

BIOCHAR PRODUZIDO POR PIRÓLISE LENTA COMO MATERIAL SUPLEMENTAR EM FIBROCIMENTOS

MIRIAN DOSOLINA FUSINATO¹; CRISTIAN DA CONCEIÇÃO GOMES²;
PEDRO JOSÉ SANCHES FILHO³; RAFAEL DE ÁVILA DELUCIS⁴

¹*Universidade Federal de Pelotas – mirfusinato@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – cristianconceicao8@gmail.com*

³*Instituto Federal Sul Rio-Grandense - pedrofilho@ifsul.edu.br*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – rafael.delucis@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

A produção de cimento responde por cerca de 5 a 10% das emissões globais de CO₂, configurando-se como um dos principais desafios ambientais da construção civil (Kamini et al., 2023). Nesse contexto, a substituição parcial do cimento por materiais cimentícios suplementares representa uma alternativa promissora para reduzir impactos ambientais. Além dos ganhos em sustentabilidade, em fibrocimentos, que são compósitos amplamente empregados em aplicações não estruturais, quando a matriz cimentícia é reforçada por fibras vegetais, a adição de materiais suplementares pode atuar tanto na potencialização das propriedades da matriz, como no consumo de compostos alcalinos que degradam as fibras, como a portlandita [Ca(OH)₂].

Dentre os materiais suplementares mais tradicionais, destacam-se a cinza de casca de arroz (CCA), rica em sílica amorfa e com alta atividade pozolânica. Quando incorporada à matriz cimentícia, essa sílica reage com a portlandita [Ca(OH)₂], formando produtos secundários de hidratação como o silicato de cálcio hidratado (C–S–H). Esse mecanismo contribui para o refinamento da microestrutura, reduzindo a porosidade, melhorando a resistência mecânica.

Por outro lado, embora não haja estudos robustos sobre o biochar incorporado em matrizes cimentícias, obtido pela pirólise da casca de arroz, aparenta ser um material suplementar inovador e ambientalmente estratégico, capaz de contribuir para a mitigação das emissões líquidas de gases de efeito estufa e para o aproveitamento de resíduos agroindustriais (Qing; Zhang; Zhang, 2023). Dessa forma, o presente estudo avalia a substituição parcial de cimento por CCA e biochar em fibrocimentos.

2. METODOLOGIA

As cinzas de casca de arroz, gentilmente fornecida pela empresa Irgovel (Indústria Riograndense de Óleos Vegetais Ltda.), foram secas em estufa a 100 °C por 24 h. Após esfriar, 2 kg dessas cinzas foram moídos por 4 h em moinho de jarros e bolas da marca Soloteste, modelo SL-34/T, usando o jarro número 5. As amostras de biochar obtido através de pirólise lenta de casca de arroz descrita em Fusinato et al. (2023), foram secas em estufa a 100 °C por 24 h, esfriadas e 400 g foram moídas no mesmo moinho, no jarro número 5, por 60 min. Os materiais moídos foram analisados por granulometria a laser na UFPel em um analisador de partículas CILAS 1064. O cimento utilizado foi o CPV-ARI-RS da marca Votorantim. O aditivo superplastificante Liga Flow 46 foi utilizado na proporção de 0,2% em relação ao cimento em todas as misturas. A relação água/cimento (a/c) foi ajustada com base na trabalhabilidade dos compósitos. Fibras de celulose de eucalipto branqueadas foram doadas pela Celulose Riograndense (CMPC) de Guaíba/Brasil.

Essas fibras foram adicionadas aos compósitos na proporção de 2%. Os fibrocimentos foram confeccionados conforme procedimento descrito por Insaurriaga et al., (2024) e demonstrado na Figura 1. As análises estatísticas foram realizadas usando o Statgraphics 19®.



Figura 1 - Processo de preparação do fibrocimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme visto na Tabela 1, a CCA após a moagem ficou com a granulometria muito similar à do cimento, porém se mostrou mais grossa que o biochar. Quanto ao D50, a CCA ficou 71% maior que o biochar e, em relação ao D90, ficou 76% maior. A CCA também tem menos finos e, por consequência, menor fração ultrafina, capaz de auxiliar no preenchimento dos poros pelo efeito filler e compactação. O biochar ficou mais fino porque teve um tempo de moagem um pouco superior e é um material mais friável que a CCA.

