

Teor de umidade da madeira em Tora

Moisture content determination of the wood Log

Danilo Barros Donato¹, Renato Vinícius Oliveira Castro²,
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro³, Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho³,
Benedito Rocha Vital⁴ e Ramon Ubirajara Teixeira⁵

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes alternativas de determinação do teor de umidade da madeira em tora e compará-las com o método estabelecido pela norma da ABNT-NBR14929. As alternativas de determinação do teor de umidade da tora foram determinadas por meio de uma balança analisadora do teor de umidade, sendo que foram utilizados para coleta das amostras na forma de serragem, uma furadeira elétrica portátil e um trado manual. Também foram utilizados os medidores elétricos do tipo capacitivo e resistivo. Devido a eventuais distorções entre os resultados encontrados por esses métodos, em comparação com o método ABNT-NBR14929, foram estabelecidos um fator de correção e um modelo de regressão para fazer os ajustes. Constatou-se que os valores da umidade de todos os métodos utilizados nesse estudo foram significativamente diferentes, o método da balança determinadora de umidade o que mais aproximou do método preconizado pela ABNT-NBR14929, quando se utilizou a furadeira elétrica para obtenção das amostras. Porém, ao utilizar o fator de correção e também o modelo de regressão, constatou-se que todos os métodos foram significativamente iguais, sendo que os valores obtidos pelo modelo de regressão foram mais precisos que os fornecidos pelo fator de correção. Conclui-se que desde que se utilize um fator de correção ou um modelo de regressão, os métodos de determinação do teor de umidade da madeira testados nesse estudo são adequados para determinação da umidade da madeira em tora de maneira rápida, eficiente e com menor custo, quando comparados ao método da ABNT-NBR14929.

Palavras-chave: Amostragem do corpo de prova, fator de correção, medidores elétricos, balança analisadora de umidade.

Abstract

The objective of this study was to evaluate different alternatives for determining the moisture content of wooden logs and to compare them with the method established by ABNT-NBR14929. The alternatives for determining the moisture content of the logs were determined through an analyzer balance of moisture content, and were used for sample collection in the form of sawdust, a portable electric drill and a manual auger. Also the electric meters of capacitive and resistive type were used. Due to the problems between the results obtained by these methods, when compared to the ABNT-NBR14929 method, a correction factor and a regression model to make adjustments were established. It was found that the values of moisture in all the methods used in this study were significantly different; the method of moisture determiner balance was the one which was closest to the method advocated by ABNT-NBR14929, when using a power drill to obtain the samples. However, by using the correction factor and also the regression model, it was found that all methods were significantly equal, and the values obtained by regression models were more accurate than those provided by the correction factor. It follows that by the use of a correction factor or a regression model, the methods for determining the moisture content of the wood tested in this study are suitable for determining the moisture content of wood in logs quickly, efficiently and at lower cost when compared to the method of ABNT-NBR14929.

Keywords: Specimen sampling, correction factor, electricalmeasurers, moisture analyzer scale.

¹Doutorando em Ciências Florestais. UFV – Universidade Federal de Viçosa. Av. PH Rolfs, s/n - 36570-000 - Campus Viçosa, MG. Email: danilobarros20@hotmail.com.

²Professor Adjunto do Departamento de Ciências Agrárias. UFSJ – Universidade Federal de São João Del Rei. Campus Sete Lagoas - Rod. MG 424 Km 47- 35701-970 - Sete Lagoas, MG. Email: castrorvo@ymail.com.

³Professora Associada do Departamento de Engenharia Florestal. UFV – Universidade Federal de Viçosa. Av. PH Rolfs, s/n, Campus, Viçosa, MG, 36570-000 – Email: cassiacarneiro1@gmail.com; ana.marcia@ufv.br.

⁴Professora Titular do Departamento de Engenharia Florestal. UFV – Universidade Federal de Viçosa. Av. PH Rolfs, s/n – Campus – 36570-000 - Viçosa, MG. Email: bvital@ufv.br.

⁵Mestrado em Ciências Florestais. UFV – Universidade Federal de Viçosa. Av. PH Rolfs s/n – Campus – 36570-000 - Viçosa, MG. Email: ramon_ufv@yahoo.com.br.

INTRODUÇÃO

Em praticamente todos os segmentos consumidores de madeira, por exemplo, na produção de móveis, na construção civil, no uso da madeira como suprimento energético, entre outras aplicações, é fundamental conhecer e controlar o teor de umidade da madeira, para que se obtenham melhores produtos e economia nos processos. O método mais confiável para determinação do teor de umidade da madeira em tora é o estabelecido de acordo com a norma da ABNT NBR 14929 (ABNT, 2003), também chamado de método gravimétrico ou da estufa, que é preciso, porém demorado e caro. A determinação do teor de umidade por esse método é feita por meio da diferença de massa de amostras antes e depois de passarem por um processo de secagem em estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$, até massa constante.

Em virtude das desvantagens do método da ABNT NBR 14929, faz-se necessário o desenvolvimento de métodos de determinação do teor de umidade da madeira em tora que sejam rápidos, de baixo custo e confiáveis.

Há vários métodos para determinar o teor de umidade da madeira, entre eles os medidores elétricos, tanto com princípio resistivo quanto capacitivo. Esses métodos fornecem a resposta imediata do teor de umidade madeira, porém esses aparelhos não fornecem respostas com certa margem de confiabilidade para todas as classes de umidade, sendo seu uso indicado para intervalos de umidade entre 7 e 30% (MORESCHI, 2005). Esses aparelhos são indicados para superfícies planas, o que dificulta suas análises para madeira em tora.

