

FIBROCIMENTOS AMBIENTALMENTE AMIGÁVEIS INCORPORADOS COM LAMA DE GRANITO TRATADA TERMICAMENTE

FELIPE VAHL RIBEIRO¹; MÁXIMO ARMAND UGON GUTIÉRREZ²;
MARGARETE REGINA FREITAS GONÇALVES³; RAFAEL DE AVILA DELUCIS⁴

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

²Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – engmaximogutierrez@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – margareteg@ufpel.edu.br

⁴Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – rafael.delucis@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos industriais como alternativas sustentáveis na construção civil tem sido objeto de interesse crescente nos últimos anos. O resíduo de lama de granito tratado termicamente emerge como uma possibilidade promissora para atuar como agente mitigador da mineralização de fibras de sisal em compósitos de fibrocimento. Esses materiais, frequentemente descartados de maneira inadequada, estão sendo avaliados como recursos valiosos de baixo custo para aplicações na construção civil. Aplicando-se um tratamento térmico adequado, é conhecido que a lama de granito pode adquirir propriedades aglomerantes devido ao seu teor de sílica amorfa capaz de reagir com íons do cimento (SÁEZ DEL BOSQUE et al., 2018).

O fibrocimento é um material cimentício amplamente empregado na fabricação de telhas e caixas d'água. Em sua forma original, sua composição inclui cimento, amianto e água. O amianto é uma fibra mineral naturalmente encontrada no solo, geralmente em formações rochosas, e é incorporado a esse compósito cimentício com o propósito de reforçar a matriz que, por si só, é frágil. No entanto, é importante destacar que essa fibra mineral está associada ao desenvolvimento de condições de saúde adversas, como asbestose pulmonar, câncer de pulmão e mesotelioma maligno, particularmente após exposição prolongada de 20 a 50 anos (KUMAGAI; KURUMATANI, 2009).

Diante disso, surgiu uma tendência crescente de substituir as fibras de amianto por alternativas sintéticas ou naturais, com o objetivo de reforçar a matriz cimentícia (ARAMBURU et al., 2023). Esse movimento visa manter ou até mesmo melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos. A utilização do sisal como reforço de matrizes cimentícias vem ganhando espaço, uma vez que suas propriedades mecânicas se mostram satisfatórias, além das vantagens econômicas e ambientais. Baseado nisso, neste estudo, diferentes quantidades de granito tratado foram incorporadas ao fibrocimento junto com a fibra de sisal, a fim de avaliar as propriedades mecânicas.

2. METODOLOGIA

O cimento utilizado foi o CPV-ARI (marca Cauê), devido à sua alta pureza. O sisal foi adquirido comercialmente da empresa Pinceis Compel Industria e Comercio Ltda. Quanto ao comprimento, as fibras foram cortadas com 2 cm usando uma tesoura simples. O lama de granito residual foi coletada em marmoraria atuante no beneficiamento de rochas ornamentais em Pelotas/RS. Esse material consiste no material pulverulento misturado à água usada como fluido de corte das pedras. Esse material foi tratado em um forno mufla a 600 e 900 °C por 2 h, conforme sugere a literatura (SÁEZ DEL BOSQUE et al., 2018). A relação

água/cimento (a/c) foi determinada a partir de um traço de referência no qual a quantidade de água necessária para abrir 280 mm foi determinada em um ensaio padrão de mesa de consistência. A composição das pastas é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição padrão das pastas utilizadas.

	Cimento	Granito	Calcário	Sisal	Água	Total
Controle	2324,16	0	385,35	55,3	929,66	3694,47
Granito 15%	2091,744	232,416	385,35	55,3	929,66	3694,47
Granito 30%	1859,328	464,832	385,35	55,3	929,66	3694,47

Para a moldagem dos compósitos, as fibras foram dispersas na água de amassamento com um agitador mecânico de eixo vertical com rotação aproximada de 2000 rpm. Após a mistura, essa solução foi adicionada lentamente ao cimento para homogeneização em uma argamassadeira de eixo vertical com a rotação de 140 rpm por 3 min e a 220 rpm por mais 1 min. Para os ensaios mecânicos, os espécimes foram preparados de acordo com a ASTM C305 (2014), usando moldes apropriados de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$, que foram totalmente preenchidos com pasta fresca e compactados em uma mesa vibratória, de acordo com a norma. Os corpos-de-prova foram desmoldados após 24 h e após cura ao ar por 5 dias, foram levados para o processo de cura sob pressão na autoclave por um período de 8 h, conforme procedimento descrito por (KUNCHARIYAKUN; SINYOUNG; KAJITVICHYANUKUL, 2022).

