

**EFEITOS DE PRÉ-TRATAMENTOS DE ÁGUA QUENTE E
CONGELAMENTO NA TAXA DE SECAGEM DA MADEIRA DE
Eucalyptus grandis Hill ex Maiden**

**Leonardo da Silva Oliveira¹
Elio José Santini²
Clovis Roberto Haselein²**

RESUMO

Amostras de madeira de *Eucalyptus grandis* com dimensões de 2,5 x 14,0 x 65 cm foram submetidas previamente ao aquecimento em água e ao congelamento, com o objetivo de avaliar o efeito desses pré-tratamentos na taxa de secagem. O pré-aquecimento em água foi conduzido em um tanque térmico, em que as amostras permaneceram submersas durante 24 horas a temperaturas entre 85 e 90°C. O pré-congelamento foi executado em um freezer a temperaturas entre -10 e -15°C pelo período de 24 horas. A operação de secagem foi realizada em estufa elétrica com convecção forçada de ar e controle termostático, utilizando temperaturas de 45, 60 e 75°C. Os resultados mostraram que, a taxa de secagem aumentou significativamente quando a madeira foi pré-aquecida em água, mas não foi afetada pelo pré-congelamento.

Palavras-chaves: pré-aquecimento em água, pré-congelamento, taxa de secagem

ABSTRACT

**EFFECTS OF PRE-HEATING IN WATER AND PRE-FREEZING
TREATMENTS ON DRYING RATE OF *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden
WOOD**

Samples of *Eucalyptus grandis* wood, with dimensions of 2,5 x 14 x 65 cm were previously placed in a hot water bath and freezing, with the objective of evaluating the effect of these pre-treatments in drying rate. The hot water pre-treatment was conducted in a thermal vat, where the specimens were sank for a 24 hours period at temperatures of 85 to 90°C. The pre-freezing was carried out in a freezer with temperatures between 10 and -15°C for 24 hours. Drying was accomplished in an electric oven with forced convection and thermostatic control, using temperatures of 45, 60 and 75°C. The results showed that, the drying rate increased significantly when the wood was pre-heated in water, but was not affected by the pre-freezing.

Key words: pre-heating in water, pre-freezing, drying rate

¹ Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria

² Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria

Recebido para publicação em 2003.

INTRODUÇÃO

O estoque de madeira de eucalipto vem aumentando, especialmente no Hemisfério Sul, onde se desenvolve em ciclos curtos, tendo como principal obstáculo a dificuldade de secar este material jovem e propenso a apresentar sérios defeitos durante a secagem (Jankowsky, 1995).

Martins et al. (2001), recomendam uma secagem bastante criteriosa e lenta para a madeira de eucalipto. Utilizando-se de condições apropriadas, é possível evitar defeitos como rachaduras, colapso e empenamentos, assim como, aumentar a taxa de secagem e reduzir os custos do produto final.

Vários pré-tratamentos têm sido testados com o objetivo de reduzir o tempo de secagem e a incidência de defeitos na madeira. Vermaas (1995) menciona o pré-aquecimento, pré-congelamento, aplainamento, entre outros, como formas de facilitar a secagem da madeira.

O pré-aquecimento em água consiste na imersão da madeira em um meio com água quente, utilizando temperaturas e períodos variáveis. Conforme Chafe (1992), o pré-aquecimento em água produz mudanças nas propriedades físicas e químicas da madeira, e a extensão dessas mudanças depende da temperatura e duração do pré-tratamento. O pré-tratamento de água quente possibilita a remoção ou redistribuição de alguns extrativos, que alteram a estrutura interna da madeira. Como resultado, ocorre um aumento no coeficiente de difusão da madeira e, conseqüentemente, aumento na taxa de secagem (Choong et al., 1999).

De acordo com Haslett & Kininmonth (1986), o banho em água quente causa relocação parcial de polifenóis, resultando em substancial redução no tempo de secagem. A vantagem do banho em água quente é um aumento da taxa de secagem inicial sem acrescentar defeitos na madeira.

A aplicação de banho de água quente, segundo Gunzerodt et al. (1986), removeu parcialmente ou completamente extrativos em *Nothofagus fusca*, particularmente da parede celular e pontoações de membrana do parênquima radial, resultando um aumento na taxa de secagem, principalmente na direção radial.

