

Efeito da água quente e pressão na determinação da densidade básica da madeira

Effect of the hot water and pressure in the wood basic density determination

Paulo Fernando Trugilho
José Tarcísio Lima
Adair José Regazzi
José Reinaldo Moreira da Silva

RESUMO: O objetivo do presente trabalho foi verificar o efeito do tratamento com água quente, sob condição de fervura, na saturação da madeira e determinação de sua densidade básica. Utilizaram-se os métodos de imersão e do máximo teor de umidade para a determinação da densidade. Foram realizados dois experimentos, sendo um composto por fervura e outro por fervura sob pressão. Cada experimento foi conduzido com três tempos de fervura (tratamentos) e cinco repetições. Os tratamentos para cada experimento foram comparados com um tratamento padrão pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Utilizaram-se 12 diferentes espécies madeireiras. Pelos resultados verificou-se que para o método de imersão, o uso da água quente foi eficiente para promover a saturação da madeira e determinação da densidade básica para todas as madeiras usadas. O aumento do tempo de fervura provocou redução no valor da densidade básica no método do máximo teor de umidade. O experimento que utilizou a fervura associada à pressão, foi muito drástico para algumas das madeiras avaliadas, principalmente para o método de imersão. Para os dois métodos, os tratamentos que utilizam água quente associada à pressão provocaram redução significativa na densidade básica na maioria das madeiras usadas, especialmente para o tempo de três horas.

PALAVRAS-CHAVE: Densidade básica, Madeira, Água quente, Pressão, Saturação

SUMMARY: This research aimed at verifying the effect of the treatment with hot water, under boiling condition, in the saturation of twelve different wood species and also in the determination of its basic density. Two methods for determining the basic density were employed: the immersion and the maximum moisture content methods. Two experiments, the boiling and the boiling under pressure, were carried out. Each experiment was carried out with three boiling (treatments) and five repetitions. The treatments, for each experiment, were compared with a standard treatment through test of Dunnett at 5% of probability. It was verified that, for the immersion method, the use of the hot water was efficient to promote the saturation of wood and the determination of its basic density, especially for the experiment with boiling water. The boiling time increase caused reduction in the basic density method in the maximum moisture content method. The experiment that uses boiling associated with pressure, was very drastic for some wood, mainly for the immersion method. For the two methods, the treatments that use boiling water associate to the pressure resulted in significant reduction in the determination of the basic density in most of the used wood, especially considering three hours of boiling time.

KEYWORDS: Wood, Boiling, Pressure, Saturation, Basic density

INTRODUÇÃO

A densidade é considerada uma das características mais importantes da madeira, pois nela estão reunidas correlações entre as diversas propriedades da madeira, que justificam o seu uso como índice de qualidade. De acordo com Pereira (1982) a densidade merece atenção especial em decorrência da sua íntima relação com importantes características tecnológicas e econômicas, tais como resistência mecânica, estabilidade dimensional, produção e qualidade da polpa celulósica e carvão vegetal, bem como os custos operacionais ligados ao transporte e armazenamento da madeira.

Densidade é a expressão da relação entre a massa de um corpo e o seu volume (Durgo, 1991). A madeira apresenta diferentes densidades: a densidade básica, a densidade aparente e a densidade seca.

A densidade básica é a relação entre a massa seca e o seu volume verde, obtendo-se a menor densidade da madeira, pois utiliza a razão entre a menor massa e o máximo volume. A densidade aparente é a relação entre a massa e o volume a um teor de umidade conhecido. Abaixo do ponto de saturação das fibras, a madeira pode ganhar ou perder água para o meio, dependendo das condições de umidade relativa local; à medida em que perde água, a madeira tem o seu peso e volume reduzidos, enquanto ocorre o inverso quando a madeira ganha água do meio e como as perdas e ganhos em peso e volume não são proporcionais, daí a densidade aparente variar com o teor de umidade. A densidade seca é a relação entre massa seca e o seu volume seco.

