



DENSIDADE DE *Eucalyptus* sp. PRÓXIMA A UMIDADE DE EQUILÍBRIO ESTIMADO PELO MÉTODO DE IMERSÃO¹

Edson Bruder¹, Marcos Antonio de Rezende² & Vladimir Eliodoro Costa³

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar o método de imersão em água para a mensuração da densidade aparente em amostras de madeira não saturadas, enfatizando a aplicação para umidades próximas ao equilíbrio. Foram utilizadas 11 amostras de *Eucalyptus* sp. para mensurar as variações de umidade e volume em função do tempo de imersão. O método de imersão em água mostrou-se apropriado para mensurar o volume de madeira em qualquer umidade. As amostras submetidas à imersão em água, por 10 segundos, para determinação do volume não apresentaram variações, mas constatou-se um aumento médio de umidade de 1,68%, e conseqüentemente o volume deslocado pela imersão foi diminuído no mesmo índice percentual. Com as determinações estimadas de umidade e volume pelas imersões foi possível obter equações de correção que proporcionaram maior precisão aos resultados. Para validação da metodologia proposta foram utilizadas 60 amostras de *Eucalyptus* sp. não saturadas para a mensuração da densidade aparente realizando três repetições consecutivas de imersão com aproximadamente 10 segundos cada. Os resultados das repetições das imersões não apresentaram variações no volume e a variação média da umidade foi 1,87%, a densidade determinada para cada imersão apresentaram resultados estatisticamente iguais.

PALAVRAS-CHAVE: Massa específica, eucalipto, densidade, biomassa.

Eucalyptus sp. WOOD DENSITY ESTIMATED BY WATER IMMERSION METHOD

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the water immersion method to measure air-dry density of non-saturated wood samples, and to emphasize this application for moisture content close to equilibrium. For this purpose, 11 wood samples of *Eucalyptus* sp were used to measure the variation of moisture and volume in function of immersion time. The water immersion appropriate to measure the volume of wood at any moisture content. The samples that were immersed in water for 10 seconds showed no variations but there was a moisture average increase of 1.68%. Consequently, the volume displaced by immersion decreased in the same percentage rate. Using the immersion method, it was possible to obtain correction equations that provided greater precision to the result. To validate the proposed methodology, the apparent density of 60 *Eucalyptus* sp non-saturated wood samples were measured performing three consecutive repetitions of immersion with about 10 seconds each. The consecutive immersions did not showed alterations in volume and the variation of moisture was close to 1.87%, resulting in outputs statistically similar.

KEYWORDS: *Eucalyptus*, specific mass, density, volumetric.

¹, ², e ³ IBB/UNESP. Depto. de Física e Biofísica, Instituto de Biociência. E-mails: embruder@ibb.unesp.br, rezende@ibb.unesp.br, vladimir@ibb.unesp.br

1 INTRODUÇÃO

No sistema agroflorestal brasileiro as espécies mais utilizadas são do gênero *Eucalyptus*, devido as suas características de rápido crescimento, capacidade de adaptação às diversas regiões ecológicas e potencial econômico. O interesse em introduzir outras espécies para a exploração da biomassa florestal, com características estéticas e físicas utilizadas para confecções de móveis de alto nível e para produção de biomassa para fins energéticos, mas o gênero *Eucalyptus* ainda se mantém com maior viabilidade. A madeira de reflorestamento surge como garantia de matéria-prima, consistência em volume, qualidade, custo e com grande contribuição na redução as pressões sobre as florestas nativas (SOUZA et al., 2010).

No Brasil, os programas de melhoramento florestal das empresas de celulose e papel, destacam-se no âmbito mundial pelos excelentes resultados alcançados na área de clonagem do gênero *Eucalyptus*. A caracterização dos clones do gênero *Eucalyptus*, para estabelecimento de florestas com elevada produtividade e alta qualidade, requerem análises e testes de milhares de clones em potencial (GOMIDE; et al., 2010). Várias empresas do setor florestal nacional que utilizam grande quantidade de madeira tornaram-se independentes com as florestas plantadas, devido ao investimento em melhoramento florestal nas últimas décadas para o aumento da produtividade (VIDAL et al., 2015).

