DESENVOLVIMENTO DE MODELO PREDITIVO DE DENSIDADE BÁSICA DE *Eucalyptus* sp. VIA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

NATHALIA FARIAS GOMES[1]; LAÍSE VERGARA NÖRNBERG[2]; MARCO ANTÔNIO MUNIZ FERNANDES[3]; OSMARINO PIRES DOS SANTOS[4]; FRANCO FREITAS QUEVEDO[5]; GABRIEL VALIM CARDOSO[6]

[1]*Universidade Federal de Pelotas – nathalia.univ@gmail.com*
[2]*Universidade Federal de Pelotas – laisenornberg@gmail.com*
[3]*Mensura Serviços Florestais – tstmarcofernandes@gmail.com*
[4]*CMPC Celulose Riograndense – osmarino.santos@cmpcrs.com.br*
[5]*CMPC Celulose Riograndense – franco.quevedo@cmpcrs.com.br*
[6]*Universidade Federal de Pelotas – gabriel.valim.cardoso@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

De acordo com IBÁ (2022), atualmente a madeira do gênero *Eucalyptus* é a mais plantada no Brasil, ocupando uma área aproximada de 7,53 milhões de hectares, correspondendo a 75,8% de toda área plantada do país. Esse alto volume de plantios ocorre pela forte demanda que esse gênero tem exercido no mercado, uma vez que pode ser utilizado para diferentes áreas, como celulose, carvão vegetal e painéis de madeira. Dessa forma, pelo efeito da ampla diversificação de produtos derivados da madeira de eucalipto, há a necessidade de manejo adequado nos plantios, visando o melhoramento das propriedades importantes para cada área.

Um exemplo disso é o melhoramento genético da madeira de eucalipto para a indústria de celulose, que necessita de várias etapas de análise, visando se encontrar os materiais de maior potencial para o processo. Dessa forma, de acordo com ASSIS (1996), pode-se analisar o plantio desde idades jovens, entre 2 a 4 anos, amostrando-se alguns clones pelo método convencional para a determinação da densidade média do plantio, objetivando escolher os que possuem melhor propriedades para que se faça a clonagem.

De acordo com BOSCHETTI *et al.* (2020), a densidade é uma importante propriedade que influencia diretamente no desempenho operacional das indústrias madeireiras. A mesma pode ser definida como a relação entre peso e o volume da amostra. Ainda segundo o autor, a densidade determinada por metodologia convencional é obtida por meio de amostragem destrutiva. Porém, pelo fato desse método ser demorado e custoso, pesquisadores têm estudado metodologias alternativas como, por exemplo, a aplicação da tecnologia da espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) para a predição de propriedades da madeira.

A ferramenta NIR oferece rapidez e eficácia, além de tudo é um método não destrutivo, ou seja, evitando o abatimento das amostras no plantio (GOUVÊA, 2011). Como menciona LOUREIRO *et al.* (2022), por meio do uso de NIRS, é possível a criação de um modelo matemático que oferece a possibilidade de predizer a densidade da madeira de forma rápida e com confiabilidade.

Sendo assim, o estudo tem por objetivo desenvolver um modelo de predição de densidade básica da madeira do gênero *Eucalyptus* por meio do uso de NIRS para plantios com idade de 3 anos, visando sua utilização como ferramenta no melhoramento genético.

2. METODOLOGIA

Amostragem

Para a elaboração do modelo preditivo utilizou-se 87 clones do gênero de *Eucalyptus* sp. com 3 anos de idade oriundos de plantios experimentais pertencentes a empresa CMPC Celulose Riograndense, os quais estão localizados no Estado do Rio Grande do Sul. De cada árvore, foram coletados discos de 4 cm de espessura na base, DAP (diâmetro na altura do peito), 33, 66 e 100% a partir da altura comercial de diâmetro mínimo de 5 cm. Em sequência cortou-se os discos em 4 cunhas, sendo uma delas separada para a determinação da densidade básica da madeira de acordo com a norma SCAN-CM (1995).

