

Avaliação do teor de umidade em madeira roliça de *Eucalyptus* sp. utilizando medidor portátil

Danielly Moreira Gomes¹; Raphael Almeida Nascimento¹; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹; Caio Cesar Nemer Martins¹; Rafael Silveira Gomes Cardoso¹; Vinicius Resende de Castro²

¹ Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa/MG, Brasil – lapem@ufv.br

Resumo: Este estudo avaliou e validou o método dielétrico para determinar o teor de umidade em madeira roliça de *Eucalyptus* sp. utilizando o equipamento UMILOG-M65 (Marrari Automação®). O equipamento foi avaliado em seu formato comercial (configuração original) e após a elaboração de equações de calibração do teor de umidade x número de BITS. A variação do teor de umidade apresentou correlação positiva com o valor de BIT's fornecido pelo equipamento. Observou-se ganho de precisão do equipamento em todos os testes realizados. A precisão do equipamento em sua configuração original foi de 37% e após a aplicação das equações matemáticas variou entre 60 e 70% (desconsiderando as classes diamétricas), atingindo 83% para a classe de menor diâmetro, perfazendo assim, o melhor desempenho. As aplicações das equações matemáticas foram úteis para melhorar a precisão do equipamento e reduzir erros na determinação do teor de umidade.

Palavras-chave: Teor de umidade base úmida; método não destrutivo; sensor capacitivo.

Evaluation of portable moisture content meter by dielectric method in round *Eucalyptus* wood

Abstract: This study evaluated and validated the dielectric method for determining moisture content in round wood of *Eucalyptus* sp. using the UMILOG-M65 equipment (Marrari Automação®). The equipment was assessed in its commercial format (original configuration) and after the development of calibration equations for moisture content vs. number of BITS. The variation in moisture content showed a positive correlation with the BIT's value provided by the equipment. An increase in equipment precision was observed in all tests conducted. The precision of the equipment in its original configuration was 37%, and after the application of mathematical equations, it ranged between 60 and 70% (disregarding diameter classes), reaching 83% for class 1. Lower diameter classes and the class referring to the top of the logs showed the best performances. The application of mathematical equations proved useful in improving equipment precision and reducing errors in moisture content determination.

Keywords: Moisture content wet basis; non-destructive method; capacitive sensor.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal em 2022 apresentou um consumo acima de 229,6 milhões de m³/madeira de florestas plantadas (*Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.) com destino para a indústria de base florestal (Ibá, 2023). As áreas ocupadas com florestas plantadas no Brasil alcançaram 9,94 milhões de hectares, sendo que 76% (7,6 milhões de hectares) correspondem a plantios de eucalipto (Ibá, 2023).

Dentre as possibilidades de uso das florestas plantadas, a geração de energia a partir da biomassa se destaca pelas seguintes razões: redução da dependência energética e econômica de combustíveis fósseis, redução das emissões de gases de efeito estufa e diversificação da matriz energética do país (Silva *et al.*, 2021). Uma das formas mais fáceis de aumentar a eficiência da conversão da madeira em energia se relaciona com a redução do teor de umidade, a qual tem relação inversamente proporcional com o total de energia liberada durante sua queima (Moreira *et al.*, 2012).

Dessa forma, é importante conhecer o teor de umidade da madeira, e para tal, o método gravimétrico é o mais utilizado (Crisótomo *et al.*, 2016). O método gravimétrico é mais exato, porém, é um método destrutivo de custo mais elevado que exige muito tempo para se obter o resultado, além de ser inviável para espécies que têm componentes voláteis como resinas, óleos ou gorduras (Batista *et al.*, 2011).

O método dielétrico permite a determinação rápida e não destrutiva e utiliza baixos níveis de potência, o que não gera riscos ao operador. Medidores elétricos têm a vantagem em relação à velocidade de aquisição das informações e praticidade, contudo não foram desenvolvidos para determinar o teor de umidade da madeira roliça (Donato *et al.*, 2014). Tratando-se de madeira não processada, os medidores elétricos, princípio resistivo, apresentam pouca precisão para teores de umidade superiores a 25% (base seca), além de não ser possível realizar medições com precisão abaixo de 6% de umidade.

