

## Estimativa da umidade da madeira por meio de equipamento portátil

Dayane Targino de Medeiros<sup>1</sup>; Bruna Aparecida de Carvalho Silva<sup>1</sup>; Felipe Gomes Batista<sup>1</sup>;  
Adriano Reis Prazeres Mascarenhas<sup>2</sup>; Paulo Ricardo Gherardi Hein<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciências Florestais (DCF), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras/MG, Brasil; <sup>2</sup>Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura/RO, Brasil – [dayanemediost@gmail.com](mailto:dayanemediost@gmail.com)

**Resumo:** Objetivou-se avaliar o desempenho de equipamento digital portátil na estimativa da umidade da madeira em diferentes umidades e superfície. Amostras de madeiras nativas e plantadas foram utilizadas na predição da umidade por meio do medidor Grande Display LCD. Essas madeiras foram analisadas da condição saturada (~30%) até o equilíbrio (~12%). Logo após foram encaminhadas para estufa (105°C) para obtenção da massa anidra. A umidade foi obtida pela diferença entre massa úmida e massa seca das amostras. A função dos modelos inclusos no medidor fora avaliada quanto ao seu desempenho. A umidade alcançada pelo medidor digital apresentou alta correlação com a umidade determinada em laboratório em todas as condições de umidade, com  $R^2$  superior a 0.81 e  $Syx$  menor que 4.43%. Os modelos desenvolvidos na superfície radial da madeira proporcionaram os resultados mais robustos. A função C do equipamento foi a mais satisfatória na estimativa da umidade. Dessa maneira, o uso de métodos ágeis otimiza a tomada de decisão dos gestores industriais.

**Palavras-chave:** Propriedade física da madeira, higroscopidade, método não-destrutivo.

### Estimating wood moisture using portable equipment

**Abstract:** The aimed was to evaluate the performance of portable digital equipment in estimating wood moisture at different humidities and surfaces. Samples of native and planted wood were used to predict moisture using the Large LCD Display meter. These woods were analyzed from saturated condition (~30%) to equilibrium (~12%). They were then sent to an oven (105°C) to obtain the anhydrous mass. Moisture was obtained from the difference between the wet mass and dry mass of the samples. The performance of the models included in the meter was evaluated. The humidity achieved by the digital meter showed a high correlation with the humidity determined in the laboratory in all humidity conditions, with  $R^2$  greater than 0.81 and  $Syx$  less than 4.43%. The models developed on the radial surface of the wood provided the most robust results. The equipment's C function was the most satisfactory for estimating moisture. In this way, the use of agile methods optimizes decision-making by industrial managers.

**Keywords:** Physical properties of wood, hygroscopicity, non-destructive methods.



## 1. INTRODUÇÃO

A umidade está entre as propriedades mais importantes da madeira, uma vez que afeta seu processamento e industrialização. O conhecimento dessa propriedade é de grande valia, pois madeiras de diferentes umidades interferem diretamente na qualidade do produto final, além disso, reduz perdas de matéria-prima (Costa *et al.*, 2019). Segundo Medeiros *et al.*, (2023), a umidade também compromete o transporte, manuseio e armazenamento da madeira, além de ocasionar defeitos, deformação e possíveis perdas na resistência mecânica de peças lenhosas.

O método mais tradicional para determinação da umidade é utilizando técnicas laboratoriais recomendadas por normativas como a Norma Técnica Brasileira 14929 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 2003). No entanto, métodos não destrutivos vêm ganhando espaço, pois permitem caracterizar amostras de maneira rápida, simples, confiável, e com tempo e custo reduzido, quando comparado com as análises de laboratório (Amaral *et al.*, 2020). Uma alternativa é o uso de aparelhos portáteis, como os medidores digitais que funcionam pela resistência do material a passagem de corrente elétrica, com variação inversa ao da massa de água contida na matéria. Esses medidores contêm agulhas que são inseridas ou aproximadas na superfície da madeira (Calonego *et al.*, 2006).