Um dos parâmetros utilizados para avaliação da qualidade da madeira proveniente de reflorestamentos é a densidade, que tornou-se importante por relacionar-se com as demais propriedades e direcionar o uso final da madeira (OLIVEIRA, 1998; VALE et al., 1992; TRUGILHO et al., 1996; LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; CRUZ et al., 2003; SHIMOYAMA; BARRICHELLO, 1991 citados por OLIVEIRA et al. 2005; BATISTA et al., 2010).

A determinação da densidade básica é um dos principais ensaios tecnológicos realizados em madeiras de reflorestamentos comerciais do gênero *Eucalyptus*, sendo reconhecida como uma das características importantes para análises da qualidade e utilizada para determinar a massa seca de um povoamento florestal (BATISTA et al., 2010).

A densidade pode ser obtida por vários métodos, dos quais destacam-se: máximo teor de umidade (BELINI et al., 2008; BISON et al., 2009; GOUVÊA et al., 2009; GOMIDE et al., 2010); balança hidrostática (FOELKEL et al., 1971; ANDRADE, 2011); método do Pilodyn (BISON et al., 2009); método de imersão em água (REZENDE, 1997; COSTA; REZENDE, 2008; ARONI; REZENDE, 2007); imersão em mercúrio líquido (REZENDE, 1997); técnica de atenuação da radiação gama - TARG (REZENDE, 1997; COSTA, 2006; ARONI; REZENDE, 2007; COSTA; REZENDE, 2008); método radiológico utilizando o Raio-X (KAENNEL; SCHWEINGRUBER, 1995).

Dentre os vários métodos citados, o máximo teor de umidade, se destaca por ser um dos primeiro métodos utilizados para determinar o volume da madeira em escala comercial, entretanto esta metodologia demanda muito tempo para a saturação das amostras. Assim tornou-se interessante a busca de métodos alternativos, dinâmicos para determinar o volume e conseqüentemente a densidade básica (GOUVÊA et al., 2009; GOMIDE et al., 2010)

O método de imersão em água é utilizado para determinações de volumes de amostras saturadas (BELINI et al., 2008; LIMA; GARCIA, 2010). Este método de determinação do volume é preciso, simples e aplicável para amostras com formato irregular, mas requer a sua massa seca para determinar a densidade básica (FOELKEL et al., 1971). A saturação das amostras é fator limitante, que exige a disponibilidade de tempo, em que muitas vezes não é possível. O volume determinado pelo peso do fluido deslocado, no método de imersão em água, proporciona mensurar o volume saturado (PALERMO, 2003; ARONI; REZENDE, 2007; COSTA; REZENDE, 2008; JAMMAL FILHO, 2011; SANTOS, 2011).

Para a caracterização da madeira de reflorestamentos comerciais são necessárias análises de rotina, que devem ser rápidas, precisas e de baixo custo, visando à melhoria de qualidade da matéria prima e do produto final. Os métodos laboratoriais disponíveis atualmente são demorados, o que os tornam inviáveis para análises em processos de rotina (SANTOS et al., 2009).

O método de atenuação da radiação gama é mais indicado para investigação de pequenas variações da densidade de madeira em forma de disco ao longo da direção radial, com a umidade próxima ao equilíbrio (REZENDE, 1997; COSTA; REZENDE, 2008; PALERMO, 2003).

A qualificação da madeira pela densidade aparente é importante para a sua correta utilização (OLIVEIRA et al., 1990; GARCIA, 1990). A dificuldade na caracterização da madeira não saturada está na mensuração do volume para umidades abaixo do ponto de saturação das fibras, devido às variações volumétricas abaixo deste ponto (PANSHIN; ZEEUW, 1970; KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; SKAAR, 1971; COSTA; REZENDE, 2008).