Algumas alternativas vêm sendo estudadas por algumas empresas do setor de produção de carvão vegetal e sua precisão comparada com a do método tradicional para se obter o teor de umidade da madeira em tora. Uma dessas alternativas é a retirada de corpos de prova na tora em forma de serragem, com o auxílio de uma furadeira elétrica ou um trado manual. No entanto, há poucos trabalhos na literatura a respeito desses métodos, ou esses ainda não foram publicados.

O teor de umidade da serragem removida da tora é determinado pelo princípio gravimétrico, podendo ela ser levada em estufa ou em uma balança analisadora de umidade, devendo ser ressaltado que esta última fornece uma resposta mais rápida e a um menor custo. Assim, pelo fato de esses métodos serem diferentes e também por não terem sido desenvolvidos para essa

finalidade, é esperado que os seus valores sejam diferentes dos obtidos com o método tradicional, como também os medidores elétricos descritos, conseqüentemente é necessário desenvolver curvas de correção para eles.

Nesse sentido o objetivo geral desse trabalho foi o de avaliar diferentes métodos de determinação do teor de umidade da madeira em tora e correlacionar os valores obtidos com o método da ABNT-NBR14929. Assim como estabelecer fatores de correção para eventuais distorções entre os resultados encontrados por esses métodos, em busca de uma alternativa à norma da ABNT para determinar a umidade de forma mais rápida, com precisão satisfatória e menor custo.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo do material

Foram colhidas 14 árvores da espécie *Eucalyptus* sp. com idade de 6 anos, cultivadas em espaçamento 3,0 x 2,0 metros, pertencentes a uma propriedade particular localizada no município de Viçosa – Minas Gerais.

Após o corte, as árvores foram seccionadas em três comprimentos: 1,5; 3,0; e 4,5 metros e separadas em três classes de diâmetro, 10-12; 14-16; e 18-20 centímetros, conforme ilustra a Figura 1.

Posteriormente essas toras, foram empilhadas com casca ao ar livre, totalizando-se nove pilhas de madeira. O empilhamento foi feito sobre toras suporte, orientadas segundo o comprimento da pilha, para evitar o contato direto da tora com o solo. Após o empilhamento do material, este permaneceu por um período de secagem ao ar livre por 60 dias.

Métodos de amostragem e métodos de determinação do teor de umidade da madeira em tora

Para o estudo dos métodos de amostragem e de determinação do teor de umidade de madeira em tora, inicialmente foram retirados cinco discos de cada tora, equidistantes, de aproximadamente 7 cm de espessura cada. Em seguida, os discos foram descascados e deu-se início às determinações. O teor de umidade de cada disco foi determinado por cinco métodos.

O primeiro método utilizado para determinação do teor de umidade foi o da balança analisadora de umidade, devendo ser ressaltado que as determinações por esse método foram feitas a partir da retirada de corpos de provas na

forma de serragem, com o auxílio de uma furadeira elétrica e também com um trado manual. Utilizou-se uma furadeira elétrica sem fio, à bateria, da marca *Bosch* e modelo GSR 12-2, com uma velocidade de rotação sem carga de 1.200 rpm, com uma broca de 7,5 mm.

A retirada da serragem pela furadeira foi feita ao introduzir sua broca no sentido radial do disco de madeira até a medula. Foram retiradas amostras de dois pontos opostos do disco, tendo, portanto, duas amostras por disco. As amostras de serragem geradas foram coletadas imediatamente e colocadas em um vidro hermeticamente fechado e, em seguida, foram pesadas e secas até massa constante, em uma balança determinadora de umidade da marca *OHAUS MB35 Halogen*. Utilizou-se cerca de 0,9 grama de serragem por amostra, e cada leitura teve duração média de 4 minutos.

O mesmo procedimento foi realizado, usando trado manual. O trado utilizado neste experimento é um instrumento de acionamento manual, que permite acoplamento de brocas com haste compatível com encaixe das garras do mandril do trado, também conhecido como arco de pua ou furadeira manual. Para retirada da serragem da madeira utilizou-se uma broca de aço de carbono com 8 mm de diâmetro.

Depois de retirar os corpos de provas, com o auxílio da furadeira e do trado manual, determinou-se também o teor de umidade da madeira a partir dos medidores elétricos do tipo resistivo e capacitivo. Por cada um desses aparelhos foram feitas quatro leituras por disco, sendo a média

dessas leituras considerada o teor de umidade por cada aparelho.

O medidor elétrico resistivo utilizado nesse estudo foi fabricado pela *Digysystem*, modelo DL 2000. As medições dos teores de umidade a partir do uso desse aparelho foram feitas, utilizando-se a curva de calibração referente à densidade média da espécie estudada. A medição da umidade da madeira foi feita com a fixação de quatro pinos metálicos, inseridos nos discos em direção paralela às fibras.

Utilizou-se um medidor elétrico capacitivo da marca *Sultech*, modelo TCS-75. Esse aparelho possui três sensores de medições, um potenciômetro de seleção do grupo de madeira a ser trabalhada e também um potenciômetro de zeramento, que busca eliminar interferências externas causadas por fatores como umidade relativa do ar, proximidade da mão do operador, entre outros. Para sua utilização, inicialmente foi selecionado o grupo da madeira a ser medida. Em seguida utilizou-se o potenciômetro de zeramento, procurando obter no visor o valor mais próximo deste, variando entre 0,0 a $\pm 0,2\%$. A partir daí colocaram-se em contato os sensores de medições do aparelho no sentido paralelo às fibras, para obter a leitura do teor de umidade.