Já a amostragem não destrutiva ocorreu por meio de uma furadeira na altura do diâmetro a altura do peito (DAP) nas 87 árvores, coletando as serragens que posteriormente foram secas em estufa com circulação forçada de ar com temperatura de 35°C por um período mínimo de 72 horas sendo posteriormente encaminhadas para moagem em moinho do tipo ciclone. Logo após, as amostras foram aclimatadas em ambiente controlado com temperatura de 22°C e umidade relativa do ar de 45% por um período mínimo de 72 horas.

As amostras de serragem de madeira preparadas conforme descrito anteriormente foram analisadas em espectrofotômetro de infravermelho próximo (Metrohm modelo DS2500 Solid Analyzer). A análise espectral foi realizada na faixa de 1110 a 2500 nm, com resolução de 0,5 nm consistindo em 2780 valores de absorção. Além disso, o espectro final foi determinado como sendo a média aritmética de 32 varreduras, realizadas mediante 4 varreduras em 8 pontos distintos da amostra.

Calibração e validação do modelo

O modelo foi delineado no software *The Unscrambler* versão 10.4. E, com o objetivo de minimizar o ruído dos espectros, os mesmos passaram pelo pré-tratamento da segunda derivada com uma janela de 31 pontos e polinomial de segunda ordem, por meio do algoritmo *Savitzky-Golay.* O modelo foi calibrado mediante a análise de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS). E, em seguida, considerando a tendência de distribuição dos dados a partir do resultado, foram removidas as amostras consideradas como *outliers* da calibração.

A validação do modelo ocorreu por meio de validação cruzada, que foi desenvolvida considerando as amostras da calibração, as dividindo de forma aleatória em 20 segmentos. E já para a avaliação do modelo, foram analisados os seguintes métodos estatísticos: correlação de Pearson (R), coeficiente de determinação da validação cruzada (R^2CV), raiz quadrada do erro médio da validação cruzada (RMSECV), número de variáveis latentes (VL) e relação de desempenho do desvio (RPD).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mostra a Tabela 1 e Figura 1, observa-se que existe uma correlação de aproximadamente 65% entre os valores preditos pelo modelo e os valores de referência de laboratório. Além disso, nota-se que o coeficiente de determinação da

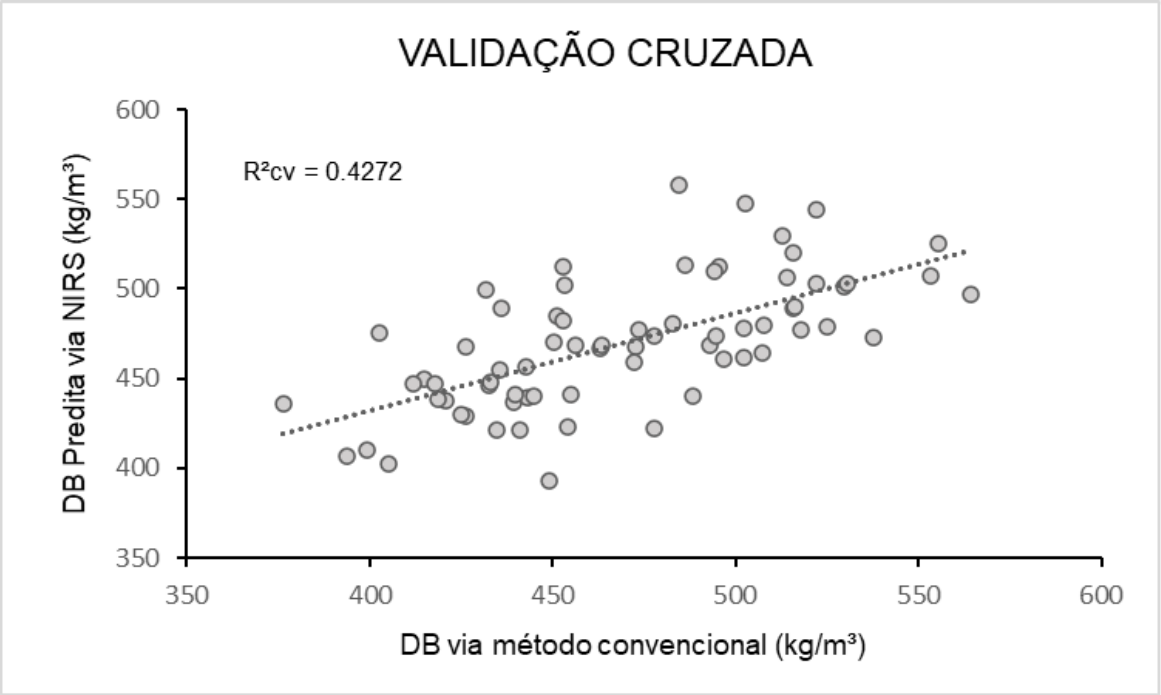
validação cruzada (R^2CV) foi de 0,4272, condizente com os resultados médios obtidos por ARRIEL *et al.* (2017) de 0,4033, que no qual realizou a predição da densidade básica de discos de clones de *Eucalyptus* sp. por meio de um modelo com tratamento da segunda derivada.