A restrição quanto à aplicabilidade do método de imersão em água para determinação da densidade de madeira não saturada, está na absorção da água que ocasiona erros experimentais. A absorção de água na madeira promove variações de umidade e volume, e conseqüentemente haverá uma diminuição do volume da água deslocada, ocasionando um erro na mensuração do volume. Estes erros estão diretamente relacionados com tempo de imersão e teor de umidade da amostra.

Não existem estudos sobre a aplicação do método de imersão em água para determinação do volume de

amostras de madeira não saturadas, e principalmente, na umidade próxima do equilíbrio. Diante disto, o objetivo foi avaliar o método de imersão em água e corrigir os erros promovidos pela absorção de água em amostras de madeira não saturadas, enfatizando a aplicação para umidades próximas ao equilíbrio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As árvores de *Eucalyptus* sp. utilizadas são provenientes da Fazenda Pitangueiras (coordenada 22° 57' 38.97" S de latitude, -48° 31' 54.27" W de longitude) no município de Botucatu - SP. As árvores foram retiradas de um talhão de 2280 árvores com aproximadamente 1 hectare, com espaçamento de 3,0 x 1,5 m com seis anos de idade, coletada em fevereiro de 2010. As árvores foram cultivadas em latossolo vermelho distrófico típico, textura argilosa e relevo ondulado.



Figura 1A

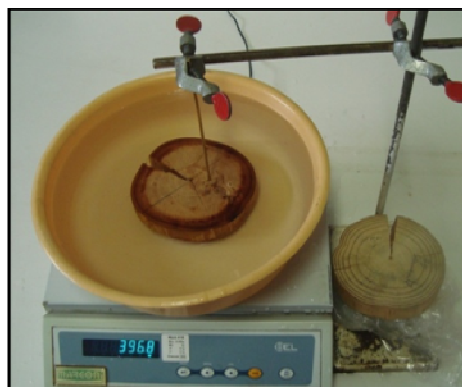


Figura 1B

Figura 1 - Procedimento para mensurar o volume da amostra de madeira não saturadas em forma de disco pelo método de imersão em água. Figura 1A apresenta a amostra antes da imersão e a Figura 1B a amostra imersa de *Eucalyptus* sp.

Para determinar a variação de umidade e volume em função do tempo de imersão foram selecionadas 11 amostras com valores de umidade entre 1 e 19% e densidade entre 400 e 700 kg.m⁻³. Foram realizadas cinco repetições de imersões por 10 segundos para mensuração do volume e 15 segundos para a mensuração da umidade das amostras em cada repetição.

Foram obtidas a massa inicial (M_i) e massa seca (M_0) de cada amostra para o cálculo da umidade base seca, conforme a Equação 1. A variação da umidade (Δ_U) na madeira foi obtida a partir da massa inicial, final (M_f) e seca das amostras, antes e depois da imersão, conforme a Equação 2. O percentual da variação de volume ($\Delta_{V\%}$) foi obtido a partir do volume inicial (V_i) e final (V_f) entre duas imersões diferentes, conforme a Equação 3.

$$U = \left(\frac{M_f - M_0}{M_0} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

$$\Delta_U = U_f - U_i = \left(\frac{M_f - M_0}{M_0} \right) 100 - \left(\frac{M_i - M_0}{M_0} \right) 100 \Rightarrow \Delta_U = \left(\frac{M_f - M_i}{M_0} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

$$\Delta_{V\%} = \left(\frac{V_f - V_i}{V_i} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Para verificar o erro experimental na aplicação do método de imersão em água na determinação da densidade, em amostras de madeira não saturada, foram selecionadas 60 amostras de *Eucalyptus sp.* com umidade entre 12 e 14%, e classificadas em classes diamétrais, conforme o tamanho G_1 , G_2 e G_3 , respectivamente pequeno, médio e grande. Para cada amostra foram obtidos os valores da densidade em três repetições, primeiro mediu-se a massa da amostra antes da imersão em seguida o volume com imersões de 14 segundos em média, obedecendo o intervalo de 30 segundos entre cada repetição.