Após executar esses quatro métodos de determinação do teor de umidade no disco, foram retiradas duas cunhas opostas de cada disco, correspondendo a duas repetições por discos, e então foi determinado o teor de umidade pelo método gravimétrico, conforme ilustra a Figura 2.

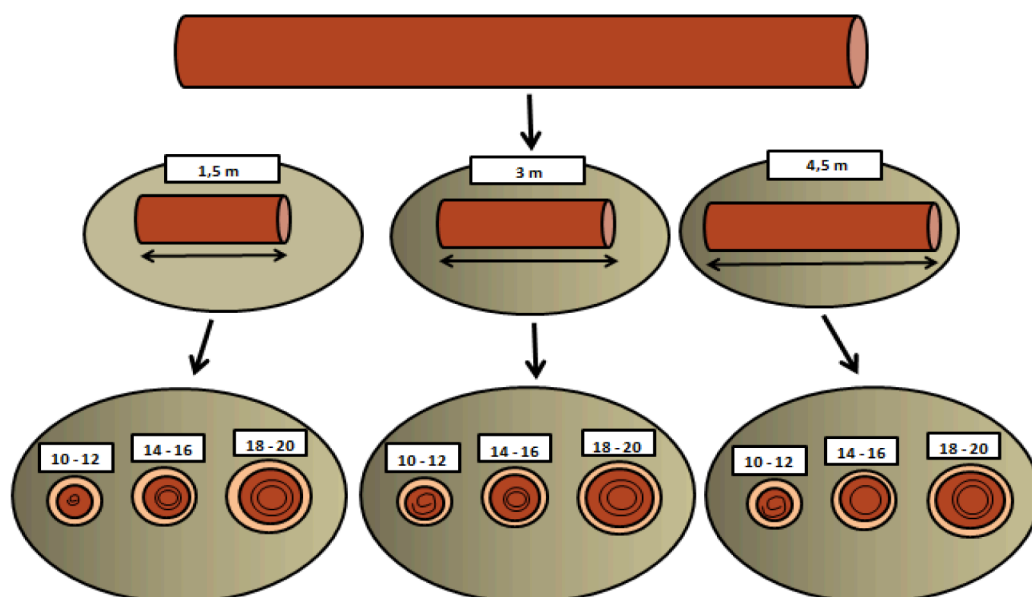


Figura 1. Esquema do material utilizado para o estudo.
Figure 1. Layout of the material used for the study.

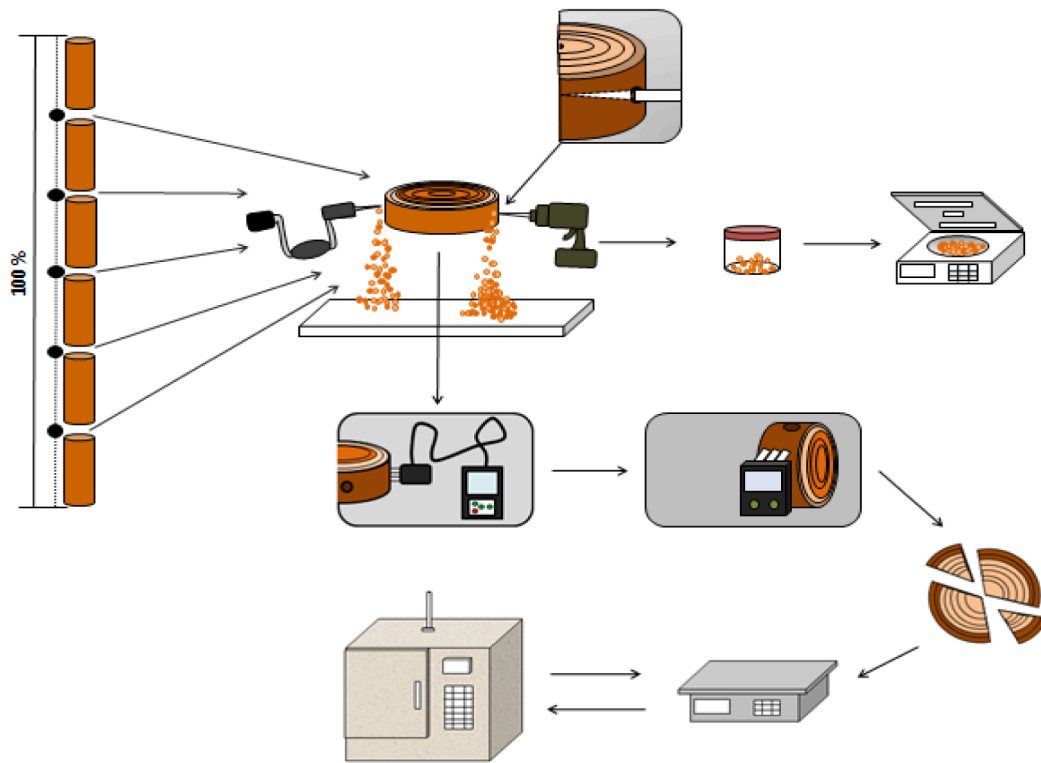


Figura 2. Esquema representativo dos métodos de amostragem e determinação do teor de umidade da madeira em tora utilizado neste estudo.

Figure 2. Layout of representative sampling and determining the moisture content of round wood used in this study.

Equações de correção

Fator de correção

O fator de correlação utilizado para ajustar as determinações do teor de umidade obtidas pelos métodos alternativos em função da umidade real da madeira (determinado pelo método da ABNT) foi estabelecido por meio da relação entre o valor médio do teor de umidade real da madeira com o valor médio obtido pelo método alternativo, dividindo pelo número de toras amostradas.

