

DURABILIDADE DE FIBROCIMENTOS SUSTENTÁVEIS INCORPORADOS COM LAMA DE GRANITO TRATADA TERMICAMENTE

FELIPE VAHL RIBEIRO¹; MÁXIMO ARMAND UGON GUTIÉRREZ²; RAFAEL DE AVILA DELUCIS³

¹*Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – felipe.vs.ribeiro@gmail.com*

² *Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – felipe.vs.ribeiro@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – rafael.delucis@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

A indústria de fibrocimentos, usada em telhas e caixas d'água, há alguns anos atrás enfrentou problemas com o uso de amianto, um material que reforçava a matriz cimentícia, porém está relacionado a graves riscos à saúde e ao meio ambiente após longos períodos de exposição (HOSSEINPOURPIA *et al.*, 2012). O uso desse tipo de fibra como reforço é essencial para o uso do cimento em aplicações típicas de fibrocimentos, especialmente devido às baixas propriedades do cimento em tração e flexão.

A incorporação de fibras vegetais, como o sisal em fibrocimentos surgiu como uma alternativa sustentável e de bom desempenho ao amianto. Contudo, a utilização de fibras vegetais em fibrocimentos apresenta desafios, principalmente relacionados à durabilidade (ARAMBURU *et al.*, 2023b). Um dos principais problemas do uso de fibras vegetais em fibrocimentos é a hidrólise alcalina, causada pela alta alcalinidade do cimento, que degrada os componentes das fibras ao longo do tempo, comprometendo a durabilidade do material. Mitigar esse problema é crucial para viabilizar o uso de fibras vegetais nesses materiais.

Pozolanas, como cinzas volantes e sílica ativa, são tradicionalmente incorporadas aos fibrocimentos para reduzir a porosidade, aumentar a resistência e controlar a alcalinidade do cimento e assim reduzir a despólymerização das fibras vegetais (HERNÁNDEZ-OLIVARES *et al.*, 2020). Recentemente, pesquisas têm relatado que materiais baseados em granito quando tratados termicamente adquirem níveis altos de atividade pozolânica (DEL BOSQUE *et al.*, 2018). Usar um resíduo derivado do processamento de pedras graníticas em fibrocimentos, além de proteger as fibras vegetais, seria uma solução para ajudar a enfrentar o problema ambiental gerado pelo descarte de resíduos de granito. Este trabalho investiga o uso de resíduo de lama de granito tratado termicamente para mitigar a mineralização de fibras de sisal em fibrocimentos, com foco em melhorar a durabilidade do material.

2. METODOLOGIA

Foi utilizado o cimento CP V-ARI (Cauê) por sua granulometria fina e elevada pureza, permitindo uma avaliação mais precisa da atividade pozolânica das lamas de granito. O sisal, adquirido da empresa Pincéis Compel, teve um diâmetro médio de 0,49 mm e foi cortado em pedaços de 2 cm. A lama residual de granito, coletada em uma marmoraria em Pelotas/RS, foi tratada em forno mufla a 600 e 900 °C por 2 horas, conforme a literatura (DEL BOSQUE *et al.*, 2018). A relação água/cimento foi determinada com base em um ensaio de consistência padrão, visando uma

abertura de 280 mm. A Tabela 1, apresenta as proporções de materiais utilizadas na confecção das pastas de cimento.

	Cimento	Granito	Calcário	Sisal	Água	Total
Controle	2324,16	0	385,35	55,3	929,66	3694,47
Granito 30% - Controle	1859,33	464,83	385,35	55,3	929,66	3694,47
Granito 30% - 600°C	1859,33	464,83	385,35	55,3	929,66	3694,47
Granito 30% - 900°C	1859,33	464,83	385,35	55,3	929,66	3694,47
Granito 15% - 600°C	2091,74	232,41	385,35	55,3	929,66	3694,47
Granito 15% - 900°C	2091,74	232,41	385,35	55,3	929,66	3694,47
Granito - 900°C - s/ calcário	2091,74	617,76	0	55,3	929,66	3694,47

As fibras foram dispersas em água de amassamento com um agitador mecânico a 2000 rpm e, em seguida, a solução foi adicionada lentamente ao cimento para homogeneização em uma argamassadeira a 140 rpm por 3 minutos e 220 rpm por 1 minuto. Os espécimes foram moldados de acordo com a ASTM C305 (2014) em moldes de 40 × 40 × 160 mm³, preenchidos com pasta fresca e compactados em uma mesa vibratória. Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados, curados ao ar por 5 dias e, em seguida, curados sob pressão em autoclave por 8 horas (INSAURRIAGA et al., 2024).