Os dados coletados foram analisados utilizando o software para obtenção dos gráficos e ajuste das equações o *MICROCAL SOFTWARE, INC. Data analysis and technical graphics software. Origin Professional Version 7.0.* Para comparar as variáveis de volume e densidade das amostras G_i , foram efetuadas análises de variância, após confirmação da homogeneidade das variâncias dos resíduos pelo teste de Bartlett, e da distribuição normal com a aplicação do

teste de normalidade pelo teste de Lilliefors. Estes testes foram realizados para todas as amostras que foram submetidas a uma análise de variância e apresentando resultados significativos foi efetuado o teste de Tukey.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A absorção de água durante o experimento não afetou significativamente os resultados, que ressaltam a precisão estimada por Bruder (2012) por três metodologias, o método de imersão, equivalência de área e o Método de Atenuação da Radiação Gama.

A Tabela 1 apresenta as características e os resultados das 11 amostras submetidas ao ensaio da variação de umidade e volume em função do tempo. As características da madeira apresentadas foram a massa aparente ou inicial, a variação de umidade e de volume, umidade inicial, a densidade a 12%, e a variação percentual de volume por unidade de massa obtidos por imersão em água de amostras de *Eucalyptus sp.*

Tabela 1 - Características físicas e resultados de massa inicial (M_i), variação de umidade ($\Delta U\%$), umidade ($U\%$), densidade aparente (ρ_{12}) e percentual de variação de volume ($\Delta V\%$) obtidos do ensaio de imersão em água em amostra de madeira de *Eucalyptus sp.*

Amostra	M_i (g)	ΔU	U	ρ_{12} (kg.m ⁻³)	$\Delta V\%$	$\Delta V\%/\Delta U$
1	184	4,60	18,7	660	0,788	0,171
2	346	4,34	19,1	582	0,466	0,098
3	44,2	7,07	16,6	570	0,816	0,115
4	178	5,16	12,7	646	1,06	0,205
5	116	5,01	14,9	639	0,122	0,029
6	156	5,68	9,80	487	0,446	0,078
7	166	4,10	10,3	527	0,421	0,103
8	72,2	6,71	9,96	548	0,840	0,125
9	85,4	3,07	3,40	653	0,155	0,087
10	92,2	3,53	1,01	675	0,628	0,143
11	312	4,47	11,4	656	1,06	0,236
Média					0,618±0,3	0,126±0,1

A partir dos resultados da variação do volume e da umidade foram determinadas as variações de volume por unidade de umidade. As amostras apresentaram a variação de umidade entre 3,07 a 7,07% e a variação do

volume média determinada foi de 0,618%, conforme Tabela 1.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados médios da variação de umidade e da variação de volume, para amostras com umidade inferiores a 19% em função do

tempo. O tempo gasto na primeira imersão foi de 9,0 segundos e a variação de umidade foi de 1,65%. O período de 9,0 segundos foi determinado a partir dos dados médios das imersões.

No período total de imersão de 97 segundos foi observada uma variação da umidade de 4,91%, que corresponde ao valor da variação do volume de 0,603%, portanto, em apenas uma única imersão por um período de 33 segundos a variação do volume foi de 0,226%.

Tabela 2 - Variação média de umidade ($\bar{\Delta}_U$) e do volume ($\bar{\Delta}_V$) obtidos pelo método de imersão em água em cinco repetições (I), determinadas em função do tempo (t) em segundos de amostras da espécie de *Eucalyptus* sp.

