

## **AVALIAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA E DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL DE *Eucalyptus* spp.**

**PEDRO HENRIQUE DE MORAES KOLTON<sup>1</sup>; GABRIEL VALIM CARDOSO<sup>2</sup>;  
LAÍSE VERGARA NÖRNBERG<sup>2</sup>; OSMARINO PIRES DOS SANTOS<sup>3</sup>; RAFAEL  
BELTRAME<sup>4</sup>**

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

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – gabriel.valim.cardoso@gmail.com,  
laisenornberg@gmail.com

<sup>3</sup>CMPC Celulose Riograndense – osmarino.santos@cmpcrs.com.br

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – beltrame.rafael@yahoo.com.br

### **1. INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas, o consumo global de madeira tem apresentado crescimento expressivo, impulsionado pela crescente demanda nos setores de construção civil, móveis, bioenergia e, especialmente, celulose e papel (FAO, 2024). A madeira de rápido crescimento, como a proveniente de *Eucalyptus* spp., se destaca por sua alta produtividade em curtos ciclos de corte, permitindo atender à demanda crescente enquanto reduz a pressão sobre florestas nativa (BALDIN *et al.*, 2017).

A qualidade da madeira é determinada por propriedades físicas essenciais, dentre as quais a densidade básica se destaca por sua influência direta nas aplicações industriais. Em madeira maciça, densidades mais elevadas estão associadas a maior resistência mecânica e durabilidade (ABRUZZI, 2012), enquanto no processamento de celulose, a densidade básica impacta o rendimento, refinabilidade e eficiência do processo, influenciando fortemente o consumo específico de madeira por tonelada de polpa produzida (MIRANDA e PEREIRA, 2015; MAGATON *et al.*, 2009).

Além da densidade, as tensões de crescimento afetam significativamente a qualidade da madeira. Essas tensões podem causar defeitos como empenamentos, rachaduras e splits nas toras e tábuas durante o corte e secagem, problemas comuns em espécies de rápido crescimento como *Eucalyptus* (ROZA *et al.*, 2023).

Do ponto de vista biológico, essas tensões ajudam a conferir às árvores maior estabilidade frente ao vento e outros fatores externos. O parâmetro conhecido como Deformação Residual Longitudinal (DRL) representa uma medida indireta dessas tensões e é comumente obtido via o método não destrutivo CIRAD-Fôret (MONTEIRO *et al.*, 2023).

Considerando essas variáveis, este estudo objetiva avaliar a densidade básica e o DRL em três espécies de *Eucalyptus*: o híbrido *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus globulus* (*E. uroglabulus*), o *Eucalyptus urophylla* e o *Eucalyptus saligna*.

### **2. METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento deste estudo, foram amostrados 15 indivíduos de cada espécie — *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus globulus* (8 anos), *Eucalyptus urophylla* (9 anos) e *Eucalyptus saligna* (9 anos) — provenientes de um plantio da empresa CMPC Celulose Riograndense Ltda. A seleção considerou fuste retilíneo, ausência de bifurcação, fenótipo adequado e boas condições fitossanitárias, sendo

excluídos os indivíduos localizados próximos às bordaduras, a fim de minimizar interferências de ventos e de relevo acentuadamente inclinado.

A avaliação da deformação residual longitudinal (DRL) foi realizada em árvores vivas, utilizando-se extensômetro (Growth Strain Gauge), pelo método CIRAD-Forêt. Para a instalação do equipamento, a casca foi removida no diâmetro à altura do peito (DAP), abrindo-se uma janela no tronco. Em seguida, dois pinos foram fixados na direção da grã, espaçados em 45 mm, para acoplamento do mostrador digital. Posteriormente, com auxílio de uma furadeira manual, realizou-se um furo de 20 mm de diâmetro na posição central entre os pinos. A perfuração promoveu a liberação das tensões de crescimento, registradas diretamente pelo aparelho. As medições foram efetuadas em quatro pontos equidistantes ao redor do tronco, correspondentes às orientações cardeais, a fim de padronizar os resultados.