O maior obstáculo na determinação da densidade da madeira é a determinação do seu volume, especialmente para as amostras de forma não definida. Vários pesquisadores verificaram formas mais rápidas para a determinação da densidade de madeiras, citam-se, assim, os trabalhos de Vital (1984) e Trugilho et al. (1990).

Em madeiras que já atingiram o equilíbrio higroscópico, o problema maior é promover sua completa saturação com água. A aplicação de vácuo e/ou pressão, além de demandar muito tempo, pode não garantir a saturação, uma vez que algumas espécies desenvolveram artifícios de defesa, os quais impedem o livre acesso da água no interior dos tecidos, provocando a sua impermeabilização. Estes mecanismos são oriundos de entupimentos dos elementos de vaso pelas tilas e da presença de certos extrativos que podem provocar a impermeabilização da madeira, impedindo o fluxo normal de líquidos por ela. Do exposto, observa-se que é difícil determinar o verdadeiro volume saturado para algumas espécies, devido às barreiras impostas à translocação da água pelo indivíduo.

Existem vários métodos para se determinar a densidade básica, sendo que um deles é baseado no princípio de Arquimedes (método de imersão) e outro no máximo teor de umidade (método do máximo teor de umidade). No método de imersão é necessário conhecer a densidade do fluido a ser deslocado e apresenta como vantagem a não necessidade de amostra com forma definida. O método do máximo teor de umidade exige que as amostras estejam completamente saturadas de água. Segundo Browning (1967) este método pode ser aplicado a amostras pequenas, no máximo de 3 mm³, devido à dificuldade de saturá-las completamente.

Uma possível medida para garantir a completa saturação de madeiras que apresentam esses inconvenientes é realizá-la em água quente. A água quente solubiliza os sais inorgânicos, açúcares, frações de polissacarídeos, amido e substâncias pécnicas, mucilagens, taninos hidrolizáveis e alguns pigmentos coloridos. Apesar da água quente ser um tratamento severo para a madeira, ela pode contribuir para a redução do bloqueio imposto por tais substâncias e favorecer a saturação da parede celular

pela água. Este fato permitirá o máximo inchamento da madeira, permitindo a determinação correta da sua densidade básica.

O objetivo do presente trabalho foi verificar o efeito da água quente, sob condição de fervura, e da água quente sob pressão na saturação da madeira e determinação da sua densidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado material de 12 espécies diferentes de madeira na forma de corpos-de-prova de dimensão 2 x 2 x 2,5 cm, com cinco repetições por espécie. As espécies utilizadas foram o angelim pedra (*Hymenobobium petraeum*), angico vermelho (*Anadenanthera peregrina*), cedrinho (*Erisma uncinatum*), *Eucalyptus grandis*, eritrina (*Erythrina* sp), gmelina (*Gmelina arborea*), jacarandá (*Machaerium villosum*), joanésia (*Joanesia princeps*), mogno (*Swietenia macrophylla*), *Pinus* sp, roxinho (*Peltogyne maranhensis*) e sucupira (*Bowdichia* sp). A umidade média inicial das amostras foi de 12,21% (umidade de equilíbrio do local).

Usaram-se dois métodos para a determinação da densidade básica, o método de imersão e o do máximo teor de umidade (MTU). O método de imersão utilizou o mercúrio como líquido a ser deslocado para a obtenção do volume dos corpos-de-prova, sendo que a temperatura do mercúrio foi monitorada durante o experimento para ajuste do seu peso específico. O método do máximo teor de umidade foi realizado conforme proposição de Smith (1954) e Foelkel et al. (1972).

Foram avaliados dois experimentos distintos, a saber: saturação dos corpos-de-prova em água sob fervura e saturação dos corpos-de-prova em água sob fervura, com pressão. Para se conseguir a pressão utilizou-se uma panela de pressão de sete litros. Os dois experimentos foram comparados com o procedimento de

saturação tradicional dos corpos-de-prova, ou seja, com aplicação de vácuo e/ou pressão intermitentes a frio. Este procedimento foi considerado como tratamento controle, para os dois experimentos. Foram utilizados nos experimentos e no procedimento padrão três litros de água.

