelo resíduo.

Figura 11: Penetração de Cloretos aos 28 dias



4 CONCLUSÃO

A substituição parcial de cimento por cinza de casca de arroz (RHA) apresentou benefícios nas propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto, reduzindo a porosidade e aumentando a resistência em teores de até 20%. Contudo, o uso de RHA eleva a demanda por água, diminuindo a plasticidade e trabalhabilidade das misturas. Substituições acima de 20% comprometeram o desempenho mecânico, devido ao desequilíbrio na relação água/cimento e alterações na microestrutura, parâmetro que depende diretamente do tipo de cimento portland utilizado. Apesar disso, a RHA oferece vantagens ambientais, contribuindo para a gestão de resíduos agroindustriais e a redução das emissões de CO_2 da produção de cimento. Desta forma, tem-se que o uso do *RHA* como substituição parcial de cimento em misturas cimentícias é bastante promissor, mas ainda requer maiores estudos, como o impacto de métodos de beneficiamento e processamento do resíduo e a compatibilidade com outros aditivos. Assim, a otimização dos teores de substituição e a análise de longo prazo são essenciais para consolidar a *RHA* como uma alternativa sustentável na construção civil.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por fomentar e coordenar a pós-graduação no Brasil, financiando bolsas e projetos de pesquisa que promovem o avanço da ciência.

REFERÊNCIAS

ALEX, J.; DHANALAKSHMI, J.; AMBEDKAR, B. Experimental investigation on rice husk ash as cement replacement on concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 127, p. 353–362, 2016.

ANTIOHOS, S. K.; PAPADAKIS, V. G.; TSIMAS, S. Rice husk ash (RHA) effectiveness in cement and concrete as a function of reactive silica and fineness. **Cement and Concrete Research**, v. 61–62, p. 20-27, 2014.

BEHERA, M.; RAHMAN, M. R. Evaluating the combined effect of recycled aggregate and rice husk ash on concrete properties. **Materials Today: Proceedings**, v. 61, p. 370–378, 2022.

BIXAPATHI, G.; SARAVANAN, M. Strength and durability of concrete using Rice Husk Ash as a partial replacement of cement. **Materials Today: Proceedings**, v. 52, p. 1606–1610, 2022.

CHOPRA, D.; SIDDIQUE, R.; KUNAL. Strength, permeability, and microstructure of self-compacting concrete containing rice husk ash. Biosystems Engineering, v. 130, p. 72–80, 2015.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Perspectiva aponta para novo aumento na área de arroz e feijão na safra 2024/2025. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2024. Disponível em:

<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5735-perspectiva-aponta-para-novo-aumento-na-area-de-arroz-e-feijao-na-safra-2024-2025>. Acesso em: 20 dez. 2024.

DEPAA, R. A. B.; PRIYADARSHINI, V.; HEMAMALINIE, A.; et al. Assessment of strength properties of concrete made with rice husk ash. **Materials Today: Proceedings**, v. 605, 2020.

DHARMARAJ, R.; DINESH, M.; SAMPATHKUMAR, S.; HARIPPRASATH, M.; CHANDRAPRAKASH, V. High performance concrete using rice husk ash. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

FAPOHUNDA, C.; AKINBILE, B.; SHITTU, A. Structure and properties of mortar and concrete with rice husk ash as partial replacement of ordinary Portland cement – A review. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 6, n. 2, p. 675–692, 2017.

GUNDUZ, L.; KALKAN, S. O. Use of rice husk ash as strength-enhancing additive in lightweight cementitious composite mortars. In: IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING. IOP Publishing, 2019. p. 032046.

HU, L.; HE, Z.; ZHANG, S. Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: Environmental evaluation and performance improvement. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, p. 121744, 10 ago. 2020.

JAMIL, M.; KHAN, M. N. N.; KARIM, M. R.; KAISH, A. B. M. A.; ZAIN, M. F. M. Physical and chemical contributions of Rice Husk Ash on the properties of mortar. **Construction and Building Materials**, v. 128, p. 185-198, 2016.

KHAN, W. *et al.,* Performance evaluation of Khyber Pakhtunkhwa Rice Husk Ash (RHA) in improving mechanical behavior of cement. **Construction and Building Materials,** v. 176, p. 89–102, 2018.

LAM, T. V.; *et al.,* Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior. IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, v. 365, n. 3, p. 032007, 2018.

LE, H. T.; NGUYEN, S. T.; LUDWIG, H. M. A study on high performance fine-grained concrete containing rice husk ash. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 8, p. 301-307, 2014.

LE, Ha Thanh; LUDWIG, Horst-Michael. Effect of rice husk ash and other mineral admixtures on properties of self-compacting high performance concrete. **Materials & Design,** v. 89, p. 156-166, 2016.

LIU, C.; *et al.,* A compressive strength prediction model based on the hydration reaction of cement paste by rice husk ash. **Construction and Building Materials,** v. 340, 2022.

MANUBOTHULA, S.; GORRE, M. Influence of rice husk ash on compressive strength of an aerated concrete. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN CONSTRUCTION MATERIALS AND STRUCTURES, 2022. p. 1982–1986.

MEHTA, P.K., 2002. Greening of the concrete industry for sustainable development. Concr. Int. 24 (7), 23–28.

MEHDIZADEH MIYANDEHI, B.; *et al.,* Performance and properties of mortar mixed with nano-CuO and rice husk ash. **Cement and Concrete Composites**, v. 74, p. 225-235, nov. 2016.

NASIRU, S.; *et al.,* Properties of cement mortar containing recycled glass and rice husk ash. **Construction and Building Materials**, v. 299, p. 123900, 13 set. 2021.

OLUTOGE, F. A.; ADESINA, P. A. Effects of rice husk ash prepared from charcoal-powered incinerator on the strength and durability properties of concrete. **Construction and Building Materials,** v. 196, p. 386-394, 2019.

PANDA, K.C.; BEHERA, S.; JENA, S. Effect of rice husk ash on mechanical properties of concrete containing crushed seashell as fine aggregate. **Materials Today: Proceedings**, v. 32, p. 838–843, 2020.

RATTANACHU, P.; TOOLKASIKORN, P.; TANGCHIRAPAT, W.; CHINDAPRASIRT, P.; JATURAPITAKKUL, C. Performance of recycled aggregate concrete with rice husk ash as cement binder. Cement and Concrete Composites, v. 108, p. 103533, 2020.

SATHE, S.; KANGDA, M. Z.; DANDIN, S. An experimental study on rice husk ash concrete. **Materials Today: Proceedings,** 2022.

SUDENDRO, B. 2014. Toward green concrete for better sustainable environment. In: 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CIVIL ENGINEERING STRUCTURES AND CONSTRUCTION MATERIALS, Procedia Engineering 95, 305–320.

THIEDEITZ, M.; OSTERMAIER, B.; KRANKEL, T. Rice husk ash as an additive in mortar – Contribution to microstructural, strength and durability performance. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 184, 2022.

TULASHIE, S.I K.; *et al.,* Investigation of the compressive strength of pit sand and sea sand mortar prisms produced with rice husk ash as additive. **Construction and Building Materials,** v. 151, p. 383-387, 1 out. 2017.

VENKATANARAYANAN, H. K.; RANGARAJU, P. R. Effect of grinding of low-carbon rice husk ash on the microstructure and performance properties of blended cement concrete. **Cement and Concrete Composites,** v. 55, p. 348-363, 2015.