Os primeiros estudos utilizando o pré-congelamento como pré-tratamento de secagem da

madeira são datados da década de sessenta e foram desenvolvidos nos Estados Unidos. Essas pesquisas já demonstravam os benefícios na secagem da madeira com a utilização desse pré-tratamento, tanto como aumento da taxa de secagem, como na redução de defeitos de secagem na madeira.

Ilic (1995) destaca que o pré-congelamento tem sido utilizado com sucesso como pré-tratamento de secagem para madeiras de coníferas e folhosas de regiões temperadas e tropicais. Pesquisas sugerem que temperaturas próximas a -20°C são mais apropriadas para o pré-congelamento da madeira, embora algumas espécies possam responder melhor em temperaturas mais negativas. O período experimentado para o pré-congelamento tem oscilado entre 12 a 24 horas, no entanto, ainda não há um consenso com relação a temperatura e a duração do pré-tratamento a serem adotados para cada espécie de madeira.

Choong et al. (1973) demonstraram que o congelamento da madeira de *Eucalyptus delegatensis* promoveu um aumento na taxa de secagem, particularmente na fase inicial do processo. Os mesmos autores salientam que o efeito mais pronunciado do congelamento na secagem de madeira de eucalipto foi a prevenção completa de colapso.

Segundo Cooper et al. (1970), é significativa e favorável a alteração da relação água-madeira causada pelo pré-congelamento, podendo acelerar o processo de secagem sem acrescentar defeitos na madeira. Como o efeito ocorreu acima do ponto de saturação das fibras, o pré-congelamento teria aumentado a massa de fluxo líquido, que pode ser expressado como permeabilidade da madeira. Além disso, pode ser possível desenvolver um pré-tratamento mais efetivo, quando for melhor compreendida a relação de causa-efeito dentro do conjunto de água-madeira submetida ao pré-congelamento.

O presente estudo teve por objetivo avaliar a influência dos pré-tratamentos de imersão em água quente e congelamento na taxa de secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.

MATERIAL E MÉTODOS

No experimento, utilizou-se madeira de *Eucalyptus grandis*, Hill ex Maiden, com aproximadamente 25 anos de idade, pertencentes a um povoamento da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Centro de Pesquisa e Recursos Florestais (Fepagro Florestas), localizado no Distrito da Boca do Monte, em Santa Maria - RS.

Três árvores foram abatidas e seccionadas em toras de 3,0 m. As duas primeiras toras de cada árvore foram desdobradas por meio de uma serra de fita, em tábuas de 2,5 x 14,0 cm de espessura e largura, respectivamente. Posteriormente, na marcenaria da Universidade Federal de Santa Maria confeccionaram-se as amostras de secagem. De cada tábua de 3,0 m, obtiveram-se três amostras com dimensões nominais de 2,5 x 14,0 x 65,0 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente. Por ocasião do corte das tábuas para confecção das amostras, retirou-se dos extremos das mesmas dois corpos-de-prova que foram destinados para a determinação do teor de umidade inicial, conforme ilustra a figura 1. Imediatamente, as seções de

umidade foram pesadas, submetidas a secagem em estufa à temperatura de 103±2°C, até atingirem massa constante. De posse desses valores, calculou-se o teor de umidade inicial de cada uma delas através da seguinte equação:

$$T_{ui} = \frac{\mu - ms}{ms} \cdot 100$$

onde:

T_{ui} = teor de umidade inicial (%);

μ = massa úmida da seção (g);

ms = massa seca da seção (g).

A média aritmética entre as duas seções extraídas dos extremos de cada amostra, foi considerada como sendo o teor de umidade inicial da mesma.

Logo após a confecção das amostras e a determinação do teor de umidade inicial, todo o material foi armazenado em uma câmara fria, com temperaturas entre 0 e 5°C, com a finalidade de minimizar as perdas de umidade e o ataque de fungos à madeira.

