

## PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FIBROCIMENTOS HÍBRIDOS REFORÇADOS COM SISAL QUIMICAMENTE TRATADO E NANOARGILA

**THAMIRE ALVES DA SILVEIRA<sup>1</sup>; ARTHUR BEHENCK ARAMBURU<sup>2</sup>; ANDRÉ LUIZ MISSIO<sup>3</sup>; RAFAEL DE AVILA DELUCIS<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – thaamiresasilveira@gmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal do Rio Grande do Sul – arthuraramburu@gmail.com*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas – andreluizmissio@gmail.com*

<sup>4</sup>*Universidade Federal de Pelotas – rafael.delucis@ufpel.edu.br*

### 1. INTRODUÇÃO

Aliadas ao ganho em sustentabilidade ambiental, diferentes melhorias em propriedades mecânicas (como resistência à flexão e à compressão) e térmicas (como redução de condutividade térmica) de fibrocimentos têm sido relatadas devido à adição de fibras vegetais (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015). Além disso, frequentemente, a utilização de fibras vegetais melhora a resistência à formação de fissuras e à tenacidade à fratura. Em especial, as propriedades em flexão dos fibrocimentos são importantes, uma vez que o cimento puro é conhecimento muito frágil e as fibras, nesse caso, devem agir a fim de aumentar a ductilidade e a resistência em flexão.

Entretanto, existe um problema técnico amplamente discutido na literatura, que é o mecanismo de fragilização das fibras vegetais devido ao ambiente altamente alcalino proporcionado pelo cimento quando em hidratação. Para evitar essa degradação das fibras, materiais pozolânicos têm sido utilizados para reduzir a alcalinidade do meio cimentício (AKHAVAN; CATCHMARK; RAJABIPOUR, 2017), além de tratamentos químicos ou físicos, que podem ser adotados para selar parcialmente a fibra, protegendo-as de reações com íons alcalinos do cimento, como o Ca(OH)<sub>2</sub> (ARAMBURU et al., 2023).

No presente estudo, ambas as abordagens (adição de pozolana e tratamento químico da fibra) foram testadas em combinação. Dessa forma, através do presente estudo, pretende-se apresentar uma alternativa para a redução de efeitos ambientais negativos relacionados à produção de fibrocimentos, reforçando-os com fibras naturais de sisal tratadas quimicamente por furfuralação e com nanoargila.

### 2. METODOLOGIA

Cimento CPV-ARI (marca Cauê), fibras cortadas com 2 cm de sisal (*Agave sisalana*), calcário agrícola (marca Fida) e nanoargila (bentonita hidrofílica da marca Sigma Aldrich) foram adquiridos comercialmente. Os fibrocimentos foram dosados, baseando-se no traço, em massa, utilizado no trabalho de Tonoli et al., (2009) com 77,2 m% de cimento CPV-ARI e 12,8 m% de calcário agrícola. O teor de fibras utilizado foi de 2 m%, o qual foi determinado com base em estudos antecedentes (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015). Uma relação água/cimento de 0,4 foi mantida constante para todos fibrocimentos, a qual foi determinada através do ensaio de água de consistência de pasta padrão, descrito na norma ASTM C187-16 (2016) e no trabalho de (ARAMBURU et al., 2023). Na

Tabela 1 são apresentadas as proporções de cada material para confecção dos compósitos.