A resistência dos compósitos ao envelhecimento foi avaliada por meio de 40 ciclos de molhagem e secagem. Três amostras de cada grupo foram submersas em água a 20 ± 5 °C por 24 horas, seguidas de secagem em estufa a 60 °C por 24 horas. Em seguida, foram submetidas aos mesmos ensaios mecânicos e analisadas morfologicamente com microscopia ótica (Dino-Lite, modelo PRO). O ensaio de flexão em três pontos foi realizado conforme a ASTM C348-14 (2014) para medir a resistência à flexão. Corpos de prova de 40 × 40 × 160 mm³ foram testados em uma máquina universal (EMIC DL 30000) no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira (CENG/UFPel), com uma célula de carga e velocidade de 50 N/s e vão de 100 mm. Os dados foram analisados estatisticamente por ANOVA simples, com comparação de médias pelo teste de Tukey-Kramer a 5% de significância. Os resultados são apresentados em letras maiúsculas (A, B, C, etc.), indicando grupos homogêneos, utilizando o software Statgraphics 19®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens de microscopia ótica permitiram analisar a morfologia e a distribuição das fibras de sisal, além da interface entre as fibras e a matriz do fibrocimento. Observou-se boa aderência entre as fibras e a matriz em todos os grupos de amostras. Imagens com ampliação de 20x mostraram a formação de poros de até 1 mm de diâmetro, especialmente em fibrocimentos com 30% de granito.

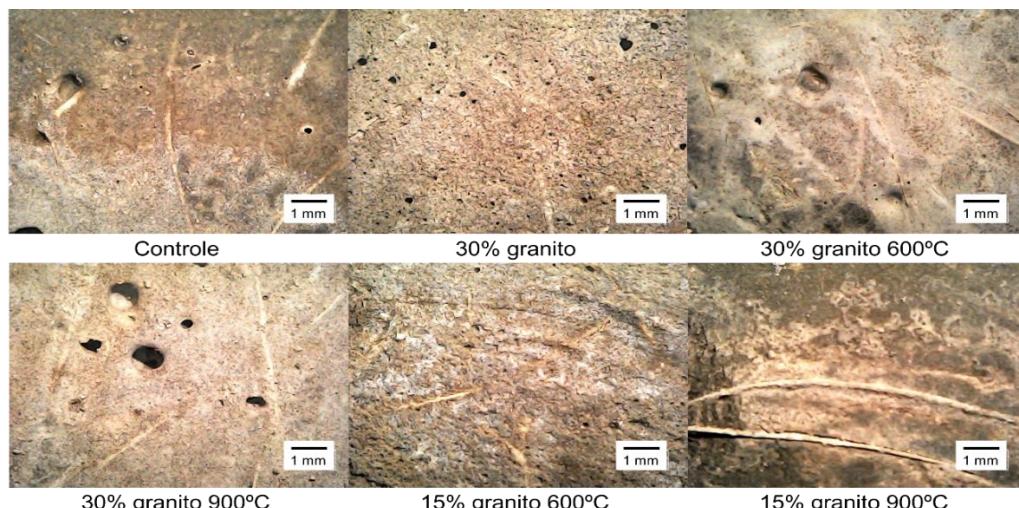


Figura 1 – Micrografias óticas dos compósitos obtidas com 20x vezes de aproximação.

Essa boa interface fibra/matriz refletiu em elevadas propriedades mecânicas em flexão como mostra a Figura 2. A igualdade das resistências à flexão dos fibrocimentos em estudo, pode ser explicada considerando fatores que atuam de maneira complementar, sinérgica e oposta. Por exemplo, por um lado, a melhoria na reatividade do granito termicamente tratado e a contribuição das fibras para o controle de fissuras promovem uma boa resistência à flexão. Por outro lado, a substituição excessiva de cimento e a possível delaminação entre as fibras e a matriz podem reduzir essa resistência.

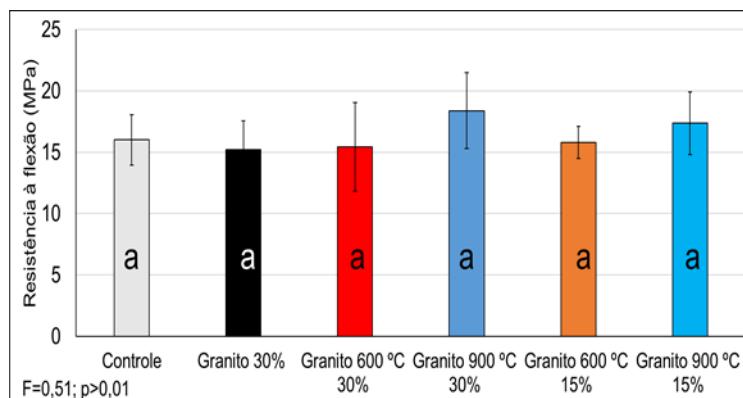


Figura 2 – Níveis médios e respectivos desvios referentes à resistência em flexão dos compósitos.