O fator de correção foi estabelecido de acordo com a equação 1:

$$\text{Fator de correção } j = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Umidade ABNT}_i / \text{Umidade Alternativa } a_{ij})}{n} \quad (\text{eq. 1})$$

Em que o fator de correção *j* é utilizado para o método alternativo *j*; a umidade ABNT *i* é a umidade da tora *i* obtida pelo método da ABNT; *n* é o número de toras amostradas; e a Umidade Alternativa *ij* é a umidade da tora *i* obtida pelo método alternativo *j*.

A umidade corrigida de cada tora *i* foi estimada pela multiplicação da umidade obtida pelo método alternativo *j* pelo seu fator de correção.

Foi estabelecido apenas um fator de correção para todos os valores obtidos para as três classes de diâmetro, pois se fosse estabelecer esse fator por classe de diâmetro teria de ser feito um fator de correção para cada classe diamétrica.

Modelo de regressão

O modelo de regressão utilizado para fazer as correções teve como variável dependente o teor de umidade da madeira obtido pelo método da ABNT e como variáveis independentes, as classes de diâmetro das toras e o valor da umidade obtido pelos métodos alternativos *j*. O modelo utilizado é mostrado na equação 2:

$$\text{Umidade Real} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Classe de Diâmetro} + \beta_2 \cdot \text{Umidade}_i + \varepsilon \quad (\text{eq. 2})$$

Em que β_i são os parâmetros do modelo, e ε é o erro aleatório.

Análise Estatística

O experimento foi analisado segundo o delineamento inteiramente casualizado (DIC) simples. Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors, para testar a normalidade, e de Cochran, para testar a homogeneidade das variâncias.

Realizou-se a análise de variância, e quando houve efeito dos tratamentos as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade, com o objetivo de identificar a igualdade dos métodos para determinar a umidade média das amostras.

As equações de regressão estimadas foram comparadas por teste de identidade de modelos, segundo Regazzi (1993), para avaliar se existia igualdade das tendências de umidade ao longo das toras de mesmo comprimento, a 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Métodos de determinação do teor de umidade da madeira em tora

Na Tabela 1 estão os valores médios do teor de umidade da madeira obtidos a partir de diferentes métodos de determinação.

Observa-se que todos os métodos de determinação do teor de umidade utilizados nesse trabalho foram significativamente diferentes. No entanto, constata-se que o método em que a balança analisadora de umidade foi utilizada, cuja amostra foi retirada com a furadeira elétrica, foi o que mais se aproximou do valor de umidade obtido pelo método da ABNT. Por outro lado, o valor médio obtido pelo medidor elétrico resistivo foi o mais distante, em relação ao obtido pelo método ABNT.

Nas Figuras 3 estão as correlações existentes entre os métodos alternativos de determinação do teor de umidade da madeira em tora e o método da ABNT por classe de diâmetro (Figura 3a, 3b e 3c). Verifica-se, de modo geral, que a dispersão dos valores de umidade entre o método da ABNT e os demais tratamentos testados neste trabalho tem como característica uma correlação linear positiva.

Observa-se que a correlação existente entre o método da ABNT e da balança analisadora (trado manual) foi menor, quando comparado com o método também da balança, porém obtendo as amostras com a furadeira elétrica. Era esperado que o uso do trado manual para a retirada das amostras tivesse melhor correlação com o método da ABNT, pois o número de rotação por minuto pelo trado é menor, gerando menor aquecimento na broca e, conseqüentemente, na madeira, quando comparado à furadeira elétrica. As temperaturas médias nas brocas metálicas tanto do trado quanto da furadeira foram de 69 e 80°C, respectivamente. Logo, a menor correlação é explicada, pelo menos em parte, pelo maior

tempo de contato da broca do trado manual com a madeira, fazendo com que a serragem proveniente desse método perdesse mais água.

Chagas (2010) e Donato (2012), em estudo sobre a comparação da umidade da madeira em tora determinada pelo método da ABNT com o método da balança determinadora de umidade, retirando-se amostras com a furadeira, encontraram um padrão de resposta semelhante, em estudo realizado com o gênero *Eucalyptus* sp., obtendo coeficiente de determinação de 0,98 e 0,95, respectivamente. Entretanto, tratando-se de alternativa de determinação do teor de umidade da madeira em tora utilizando uma furadeira elétrica para retirar corpos de prova, estudos ainda são raros ou não publicados.

No caso dos medidores elétricos, tanto o capacitivo como o resistivo, observa-se uma baixa correlação entre eles e o método da ABNT, principalmente pela faixa de umidade da madeira em tora utilizada nesse trabalho, reproduzindo valores normalmente obtidos em campo. Vale salientar que esses medidores foram desenvolvidos para ser utilizados na determinação do teor de umidade de madeira serrada, não tendo sido encontrado registro na literatura de seu uso para madeira em tora.

Rodrigues e Sales (2000), em avaliação do teor de umidade da madeira por meio da capacitância e da resistividade, obtiveram maior precisão nesse último método. Nesse estudo constatou-se (Figura 3) que apesar de o medidor elétrico capacitivo ter se aproximado mais da umidade média obtida pelo método da ABNT do que o medidor resistivo, esse último teve maior correlação, devido à maior homogeneidade de seus resultados.

Na Figura 3 pode-se constatar, de modo geral, que os métodos alternativos de determinação do teor de umidade da madeira para as classes de menor diâmetro tiveram melhor correlação com o método da ABNT, quando comparadas

Tabela 1. Valores médios de teor de umidade em função dos métodos de amostragem e determinação do teor de umidade da madeira para a leitura direta.