A utilização dos medidores elétricos portáteis, método dielétrico capacitivo, para determinação do teor de umidade em madeira roliça pode ser uma alternativa para o setor florestal, entretanto, é necessário avaliar quais fatores possuem influência na performance desses equipamentos como diâmetro da tora, posição de coleta dos dados na tora, propriedades da madeira e o modelo de sonda de medição, entre outros. O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho do equipamento UMILOG-M65 que utiliza o método dielétrico pelo princípio capacitivo para a determinação do teor de umidade da madeira roliça de *Eucalyptus* sp.

2. MATERIAL E MÉTODOS

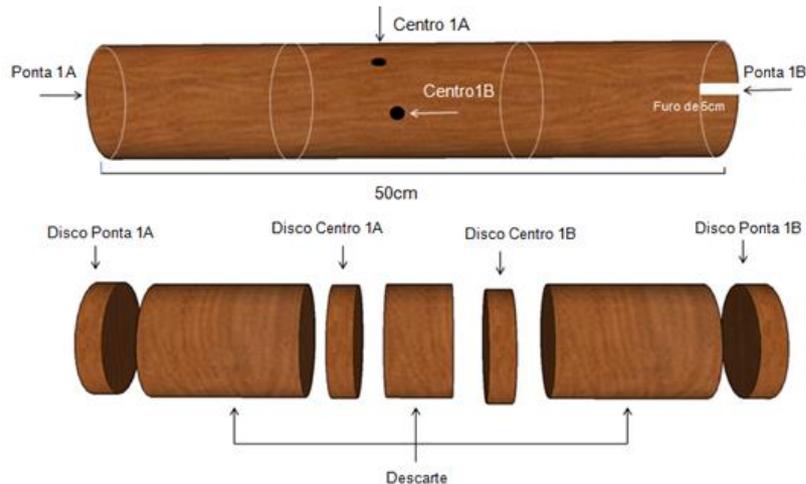
Para determinação do teor de umidade das madeiras pelo método dielétrico, utilizou-se o equipamento portátil UMILOG-M65. A determinação pelo método gravimétrico foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 14.929 (2017), sendo este método a testemunha.

Seis árvores de *Eucalyptus* sp. com 6 anos de idade foram coletadas e seccionadas em toretes de 50 cm que posteriormente foram separados em quatro classes de diâmetro, sendo: Classe 1 (5 a 8 cm), Classe 2 (9 a 12 cm), Classe 3 (13 a 16 cm) e Classe 4 (17 a 20 cm). Parte dos toretes foram secos ao ar livre e a outra parte seca em estufa de ventilação forçada, de modo a obter maior número de amostras em diferentes teores de umidade em menor tempo.

Após realizada a leitura, o equipamento fornece o teor de umidade da madeira em base úmida, e o valor de BIT's. Esse é o valor de leitura que o equipamento utiliza para converter em teor de umidade, a partir de uma recomendação que é previamente programada e inserida no equipamento. Para inserção de uma nova receita é necessário inserir valores conhecidos de BIT's associados a teores de umidade base úmida.

Para os toretes de 50 cm de comprimento, foram aferidas quatro medições do teor de umidade a partir do equipamento UMILOG-M65 nas posições Ponta 1A, Ponta 1B, Centro 1A e Centro 1B (Figura 1). Em seguida foram seccionados quatro discos (com 2 cm de espessura) de cada torete, sendo dois discos nas extremidades do torete (Disco ponta 1A e Disco ponta 1B), e dois discos centrais (Disco centro 1A e Disco centro 1B). Os discos foram retirados próximos aos pontos onde foi realizado a leitura de teor de umidade por meio do equipamento M65. Estes foram utilizados para determinação do teor de umidade pelo método gravimétrico.

Figura 1 – Esquema de retirada das amostras e pontos de medição do teor de umidade.



Foram elaboradas equações de calibração para cada um dos cenários estudados levando em consideração a classe de diâmetro, modelo de sonda e posição de coleta dos dados. Foram elaboradas também equações gerais para cada modelo de sonda e posição de coleta, desconsiderando a classe de diâmetro. Tais equações objetivaram avaliar a precisão do equipamento de forma geral para madeiras de 5 a 20 cm de diâmetro.

