



## PÓ DE SERRAGEM DE EUCALYPTUS CLOEZIANA E REDUÇÃO DE CIMENTO EM BLOQUETES

ANDRADE, M.E.V.<sup>1</sup>; SILVA, D.C.<sup>2</sup>; CAMPOS, A. J. S. F.<sup>3</sup>; SILVA, H. B.<sup>4</sup>; MEDEIROS, C. A.<sup>5</sup>; LIMA, R de C.<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Discentes do curso de Bacharelado em Engenharia Civil do IFNMG – Campus Januária;

<sup>6</sup> Dr. e Prof. EBTT de Física do IFNMG – Campus Januária.

Palavras-chave: Economia circular. Concreto sustentável. Resistência mecânica.

### Introdução

A crescente preocupação com a degradação ambiental, impulsionada por atividades humanas, que trazem consequências quanto à destruição massiva na atmosfera, por exemplo, tem motivado a busca por soluções mais sustentáveis. Dentre os diversos meios que corroboram significativamente para esse impacto, pode-se destacar a síntese de cimento tradicional em indústrias, muito utilizado pela construção civil. Sua fabricação é uma das grandes responsáveis pela emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), representando entre 5% e 7% das emissões globais de gases de efeito estufa (WBCSD, 2010). Nesse contexto, a Organização das Nações Unidas (ONU) visa reduzir, a partir da iniciativa global "ambição Net Zero", as emissões globais acumuladas de CO<sub>2</sub> promovendo práticas e desenvolvimento de materiais sustentáveis.

A Economia Circular (EC) - focada na reutilização e redução de recursos naturais - oferece uma abordagem promissora, quanto à diminuição da emissão de gases que contribuem com o efeito estufa e hábitos que visam minimizar os impactos causados pela poluição em geral, enfatizando a implementação em três princípios: eliminar o desperdício e a poluição, manter produtos e materiais em uso e regenerar os sistemas naturais. Sob esta ótica, a produção de blocos sustentáveis a partir de substituições parciais do cimento por resíduos orgânicos de origem vegetal de forma a manter as propriedades ligantes, mecânicas e térmicas, apresentadas nos blocos de concreto tradicionais, reduz o impacto ambiental causado pela produção de concreto (Reuter, 2019; Parliament, 2017; Guillot, 2015).

O presente estudo analisa a incorporação do pó de serragem da espécie *Eucalyptus cloeziana* como agregado orgânico, substituindo parcialmente o cimento na fabricação de blocos de concreto. A fim de contribuir para a sustentabilidade na construção civil e reduzir o impacto ambiental, este trabalho teve como objetivo avaliar de forma técnica, como os blocos com redução de 10% e 20% de cimento, com a presença do pó da serragem, se comporta quanto à resistência mecânica e sua aplicabilidade em pavimentações públicas.

### Material e métodos /Metodologia

#### *Obtenção, secagem e separação do agregado orgânico*

O agregado orgânico escolhido para nosso objeto de estudo de resistência mecânica dos corpos de prova foi o pó de serragem da espécie *Eucalyptus cloeziana*. A opção por esse objeto deve-se ao fato que, em termos de dimensões granulares, após peneirações simultâneas em 4,75 mm, 2,00 mm e 1,18mm, era o mais próximo do granulamento de outro agregado tradicional, a areia. Desse modo, sua mistura no processo, por hipótese, seria suficientemente homogênea, além de garantir um



# 21ª SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BIOMAS DO BRASIL: DIVERSIDADE, SABERES E TECNOLOGIAS SOCIAIS

IX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

24 A 26 DE OUTUBRO DE 2024



acréscimo de (10 e 20)% de massa para cada redução de (10 e 20)% de massa de cimento nos traços de concretos comparativos  $T_2$  e  $T_3$ . É importante destacar que antes das confecções dos traços, o pó de serragem foi submetido a um processo de secagem à temperatura de  $= 105\text{ }^{\circ}\text{C}$  por um intervalo de tempo de  $t\ 24\text{h}$  em uma estufa de secagem e esterilização SL-100 220V, para minimizar taxas de umidade no material, antes da mistura.

*Divisão das proporções do agregado orgânico no traço - (0%), (10%) e (20%)*

O traço adotado como base comparativa foi denominado traço 1 ( $T_1$ ), caracterizado por ser tradicional, ou seja, sem adicional de agregado orgânico (0%). Para a moldagem dos corpos de prova de concreto, o traço  $T_1$  foi do tipo 1:3:3 (cimento, brita e areia). As normas seguidas foram ABNT NBR 15.953/2011 e ABNT NBR 9781/2013, com fator água-cimento de 0,65 l/kg, admitindo uma tolerância de acréscimo em até 10%, devido aos fatores de evaporação e perdas de umidade no processo de contato e mistura dos materiais na betoneira.