Alguns estudos relataram o efeito do plano anatômico da madeira no desempenho de modelos preditivos (Schimleck *et al.*, 2003; Jones *et al.*, 2006). Contudo, há pouca informação disponível sobre essa influência da superfície na qualidade do sinal dos aparelhos digitais portáteis (Hein *et al.*, 2010). Neste contexto, até o presente momento, os estudos utilizando aparelhos digitais elétricos para aferição de umidade em diferentes níveis de água e superfície da madeira são escassos. Diante deste cenário, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de medidor digital portátil na estimativa da umidade da madeira em diferentes superfícies e etapas de dessorção da água.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Madeiras de espécies nativas e plantadas: *Schinus terebinthifolia*, *Bowdichia nitida*, *Mezilaurus itauba*, *Hymenaea* sp., *Simarouba amara* e *Eucalyptus* sp., com diferentes densidades (~0,40 a 0,99 g/cm<sup>3</sup>) foram obtidas de florestas certificadas. A partir de discos de madeira, coletados na altura do DAP, foram produzidas amostras com presença de cerne e alburno por meio de serra fita, com dimensões de



aproximadamente 25 x 25 x 100 mm (largura x espessura x comprimento), totalizando 48 amostras. Esse material foi utilizado na estimativa da umidade por meio de medidor digital portátil (Grande Display LCD, EMT01, 2 Pins), considerando a superfície longitudinal radial e longitudinal tangencial. Essas madeiras foram analisadas da condição saturada, após imersão em água, até a umidade de equilíbrio (~12%), totalizando 6 ciclos de leitura, que foram realizadas a cada 10% de dessorção de água (Figura 1).



**Figura 1.** Etapas da realização do estudo.

Finalmente, as amostras foram encaminhadas para secagem em estufa, com temperatura a 105°C, com objetivo de obter a massa anidra, ou seja, a 0% de umidade. A equação para determinação da umidade real da madeira foi obtida pela diferença entre massa úmida e massa seca, dividido pela massa seca das amostras.

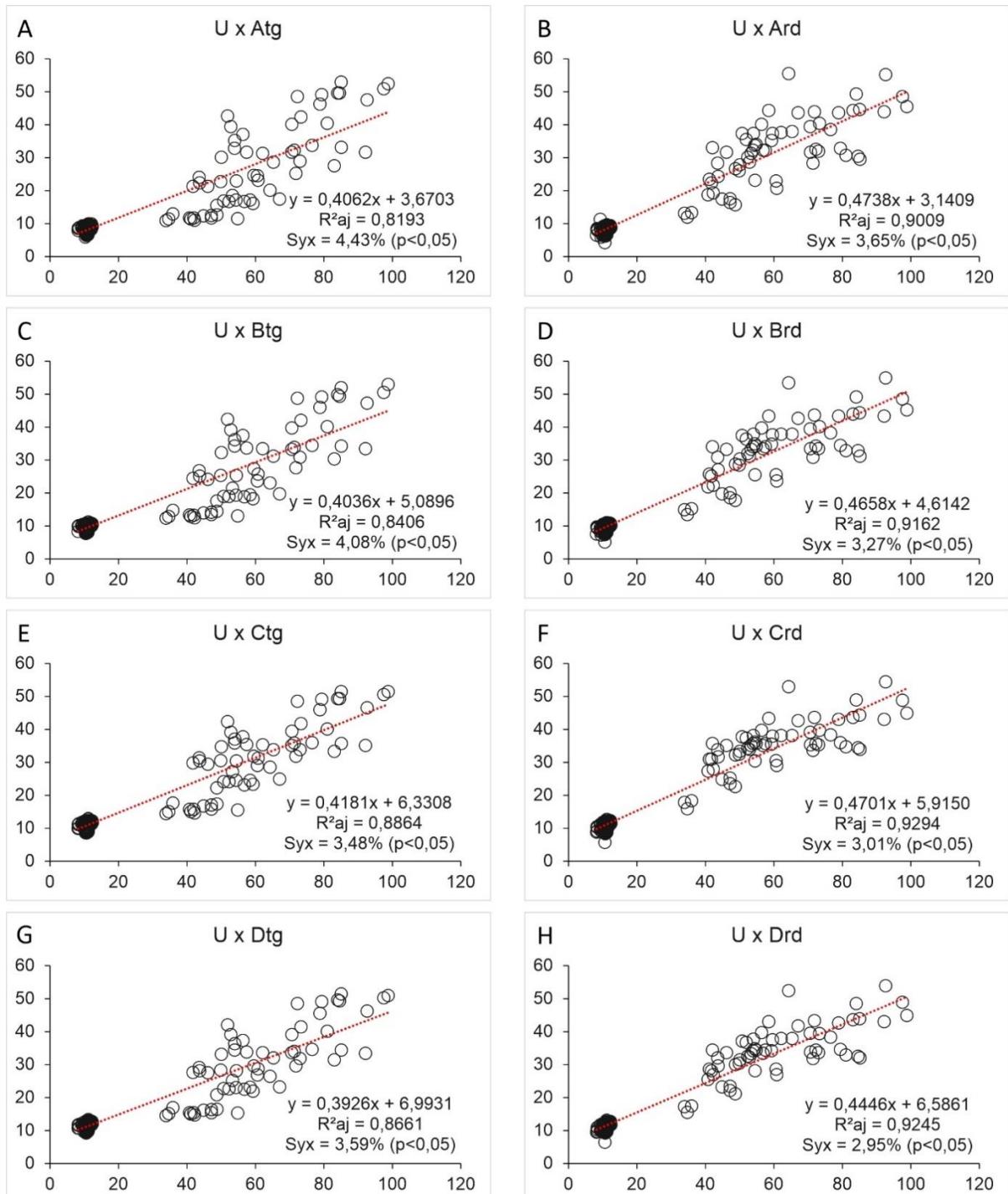
O medidor digital de umidade foi avaliado quanto aos seus quatro modelos inclusos na memória (A, B, C e D), com o propósito de verificar a função mais realística do equipamento. Cada modelo foi desenvolvido pelo fabricante com grupos de espécies distintas, sendo o modo A gerado por madeira de *Tectona grandis*, *Afromosia angolensis* e *Juglans nigra*. O modo B inclui espécies como *Dipterocarpus* spp. e *Populus alba*, enquanto o modo C considerou madeiras de *Fraxinus excelsior*, *Ulmus carpinifolia* e *Swamp Ash*. Já no modo D, *Tilia Americana*, *Pinus nigra* e *Pinus elliottii* foram as espécies utilizadas na geração do modelo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos de regressão referentes à correlação da umidade da madeira determinada em laboratório e por medidor digital portátil estão apresentados na Figura 2. Ao avaliar o desempenho do aparelho a nível de superfície da madeira, verifica-se que o plano anatômico longitudinal radial (rd) apresentou os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) mais elevados (0,92), bem como os menores valores de erro