Variação			
Imersão (I)	Tempo (t) Total (segundos)	Umidade ($\bar{\Delta}_U$)	Volume % ($\bar{\Delta}_V$)
1	9,0±1,8	1,65±0,7	0,0
2	33±3,1	2,71±0,9	0,226±0,16
3	57±4,4	3,87±1,0	0,366±0,27
4	82±5,2	4,49±1,2	0,474±0,27
5	97±4,1	4,91±1,2	0,603±0,27

A preocupação com a aplicação do método de imersão neste caso é a absorção de água durante o experimento, que registraram em média um aumento da umidade da amostra em torno de 3% depois de 33 segundos, conforme Tabela 2. Entretanto para um tempo de imersão de dez segundos (tempo suficiente para

realização do experimento) esta variação foi em média inferior a 2%.

A Figura 2 apresenta o aumento da variação de umidade e volume conforme o tempo de imersão em água das amostras de madeira.

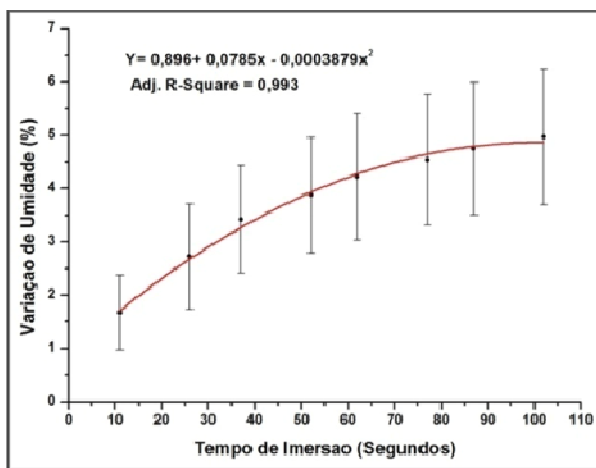


Figura 2A – Variação de Umidade

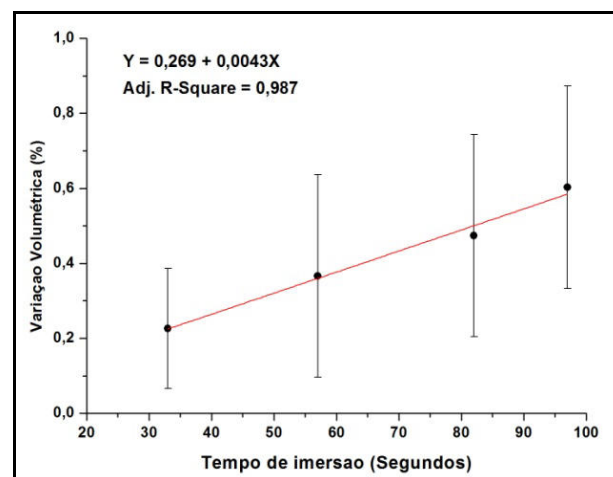


Figura 2B – Percentual da variação do volume

Figura 2 - Variação média de umidade (Δ_U) e de volume (Δ_V) determinados pelo método de imersão em água em função do tempo em segundos em 11 amostras de *Eucalyptus* sp.

As Equações 4 e 5 foram elaboradas com os resultados médios da variação de umidade, e apresentaram o

coeficiente de determinação (R^2) alto. Quando se considerou a variação entre as amostras notou-se que o

desvio padrão foi alto não demonstrando uniformidade na variação, conforme Figura 2. A variação de umidade tem um comportamento que apresenta variações

conforme a espécie e árvore (REZENDE, 1987; HERRERA, 1989; BRASIL et al., 1991).

$$Y = 0,896 + 0,0785x - 0,0003879x^2 \quad \therefore R^2 = 0,993 \quad (\text{Figura 2A}) \quad (4)$$

$$Y = 0,0997 + 0,0049x \quad \therefore R^2 = 0,998 \quad (\text{Figura 2B}) \quad (5)$$

Na Tabela 3 foram utilizadas as equações obtidas pela variação de umidade em função do tempo, das amostras da Tabela 1, para estimar a variação de umidade em um período de 10 segundos de imersão. A variação média de umidade foi de 1,68%. A partir deste resultado estimou-se a Equação 6 e a correção do volume mensurado por imersão. Entretanto a variação média de umidade será menor se a imersão das amostras se concretizarem entre 6 ou 7 segundos, obtendo a variação média da umidade em torno de 1%. Este tempo de imersão para determinar o volume é suficiente para a realização do experimento.