A partir da base do  $T_1$ , o traço 2 ( $T_2$ ) e o traço 3 ( $T_3$ ) foram desenvolvidos fracionando a parcela 1:7 do cimento, com a intenção de reduzir a massa desse material no concreto. Logo, a partir de  $T_1$  (1:3:3), às seguintes proporções foram estabelecidas para confecções:  $T_2$  [0,9:0,1:3:3] (10%) (cimento, pó de *Eucalyptus cloeziana*, brita e areia), sendo 90% de cimento e 10% de pó de serragem *Eucalyptus cloeziana*;  $T_3$  [0,8:0,2:3:3] (20%) (cimento, pó de *Eucalyptus cloeziana*, brita e areia), sendo 80% de cimento e 20% de pó de serragem *Eucalyptus cloeziana*.

*Confecção dos corpos de prova*

Após a definição das composição dos traços, iniciou-se o processo de pesagem dos materiais para uso na produção dos respectivos  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$ . Uma das cenas de pesagem pode ser conferida na Figura 1. Em seguida, utilizou-se uma balança eletrônica limitada até 10 kg de massa, com precisão de 0,1 g, com tara e higienização da bandeja de pesagem na mudança de um material para outro. Em seguida, deu-se início à confecção dos corpos de prova, conforme a norma ABNT NBR 9781/2013, utilizando um fator água-cimento de 0,65 l/kg. As misturas foram realizadas em uma betoneira modelo M-150 com potência de 1-2 CV, e os corpos de prova foram moldados em cilindros específicos, conforme ilustra a Figura 2.

*Ensaio de resistência à compressão e análise comparativas*

Os corpos de prova, moldados em formas cilíndricas de 10 x 20 cm e em bloquetes duplos de 16 faces com dimensões de 24 x 10 x 8 cm, foram submetidos a tempos de cura variando entre 7 e 28 dias, conforme ilustrado na Figura 3. Para cada traço ( $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$ ) e intervalo de cura, foram preparados três corpos de prova, permitindo uma amostragem suficiente para obter uma média representativa dos resultados.

Após os períodos de cura, os ensaios de resistência mecânica foram realizados utilizando uma prensa eletro-hidráulica modelo I-3025-B, de acordo com os padrões estabelecidos pelas normas NBR 5738/2016 e NBR 16886/2020.

Por fim, a partir do *Software Pavitest* associado às leituras de resistência mecânica da prensa eletro-hidráulica I-3025-B, gerou-se os gráficos dos picos máximos de resistências  $R_i$  ( $i=1,2,3$ ), relacionadas aos  $i$ -ésimos corpos de prova de traços  $T_i$  ( $i=1,2,3$ ), para cada  $j$ -ésima medida ( $j=1,2,3$ ), em seus respectivos dias de cura. Com esses dados, computou-se as tabelas, gráficos e comparações entre nas resistências mecânicas, a saber: evolução; médias; aumentos percentuais em cada  $T_i$ .



## Resultados e discussão

As medições obtidas pelo software Pavitest permitiram observar os picos máximos de resistência mecânica para cada traço analisado ( $T_i$ ), em suas respectivas leituras ( $j$ ), nos 7º e 28º dias de cura. A Tabela 1 reúne as principais informações necessárias para a descrição e interpretação dos resultados desta pesquisa.

As médias e incertezas das resistências mecânicas, identificadas como  $R_i$  (para  $i=1,2,3$ ) e associadas a cada traço  $T_i$  ( $i=1,2,3$ ), considerando os valores máximos registrados nos dias 7 e 28 de cura, são expressas da seguinte forma:

$$\underline{R}_i = \left( \frac{\sum_{j=1}^3 R_j}{\sum_{j=1}^3 j} \right)_i, \sigma_i = \sqrt{\left( \frac{1}{3} \right) \sum_{j=1}^3 (R_j - \underline{R}_i)^2}, j = 1,2,3, \quad (1)$$

Os dados de resistência mecânica apresentados na Tabela 1 foram processados levando em conta os desvios padrão e as incertezas das medições, conforme calculado pela equação (1) demonstrado na Tabela 2.