(2,95%), quando comparado com a superfície tangencial (tg) das madeiras, embora os resultados do sentido tangencial também sejam adequados para aplicações práticas.



**Figura 2.** Correlação da umidade da madeira determinada em laboratório e estimada pelo medidor digital portátil. Sendo: U = umidade, A, B, C e D = modelos inclusos no medidor, rd = superfície radial e tg = superfície tangencial.



Uma hipótese que explica a melhor performance de estimativa de umidade na superfície radial, seria pela maior exposição de parede celular fibrosa e dos parênquimas radiais e axiais presentes neste plano anatômico (Kollmann; Côté, 1968). Isso, por sua vez, resulta em medições mais adequadas, pois o medidor dielétrico depende da quantidade de umidade presente na madeira e, havendo maior continuidade de material, essa corrente elétrica tende a possuir sinal mais consistente, devido a continuidade de corrente elétrica. Por sua vez, a leitura com a madeira no plano tangencial, pode gerar inconsistência e instabilidade nas cargas da corrente elétrica, devido a descontinuidade da parede celular, uma vez que nesta superfície ocorre maior exposição das células do parênquima radial em diâmetro, o que causa descontinuidade da parede celular, consequentemente maior exposição de lumen.

Conforme observado nos gráficos da regressão, no eixo X, a umidade da madeira apresentou valores variando de ~10 a 100% e, mesmo com essa faixa abrangente de conteúdo de água na madeira, a correlação com os dados adquiridos no aparelho digital apresentou parâmetros de estimativa adequados, embora vários estudos afirmem que a performance dos modelos inclusos nos medidores funcionem adequadamente apenas em madeiras com umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (~30%). Como exemplo Galina (1997), que relatou que medições na madeira em aparelhos digitais com resistência elétrica é válida em faixa de umidade entre 4 e 40%.

No estudo de Miliota; Gupta (1996), os autores mencionam que o desempenho dos medidores também podem ser influenciados pela densidade básica da madeira, uma vez que os modelos inclusos no aparelho podem ter sido desenvolvidos com densidades diferentes das madeiras utilizadas nas leituras do experimento. A temperatura de armazenamento da madeira pode ainda ser um fator de influência no resultado de medição da umidade nestes aparelhos (James, 1975).

No que concerne as condições de umidade, o medidor digital exibiu valores estatísticos elevados nas madeiras em equilíbrio com o ambiente (~12%), em contrapartida, as madeiras úmidas e/ou na condição saturada apresentaram os resultados mais incipiente nas estimativas por correlação linear. Essa menor precisão do aparelho em condição úmida e/ou acima do ponto de saturação das fibras (PSF) é associada à presença de água livre, uma vez que a água apresenta resistência elétrica menor que a madeira, porém quando há presença de água livre, a alta resistência elétrica da madeira é reduzida durante a leitura no medidor (Jankowsky, 2000).