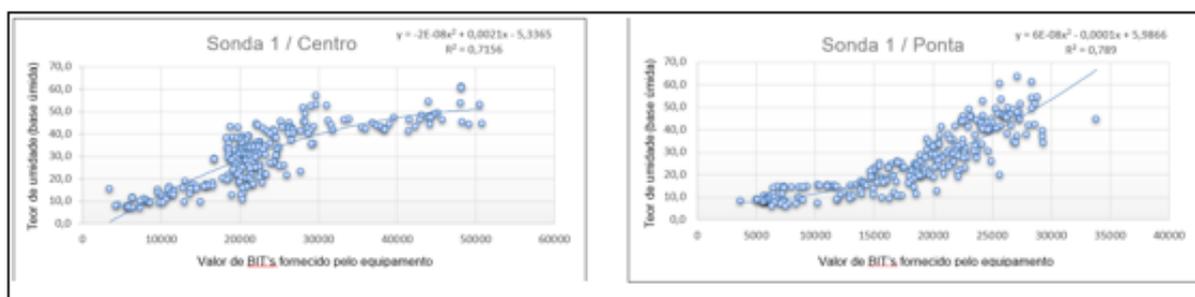
Para construção das equações matemáticas, foram relacionados valores de BIT's fornecidos pelo equipamento com os valores de teor de umidade obtidos pelo método gravimétrico (base úmida). Foram realizados tratamentos nos dados como remoção de pontos fora curva (*outliers*) e ajustes das equações, além de serem testados diferentes equações matemáticas como equação linear, exponencial, logarítmica e polinomial de segundo grau. Após a escolha das melhores equações matemáticas em relação aos maiores coeficientes de determinação e maior precisão, foi possível determinar o teor de umidade base úmida da madeira (y), substituindo na função o valor de BIT's (x) fornecido pelo equipamento. Todas as equações foram geradas a partir do software Excel.

Os valores obtidos pelo equipamento antes e após a correção a partir das equações matemáticas foram comparados com o valor obtido pelo método gravimétrico, sendo assumido como acerto os valores com coeficiente de variação de até cinco pontos percentuais ($\pm 5\%$) do valor de teor de umidade determinado pelo método gravimétrico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações matemáticas construídas possuem relação como classe de diâmetro e posição na tora para determinação do teor de umidade de forma simultânea. Dessa forma, cada valor de BIT's ao ser substituído no "x" da equação deve estar de acordo com tal situação. Também foi construída uma equação geral que não leva em consideração a classe de diâmetro do torete, sendo então determinada apenas pela posição de coleta. Tal equação teve objetivo de avaliar o desempenho do equipamento desconsiderando a classe de diâmetro da tora. A distribuição dos dados de teor de umidade, base úmida, e número de BIT's, está apresentada nas Figura 2.

Figura 2 - Dispersão dos dados de teor de umidade (base úmida) x valor de BIT.



Os percentuais de acertos considerando um erro máximo de ± 5 pontos percentuais do equipamento UMILOG-M65 em sua configuração original (M65) e após a correção dos valores de teor de umidade, base úmida, por meio das equações (Eq. Aplicadas) em relação ao método gravimétrico são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Percentuais de acertos dentro da faixa de 5% de erro, para cada sonda, classe de diâmetro e posição – M65 (Equipamento UMILOG) / Eq. Aplicadas (equações aplicadas sobre os dados utilizados para gerá-las).

Percentual de acerto				
Sonda	Classe Diamétrica	Posição	M65	Eq. Aplicadas
			1	Centro
		Ponta	53,23%	82,26%
2		Centro	43,75%	73,44%
		Ponta	46,88%	65,63%
3		Centro	40,63%	56,25%

		Ponta	28,13%	73,44%
4		Centro	32,14%	50,00%
		Ponta	25,00%	44,64%
	Geral	Centro	45%	60%

Os percentuais médios de acertos do equipamento em sua configuração original (M65) e após as equações aplicadas (Eq. Aplicadas) desconsiderando a posição de coleta dos dados é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Percentuais de acertos dentro da faixa de $\pm 5\%$ de erro, para cada sonda e classe de diâmetro – M65 (Equipamento UMILOG) / Eq. Aplicadas.