A interação entre madeira e água no momento da imersão, diminuiu em 1,68% o volume de água deslocado pela amostra, ou seja, diminuiu o empuxo. As equações são direcionadas para amostras que possuem a umidade abaixo do ponto de saturação das fibras.

A Equação 7 corrigiu o volume pela variação de umidade de uma forma individualizada que é quantificada pela variação de umidade (Δ_U).

Tabela 3 - Equações polinomiais (E_p), resultados das variações de umidade (\square_U) estimadas em 10 segundos, densidade aparente (ρ_{12}) das amostras de *Eucalyptus sp.*

Amostra	Equações (E_p)	Δ_U (x = 10)	ρ_{12} (kg.m ⁻³)
1	$Y = 0,687 + 0,0876x - 0,0004934x^2$	1,51	660
2	$Y = 0,73952 + 0,08106x - 0,00046339x^2$	1,50	582
3	$Y = 0,7623 + 0,111x - 0,0004828x^2$	1,82	570
4	$Y = 0,3262 + 0,1066x - 0,0005937x^2$	1,33	646
5	$Y = 1,1864 + 0,0573x - 0,00021043x^2$	1,78	639
6	$Y = 1,80294 + 0,0631x - 0,0002673x^2$	2,41	487
7	$Y = 0,9691 + 0,06562x - 0,00034186x^2$	1,59	527
8	$Y = 2,047 + 0,0887x - 0,0004344x^2$	2,89	548
9	$Y = 0,01981 + 0,04421x - 0,00013697x^2$	0,45	653
10	$Y = 0,436 + 0,0488x - 0,000182x^2$	0,91	675
11	$Y = 1,567 + 0,0733x - 0,0004388x^2$	2,26	656
Média		1,68±0,68	604±64

As Equações 6 e 7 utilizadas para a correção do volume foram determinadas a partir das curvas experimentais da variação da umidade, determinadas em um período de imersão de 10 segundos conforme Tabela 3.

$$V_{Real} = V \cdot 1,0168 \quad (6)$$

$$V_{Real} = V + V_{\Delta M} \quad (7)$$

Sendo:

V_{Real} : volume da amostra corrigido (m³);

V : volume obtido da amostra (m³);

$V_{\Delta M}$: volume obtido pela diferença da variação de massa individual ($(M_f - M_t) \cdot \rho_{\text{água}}$).

Analogamente foram determinadas as equações polinomiais levando em consideração apenas as

variações de volume e obtendo a Equação 8, que apresenta um erro ainda menor que as Equações 6 e 7.

$$V_{Cor} = V \cdot 1,00287 \quad (8)$$

Como o resultado da variação de volume foi praticamente desprezível, a correção do volume pela Equação 8, pode ser omitida. Portanto: $V_{Cor} = V$.

Os resultados da verificação do erro experimental na aplicação do método de imersão em água para a determinação da densidade da madeira obtiveram os

valores médios para as três repetições, das três classes diamétrais (ρ_i) de $632 \pm 47,1 \text{ kg.m}^{-3}$, sendo esta, a densidade média de todas as 60 amostras analisadas e a variação média entre ρ_1 e ρ_3 de G_1 foi de $1,87 \pm 1,1\%$. Pode-se constatar que resultados de densidade apresentados para primeira, segunda e terceira imersão foram estatisticamente iguais, conforme Tabelas 4 e 5. Entretanto, pode-se fazer uma pequena correção pelas Equações 6 e 7, aproximando ainda mais esses resultado.