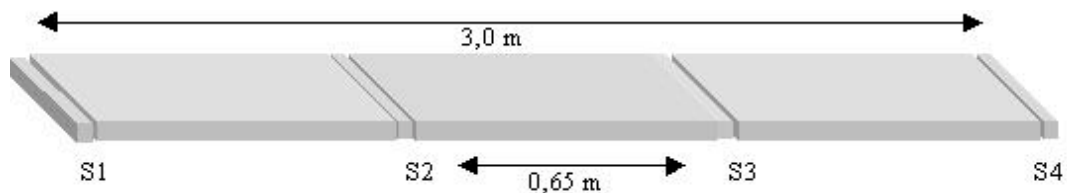


Figura 1. Obtenção dos corpos-de-prova para a determinação do teor de umidade (s1, s2, s3, s4) e das amostras de secagem.

Figure 1. Board trimming method used for drying specimen withdraw and moisture content determination (s1, s2, s3, s4).

No experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo bifatorial, tendo como fatores os pré-tratamentos e a temperatura. Constituiu-se de nove tratamentos

com três repetições, conforme mostra a tabela 1, sendo que a unidade amostral foi constituída por doze peças de madeira.

Tabela 1. Tratamentos de aquecimento e de congelamento aplicados aos corpos-de-prova de *E. grandis*.
Table 1. Characterization of the treatments.

Tratamento	Pré-tratamento	Temperatura (°C)
1	Testemunha (sem pré-tratamento)	45
2	Testemunha (sem pré-tratamento)	60
3	Testemunha (sem pré-tratamento)	75
4	Água quente	45
5	Água quente	60
6	Água quente	75
7	Congelamento	45
8	Congelamento	60
9	Congelamento	75

As amostras que constituíram a testemunha foram submetidas à secagem sem a aplicação de pré-tratamento. Desta maneira, foi possível realizar as comparações necessárias para avaliar o efeito dos pré-tratamentos na secagem da madeira.

O pré-tratamento em água quente foi realizado em um tanque térmico com dimensões de 85 cm de comprimento, 80 cm de largura e 60 cm de altura, dotado de controle termostático da temperatura. A temperatura da água foi mantida entre 85 e 90°C, aquecida através de duas resistências elétricas. As amostras permaneceram submersas em água quente por um período de 24 horas, e depois foram mantidas em repouso até atingirem a temperatura ambiente, antes de serem submetidas à secagem em estufa.

Nos tratamentos de pré-congelamento utilizou-se um freezer doméstico da marca Prosdócimo. Durante o período de congelamento, fixado em 24 horas, a temperatura, controlada por meio de um termômetro digital, foi mantida entre -10 e -15°C. Após o congelamento as peças foram armazenadas em ambiente arejado, até atingirem a temperatura ambiente, antes de serem submetidas à secagem em estufa.

A secagem da madeira foi realizada no Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, utilizando-se estufa elétrica com convecção forçada de ar e controle termostático da temperatura, com dimensões internas de 60 x 80 x 100 cm de profundidade, largura e altura, respectivamente.

As pilhas foram compostas de doze peças de

madeira, gradeadas por separadores de 2,5 x 2,5 cm de seção transversal. Duas amostras de controle incluídas na pilha permitiram o acompanhamento do teor de umidade da madeira, o qual foi obtido por meio do método de pesagem. Medições periódicas das amostras de controle realizadas durante todo o processo permitiram finalizar a secagem quando as amostras atingiram o teor de umidade entre 8 e 10%.

O teor de umidade de cada amostra foi determinado por meio da seguinte equação:

$$Tu = \left[\frac{Ma (Tui + 100)}{Mi} \right] - 100$$

onde:

Tu = Teor de umidade da madeira (%);

Ma = Massa atual da madeira (g);

Tui = Teor de umidade inicial da madeira (%);

Mi = Massa inicial da madeira (g).

A taxa de secagem foi determinada por meio da seguinte equação, descrita por Santini (1980):

$$Ts = \frac{Qae}{A.t}$$

onde:

Ts = Taxa de secagem (g/cm²h);

Qae = Quantidade de água evaporada (g);

A = Área superficial da peça (cm²);

t = Tempo de secagem decorrido (horas).

Determinou-se a taxa de secagem para cada uma das amostras, sendo considerada para a repetição, a média das doze peças da unidade amostral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de taxa de secagem obtidos

para os dois pré-tratamentos e testemunha, em função da temperatura de secagem, são apresentados na tabela 2. Verifica-se que a taxa de secagem encontrada para o pré-tratamento em água quente foi significativamente superior às demais ao nível de 5% de probabilidade de erro, nas três temperaturas utilizadas.