Em seguida, construiu-se o Gráfico 1, derivado dos dados da Tabela 1, que mostra a evolução das resistências mecânicas ao longo dos tempos de cura. Esse gráfico permite uma análise visual do crescimento das resistências, tanto entre os diferentes traços quanto dentro de cada traço em si.

Além disso, realizou-se comparações dos aumentos percentuais nas médias das resistências mecânicas dos traços  $R_i$  ( $i=1,2,3$ ) nos 7º e 28º dias de cura, para análise individual de desempenho entre os traços.

$$A_i(\%) = \left[ \frac{R_i(28 \text{ dias})}{R_i(07 \text{ dias})} - 1 \right] \cdot 100\%, i = 1,2,3. \quad (2)$$

Com base na equação (2) e nos dados da Tabela 2, gerou-se a relação apresentada na Tabela 3. A partir da tabela 2, construiu-se o Gráfico 2, que compara os aumentos nas médias das resistências mecânicas de cada traço nos respectivos 7º e 28º dias de cura.

Os resultados demonstram que todos os traços ( $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$ ) apresentaram um aumento significativo nas resistências mecânicas médias  $R_i$  ( $i=1,2,3$ ) ao longo do período de cura, com ganhos percentuais de 60,6%, 5,6% e 53,3%, respectivamente. Suponha-se que os maiores ganhos observados em  $T_1$  e  $T_3$  possam estar associados a um menor nível de absorção de água nos espaços porosos durante o tempo de cura. A Figura 4 ilustra a aparência final dos bloquetes de 16 faces, comumente utilizados em pavimentações públicas, após a cura completa.

Além disso, a redução de 10% e 20% no cimento industrial, substituído por 10% e 20% de agregado orgânico na forma de pó de serragem de *Eucalyptus cloeziana* (nos traços  $T_2$  e  $T_3$ ), resultou em rendimentos de resistência mecânica de 25% e 15% em comparação com o traço base  $T_1$ , respectivamente. Acredita-se que a eficiência menor que a esperada deve-se ao papel desempenhado pelo pó de serragem, que, ao atuar como agregado em substituição ao cimento, não apresentou uma ligação pozolânica efetiva com o cimento durante o preparo.

## Conclusão/Considerações finais





# 21ª SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BIOMAS DO BRASIL: DIVERSIDADE, SABERES E TECNOLOGIAS SOCIAIS

IX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

24 A 26 DE OUTUBRO DE 2024



Os traços que visam a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, T<sub>2</sub> e T<sub>3</sub>, apresentaram rendimentos de 25% e 15% da resistência mecânica comparada ao traço base T<sub>1</sub>. No entanto, esses bloquetes parcialmente ecológicos ainda apresentam potencial de aplicação, especialmente considerando as diretrizes de economia circular e o uso de cimento sustentável. Com melhorias no traço T<sub>2</sub>, esses bloquetes poderiam ser utilizados em pavimentações públicas de áreas restritas, como parques e vias para pedestres, ciclistas e veículos leves, onde as exigências de resistência mecânica são reduzidas. Destaca-se que mais testes com percentuais distintos podem ser analisados em trabalhos futuros, com possibilidade de alterações nos materiais orgânicos para redução do cimento.

## Agradecimentos

Agradecemos à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPI) do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG) pelo suporte financeiro e estímulo, proporcionados por meio do Cartão Pesquisador - Edital nº 139/2022, e pela concessão da bolsa de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (BITI), ofertada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Edital Nº 294/2022 [Processo nº 164577/2022-0]. Agradecemos também à Diretoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação (DPPI) do IFNMG campus Januária pela autorização de cadastramento do projeto de pesquisa e pelo incentivo às iniciações científicas voluntárias.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15.953/2011. **Pavimentação intertravada com peças de concreto sujeitas ao tráfego de pedestres, de veículos dotados de pneumáticos e áreas de armazenamento de produtos.**

\_\_\_\_\_. ABNT NBR 9781/2013. **Peças de concreto para pavimentação Especificação e métodos de ensaio.**

\_\_\_\_\_. ABNT NBR 5738/2014. **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.**

\_\_\_\_\_. ABNT NBR 16886/2020. **Concreto — Amostragem de concreto fresco.**

GUILLOT, J. Duch. **Circular Economy: Definition, Importance and Benefits.** European Parliament. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2015/12/story/20151201STO05603/20151201STO05603\\_en.pdf](https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2015/12/story/20151201STO05603/20151201STO05603_en.pdf) [viitattu 4.11. 2021], 2015.

PARLIAMENT, Euro. **Circular economy: definition, importance and benefits.** 2017.