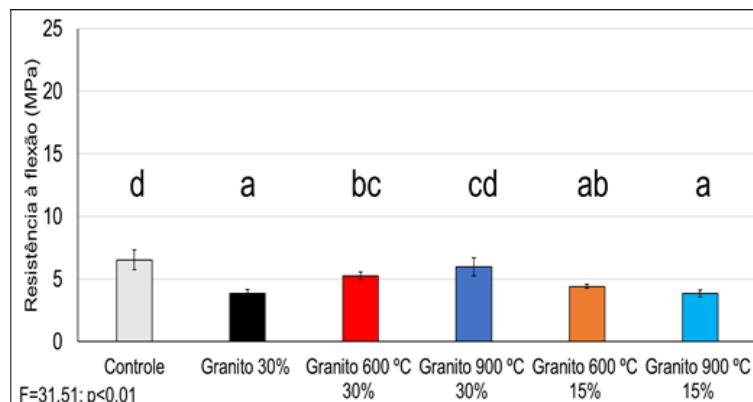


Figura 3 – Níveis médios e respectivos desvios referentes à resistência em flexão dos compósitos envelhecidos.

Os resultados dos ensaios de flexão após os ciclos de envelhecimento (Figura 3) evidenciaram uma redução significativa na resistência dos compósitos de fibrocimento, com perdas entre 60% e 80%. Essa deterioração é atribuída a mecanismos como inchaço das fibras, perda de adesão fibra/matriz e formação de microfissuras (ARAMBURU *et al.*, 2023; POLETANOVIC *et al.*, 2021). No entanto, o compósito com 30% de granito tratado a 900 °C apresentou um comportamento distinto, mantendo uma resistência à flexão similar ao grupo controle. Esse resultado sugere que o tratamento térmico do granito promoveu modificações na interface fibra-matriz, aumentando a durabilidade do material.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a adição de fibras de sisal em matrizes de fibrocimento, combinada com a incorporação de 30% de granito termicamente tratado, resultou em uma boa adesão fibra/matriz, refletindo em elevadas propriedades mecânicas de flexão. Após os ciclos de envelhecimento, os compósitos sofreram reduções significativas na resistência à flexão, principalmente devido ao inchaço das fibras e à perda de adesão entre a fibra e a matriz. Ainda assim, o tratamento térmico do granito a 900 °C mostrou-se eficaz em preservar a resistência à flexão dos compósitos, sugerindo que a modificação na interface fibra-matriz proporcionada por esse tratamento melhora a durabilidade e o desempenho do material em condições adversas. Estes achados indicam que o uso de granito tratado pode ser uma estratégia viável para a substituição parcial do cimento, sem prejuízo de durabilidade de compósitos fibrocimentos. Estudos futuros devem investigar outras características dos compósitos, como isolamento térmico e resistência ao fogo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAMBURU, Arthur Behenck *et al.* Cement matrix reinforced with microfibrillated cellulose treated with furfuryl alcohol. **Cellulose**, v. 30, n. 16, p. 10297-10312, 2023.
- DEL BOSQUE, IF Sáez *et al.* Activation temperature-mediated mineralogical transformations in slate quarry sludge: pozzolanic properties. **Construction and Building Materials**, v. 187, p. 819-829, 2018.
- HERNÁNDEZ-OLIVARES, Francisco *et al.* Short sugarcane bagasse fibers cementitious composites for building construction. **Construction and Building Materials**, v. 247, p. 118451, 2020.
- HOSSEINPOURPIA, Reza *et al.* Production of waste bio-fiber cement-based composites reinforced with nano-SiO₂ particles as a substitute for asbestos cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 31, p. 105-111, 2012.
- 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**, v. 10, n. 2, p. 41, 2024.
- POLETANOVIC, Bojan *et al.* Influence of the NaOH-treated hemp fibres on the properties of fly-ash based alkali-activated mortars prior and after wet/dry cycles. **Construction and Building Materials**, v. 309, p. 125072, 2021.
- ZHANG, Liwen *et al.* Flexural properties of renewable coir fiber reinforced magnesium phosphate cement, considering fiber length. **Materials**, v. 13, n. 17, p. 3692, 2020.