Classe	Sonda	
	M65	Eq. Aplicadas
1	58,06%	76,61%
2	45,31%	69,53%
3	34,38%	64,84%
4	28,57%	47,32%
Geral	41%	62%

Verificou-se que o percentual de acerto tende a reduzir com o aumento da classe diamétrica, tanto em sua configuração original, quanto após aplicadas às equações de correção. Essa tendência está associada às classes de diâmetro inferior possuem menor teor e gradiente de umidade em comparação as de diâmetro superior, e dessa forma toras de menor diâmetro atingem o teor de umidade mais próximo do PSF mais rápido, sendo essa a melhor faixa de leitura para esses equipamentos (Donato *et al.*, 2015).

Para medidores capacitivos, a melhor correlação com o teor de umidade obtido pelo método gravimétrico para toras de menor diâmetro se deve ao efeito da profundidade do campo elétrico, que mesmo não sendo linear apresenta queda logarítmica na região externa em direção ao interior da tora (Donato *et al.*, 2015). Tal desempenho também pode estar relacionado à relação cerne/alburno para as diferentes classes diamétricas. A profundidade para coleta (5 cm) dos dados em classes de diâmetro superiores pode não ter contemplado à região do cerne e a

umidade existente no mesmo, principalmente abaixo do PSF onde o maior volume de água estava presente nessa região.

O desempenho foi superior na posição ponta após aplicadas as equações de calibração (66,20%), e superior na posição centro (62,08%) quando utilizado em configuração original (38,12% na ponta e 44,83% no centro). Em ambas as posições, a aplicação das equações de calibração melhorou o desempenho do equipamento.

4. CONCLUSÃO

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- Houve maior precisão na determinação do teor de umidade com o medidor dielétrico em toretes de menor diâmetro, tanto para o equipamento em configuração original, quanto após aplicadas as equações de calibração.
- O equipamento apresentou melhor desempenho na posição ponta quando aplicadas as equações de calibração.
- Após aplicadas as equações de calibração foi possível determinar o teor de umidade da madeira para toda a faixa de secagem, desde a colheita até valores abaixo de 10% UBU.
- Em sua configuração original o equipamento se limita a determinadas faixas, não sendo possível acompanhar toda a curva secagem da madeira.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, os autores também agradecem à FAPEMIG e CNPq. Adicionalmente, agradecemos o apoio da Universidade Federal de Viçosa (UFV/Brasil), da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Florestal (EMBRAPIL), da Sociedade de Investigações Florestais (SIF), do Laboratório de Celulose e Papel (LCP), do Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM) e do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) pertencentes à UFV.

6. REFERÊNCIAS

ARRUDA, T. P. M. de; PIMENTA, A. S.; VITAL, B. R. *et al.* Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 949-955, 2011.

BATISTA, R. W.; SANTOS, J. E. G. S.; SEVERO, E. T. D. *et al.* Calibração de um equipamento TDR (Reflectometria por Domínio do Tempo) para a determinação da umidade da madeira de *Grevillea robusta* (Cunn.). **Revista Energia e Agricultura**, Botucatu, v. 26, n. 2, p. 129-145. 2011.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais). Deliberação nº231, de 29 de agosto de 2018. Estabelece procedimentos para redução das emissões atmosféricas dos fornos de produção de carvão vegetal de floresta plantada e para avaliação da qualidade do ar no seu entorno e dá outras providências. **Diário Executivo de Minas Gerais**: Disponível em <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=46681#_ftn1> Acesso em 23 de setembro de 2021.

CRISÓSTOMO, M. C.; GOUVEIA, F. N.; COSTA, A. F. Relação entre o teor de umidade e a constante dielétrica de espécies de madeira da Amazônia durante o processo de secagem. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 40, n. 1, p. 181-187, 2016.

DONATO, D. B.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O. *et al.* Teor de umidade da madeira em Tora. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 107, p. 703-712, 2015.

Indústria Brasileira de Árvores (IBÀ). **Relatório Anual 2023**. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>>. Acesso em 25 de abril de 2024.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; DE LIMA, E. A.; GOULART, I. D. R. **Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha**. EMBRAPA FLORESTAS -Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2012.

SILVA PAULINO, P., 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, p. 9-18, 2018.