Nos experimentos 1 e 2 foram usados três tempos de fervura: uma, duas e três horas. Após estes períodos os corpos-de-prova foram imersos imediatamente em água fria, onde permaneceram por alguns minutos. Em seguida as amostras foram pesadas e seus volumes determinados. O choque térmico provocado entre a madeira quente e a água fria teve por objetivo auxiliar a penetração da água no interior da madeira, simulando o que ocorre no tratamento da madeira denominado de banho quente-frio.

Para verificar a eficiência dos tratamentos na saturação das amostras, suas umidades foram determinadas pelo método da estufa (103 ± 2°C) e comparadas, tanto com a umidade atingida pelo método padrão como pelos valores estimados pela fórmula de Stamm (1938), citada por Kollmann e Côté (1968):

$$MTU = \frac{1,5 - DB}{1,5 \times DB} \times 100$$

onde MTU = máximo teor de umidade em %
DB = densidade básica em g/cm³.

Na avaliação dos experimentos utilizou-se o modelo inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições, sendo designados de testemunha, fervura após uma, duas e três horas. Usou-se o teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade, na comparação entre os tratamentos testados. Segundo Banzatto e Kronka (1989) este teste é usado quando as únicas comparações que interessam são aquelas feitas entre um determinado tratamento, considerado testemunha, e cada um dos demais tratamentos entre si.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para a densidade básica, nos experimentos realizados, estão em conformidade com aqueles normalmente reportados na literatura.

Métodos de saturação e umidades provocadas na madeira

O tempo necessário para promover a saturação da madeira, para o tratamento testemunha foi de 12 dias, ou seja, 288 horas de aplicação de vácuo e pressão para todas as madeiras. A saturação das amostras foi atingida quando não mais eram visualizadas saídas de bolhas de ar durante a aplicação de vácuo. A saturação das madeiras representada na Tabela 1 mostra que a umidade padrão apresentada pelas madeiras, após aplicação de vácuo e pressão intermitentes, foi bastante semelhante aos máximos teores de umidade estimados pela fórmula de Stamm (1938), citada por Kollmann e Côté (1968), o que confirma a eficiência do método tradicional de saturação de pequenas amostras de madeira, embora o grande tempo

consumido na operação. A Tabela 1 mostra também que tanto a fervura simples como a fervura sob pressão das madeiras por uma, duas ou três horas proporcionaram-lhes umidade bem acima do ponto de saturação das fibras.

Nesses teores de umidade é possível o cálculo da densidade pelo método de imersão, uma vez que aí, a madeira já atingira seu volume máximo (verde). As umidades apresentadas pelas amostras, que foram apenas fervidas, foram também semelhantes à umidade padrão e ao MTU estimado (Tabela 1). Diferentemente, as umidades das amostras do experimento II (fervura + pressão) apresentaram-se, em média, ligeiramente superiores àquelas apresentadas pelo método padrão. É possível que com a aplicação de pressão, extrativos tenham sido removidos da madeira, cedendo lugar à penetração de mais água. Em alguns casos, esse aumento de umidade é mais notável, como é o caso da gmelina, joanésia, mogno e sucupira; em outros, observou-se redução da umidade: angelim pedra e *E. grandis*.

Tabela 1

Máximo teor de umidade padrão, máximo teor de umidade estimado e umidades observadas nas amostras dos experimentos I e II de madeiras.