REUTER, Markus A. et al. **Challenges of the circular economy: a material, metallurgical, and product design perspective.** Annual Review of Materials Research, v. 49, p. 253-274, 2019.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. **Cement Sustainability Initiative. Cement technology roadmap 2009: carbon emissions reductions up to 2050.** Paris, 2010.

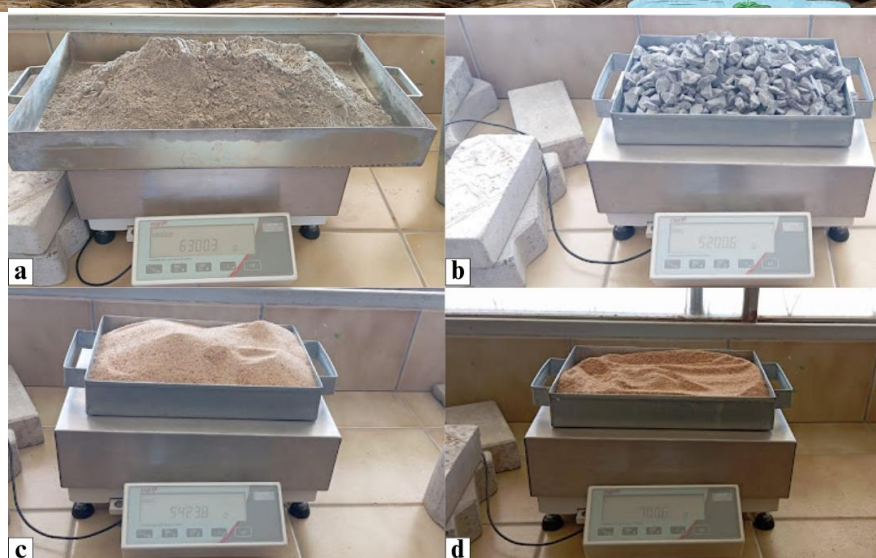


# 21ª SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BIOMAS DO BRASIL: DIVERSIDADE, SABERES E TECNOLOGIAS SOCIAIS

IX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

24 A 26 DE OUTUBRO DE 2024



**Figura 1** - Pesagem dos materiais utilizados para produção dos corpos testes de traços  $T_2$  e  $T_3$ . **Fig. 1a.** cimento CPII-E-32 RS. **Fig. 1b.** Brita 01. **Fig. 1c.** Areia fina. **Fig. 1d.** Pó de serragem de Eucalyptus cloeziana. Fonte: Arquivo Pessoal (2024).



**Figura 2** - Materiais **Fig. 1a.** Forma para corpo de prova cilíndrico 10x20 cm com desmoldante siliconado de lote 32-09; **Fig. 1b.** Forma piso bloquete duplo 16 faces 24x10x8 cm e mesa vibratória de porte pequeno. Fonte: Arquivo Pessoal (2024).



**Figura 3** - Etapas **Fig. 1a.** Preparação dos corpos de prova nas formas cilíndricas 10x20 cm e no bloquete duplo 16 faces 24x10x8 cm; **Fig. 1b.** Reservatório para cura de 7 a 28 dias dos traços  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$ . Fonte: Arquivo Pessoal (2024).





# 21ª SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BIOMAS DO BRASIL: DIVERSIDADE, SABERES E TECNOLOGIAS SOCIAIS

IX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

24 A 26 DE OUTUBRO DE 2024



**Figura 4** - Padrão geral de rompimento dos traços pela máquina de prensa eletro-hidráulica I-3025-B (**Fig. 1a.**); Caso particular do traço T<sub>1</sub> de 07 dias: **Fig. 1b** | **Fig. 1c** antes | após o rompimento. Fonte: Arquivo Pessoal (2024).

**Tabela 1** - Ensaio de resistência máxima à compressão dos corpos de prova.

Traços e tempos de curas		$R_1$ [MPa]	$R_2$ [MPa]	$R_3$ [MPa]	$\bar{R}$ [MPa]
T1 Cimento 0%	07 dias	8,2	10,0	10,1	9,4
T1 Cimento 0%	28 dias	16,3	13,8	15,1	15,1
T2 Cimento Serragem	07 dias	4,4	2,7	3,6	3,6
T2 Cimento Serragem	28 dias	3,5	2,7	5,1	3,8
T3 Cimento Serragem	07 dias	1,6	1,5	1,3	1,5
T3 Cimento Serragem	28 dias	1,9	3,3	1,7	2,3

Fonte: Arquivo Pessoal (2024).

