

## PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEUS

**LUÍSA LETTNINN DAS NEVES<sup>1</sup>**; NICOLE LEIVAS GOMES; GUSTAVO LUIS CALEGARO<sup>3</sup>; RAFAEL DELUCIS<sup>4</sup>.

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

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – nicolegomesufpel@gmail.com*

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

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

### 1. INTRODUÇÃO

O crescente volume de pneus inservíveis descartados inadequadamente representa um grave problema ambiental e de saúde pública, pois esses resíduos demandam séculos para se degradarem e favorecem a proliferação de vetores de doenças. O reaproveitamento da borracha moída proveniente desses pneus na construção civil apresenta-se como uma solução viável e ambientalmente estratégica. Essa abordagem permite a substituição parcial de agregados naturais por um material elastomérico, leve e flexível, que pode conferir aos compósitos novas propriedades funcionais, como maior absorção de impactos e redução da massa específica. No entanto, há desafios quanto à aderência da borracha à matriz cimentícia, o que pode comprometer a resistência mecânica dos compósitos. O presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da incorporação de borracha reciclada em tijolos prensados de solo-cimento, investigando-se dois teores distintos de adição e suas implicações sobre a massa específica, as retrações dimensionais e a resistência à compressão. A pesquisa busca contribuir para a valorização de resíduos sólidos urbanos e para o desenvolvimento de produtos construtivos alternativos com menor impacto ambiental, colaborando com o avanço da construção sustentável e com a mitigação dos efeitos negativos da disposição inadequada de pneus usados. A utilização desses resíduos em componentes construtivos também pode reduzir custos e abrir novas possibilidades de aplicação em edificações de baixo impacto, como habitações populares ou construções temporárias.

### 2. METODOLOGIA

Foram utilizados solo, cimento, água e resíduo de borracha moída. O solo foi composto por uma mistura de argila vermelha laterítica da UFPel e saibro do município de Capão do Leão (RS), com teor de finos de 50% e umidade de 20%. Como aglomerante, utilizou-se Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI), marca Cauê. A água era potável e o resíduo de borracha, com granulometria média de 0,42 mm, foi proveniente da moagem de pneus inservíveis doada pela empresa Savar Veículos.

Foram estudados três traços: controle (sem adição), com 5% e com 10% de substituição do solo pelo resíduo de borracha, mantendo-se a relação água/materiais constante (20%). As proporções foram:

- Controle: 65% solo, 15% cimento, 20% água;
- 5% borracha: 61,04% solo, 14,06% cimento, 5% borracha, 20% água;
- 10% borracha: 57,19% solo, 13,12% cimento, 10% borracha, 20% água.

Os materiais secos foram misturados em argamassadeira eletromecânica. A água foi adicionada gradualmente até atingir a consistência adequada. A moldagem foi realizada em prensa manual modelo M12 da Vimaq. Após desmolde, os tijolos foram curados por 7 dias em ambiente úmido.

A resistência à compressão foi avaliada conforme a norma NBR 13279, utilizando máquina EMIC DL 30000 com capacidade de 300 kN. Os corpos de prova foram posicionados com alinhamento axial e submetidos a carga crescente até a ruptura. Foram registrados a força máxima e os valores de tensão, deformação e módulo de elasticidade.

Durante os ensaios, registrou-se a curva carga × deslocamento, sendo posteriormente calculadas as propriedades mecânicas: resistência à compressão, módulo de elasticidade, e índice de fragilidade. O módulo de elasticidade foi determinado a partir do trecho linear da curva, considerando as variações de carga e deslocamento, bem como a altura e a área da seção transversal. A fragilidade foi expressa como a relação entre o deslocamento no pico de carga e o deslocamento na ruptura, conforme equação  $F = (\delta_{\text{ruptura}} / \delta_{\text{pico}}) \times 100$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as curvas de força em função do encurtamento para os diferentes grupos de tijolos. Observa-se que os corpos de prova do grupo controle exibem comportamento mais rígido, com maior inclinação da curva e falha abrupta após o pico de resistência. Em contraste, os grupos com 5% e 10% de borracha reciclada apresentam curvas mais suaves, indicando menor módulo de elasticidade e maior deformabilidade antes da ruptura. A força máxima alcançada foi aproximadamente 51% inferior no grupo com 5% de borracha e cerca de 65% inferior no grupo com 10%, comparado ao controle. Essa tendência é coerente com os valores médios de resistência e módulo obtidos, e pode ser atribuída à menor rigidez da borracha e à fraca aderência entre esta e a matriz cimentícia, o que compromete a integridade estrutural sob compressão. Estudos como os de (BEGUM; HABIB; BEGUM, 2014) também indicam que a presença de agregados poliméricos resulta em compósitos mais deformáveis e menos resistentes à compressão.