(Standard maximum moisture content, estimated maximum moisture content and moisture content observed in the samples of the tests I and II of wood)

Espécie	Umidade Testemunha (%)	MTU Estimado (%)	Experimento I (%)			Experimento II (%)		
			1 h	2 h	3 h	1 h	2 h	3 h
Angelim Pedra	106,07	106,0	100,70	99,15	100,48	90,27	90,11	91,00
Angico Vermelho	82,06	82,4	84,18	85,33	85,03	84,36	83,74	84,34
Cedrinho	149,04	149,3	149,53	150,11	149,19	151,42	150,80	150,79
<i>E. grandis</i>	137,07	137,4	135,67	135,48	137,89	130,45	133,78	133,75
Eritrina	272,77	272,3	271,25	265,86	266,79	279,08	276,63	278,74
Gmelina	164,74	164,8	167,94	167,17	169,61	178,00	174,93	180,12
Jacarandá	99,96	100,3	101,99	102,16	101,34	103,03	101,61	102,92
Joanésia	212,93	211,1	223,99	218,93	220,37	234,42	237,34	235,75
Mogno	88,65	88,9	89,22	89,96	89,20	93,77	94,49	94,98
Pinus	143,89	144,3	142,62	141,61	142,28	146,20	144,88	145,38
Roxinho	60,20	60,6	61,59	61,30	62,91	62,36	61,49	61,97
Sucupira	56,22	56,5	59,55	58,59	58,44	61,12	59,55	60,33

Densidade básica determinada pelo método de imersão

A Tabela 2 apresenta as médias de densidade básica determinadas pelo método de imersão e o teste de comparação múltipla efetuado. Para o experimento I (saturação das amostras em água sob fervura), pode-se observar que apenas a sucupira apresentou diferença significativa entre o tratamento testemunha e o tempo de fervura de uma hora, sendo que para os demais tempos, duas e três horas, a diferença não foi significativa. Para todas as outras madeiras uma hora foi suficiente para umedecer as amostras até promover o volume verde e, assim, determinar a densidade básica com valores estatisticamente semelhantes aos produzidos pelo método de imersão padrão. Com relação ao experimento II (fervura e pressão), que também produziu as densidades básicas de acordo com o método de imersão (Tabela 2), somente as espécies angico vermelho, cedrinho, *Eucalyptus grandis*, eritrina, *Pinus* sp e roxinho não apresentaram diferença signifi-

cada entre o tratamento testemunha e os tempos de fervura e pressão. As espécies angelim pedra, joanésia, mogno e sucupira apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, ou seja, não é aconselhável o emprego de fervura e pressão para propiciar volume verde e peso seco nas mesmas condições do método padrão para determinação da densidade básica dessas madeiras. Para a gmelina e o jacarandá o tratamento testemunha não apresentou diferença significativa com o tratamento duas horas de fervura e pressão, tendo diferido significativamente para os tratamentos uma e três horas. Este fato sugere que essas espécies necessitam de tempo de fervura e pressão maior que uma e menor que três horas. Para o experimento II, o tratamento envolvendo duas horas de fervura e pressão foi o responsável pelas menores diferenças ocorridas em relação ao tratamento testemunha, indicando que esse tempo promove condições adequadas na madeira.

Tabela 2

Densidade básica média obtida pelo método de imersão (Average basic density obtained by the imersion method)

Espécie	Experimento I				Experimento II			
	Testemunha	1h	2h	3h	Testemunha	1h	2h	3h
Angelim Pedra	0,579A	0,600A	0,606A	0,601A	0,579a	0,640b	0,640b	0,637b
Angico Vermelho	0,671A	0,662A	0,657A	0,659A	0,671a	0,661a	0,663a	0,661a
Cedrinho	0,463A	0,462A	0,461A	0,463A	0,463a	0,458a	0,459a	0,459a
<i>E. grandis</i>	0,490A	0,494A	0,494A	0,488A	0,490a	0,507a	0,499a	0,499a
Eritrina	0,295A	0,296A	0,301A	0,300A	0,295a	0,289a	0,291a	0,289a
Gmelina	0,432A	0,426A	0,427A	0,423A	0,432a	0,409b	0,414a	0,406b
Jacarandá	0,599A	0,592A	0,591A	0,594A	0,599a	0,588b	0,593a	0,589b
Joanésia	0,360A	0,345A	0,351A	0,350A	0,360a	0,332b	0,329b	0,331b
Mogno	0,643A	0,640A	0,637A	0,640A	0,644a	0,623b	0,619b	0,618b
Pinus	0,474A	0,477A	0,479A	0,478A	0,474a	0,469a	0,472a	0,471a
Roxinho	0,786A	0,778A	0,780A	0,770A	0,786a	0,774a	0,779a	0,776a
Sucupira	0,812A	0,790B	0,796A	0,798A	0,812a	0,781b	0,790b	0,785b