**Tabela 1 – Traços utilizados.**

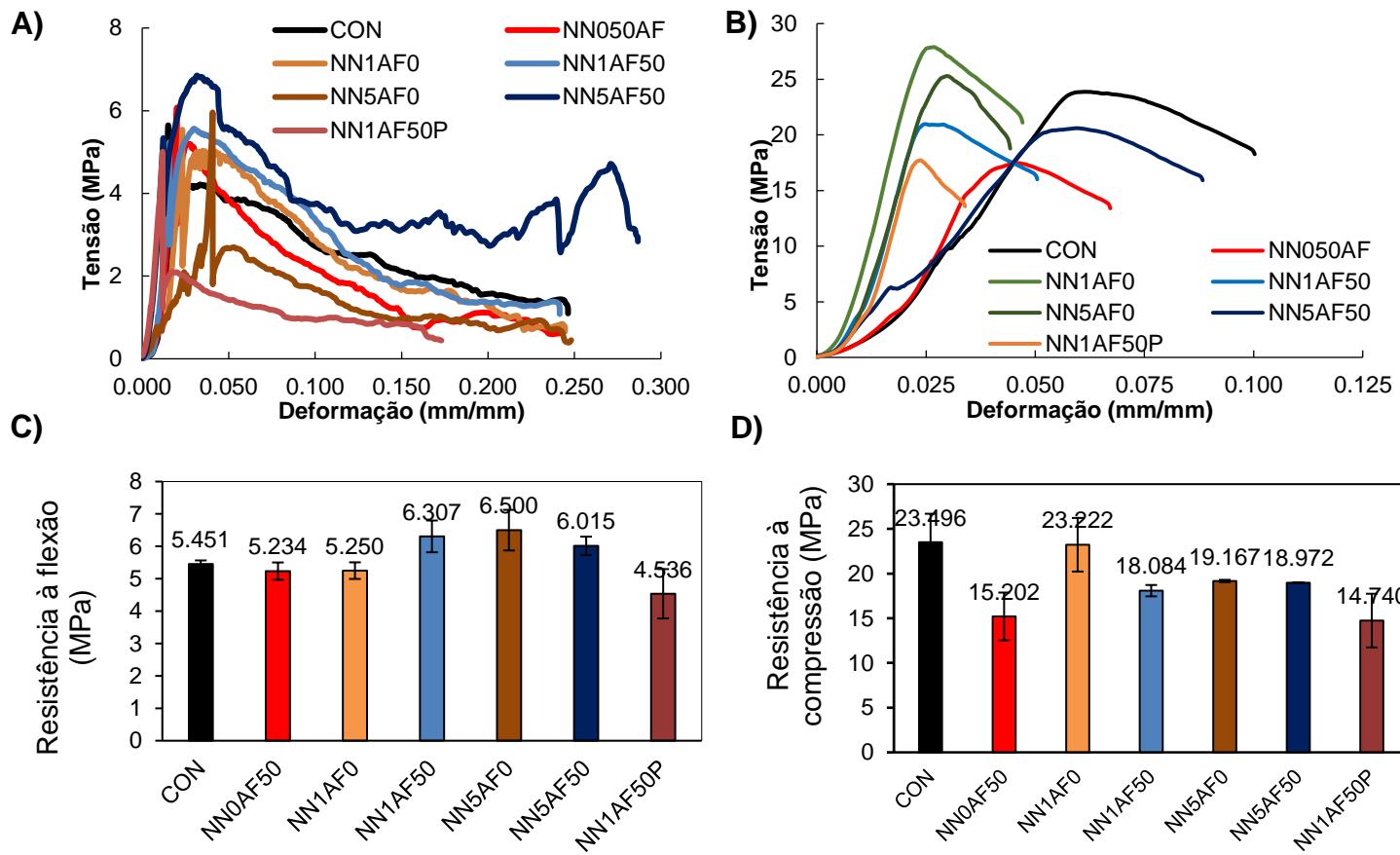
Grupo	Cimento (g)	Calcário (g)	Sisal (g)	Água (g)	Nanoargila (g)	Álcool Furfurílico (g)	Anidrido Maleico (g)
CON	2324,16	385,35	55,30	929,66	0,00	0,00	0,00
NN1AF0					23,24	0,00	0,00
NN5AF0					116,21	0,00	0,00
NN1AF50					23,24	27,65	1,38
NN5AF50					116,21	27,65	1,38
NN0AF50					0,00	27,65	1,38

No processo de moldagem dos corpos de prova, foi feita uma mistura manual prévia dos materiais. Nos traços com utilização de AF, os materiais foram misturados com a água e as fibras e, posteriormente, com a pasta de cimento. Todos os materiais passaram por homogeneização em uma argamassadeira de eixo vertical e movimento planetário com a rotação de 140 rpm por 3 min e mais 220 rpm por mais 1 min. Os espécimes foram moldados usando moldes prismáticos de 40 × 40 × 160 mm. O material foi dividido em duas camadas e compactados sobre uma mesa vibratória. Após a moldagem, os espécimes foram deixados em processo de secagem ao ar, em temperatura ambiente, por 5 dias. Tais amostras foram pós-curadas em a 1,5 kgf/cm<sup>2</sup> por 8 h (autoclave AV-18 Phoenix AV), conforme procedimento descrito por (KUNCHARIYAKUN; SINYOUNG; KAJITVICHYANUKUL, 2022).