Table 1. Mean values of moisture content depending on the sampling and determination of moisture content of wood for direct reading.

Métodos	Média	Desvio-Padrão	N	Diferença	T	df	p	Conclusão
(ABNT)	55,25	11,88	-	-	-	-	-	-
Leitura Direta								
Furadeira	51,88	11,33	54	3,37	6,44	53	0,00	Diferente
Trado	48,64	12,39	54	6,61	7,42	53	0,00	Diferente
Capacitivo	44,59	8,41	54	10,66	6,45	53	0,00	Diferente
Resistivo	25,18	3,31	54	30,07	20,27	53	0,00	Diferente

Teste t para amostras independentes (t pareado).

t-test for independent samples (t paired).

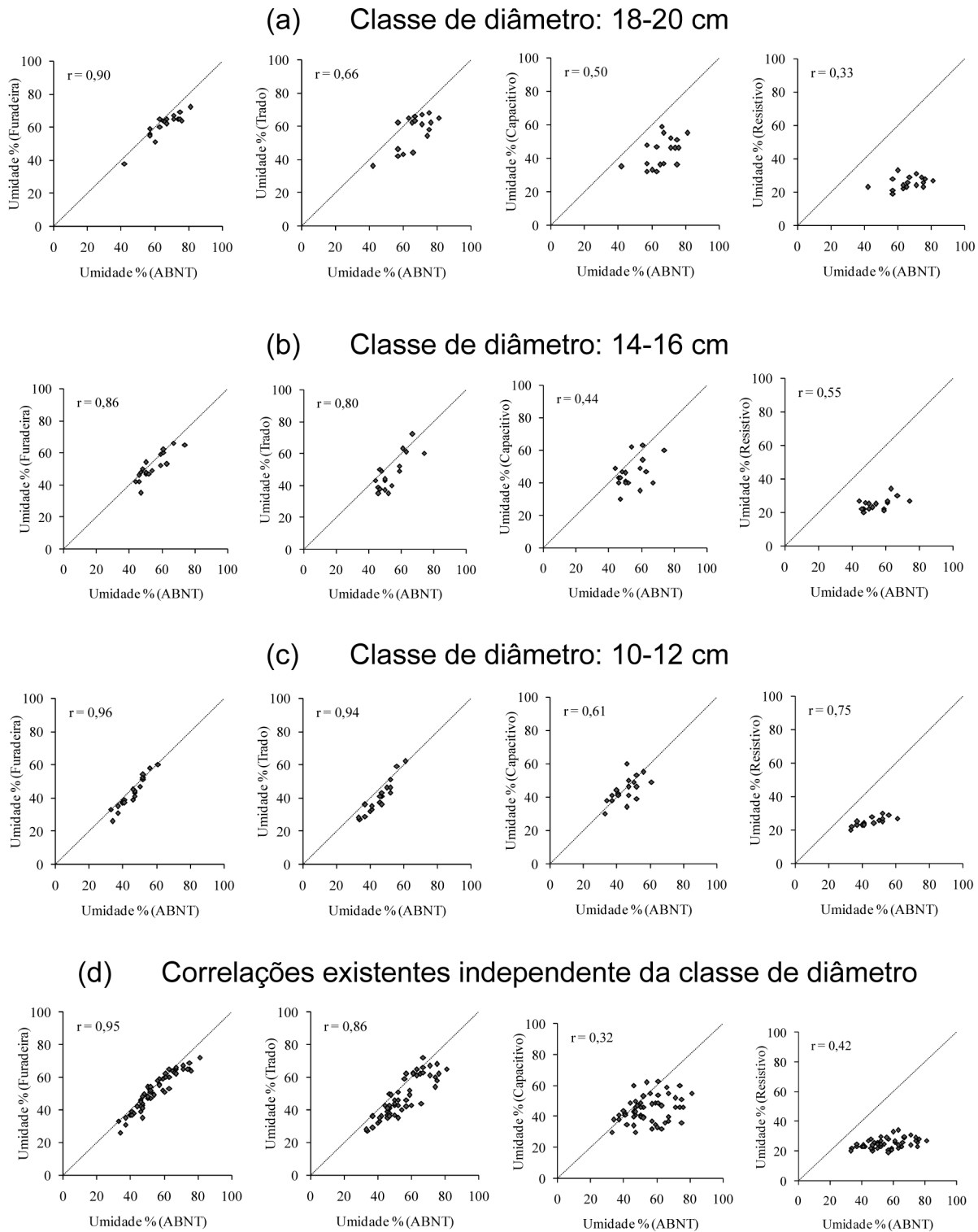


Figura 3. Dispersão entre as estimativas de umidade de toras por diferentes métodos, comparados à metodologia da ABNT, de forma geral e por classe de diâmetro.

Figure 3. Dispersion between estimates of moisture logs by different methods, compared to the methodology of ABNT, generally and by diameter class.

com as demais classes diamétricas. No caso do método da balança analisadora de umidade utilizando tanto a furadeira quanto o trado manual para remoção dos corpos de prova na forma de serragem, esse fato pode ser explicado, pelo menos em parte, pelo menor tempo de contato da broca com a madeira devido à sua menor espessura, uma vez que para a remoção dos corpos de prova na forma de serragem a broca foi introdu-

zida no sentido radial da tora até a sua medula, acarretando em menor aquecimento da broca, quando comparado com o das toras de maior diâmetro, e conseqüentemente menor perda de umidade desses corpos de prova, decorrente do menor tempo de contato da broca com a madeira, fazendo com que as análises realizadas nas toras de menor diâmetro se aproximassem mais da umidade obtida pelo método da ABNT.