O ensaio de flexão em três pontos foi empregado de acordo com a ASTM C348-14 (2014) para avaliar a resistência à flexão. Os corpos-de-prova foram produzidos com $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ (largura $\times$ altura $\times$ comprimento) e ensaiados em uma máquina de ensaio universal (EMIC DL 30000) disponível no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira (CENG/UFPEL). A prensa foi equipada com uma célula de carga com velocidade de carregamento ajustada para 50 N/s e um vão (L) de 100 mm. Após, tal como a norma prevê, as duas partes das mesmas amostras rompidas em flexão, foram rompidas em compressão para determinar a resistência à compressão.

Os valores médios obtidos foram comparados usando os seguintes testes estatísticos: ANOVA simples seguida de teste Tukey-Kramer, ambos ao nível de significância de 5%. Os resultados dos testes de médias são apresentados em letras maiúsculas (A, B, C, etc.) para diferenciar os dados de cada teste, sendo que cada letra maiúscula representa um grupo homogêneo. As análises estatísticas foram realizadas usando Statgraphics 19®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com exceção do fibrocimento de 30% granito tratado a 900 °C, todos os demais apresentaram menores níveis de resistência à flexão (Figura 1). A manutenção da resistência mecânica em flexão para o fibrocimento com 30% de substituição por granito tratado a 900 °C pode estar relacionada com a modificação da estrutura do granito causada pelo tratamento térmico, resultando em partículas mais reativas e com uma granulometria mais favorável, que podem ter contribuído para uma manutenção da resistência mecânica em flexão. Quanto aos demais fibrocimentos, provavelmente, as partículas maiores e menos uniformes desses granitos levaram a formação de vazios, que mecanicamente funcionam como

regiões de concentração de tensões, que prejudicam as propriedades mecânicas dos fibrocimentos.

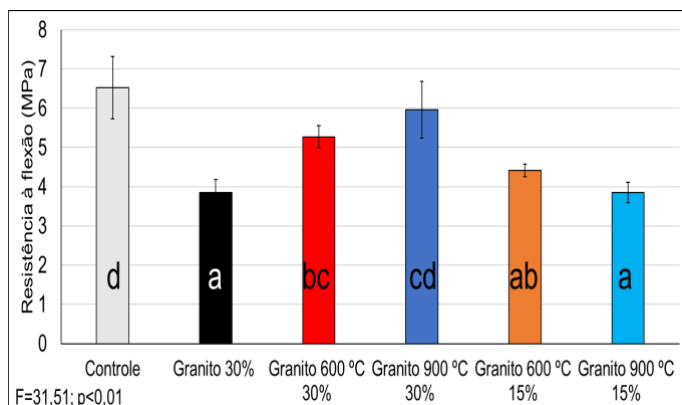


Figura 1 – Níveis médios e respectivos desvios referentes à resistência em flexão dos

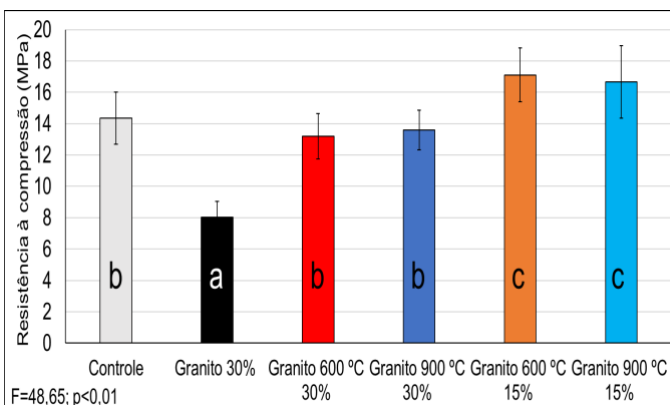


Figura 2 – Níveis médios e respectivos desvios referentes à resistência em compressão dos

Em compressão (Figura 2), comparativamente ao fibrocimento controle, houve aumento das propriedades mecânicas para fibrocimentos substituídos com 15% de granitos tratados. Esses aumentos sugerem que 15% é o teor ideal de substituição dos granitos tratados, uma vez que essa substituição levou a um preenchimento adequado dos poros do fibrocimento e esse preenchimento provavelmente se deu com produtos hidratados uma vez que espera-se que tenha havido aumento da atividade pozolânica desses granitos.

Quanto à substituição de 30% de cimento por granito termicamente tratado, a perda de propriedades mecânicas em compressão nesse caso pode estar relacionada à uma diminuição da coesão e da resistência da matriz, devido à alta proporção de substituição de cimento. Uma grande quantidade de granito provavelmente levou a uma dispersão menos eficiente e consequentemente uma distribuição heterogênea das partículas na matriz, resultando em uma menor interação entre as fases.

Além disso, diferentemente dos granitos tratados, a substituição de cimento por 30% de granito não tratado levou a uma perda de resistência à compressão, que analogamente à explicação dada para a perda de resistência à flexão, pode ser atribuída à ausência de atividade pozolânica significativa no granito não tratado. Esse granito não tratado provavelmente não apresentou capacidade de reagir quimicamente com a matriz cimentícia de forma eficiente, resultando em uma interface menos coesa entre as fases e uma menor aderência entre o granito e a matriz.