O desempenho mecânico dos fibrocimentos foi avaliado através de ensaios de compressão e flexão, conforme a norma ASTM C348-21 (2021). Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaio universal (EMIC DL 30000) disponível no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira do CENG/UFPel.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos de tensão vs. deformação (mostrados na Figura 1A) apontam para um comportamento dúctil dos compósitos submetidos à flexão, visto a existência de uma extensa zona plástica nessas curvas. A literatura explica que compósitos reforçados com fibras vegetais possuem maior ductilidade em flexão, devido à capacidade das fibras de causar travamento das fissuras (AKHAVAN; CATCHMARK; RAJABIPOUR, 2017). Nesse sentido, somente o grupo NN1AF50P teve redução da ductilidade, o que provavelmente se deveu à condição severa causada pelo tratamento prévio. A literatura relata que, quando fibras vegetais são expostas a condições severas de tratamento, como altas temperaturas e ambientes ácidos, pode haver diferentes processos de degradação, incluído hidrolise ácida, despolimerização da lignina e volatilização de compostos de baixa massa molar (ARAMBURU et al., 2023).



**Figura 1 – Curvas tensão vs. deformação representativas dos grupos de amostras (A e B) e resistências obtidas à flexão (C) e à compressão (D).**

Quanto à resistência à flexão (Figura 1C), a adição de 5% de nanoargila nos grupos NN5AF0 e NN5AF50 causou aumentos significativos, de modo que, respectivamente, esses grupos apresentaram médias 19,30% e 12,84% maiores do que o grupo controle. Na literatura, aumentos em resistência causados por esse tipo de nanoargila são atribuídos à redução da porosidade capilar devido ao preenchimento mais eficaz dos poros do cimento pelos produtos de hidratação (KALPOKAITĖ-DIČKUVIENĖ et al., 2021). Além disso, o grupo NN1AF50 também apresentou resistência à flexão superior (15,72%) ao grupo controle, o que indica que o efeito combinado do tratamento químico da fibra vegetal e da adição da nanoargila foi importante nesse caso. Esse efeito combinado, possivelmente, se deu de modo que as fibras tratadas quimicamente foram mais quimicamente compatíveis com a matriz cimentícia e, assim, puderam se ligar de forma mais eficaz à matriz melhorada pela nanoargila em termos de coesão pelo preenchimento de poros capilares.

As curvas obtidas no ensaio de compressão (Figura 1B) 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 estrição e, finalmente, uma ruptura. Quanto à resistência à compressão (Figura 1D), a presença das fibras tratadas e não tratadas, juntamente com a adição de 5% de nanoargila, causou leves reduções na resistência à compressão dos fibrocimentos, enquanto a adição de 1% de nanoargila manteve os níveis de resistência à compressão estáveis.

Quanto às fibras, embora seu efeito em tração e flexão costumeiramente seja benéfico, em compressão essas fibras podem atuar como descontinuidades na matriz, reduzindo os níveis de resistência (PEREIRA et al., 2015). Já a adição de 5% de nanoargila pode ter levado a uma quantidade excessiva de agente de enchimento na matriz, o que diluiu as propriedades da matriz cimentícia (AKHAVAN; CATCHMARK; RAJABIPOUR, 2017). Isso pode explicar a leve redução na resistência à compressão, uma vez que a matriz estava menos densa e mais suscetível à compressão. Por outro lado, a adição de apenas 1% de nanoargila pode ter sido suficiente para melhorar a coesão da matriz, preenchendo os poros capilares e aumentando a resistência à tração sem diluir excessivamente a matriz.

#### 4. CONCLUSÕES

As propriedades mecânicas em flexão e em compressão dos fibrocimentos em estudo são consistentes com a literatura. O efeito combinado do tratamento químico da fibra vegetal e da adição de nanoargila se manifestou notadamente no compósito NN1AF50. Esse novo compósito é promissor para diversas aplicações em setores de construção civil, tais como pisos de tráfego leve, peças de mobiliário urbano, painéis de revestimento, elementos de fachada sustentáveis, entre outros. Na dissertação, resultados sobre propriedades físicas e durabilidade dos fibrocimentos serão apresentados.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKHAVAN, A.; CATCHMARK, J.; RAJABIPOUR, F. Ductility enhancement of autoclaved cellulose fiber reinforced cement boards manufactured using a laboratory method simulating the Hatschek process. **Construction and Building Materials**, v. 135, p. 251–259, 2017.
- ARAMBURU, A. B. et al. Cement matrix reinforced with microfibrillated cellulose treated with furfuryl alcohol. **Cellulose**, 19 set. 2023.
- ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. **Construction and Building Materials**, v. 79, p. 115–128, 2015.
- KALPOKAITĖ-DIČKUVIENĖ, R. et al. Structural observation of cement paste modified with hydrophobic organoclay. **Construction and Building Materials**, v. 272, p. 121931, fev. 2021.
- 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.
- PEREIRA, M. V. et al. On the Strengthening of Cement Mortar by Natural Fibers. **Materials Research**, v. 18, n. 1, p. 177–183, fev. 2015.