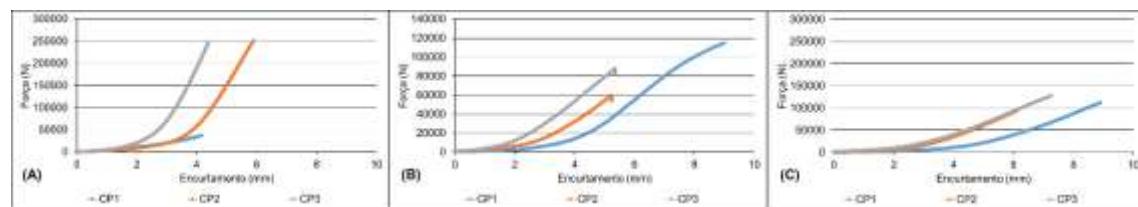


Figura 1 – Curvas força vs. encurtamento dos tijolos.

A Figura 2 destaca a queda significativa da massa específica aparente com o aumento da porcentagem de borracha. O grupo controle apresentou valores próximos a  $2,0 \text{ g/cm}^3$ , enquanto os grupos com 5% e 10% apresentaram reduções médias de aproximadamente 17% e 43%, respectivamente. Essa redução está diretamente relacionada à menor densidade da borracha reciclada em comparação à matriz solo-cimento, conforme previsto no planejamento experimental. Além disso, a variação entre amostras do mesmo grupo também sugere uma dispersão heterogênea da borracha, algo reportado por (THEPRUTTANA et al., 2024) em sistemas similares. Apesar da redução de massa poder ser desejável em

aplicações que demandam alívio de carga, ela compromete a resistência estrutural se não for compensada por outras estratégias de reforço.

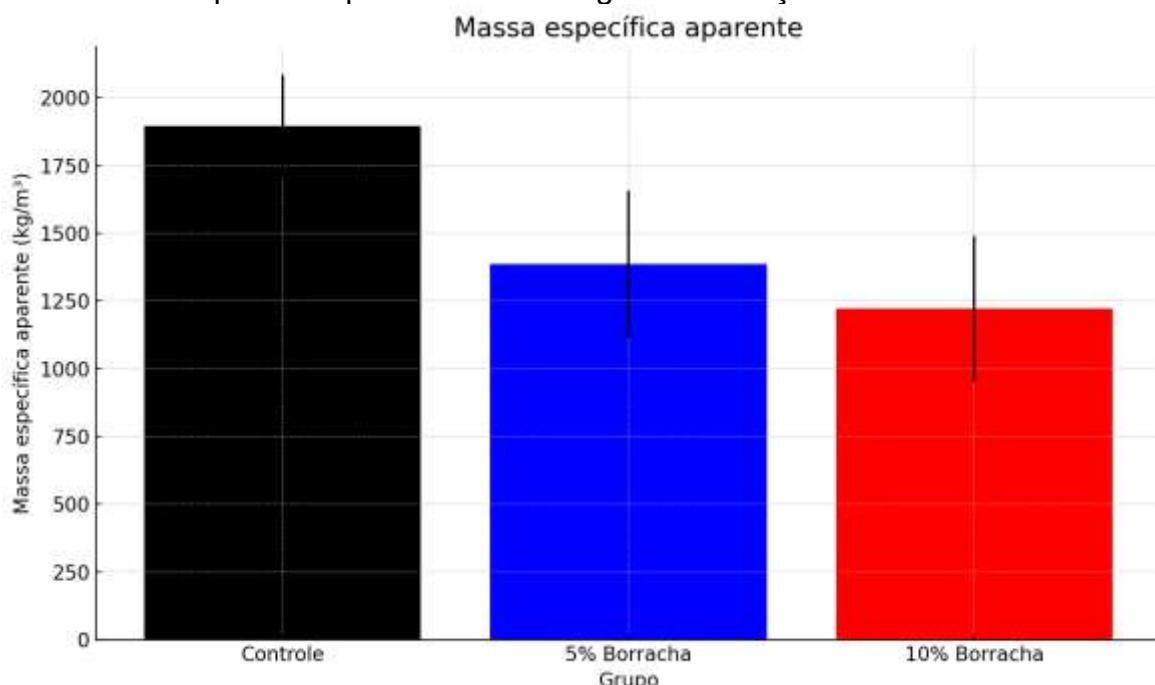


Figura 2 – Níveis médios de massa específica aparente.