Tabela 1: Valores dos métodos estatísticos utilizados.

R	R^2CV	RMSECV	VL	RPD
0,6536	0,4272	33,3756	6	1,0638

Onde: R – correlação de Pearson; R^2CV - coeficiente de determinação da validação cruzada; RMSECV – raiz quadrada do erro médio da validação cruzada; VL – número de variáveis latentes; RPD – relação do desempenho do desvio.

Figura 1: Relação entre os valores de densidade básica (DB) via método convencional e via predição NIRS.



Já o valor de RMSECV obtido no modelo desenvolvido foi maior que o valor encontrado por ARRIEL *et al.* (2017), sendo 33,3756 contra uma média de 24,9833 do autor. Esse erro mais elevado está relacionado com a predição, dessa forma relaciona-se com a pouca quantidade de amostras utilizadas no presente estudo, dessa forma evidencia-se a necessidade de adição de novas amostras no modelo para que o mesmo possua maior confiabilidade e robustez.

Em relação às variáveis latentes, no modelo desenvolvido foi utilizado o número de 6. Além disso, observa-se que o RPD foi de 1,06 contra a média de 1,30 presente no estudo de ARRIEL *et al.* (2017).

4. CONCLUSÕES

A partir dos fatos abordados, observou-se que o modelo apresentou bons resultados para o coeficiente de determinação da validação cruzada, porém resultados regulares em relação a raiz quadrada do erro médio da validação cruzada. Desse modo, entende-se a necessidade de otimizar o modelo por meio de modificações, sendo uma delas a adição de mais amostras do mesmo gênero, variando as idades, para que dessa forma o mesmo apresente mais robustez e confiabilidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRIEL, T. G.; LOUREIRO, B. A.; VEIGA, T. R. L. A.; NETO, R. A.; TRUGILHO, P. F.; SIMETTI, R.; RESENDE, D. R.; HEIN, P. Espectroscopia no Infravermelho próximo na Predição da Densidade Básica de *Eucalyptus* para Uso Energético. In: **III CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA**, 3., Florianópolis, 2017, **Anais...** Florianópolis, 2017. p.8.

ASSIS, T.F. **Melhoramento genético do eucalipto**. Informe agropecuário. Belo Horizonte, v.18, n.185, p.63-71, 1996. Acesso em: 26 ago. 2023. Online. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2005_Melhoramento+Genetico+Eucalipto.pdf

BOSCHETTI, W. T. N; VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M. Densidade e sua variação na madeira de eucalipto. In: VIDAURRE, G. B. et al. **Qualidade da Madeira de Eucalipto Provenientes de Plantações do Brasil**, Vitória: EDUFES, 2020. Cap.5, p. 132-170.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; GOMIDE, J. L.; SILVA, J. R. M.; ANDRADE, C. R.; ALVES, I. C. N. Determinação da densidade básica da madeira de Eucalyptus por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.3, n.2, p. 349-358, 2011.

LOUREIRO, B. A.; ARRIEL, T. G.; RAMALHO, F. M. G.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. NIR-based models for estimating selected physical and chemical wood properties from fast-growing plantations. **iForest**, Doi: 10.3832/ifor4030-015, v.15, p. 372-380, 2022.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual 2022**. Indústria Brasileira de Árvores. 2022. Acesso em: 31 ago. 2023. Online. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf

SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD. **SCAN-CM 43:95**: Wood chips for pulp production. Estocolmo: SCAN, 1995, 4 p.