Tabela 2. Taxa de secagem média para os pré-tratamentos em função da temperatura de secagem em corpos-de-prova *E. grandis*.

Table 2. Average drying rate for the pre-treatments in function of the drying temperature.

Pré-tratamento	Taxa de secagem – (g/cm ² h) x 10 ⁻³		
	45°C	60°C	75°C
Água quente	1,850 a	3,105 a	5,359 a
Congelamento	1,043 b	2,147 b	4,261 b
Testemunha	1,333 b	2,038 b	3,743 b
Coefficiente de variação (%)	13,30	16,86	22,47

Médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de erro.

A taxa de secagem da madeira previamente aquecida foi 39, 52 e 43% maior que a testemunha, nas temperaturas de 45, 60 e 75°C, respectivamente. Glossop (1994) também evidenciou essa tendência de aumento na taxa de secagem de *Eucalyptus marginata* e *Eucalyptus diversicolor*, utilizando o pré-tratamento em água quente em um programa suave, com temperatura inicial de 30 e final de 50°C.

O aquecimento da madeira em água altera o comportamento dos extrativos, podendo remover parte deles, desobstruindo vasos e pontuações, o que facilita a movimentação da água na madeira e, conseqüentemente, acelera o processo de secagem. Segundo Choong et al. (1999), o pré-tratamento em água quente causa mudanças nos principais extrativos da madeira, não somente redistribuindo ou removendo-os parcialmente, mas também dissolvendo alguns extrativos e degradando com certa facilidade componentes hidrolisáveis. Essas modificações na estrutura química dos extrativos podem interferir na sua inter-relação com a parede celular, alterando a higroscopicidade da madeira.

A taxa de secagem da madeira submetida previamente ao pré-congelamento não diferiu significativamente da testemunha nas três temperaturas utilizadas, embora as médias mais altas tenham sido encontradas para 75°C. Os valores foram praticamente os mesmos para a temperatura de 60°C.

Comportamento semelhante foi detectado por Ilic (1999) durante a secagem de *Eucalyptus regnans*, utilizando temperatura de pré-congelamento de -20°C durante um período de 72 horas. Inúmeros estudos com pré-congelamento da madeira de *Sequoia sempervirens* também não apresentaram mudanças na taxa de secagem (Erickson et al., 1966; Erickson 1968, 1969; Erickson & Petersen, 1969). Entretanto, para outras espécies Erickson et al. (1966) encontraram uma redução na taxa de secagem da madeira de *Lithocarpus densiflorus* e um aumento para a madeira de *Juglans nigra*. Para essa mesma espécie, Cooper et al. (1970), utilizando uma temperatura de -87°C, detectaram um aumento na taxa de secagem, principalmente

nas fases iniciais do processo.

Para avaliação da temperatura, os resultados encontrados foram submetidos à análise de regressão. Na tabela 3, estão expostos os coeficientes e estatísticas obtidas para essa variável.

O modelo quadrático foi o que melhor

descreveu o comportamento da taxa de secagem em função da temperatura, para os pré-tratamentos. Os valores do coeficiente de determinação, como mostra a tabela 3, foram de 73,5; 81,6 e 85,8%, para o pré-tratamento em água quente, congelamento e testemunha, respectivamente, demonstrando um bom ajuste das equações aos dados observados.

Tabela 3. Parâmetros estatísticos do modelo ($y=b_0+ b_1x+ b_2x^2$) utilizado para estimar a taxa de secagem ($g/cm^2.h$) dos pré-tratamentos em função da temperatura.

Table 3. Statistical parameters of the model ($y=b_0+ b_1x+ b_2x^2$) used to estimate the drying rate (g/cm^2h) of the pre-treatments as a function of temperature.

Pré-tratamento	Coeficiente			Estatística		
	b_0	b_1	b_2	R^2_{aj}	S_{yx}	F
Testemunha	0,00234389	-0,00009671	0,00000155	85,8	0,452	323,4*
Água quente	0,00534472	-0,00019182	0,00000253	73,5	0,844	149,5*
Congelamento	0,00037522	-0,00016195	0,00000226	81,6	0,648	237,9*

R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado (%); S_{yx} = Erro padrão da estimativa (%); F= valor de F calculado; b_0, b_1, b_2 = coeficientes da equação; * significativo a 5% de erro.