As curvas obtidas no ensaio de compressão (Figura 3) são análogas às encontradas na literatura (ARAMBURU et al., 2023), mostrando um comportamento esperado, que incluiu uma região elástica inicial, um ponto de pico de tensão, uma região de estricção e, finalmente, uma ruptura. Já as curvas de flexão (Figura 4) revelam que houve homogeneidade em relação à deformação de ruptura dos fibrocimentos. Além disso, seu comportamento mecânico foi similar ao reportado em alguns estudos recentes (ZHANG et al., 2020), em que há um comportamento elástico inicial, um ponto de ruptura acentuado relacionado à falha da matriz, seguido de uma deformação plástica não uniforme relacionada às sucessivas falhas nas fibras.

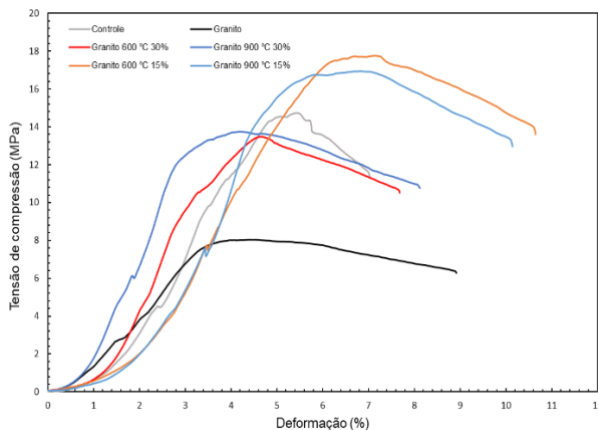


Figura 3 – Curvas representativas dos compósitos sujeitos ao ensaio de

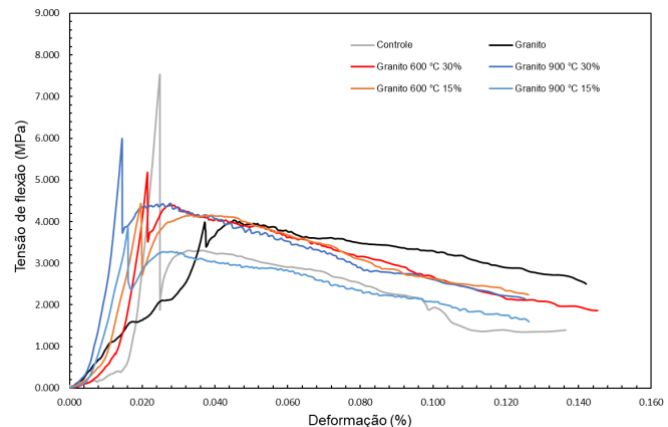


Figura 4 – Curvas representativas dos compósitos sujeitos ao ensaio de flexão.

4. CONCLUSÕES

A adição do resíduo de lama de granito tratado termicamente contribuiu significativamente para o aumento da resistência à compressão, sem prejuízo da resistência em flexão. Os resultados obtidos indicam que a concentração ideal de resíduo de lama de granito tratado termicamente para otimizar as propriedades mecânicas dos compósitos de fibrocimento reforçados com fibras de sisal é de 15%. Concentrações menores apresentaram benefícios limitados, enquanto concentrações maiores não resultaram em melhorias significativas. O uso do resíduo de lama de granito tratado termicamente como adição nos compósitos de fibrocimento reforçados com fibras de sisal não apenas melhora as propriedades mecânicas, mas também oferece benefícios ambientais, ao aproveitar um resíduo industrial que seria descartado, reduzindo assim o impacto ambiental.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAMBURU, A. B. et al. Cement matrix reinforced with microfibrillated cellulose treated with furfuryl alcohol. **Cellulose**, 19 set. 2023.
- KUMAGAI, S.; KURUMATANI, N. Asbestos fiber concentration in the area surrounding a former asbestos cement plant and excess mesothelioma deaths in residents. **American Journal of Industrial Medicine**, v. 52, n. 10, p. 790–798, out. 2009.
- KUNCHARIYAKUN, K.; SINYOUNG, S.; KAJITVICHYANUKUL, P. Comparative microstructures and mechanical properties of mortar incorporating wood fiber waste from various curing conditions. **Case Studies in Construction Materials**, v. 16, p. e00855, jun. 2022.
- SÁEZ DEL BOSQUE, I. F. et al. Activation temperature-mediated mineralogical transformations in slate quarry sludge: Pozzolan properties. **Construction and Building Materials**, v. 187, p. 819–829, out. 2018.
- ZHANG, L. et al. Flexural Properties of Renewable Coir Fiber Reinforced Magnesium Phosphate Cement, Considering Fiber Length. **Materials**, v. 13, n. 17, p. 3692, 20 ago. 2020.