Para a determinação da densidade básica, foram selecionadas cinco das 15 árvores previamente amostradas, as quais foram abatidas e tiveram a altura comercial medida até o diâmetro de 5 cm. Foram coletados discos de aproximadamente 4 cm de espessura na base (0%), DAP, 33%, 66% e 100% da altura comercial. De cada disco foram produzidas quatro cunhas, mantendo-se a orientação cardinal. A análise da densidade seguiu o método da balança hidrostática, conforme a norma SCAN-CM 43:95 (1995). As cunhas foram saturadas a 4,5 kgf/cm<sup>2</sup> por 24 horas, pesadas submersas (peso úmido imerso – PUI) e, posteriormente, em condições convencionais (peso úmido amostral – PUA). A partir desses valores, o volume das amostras foi calculado utilizando-se a Equação 1.

$$V = PUA - PUI \quad (1)$$

Onde,  $V$  = Volume (cm<sup>3</sup>);  $PUA$  = Massa do material saturado (g);  $PUI$  = Massa do material imerso (g).

Por fim as amostras são levadas a uma estufa a  $105 \pm 5$  graus por 5 dias, para se obter o peso seco e, dessa forma, calcular a densidade de acordo com a equação 2.

$$\phi = (m / V) * (1000) \quad (2)$$

Onde,  $\phi$  = Densidade (Kg / m<sup>3</sup>);  $m$  = Massa (g);  $V$  = Volume (cm<sup>3</sup>)

Para avaliar as diferenças entre médias dos grupos, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) de um fator com 5% de significância. Se a ANOVA apresentou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), o teste de Tukey foi utilizado para identificar os pares específicos com diferenças.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à deformação residual longitudinal (DRL) (Figura 1A), verificou-se variação significativa tanto entre os clones quanto entre as diferentes porções do fuste. A seção norte do clone *E. uroglobulus* apresentou DRL significativamente maior em comparação ao *E. urophylla*, embora estatisticamente semelhante ao *E. saligna*. Além disso, a porção leste do *E. saligna* exibiu valores superiores em relação às mesmas porções dos demais grupos. Na análise intraclone, apenas o

*E. saligna* apresentou diferença significativa entre as posições, com a porção oeste registrando valores consideravelmente menores que a leste.

Os resultados obtidos foram ligeiramente inferiores aos relatados por Kolton (2025) para *E. saligna* de oito anos (média de 0,130), mas próximos aos valores descritos por Beltrame (2012), que observou médias de 0,108 e 0,093 para dois clones de *E. saligna* e 0,114 para *E. urophylla*. Essas variações podem estar relacionadas a fatores ambientais e silviculturais, como condições edáficas, ventos predominantes e práticas de manejo. Beltrame (2012) também destaca que diferenças internas são comuns e frequentemente ligadas à inclinação do solo, ao peso da copa e a assimetrias de crescimento, que resultam em distribuição heterogênea das tensões ao longo do fuste.