Letras e fontes idênticas nas linhas indicam a não existência de diferença significativa entre o tratamento padrão e os demais, pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade; h = horas

Densidade básica determinada pelo método do máximo teor de umidade

A Tabela 3 mostra as médias de densidade básica determinadas pelo método do máximo teor de umidade e o teste de comparação múltipla. Pode-se observar que o experimento I resultou em maior número de diferenças significativas com o tratamento testemunha, diferentemente do que ocorreu com o método de imersão. Também se observa que os valores de densidade tendem a reduzir com o aumento do tempo de tratamento para os dois experimentos avaliados. Este fato sugere que o material realmente perde massa com o aumento do tempo de fervura, pois com o aumento da relação peso total/peso seco, devido à perda de massa, tende-se a subestimar a densidade básica no método do máximo teor de umidade.

Para o experimento I somente a joanésia não apresentou diferença significativa com o tratamento testemunha, independente do tempo de fervura. O angico vermelho, cedrinho, *E.*

grandis, jacarandá, mogno e o roxinho apresentaram diferença significativa com o tratamento testemunha em todos os tempos de fervura usados, indicando que essas espécies necessitam de maiores tempos de fervura. A eritrina necessita de pelo menos duas horas de fervura, enquanto que o angelim pedra, gmelina, *Pinus* e sucupira necessitam de três horas.

No experimento II o cedrinho, gmelina, joanésia e a sucupira não apresentaram diferença significativa com o tratamento testemunha somente para duas horas de fervura associada à pressão. A eritrina e o *Pinus* não apresentaram diferença significativa com o tratamento testemunha, independente do tempo de fervura usado. O angelim pedra e o roxinho apresentaram o mesmo comportamento do experimento I. O *E. grandis*, jacarandá e mogno não apresentaram diferença significativa com o tratamento testemunha somente para o tempo de três horas de fervura.

Tabela 3

Densidade básica média obtida pelo método do máximo teor de umidade
(Average basic density obtained by the maximum moisture content method)

Espécie	Experimento I				Experimento II			
	Testemunha	1h	2h	3h	Testemunha	1h	2h	3h
Angelim Pedra	0,579A	0,751B	0,674B	0,626A	0,579a	0,784b	0,685b	0,660a
Angico Vermelho	0,675A	0,925B	0,824B	0,762B	0,675a	0,768b	0,687a	0,671a
Cedrinho	0,487A	0,702B	0,566B	0,530B	0,487a	0,531b	0,478a	0,472b
<i>E. grandis</i>	0,569A	0,913B	0,723B	0,627B	0,569a	0,815b	0,624b	0,569a
Eritrina	0,294A	0,313B	0,303A	0,301A	0,294a	0,294a	0,292a	0,292a
Gmelina	0,643A	0,880B	0,735B	0,657A	0,643a	0,766b	0,638a	0,586b
Jacarandá	0,669A	0,962B	0,863B	0,797B	0,669a	0,893b	0,764b	0,702a
Joanésia	0,360A	0,371A	0,354A	0,352A	0,360a	0,336b	0,341a	0,333b
Mogno	0,768A	1,018B	0,927B	0,858B	0,768a	0,948b	0,853b	0,790a
Pinus	0,476A	0,489B	0,483B	0,480A	0,476a	0,472a	0,470a	0,472a
Roxinho	0,853A	1,087B	1,014B	0,928B	0,853a	1,074b	0,994b	0,928b
Sucupira	0,820A	0,963B	0,867B	0,808A	0,820a	0,897b	0,807a	0,789b