A Figura 3 evidencia a queda drástica da resistência à compressão e do módulo de elasticidade com o aumento da adição de borracha. O grupo controle apresentou resistência média de 8,21 MPa, ao passo que os grupos com 5% e 10% apresentaram reduções para 4,04 MPa (-51%) e 2,86 MPa (-65%), respectivamente. O módulo de elasticidade também seguiu essa tendência, passando de valores médios entre 0,33 MPa no controle para apenas 0,11 a 0,18 MPa nos grupos com borracha. Essas perdas são atribuídas tanto à menor rigidez intrínseca da borracha quanto à fraca ligação interfacial com a matriz, o que compromete a transferência de carga. Ainda que o índice de fragilidade tenha se mantido alto, as rupturas se tornaram ligeiramente mais dúcteis, conforme observado nas curvas. Em comparação com os achados descritos por (MISHRA et al., 2004), que relataram quedas bem maiores em resistência à compressão com apenas 10% de borracha, os resultados aqui obtidos não são considerados anômalos. Diferenças em misturas, granulometria da borracha e proporção de cimento podem explicar variações pontuais.

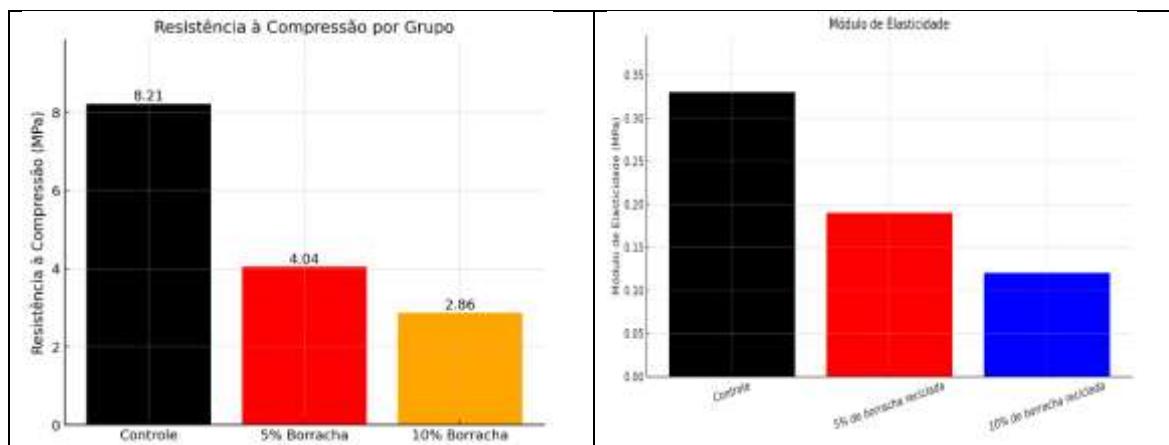


Figura 3 – Níveis médios de resistência à compressão (A) e módulo de elasticidade (B).

#### 4. CONCLUSÕES

A incorporação de borracha moída de pneus em tijolos de solo-cimento mostrou-se viável para produzir compósitos mais leves e deformáveis, reduzindo significativamente a massa específica. No entanto, a adição resultou em uma queda drástica na resistência à compressão e no módulo de elasticidade, devido à fraca aderência entre a borracha e a matriz e à baixa rigidez do resíduo. Conclui-se que o material é adequado para aplicações não estruturais, como vedações e habitações de interesse social, representando uma alternativa sustentável para a destinação deste resíduo.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEGUM, R.; HABIB, A.; BEGUM, A. **Adobe Bricks Stabilized With Cement and Natural Rubber Latex**. [s.l: s.n].

MISHRA, S. et al. A Review on Pineapple Leaf Fibers, Sisal Fibers and Their Biocomposites. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 289, n. 11, p. 955–974, 19 nov. 2004.

THEPRUTTANA, S. et al. Enhancement of Flexural Strength in Fiber–Cement Composites through Modification of Sisal Fiber with Natural Rubber Latex and Expanded Perlite. **Buildings**, v. 14, n. 4, 2024.