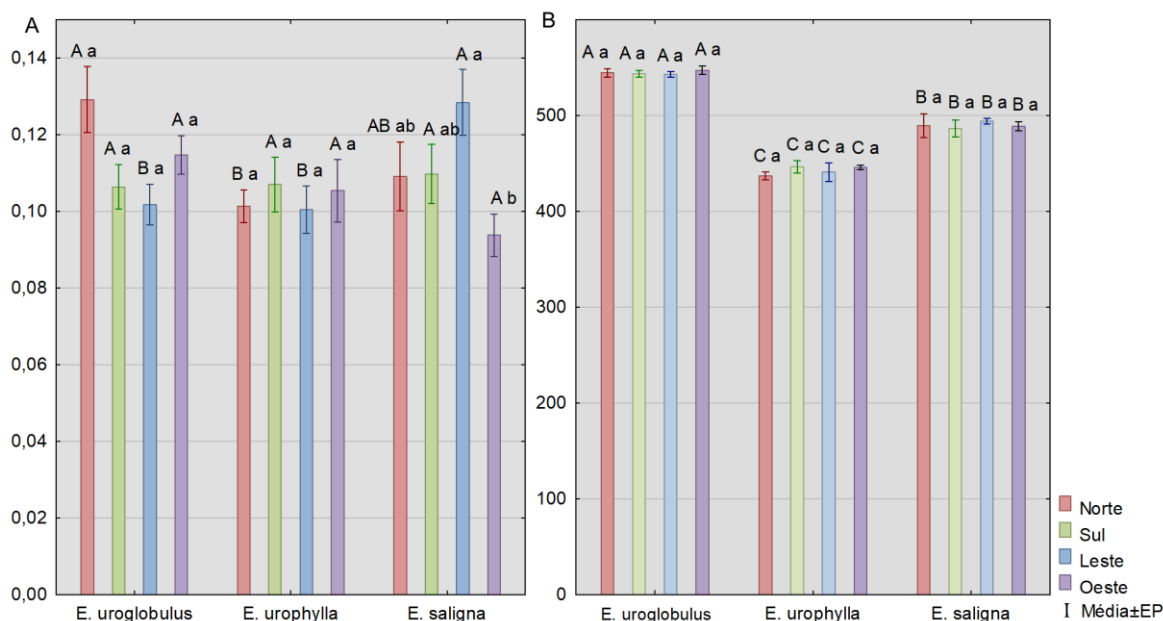


Figura 1 – Valores médios da DRL (A) e da densidade básica (B) de três espécies de *Eucalyptus* avaliados em quatro orientações cardeais. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre espécies para cada orientação, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre orientações dentro de cada espécie ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Autor (2025).

Quanto à densidade básica (Figura 1B), não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as diferentes posições cardinais de coleta, o que evidencia homogeneidade dentro dos indivíduos, independentemente do ponto amostrado. Entretanto, verificaram-se diferenças marcantes entre os clones: *E. uroglobulus* apresentou a maior densidade básica, enquanto *E. urophylla* exibiu a menor média. Esses resultados estão de acordo com os valores relatados por Kolton (2025) para *E. saligna*, cuja densidade média foi de aproximadamente 486 kg/m<sup>3</sup>, embora contrastem com os dados de Paulino (2018), que reportou valor médio de 495 kg/m<sup>3</sup> para *E. urophylla*, superior ao observado neste estudo.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que as espécies de *Eucalyptus* avaliadas apresentam diferenças significativas tanto em relação à deformação residual longitudinal (DRL) quanto à densidade básica, evidenciando a influência do material genético sobre as propriedades tecnológicas da madeira. Enquanto o

*E. uroglobulus* destacou-se por apresentar maior densidade, o *E. saligna* apresentou maior variabilidade nos valores de DRL entre as posições cardeais, o que pode impactar diretamente a ocorrência de defeitos durante o processamento.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRUZZI, R. C. *et al.* Relação das propriedades mecânicas e densidade de postes de madeira de eucalipto com seu estado de deterioração. **Revista Árvore**, v. 36, p. 1173-1182, 2012.

BALDIN T., MARCHIORI J. N. C., NIGOSKI S., TALGATTI M., DENARDI L. Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus L'Hér.* [Wood anatomy and pulp and paper production potential of four young species of *Eucalyptus L'Hér.*]. **Ciência da Madeira** (Braz J Wood Sci). 8(2):114–126. 2017.

BELTRAME, R. *et al.* Determination of longitudinal residual strain due to growth stress in *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 343-351, 2012.

FAO. The State of the World's Forests 2024 – Forest-sector innovations towards a more sustainable future. Roma: FAO, 2024.

KOLTON, P. H. M. **Efeito da inclinação do tronco de *Eucalyptus saligna* por rajadas de vento nas propriedades tecnológicas e na produção de celulose.** 2025. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Pelotas, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Pelotas, 2025.

MAGATON, A. Da S. *et al.* *Eucalyptus* wood quality and its impact on kraft pulp production and use. **Tappi J**, v. 8, n. 8, p. 32-39, 2009.

MIRANDA, I., PEREIRA, H. Variation of wood and bark density and production in coppiced *Eucalyptus globulus* trees in a second rotation. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, v. 9, n. 2, p. 270, 2015.

MONTEIRO, T. C. *et al.* Artificial intelligence to growth stresses predicting in *Eucalyptus* clones using dendrometric variables and wood density. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 25, 2023.

PAULINO, P. S., LIMA, I. L. Densidade básica e dimensões celulares da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla*, aos oito anos de idade. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 9, n. 1, 2018.

ROZAS, C. *et al.* Distribution of Growth Stresses in *Eucalyptus Nitens* Maiden Logs Immersed in Water. **Forests**, v. 14, n. 8, p. 1517, 2023.

SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD. **SCAN-CM 43:95**. Basic density, SCAN, 1995. 4 p.