Letras e fontes idênticas nas linhas indicam a não existência de diferença significativa entre os tratamentos, pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade; h = horas

A pressão envolvida no experimento II favorece a penetração da água nos locais mais profundos na parede celular aumentando o inchamento da madeira, provocando um aumento de volume. Em contrapartida o tratamento com água quente, especialmente associado à pressão, pode ocasionar a solubilização de alguns componentes da madeira e provocar a redução de sua massa. Dependendo da magnitude ou intensidade com que evoluem o aumento de volume e perda de massa o reflexo na densidade pode ser de aumento ou redução, o que está em conformidade com os apresentados por Tsoumis (1991).

CONCLUSÃO

Pelos resultados alcançados pode-se concluir que:

- ✓ tanto a fervura simples como a fervura sob pressão das madeiras por uma, duas ou três horas foram suficientes para promover a saturação das amostras, reduzindo o tempo total normal de saturação de 288 horas para uma hora na maioria das espécies estudadas;
- ✓ a densidade básica determinada pelo método de imersão não foi afetada por qualquer tempo de fervura, exceto para a madeira de sucupira. A aplicação de fervura sob pressão causou diferenças nas densidades básicas determinadas pelo método de imersão em várias madeiras;
- ✓ a densidade básica determinada pelo método do máximo teor de umidade produziu mais diferenças com o método padrão do que o método de imersão, tanto para as amostras submetidas à fervura como para fervura sob pressão;
- ✓ experimento que usa temperatura e pressão demonstra que o efeito da associação entre essas variáveis não é benéfico para a maioria das madeiras avaliadas, principalmente para o método de imersão, não devendo ser usado indiscriminadamente;
- ✓ para o método do máximo teor de umidade, o aumento do tempo de fervura, nos dois experimentos realizados, provocou uma redução no valor da densidade básica da madeira.

AUTORES

PAULO FERNANDO TRUGILHO é Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 37 – Lavras, MG – 37200-000 – E-mail: trugilho@esal.ufla.br

JOSÉ TARCÍSIO LIMA é Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 37 – Lavras, MG – 37200-000 – E-mail: jtlima@esal.ufla.br

ADAIR JOSÉ REGAZZI é Professor do Departamento de Informática da Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 37 – Lavras, MG – 37200-000

JOSÉ REINALDO MOREIRA DA SILVA é Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 37 – Lavras, MG – 37200-000

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247 p.
- BROWNING, B.L. **Methods of wood chemistry**. New York: Interscience Publishers, 1967. 406p.
- DURLO, M.A. **Tecnologia da madeira: peso específico**. Santa Maria: Centro de Pesquisas Florestais - CEPEF, 1991. 29 p. (Série técnica, n. 8)
- FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Método para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, n.2/3, p. 65-74, 1971.
- KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer Verlag, 1968. cap.6
- PEREIRA, J.C.D. **A influência do ritmo de crescimento na densidade básica da madeira de Pinus elliottii Engelm var. elliottii**. Piracicaba, 1982. 98p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo

- SMITH, D.M. **Maximum moisture content method for determining specific gravity of small samples.** Madison: Forest Products Laboratory, 1954. 8p. (Report n.2014).
- STAMM, A.J. Calculations of the void volume in wood. **Industrial chemistry**, v.30, p.1281, 1938.
- TRUGILHO, P.F.; SILVA, D.A.; FRAZÃO, F.J.L.; MATOS, J.L.M. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **Acta amazônica**, v.20, n.único, p.307-320, 1990.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** New York: Van Nostrand Reinold, 1991. 494p.
- VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa: SIF, 1984. 21p. (Boletim técnico, 1)