Material	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)	Diâmetro médio (μm)
Cimento	18,79	56,81	88,49	56,59
Biochar	5,77	32,47	47,72	30,07
CCA	13,66	55,59	83,88	54,05

Tabela 1 – Características granulométricas dos insumos usados.

Em relação à resistência à flexão, a análise da Figura 2a evidencia que as adições de 5% e 10% de CCA resultaram em aumentos em resistência à flexão de até 62,9% em relação ao fibrocimento de controle. Porém, com 15% de adição a resistência a flexão foi menor que as demais adições, ainda assim mantendo-se acima do controle em 36%. Datchossa et al. (2024) atingiram níveis ótimos de resistência à flexão para 10% de CCA. Quanto ao biochar, os resultados revelaram que, para todos os teores de adição, as resistências foram maiores que a resistência do grupo controle, em especial a adição de 10% que foi de 82%. Na literatura, Song et al. (2023) obtiveram o melhor resultado com adição de 5%. O melhor desempenho dos corpos de prova aditivados com biochar em relação aos aditivados com CCA, pode ser atribuído à diferença de granulometria. A CCA, por ser mais grossa e heterogênea, pode gerar pontos de concentração de tensão e demorar mais para reagir, dificultando a difusão e a reação da sílica amorfada com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Já as partículas finas do biochar possivelmente atuaram como núcleos de hidratação, acelerando a formação de C–S–H (silicato de cálcio hidratado) e

adensando a microestrutura. Esse efeito se traduz, sobretudo, em ganhos em propriedades de tração e de flexão, embora ganhos menores possam ser evidenciados em compressão (Wang et al., 2018).

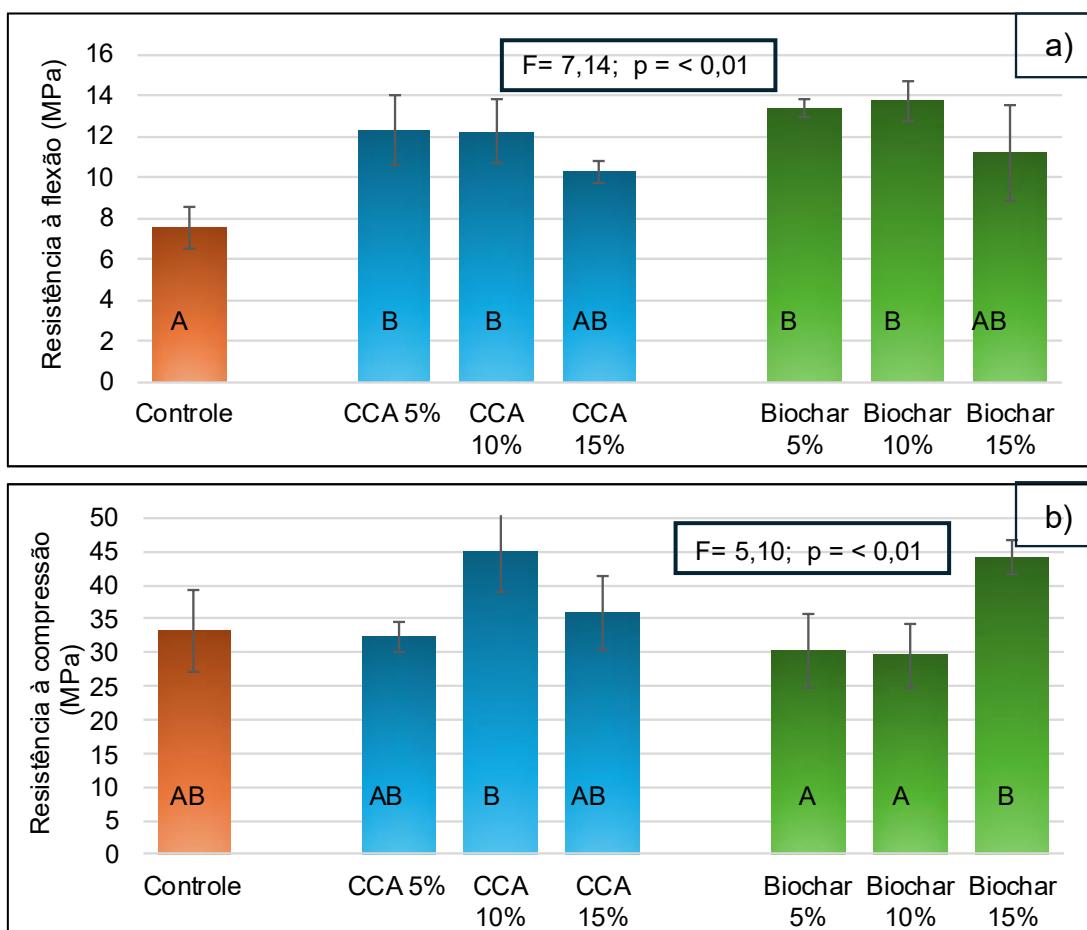


Figura 2 – Resistência à flexão e à compressão dos fibrocimentos. Onde: Letras diferentes nas colunas indicam médias estatisticamente diferentes