Em relação aos medidores elétricos, essa tendência se deve ao fato de as classes de menor diâmetro terem menor gradiente de umidade, quando comparadas com as de maior, consequentemente as toras de menor diâmetro tiveram menor teor umidade, e quanto mais próximo esse valor do PSF melhor são as leituras realizadas por esses aparelhos.

A dispersão dos valores das análises obtidas pelo medidor elétrico resistivo pode ser explicada pela profundidade da penetração dos sensores. Segundo Klitzke (2008) e Gann (2010), a profundidade da penetração dos sensores deve ser de aproximadamente um terço a um quarto da espessura da peça para conseguir minimizar questões relativas ao gradiente de umidade. Porém o comprimento dos sensores do aparelho utilizado neste estudo não permite fazer as leituras nessa espessura de penetração para as classes de diâmetro aqui utilizadas. Deve-se levar em consideração que esses aparelhos possuem eletrodos de forma variada, adequados para diferentes espessuras. Entretanto, quando se trabalha com madeira em tora, ao inserir os eletrodos desses aparelhos, é difícil a sua remoção, o que acarreta em dispêndio de tempo e também em dificuldade de realizar as análises. Outro fator que deve ser levado em consideração, em se tratando da utilização da madeira em tora seca ao ar livre, é que ela se encontra acima do teor de umidade que esse tipo de aparelho consegue determinar com precisão, pois de acordo com Moreschi (2005) esse aparelho determina diretamente teores de umidade compreendidos entre 6 e 25%, com precisão de aproximadamente 1,5%, dependendo de seu modelo.

A perda de precisão das estimativas de teor de umidade acima do PSF é explicada por Jankowsky (2000), que atribui à presença de água livre acima desse ponto, que apresenta resistência muito menor que a da madeira. Ressalta-se, de acordo com diversas literaturas, que suas determinações são subestimadas para teores de umidade acima do ponto de saturação das fibras (PSF), tendo maior precisão para a faixa de 10 a 30%. Isto explica os desvios crescentes à medida que o teor de umidade da madeira aumenta.

Segundo James (1998), a maioria dos medidores de umidade, quando apropriadamente utilizados, fornece uma estimativa do teor de umidade rápida e suficientemente precisa para a maioria dos casos, quando abaixo de 30% de umidade. Já Simpson (1991) ressalta que 7 % é o limite inferior para que as medidas do teor de umidade sejam válidas.

Já no caso dos medidores capacitivos, o melhor ajuste de correlação para as toras de menor classe diamétrica em relação à de maior se deve ao efeito de profundidade do campo elétrico, que apesar de não ser linear diminui logaritmicamente na zona externa em direção ao interior da madeira. Este fato implica que em madeira com umidade uniforme em toda sua espessura, ou seja, sem a presença de variação do teor de umidade entre a parte mais externa e aquela mais interna, o valor da leitura terá boa precisão. Todavia, em madeira com gradientes de umidade, no caso da madeira em tora, o valor da medição será uma estimativa, e não um valor exato, sendo necessário realizar ajustes para corrigir essa variação.

Segundo Franzoi (1997), o valor obtido pelo medidor capacitivo não indica o valor da superfície da madeira, mas sim da média do teor de umidade abrangido pelo seu campo elétrico, que varia em função do aparelho.

Simpson (1991) afirma que os medidores capacitivos têm abrangência de até 19 mm de profundidade nas leituras do campo elétrico, com influência predominante da camada externa.

Correções para os Métodos Alternativos Fator de correção

Na Tabela 2 estão os valores do fator de correção para cada método alternativo utilizado neste estudo.

Tabela 2. Fatores de correção do teor de umidade da madeira em tora em função do Método.

Table 2. Correction factors of moisture content of wooden logs according to the method.

Método Alternativo	Fator de Correção
Furadeira	1,0707
Trado	1,1561
Capacitivo	1,2678
Resistivo	2,2054

O valor obtido pelo fator de correção para cada método alternativo aqui testado indica que todos esses métodos subestimam o valor do teor de umidade obtido pelo método da ABNT.

Observa-se que quanto maior a precisão do método em relação ao método da ABNT mais próximo de 1 é o valor obtido pelo fator de correção. Como o método da balança analisadora de umidade utilizando a furadeira para retirada dos corpos de prova foi o que mais se aproximou do método da ABNT, ele teve um fator de correção mais próximo de 1. O valor do fator de correção obtido por esse método (1,0707) indica

que ele teve uma diferença média de - 6,10% em relação ao valor obtido pelo método da ABNT.

Modelo de regressão

Na Tabela 3 estão os parâmetros e os coeficientes da regressão para os métodos alternativos de determinação do teor de umidade da madeira em tora testados nesse estudo.

Na Figura 4 está a dispersão dos valores de umidade da madeira obtidos pelo método da ABNT, em função de cada método alternativo, em que: (a) leitura direta; (b) fator de correção; (c) regressão.

Observa-se que tanto o fator de correção quanto o modelo de regressão tiveram bons ajustes para todos os métodos alternativos para determinação do teor de umidade da madeira em tora aqui testados, ou seja, cada método alternativo utilizado nesse estudo, quando submetido a essas correções, foi estatisticamente igual ao método da ABNT (Tabela 5), devendo-se ressaltar que a correção obtida pelo modelo de regressão foi a que teve melhor ajuste, como pode ser observado na Figura 6.