Tabela 4 - Densidades médias a 12% umidade obtidas pelo método de imersões em água, com três repetições (ρ_1, ρ_2, ρ_3) em três grupos diamétrais (G_1, G_2, G_3) com os respectivos coeficientes de variações (CV) de amostras da espécie de Eucalyptus sp.

Amostras	Densidade (kg.m^{-3})			CV%
	ρ_1	ρ_2	ρ_3	
G ₁	621±58	633±57	636±57	09
G ₂	638±46	645±44	648±43	07
G ₃	618±39	624±36	627±36	06

Na Tabela 5 a análise foi elaborada para verificar a influência da umidade nos três momentos de imersão (ρ_i) a partir da Tabela 4. A análise de variância foi realizada para as três repetições (ρ_i) de imersão para os três grupos diamétrais (G_i), conforme a Tabela 5. Os resultados apresentaram que houve diferenças significativas

($p < 0,05$) para a variável *Dimensões*, devido a classificação diamétrica. Para as variáveis de *Imersão* e a interação entre *Imersões x Dimensões* não houve diferenças significativas ($p < 0,05$).

Tabela 5 - Análise de variância referente às determinações de densidade das amostras G_i , nas três repetições ρ_i pelo método de imersão de amostras da espécie de Eucalyptus sp.

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Significância
<i>Imersões</i> - (ρ_i)	2	0.4091691E-02	0.2045845E-02	0.925	****
<i>Dimensões</i> - (G_i)	2	0.1372702E-01	0.6863512E-02	5.105	0.04738
<i>Densidade x Dimensões</i>	4	0.2362775E-03	0.5906938E-04	0.027	****
Resíduo	171	0.3780348	0.2210730E-02		

*Valores não significativos a 5% de probabilidade

Os resultados da análise de variância, para a densidade determinada a partir da massa a 12% de umidade,

demonstraram que houve diferenças significativas ($p < 0,05$) para a variável *Dimensões*. Este fato pode ser

explicado devido à classificação diametral. Para as variáveis *Imersão* e *Imersões x Dimensões* não houve diferenças significativas ($p > 0,05$).

As análises evidenciaram a baixa variabilidade da densidade determinada utilizando a variação de umidade adquirida no momento da imersão e a umidade aparente a 12%.

Deve-se ressaltar que os resultados apresentados apesar de permitirem certa flexibilidade, somente são válidos para gênero *Eucalyptus* e qualquer extrapolação para outras situações exige cuidados especiais e apenas devem ser realizados com embasamento científico experimental.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que:

A metodologia proposta permitiu determinar a densidade aparente com umidade próxima à umidade de equilíbrio, em torno de 12%, em amostras de madeira com dimensões irregulares e com rapidez e precisão.

É importante enfatizar que a variação entre V_{Real} e o V foi pequena, os resultados mostram que esta correção pode ser omitida, principalmente para a determinação de volume em imersões com tempos inferiores a 7 segundos.

5 REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. C. N. **Crescimento micelial, produção e características bromatológicas do shiitake em função de linhagens e de propriedades físicas e químicas de espécies e clones de eucalipto.** 2007. 195 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

ARONI, A. S.; REZENDE, M. A. Avaliação anual dos índices de produtividade do híbrido do Basic density and retractibility of wood clones of *Pinus Caribaea var. hondurensis* x *Pinus tecnumannii*, no Estado de São Paulo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 17-32, 2007.

ASTM. **Designation:** D2395-7a: standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials. West Conshohocken, 2013. 9p.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Basic density and retractibility of wood clones of three *Eucalyptus* species. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, out-dez., 2010.

BELINI, U. L.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M. P.; DIAS, C. T. S. Caracterização da estrutura anatômica, densidade básica e morfologia de cavacos da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de painéis MDF. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 707-713, ago. 2008.