Em relação à resistência à compressão (Figura 2b), a adição de 10% de CCA apresentou o melhor desempenho, superando o controle em 36%. A redução na resistência com o aumento do percentual de adição está alinhada com estudos similares anteriores (De Silva; Naveen, 2024), que relataram queda na resistência à compressão com o aumento da adição de CCA. Nos resultados à compressão com biochar, as adições iniciais de 5% e 10% apresentaram desempenhos semelhantes ao controle, enquanto a adição de 15% resultou em um ganho de 34% na resistência à compressão em relação ao controle. De acordo com Zhao et al.,(2024), compósitos cimentícios incorporados com biochars provenientes de materiais agrícolas com elevado teor de sílica apresentam melhor desempenho em termos de resistência à compressão a partir de um teor de adição de 5%.

4. CONCLUSÕES

Tanto o biochar quanto a CCA apresentaram ganhos relevantes em resistência à flexão e resistência à compressão, comprovando a eficácia da substituição parcial do cimento por materiais suplementares. Essa substituição contribui para a redução das emissões de CO₂ associadas à produção de fibrocimentos e fortalece os princípios da economia circular, ao valorizar recursos renováveis e resíduos agroindustriais. A análise comparativa evidenciou que a

CCA, mais grossa e heterogênea, favoreceu principalmente o aumento da resistência à compressão em teores moderados (até +36%), enquanto o biochar, mais fino e reativo, promoveu maior nucleação e adensamento da matriz, resultando em ganhos expressivos na resistência à flexão (até +82%). Dada sua disponibilidade e desempenho, o biochar de casca de arroz representa uma alternativa viável e de baixo custo para substituição parcial do cimento em materiais de construção sustentáveis. Estudos adicionais estão em andamento, investigando compósitos com diferentes granulometrias, a fim de identificar as melhorias na resistência à flexão e à compressão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DATCHOSSA, Abbas Tiambo *et al.* Evaluation of the Effects of Untreated and Treated Sugarcane Bagasse Fibers and RHA on the Physicomechanical Characteristics of Cementitious Composites. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, v. 48, n. 1, p. 25–40, 1 fev. 2024.

DE SILVA, G. H. M. J. Subashi; NAVEEN, P. Effect of rice husk ash and coconut coir fiber on cement mortar: Enhancing sustainability and efficiency in buildings. *Construction and Building Materials*, v. 440, 23 ago. 2024.

FUSINATO, Mirian Dosolina *et al.* Silica extraction from rice hull ash through the sol-gel process under ultrasound. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 8, p. 21494–21511, 1 fev. 2023.

INSAURRIAGA, Gabriel L. *et al.* Effect of Hybridization of Carbon Fibers on Mechanical Properties of Cellulose Fiber–Cement Composites: A Response Surface Methodology Study. *C-Journal of Carbon Research*, v. 10, n. 2, 1 jun. 2024. KAMINI, G. Pravina *et al.* Biochar in cementitious material—A review on physical, chemical, mechanical, and durability properties. *AIMS Materials Science*, v. 10, n. 3, p. 405–425, 2023.

QING, Longbang; ZHANG, Hao; ZHANG, Zhikun. Effect of biochar on compressive strength and fracture performance of concrete. *Journal of Building Engineering*, v. 78, 1 nov. 2023.

SONG, Ning *et al.* Biochar as internal curing material to prepare foamed concrete. *Construction and Building Materials*, v. 377, 9 maio 2023.

WANG, Dehui *et al.* A review on use of limestone powder in cement-based materials: Mechanism, hydration and microstructures. *Construction and Building Materials* Elsevier Ltd, , 30 ago. 2018.

ZHAO, Zhihao *et al.* Biochar affects compressive strength of Portland cement composites: a meta-analysis. *Biochar Springer*, , 1 dez. 2024.