Já era esperado que a correção utilizando o modelo de regressão seria mais precisa do que o fator de correção, pelo fato de o modelo de regressão, além de corrigir a diferença do teor de umidade obtida pelo método da ABNT em relação ao valor obtido pelo método alternativo, também corrigir a diferença média entre os valores obtidos pelas diferentes classes de diâmetro utilizadas neste estudo, ou seja, o modelo utiliza dois fatores de correção, que são os parâmetros da regressão (β_1 e β_2).

Deve-se levar em consideração que tanto o fator de correção quanto o modelo de regressão utilizados nesse estudo foram feitos para o material em estudo, ou seja, ao utilizar essas correções para esses métodos alternativos em outras madeiras submetidas a diferentes condições de secagem, densidade, entre outras características inerentes da madeira, essas correções podem vir a não ter o mesmo efeito obtido nesse estudo. Ao utilizar as correções para esses métodos alternativos de determinação do teor de umidade da madeira em tora, aconselha-se realizar uma amostragem do material que irá ser trabalhado,

Tabela 3. Coeficientes das regressões.
Table 3. Regression coefficients.

Método Alternativo	β_0	β_1	β_2	R ²	Sy.x
Furadeira	1,4679	0,4774	0,8987	0,9013	3,7319
t=	0,5627	2,2715	14,6968		
Trado	6,0557	1,2042	0,6401	0,8009	5,2997
t=	1,6832	4,5129	9,0217		
Capacitivo	-5,6116	2,5998	0,4905	0,6087	7,4310
t=	-0,7659	8,3914	4,0424		
Resistivo	-13,9648	2,4385	1,2962	0,6181	7,3409
t=	-1,6120	7,9402	4,2432		

Tabela 4. Valores médios de teor de umidade em função dos métodos de amostragem e determinação do teor de umidade da madeira para leitura direta, fator de correção e modelo de regressão.

Table 4. Mean values of moisture content depending on the sampling and determination of moisture content of wood for direct reading, correction factor and regression model.

Métodos (ABNT)	Média	Desvio-Padrão	N	Diferença	t	df	p	Conclusão
Leitura Direta								
Furadeira	51,8889	11,3315	54	3,3704	6,4453	53	0,0000	Diferente
Trado	48,6481	12,3977	54	6,6111	7,4252	53	0,0000	Diferente
Capacitivo	44,5926	8,4172	54	10,6667	6,4522	53	0,0000	Diferente
Resistivo	25,1852	3,3142	54	30,0741	20,2706	53	0,0000	Diferente
Fator de Correção								
Furadeira	55,5582	12,1328	54	-0,2989	-0,5570	53	0,5799	Iguais
Trado	56,2440	14,3335	54	-0,9847	-0,9740	53	0,3345	Iguais
Capacitivo	56,5343	10,6713	54	-1,2751	-0,7116	53	0,4798	Iguais
Resistivo	55,5426	7,3090	54	-0,2834	-0,1891	53	0,8507	Iguais
Modelo de Regressão								
Furadeira	55,2593	11,3021	54	0,0000	0,0000	53	1,0000	Iguais
Trado	55,2593	10,6823	54	0,0000	0,0000	53	1,0000	Iguais
Capacitivo	55,2593	9,3810	54	0,0000	0,0000	53	1,0000	Iguais
Resistivo	55,2593	9,4490	54	0,0000	0,0000	53	1,0000	Iguais