**Tabela 2** - Resistências média à compressão dos corpos de prova.

Traços e tempos de curas		$\bar{R}_i \pm \sigma_i$ [MPa]
T1 Cimento 0%	07 dias	9,4±0,9
T1 Cimento 0%	28 dias	15,1±1,0
T2 Cimento Serragem	07 dias	3,6±0,7
T2 Cimento Serragem	28 dias	3,8±1,0
T3 Cimento Serragem	07 dias	1,5±0,1
T3 Cimento Serragem	28 dias	2,3±0,7

Fonte: Arquivo Pessoal (2024).

**Tabela 3** - Aumento percentual em resistência mecânica - relação entre 7 e 28 dias.

Traços	Aumento % em resistência [ $A_i$ (%)]
T1 Cimento 0%	60,6
T2 Cimento Serragem	05,6
T3 Cimento Serragem	53,3

Fonte: Arquivo Pessoal (2024).

**Gráfico 1** - Resistência entre os traços T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> e T<sub>3</sub> nas três medidas  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  entre 7 e 28 dias.

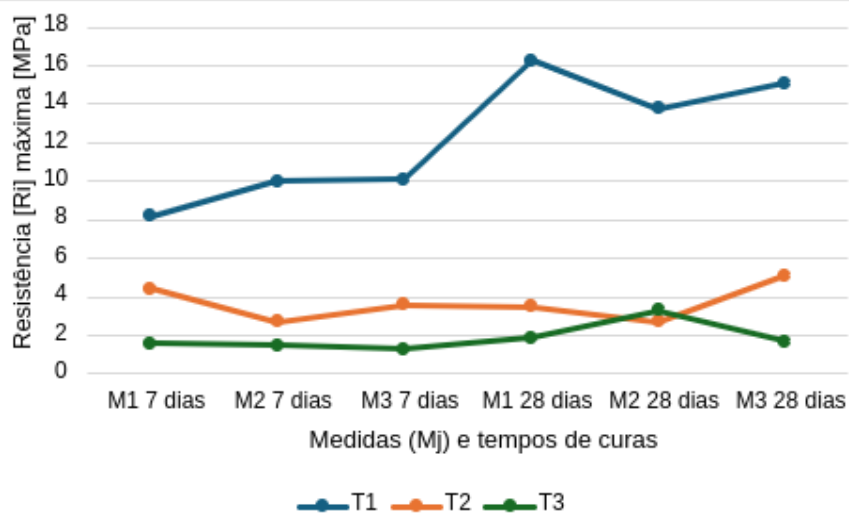


# 21ª SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BIOMAS DO BRASIL: DIVERSIDADE, SABERES E TECNOLOGIAS SOCIAIS

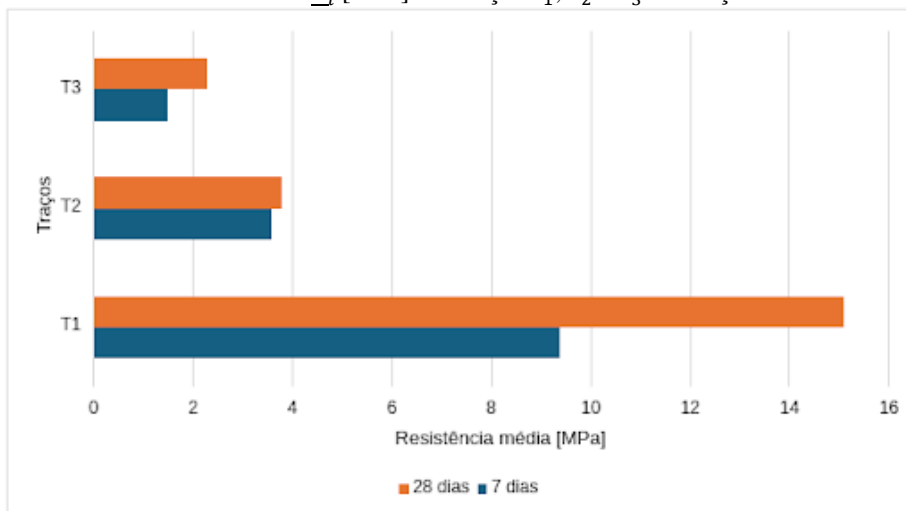
IX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

24 A 26 DE OUTUBRO DE 2024



Fonte: Arquivo Pessoal (2024).

**Gráfico 2** - Resistência média  $\bar{R}_i$  [MPa] dos traços  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$  - relação entre 7 e 28 dias.



Fonte: Arquivo Pessoal (2024).