BISON, O.; RAMALHO, M. A. P.; REZENDE, G. D. S. P.; AGUIAR, A. M.; RESENDE, M. D. Half-diallel between *Eucalyptus camaldulensis* clones and *E. grandis*, *E. urophylla*, and *E. saligna* clones. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 395-402, jun. 2009.

BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A.; SANSÍGOLO, C. A. Correlação entre densidade básica e variáveis dendrométricas de *Pinus elliottii engelm var. Elliotti*. **Científica**, São Paulo, v. 19, p. 181-188, 1991.

BRUDER, E. M. **Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de *Eucalyptus sp.*** 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E.urophylla*.** 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

COSTA, V. E.; REZENDE, M. A. Produtividade de reflorestamentos de seminal, clone e híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*1 na região de Botucatu, SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 23, n. 2, p. 115-128, 2008.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-37, 2003.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, n. 2-3, p. 65-74, 1971.

GARCIA, J. N. Tecnologia de produtos florestais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: SBS, 1990. p. 685-689.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Analysis of wood quality criteria of *Eucalyptus* wood

for kraft pulp production. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 339-344, abr. 2010.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILO, P. F.; COLODETTE, J. L.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; GOMIDE, J. L. Avaliação da madeira e da polpação kraft em clones de eucaliptos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1175-1185, dez. 2009.

HERRERA, M. E. F. **Densidade básica e equações de peso de madeira seca de povoamentos de *Eucalyptus* de acordo com a idade local, espécie e método de regeneração**. 1989. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Escola Superior de Agronomia de Lavras, Lavras, 1989.

JAMMAL FILHO, F. A. **Determinação da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus spp.* a idades passadas com uso da técnica de atenuação de radiação gama**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

KAENNEL, M.; SCHWEINGRUBER, F. H. **Multilingual glossary of dendrochronology**. Birmensdorf: Swiss Federal Institute for Forest, 1995.

KOLLMANN, F.; COTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.

LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropedica, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Variação da densidade aparente e resistência à compressão paralela às fibras em função da intensidade de desbaste, adubação e posição radial em *Eucalyptus grandis* hill ex- maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 551-559, 2010.

OLIVEIRA, J. T. S.; [HELLMEISTER, J. C.](#); [TOMAZELLO FILHO, M.](#) Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; LUCIA, R. M. D.; VITAL, B. R. Estudos das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da pindaíba (*Xylopia-lericea-It. Hill*): densidade, umidade e secagem da madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 14, p. 139-54, 1990.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1998. 429 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

PALERMO, G. P. M. **Qualidade da madeira de árvores resinadas de *Pinus elliottii* Engelm.** 2003. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais / Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais)-Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 705 p.

REZENDE, M. A. **Estudo dos anéis de crescimento de duas variedades de *Pinus caribaea* cultivadas na Bahia para avaliação da produtividade, massa específica e nutrição mineral**. 1987. 144 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

REZENDE, M. A. **Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama**. 1997. 138 f. Tese (Livre-Docência)-Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

SANTOS, M. D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. Botucatu. 2011. 140f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

SANTOS, R. B.; GOMIDE, J. L.; SOUSA, L. C. Predição de qualidade da madeira e da polpa celulósica por técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 759-767, ago. 2009.

SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1971. 218 p.

SOUZA, C. R.; AZEVEDO, C. P., LIMA, R. M.; ROSSI, L. M. B. Comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 1, p. 127-134, 2010.

TRUGILHO, F. P.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e

anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VALE, A. T.; MARTINS, I. S.; ARAÚJO, W. O. Estudo da densidade básica de três espécies do cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 16, n. 2, p. 209-217, 1992.

VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; JANKOWSKY, I. P. Wood preservation in Brasil: historical, current scenario and trends. **Ciência Florestal**, v.25, n.1, Santa Maria, jan./mar. 2015.