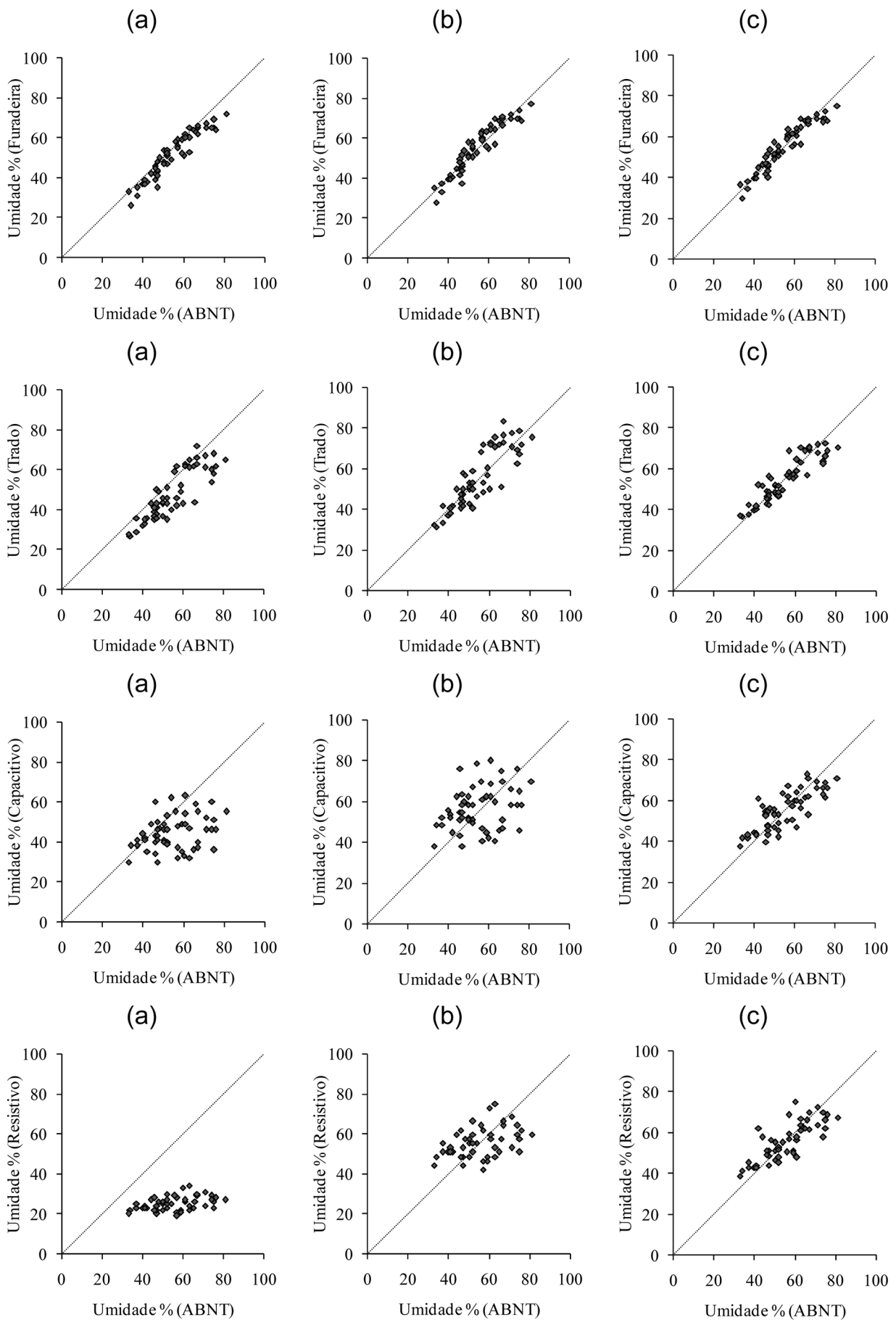


Figura 4. Dispersão dos valores de umidade obtidos pelo método tradicional (ABNT) em função de cada método alternativo, em que (a) leitura direta; (b) fator de correção; (c) regressão.

Figure 4. Dispersion of moisture values obtained by the traditional method (ABNT) as a function of each, in which direct (a) reading alternative method; (b) correction factor; (c) regression.

determinar o teor de umidade real dessa amostra e, a partir daí, aplicar os ajustes (calibrar) para o método de determinação de umidade em que se deseja trabalhar.

Na literatura não há registro de trabalhos em que foram utilizados fatores de correção para os métodos aqui mencionados, para obtenção de teores de umidade da madeira em tora mais próximos aos alcançados pelo método gravimétrico da estufa preconizado pela ABNT (2003).

De modo geral, verificou-se que os métodos alternativos utilizados neste trabalho subestimaram o teor de umidade real da tora de madeira, ou seja, foram menos precisos que o método da ABNT, no entanto o uso de fatores de correções pode ser uma alternativa para minimizar o erro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, à Secretaria de Estado, Ciência, Tecnologia e Ensino Superior – SECTES/ MG, a Embrapa Floresta e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento – CNPq pela bolsa produtividade.

CONCLUSÕES

De modo geral, as leituras diretas (sem fatores de correção) para determinação do teor de umidade da madeira pelos métodos alternativos, em comparação com o método da ABNT, foram estatisticamente diferentes. A determinação do teor de umidade utilizando a balança analisadora e a retirada das amostras de serragem com o auxílio da furadeira elétrica foi que mais se aproximou do valor obtido pelo método da ABNT.

Utilizando tanto o fator de correção quanto o modelo de regressão adotado nesse estudo, constatou-se que todos os métodos alternativos de determinação do teor de umidade passaram a apresentar resultados confiáveis, sendo o modelo de regressão mais preciso que o fator de correção.

Assim, desde que se utilize um fator de correção ou um modelo de regressão, os métodos de determinação do teor de umidade da madeira testados nesse estudo são adequados para determinação da umidade da madeira de maneira rápida, barata e eficiente, quando comparados ao método da ABNT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929: Madeira: determinação da densidade básica.** Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

CHAGAS, L. **Secagem da madeira para produção de carvão vegetal.** In: FÓRUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 2, 2010, Sete Lagoas, **Anais...** Viçosa: SIE, 2010.

DONATO, D. B.; CARDOSO, M. T.; CANDIDO W. L.; MAGALHÃES M. A.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O. Metodologia rápida para a determinação da umidade da madeira em tora. In: FÓRUM BRASIL SOBRE BIOMASSA E ENERGIA. 2012, Viçosa, **Anais...** Viçosa: UFV, 2012.

FRANZOI, L. C. N. **A Secagem da Madeira em Estufa: secagem artificial.** Bento Gonçalves: SENAI/CETEMO, 1997, 83 p.

GANN. **Medidores elétricos de umidade de madeira.** 2010. Disponível em: Acesso em: 25 abr. 2014.

JAMES, W. L. **Electric moisture meters for wood.** Madison: Forest Service, 1998, 17 p. (USDA FPL General Technical Report, 6).

JANKOWSKY, I, P. **Melhorando a eficiência dos secadores para madeira serrada.** Piracicaba, IPEF, 2000. 13 p. (Circular Técnica, 191).

KLITZKE, R. J. **Curso de Secagem da Madeira – Manual Didático.** Curitiba: UFPR, 2008. 119 p.

MORESCHI, J. C. **Propriedades Tecnológicas da Madeira – Curitiba: UFPR, 2005, 168 p.**

REGAZZI, A. Teste para identificar a identidade de modelos de regressão e igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 40, n. 228, p. 176-195, 1993.

RODRIGUES, W.; SALES, A. Determinação do teor de umidade da madeira por meio de medidores elétricos. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA SÃO CARLOS, 7, 2000. São Carlos. **Anais...** São Carlos: IBRAMEM, 2000.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual.** Madison: Forest Service, 1991. 274 p. (USDA FPL Agriculture Handbook, 188).

Recebido em 02/07/2014

Aceito para publicação em 04/05/2015