Por fim, analisando os quatro modelos matemáticos inclusos no medidor digital portátil, verificou-se que o modo configurado como C apresentou os resultados mais realísticos, tanto na superfície radial quanto tangencial. Esse resultado pode ser relacionado com a amostragem das madeiras utilizadas pelo fabricante do aparelho no processo de calibração dos modelos, que possivelmente tinha condições de umidade próximas ao deste estudo, ou ainda semelhança na densidade da madeira. O inverso foi visto no modelo A, que exibiu os menores valores de coeficiente de determinação. Contudo, de maneira geral, todos os valores de coeficiente alcançados são adequados para uso em madeireiras e indústrias de base florestal.

Assim, considerando os modelos de correlação desenvolvidos nesta pesquisa, os quais incluem diferentes espécies madeireiras, percebe-se que é importante a realização de novos estudos a nível de espécie e densidade da madeira para melhor aplicação dos medidores digitais portáteis, bem como a inclusão de outros aparelhos não-destrutivos para comparação de desempenho, visando a otimização de processos industriais.

#### 4. CONCLUSÃO

Os modelos de correlação desenvolvidos pelo medidor portátil e pelos valores obtidos em laboratório foram satisfatórios na estimativa da umidade da madeira. O valor máximo do coeficiente de determinação foi de 0,92 e o valores mínimo de 0,82, com erro variando de 2,95 a 4,43%. Quanto a superfície, o plano radial da madeira foi o mais adequado para realizar as leituras no medidor. A função C do equipamento foi a mais realística para estimativa da umidade.

#### 5. REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 14929: Madeira – Determinação do teor de umidade de cavacos – Método por secagem em estufa.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

AMARAL, E. A.; SANTOS, L. M.; COSTA, E. V.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. Estimation of moisture in wood chips by Near Infrared Spectroscopy. **Maderas. Ciencia y tecnologia.** v. 22, n. 3, p. 291-302, 2020.

CALONEGO, F. W.; BATISTA, W. R.; SEVERO, E. T. D.; SANTOS, J. E. G.; RIBAS, C. Avaliação do teor de umidade da madeira de *Eucalyptus grandis* por medidores elétricos resistivos. **Revista do Instituto Florestal.** v.18, p. 71-78, 2006.



COSTA, L. R.; TONOLI, G. H. D.; MILAGRES, F. R.; HEIN, P. R. G. Artificial neural network and partial least square regressions for rapid estimation of cellulose pulp dryness based on near infrared spectroscopic data. **Carbohydrate polymers**. v. 224, p. 115186, 2019.

GALINA, I. C. M. **Variação da resistência elétrica em madeiras visando o grupamento de espécies**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1997. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura, 1997.

JAMES, W. L. Electric moisture meters for wood. **Madison USDA. Forest Service**. P. 1-27, 1975.

JANKOWSKY, I. P. Melhorando a eficiência dos secadores para madeira serrada. **Piracicaba: Instituto de pesquisa e estudos florestais**, p. 13, 2000.

JONES, P.; SCHIMLECK, L. R.; PETER, G. F.; DANIELS, R. F.; CLARK, A. Nondestructive estimation of wood chemical composition of sections of radial wood strips by diffuse reflectance near infrared spectroscopy. **Wood Science and Technology**. v. 40, p. 709-720, 2006.

KOLLMANN, F.; CÔTÉ, J.R., 1968. Principles of wood science and technology: I Solid Wood.

MEDEIROS, D. T.; RAMALHO, F. M. G.; BATISTA, F. G.; MASCARENHAS, A. R. P.; CHAIX, G.; HEIN, P. R. G. Water desorption monitoring of cellulose pulps by NIR spectroscopy. **Industrial Crops and Products**. v. 192, p. 115989, 2023.

MILOTA, M. R.; GUPTA, R. Moisture meter correction factors for dahurian larch from the Russian Far East. **Forest products journal**. v. 46, n. 6, p. 91, 1996.

SCHIMLECK, L. R.; DORAN, J. C.; RIMBAWANTO, A. Near infrared spectroscopy for cost effective screening of foliar oil characteristics in a *Melaleuca cajuputi* breeding population. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 51, n. 9, p. 2433-2437, 2003.