Os valores de F calculado também foram altos, variando entre 149,5 e 323,4, confirmando a significância da regressão.

A taxa de secagem estimada em cada pré-

tratamento em função das três temperaturas empregadas é ilustrada na figura 2. Observa-se a existência de diferenças na taxa de secagem entre as temperaturas de secagem utilizadas.

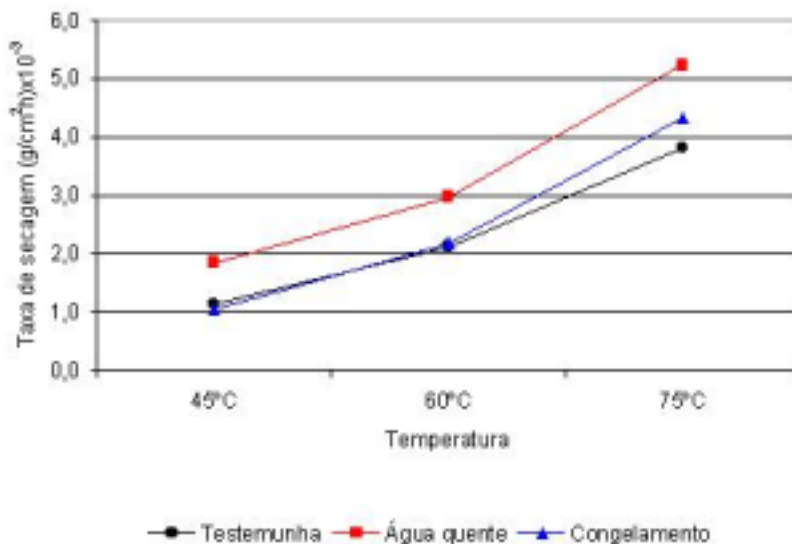


Figura 2. Variação da taxa de secagem da madeira em função da temperatura, para os pré-tratamentos estudados.

Figure 2. Variation of the drying rate of the wood as a function of the temperature for the pre-treatments utilized.

O efeito da temperatura na taxa de secagem pode ser observado na figura 2. Independente do pré-tratamento, constatou-se que a taxa de secagem aumenta com a elevação da temperatura na faixa entre 45 e 75°C. Esse comportamento já havia sido observado anteriormente para madeira de *Pinus elliottii*, no intervalo entre 60 e 180°C (Santini, 1980). Segundo Galvão & Jankowsky (1985), a elevação da temperatura implica o fornecimento de uma maior quantidade de energia às moléculas de água em menor período de tempo, o que aumenta a velocidade de secagem.

CONCLUSÕES

Os resultados desse estudo evidenciaram que o pré-aquecimento em água provocou um aumento significativo na taxa de secagem da madeira de *E. grandis* nas temperaturas de 45, 60 e 75°C, em comparação com a testemunha. Já o congelamento prévio da madeira não produziu mudanças significativas na taxa de secagem para as três temperaturas utilizadas. Nos dois pré-tratamentos, contudo, a taxa de secagem aumentou com a elevação da temperatura de secagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHAFE, S. C. Changes in shrinkage, collapse and green volume in the wood of *Eucalyptus regnans* F. Muell after heating in water. **Wood Science**, V. 12, n. 6, p. 341-345, 1992.
- CHOONG, E. T.; MACKAY, J.F.G.; STEWART, C. M. Collapse and moisture flow in kiln-drying and freeze-drying of woods. **Wood Science**. V. 6, n. 2, p. 127-35, 1973.
- CHOONG, E. T.; SHUPE, T. F.; CHEN, Y. Effect of steaming and hot-water soaking on extractive distribution and moisture diffusivity in southern pine during drying. **Wood Fiber Science**, V.31, n.2, p.143-150, 1999.
- COOPER, G. A.; ERICKSON, R. W.; HAYGREEN, J. G. Drying behavior of prefrozen black walnut. **Forest Products Journal**, V. 20, n.1, p.30-35, 1970.
- ERICKSON, R. W. Drying of prefrozen redwood: Fundamental and applied considerations. **Forest Products Journal**, V. 18, n. 6, p. 49-56, 1968.
- ERICKSON, R.W. Effect of prefreezing upon hygroscopicity and shrinkage of thin cross sections of California redwood. **Forest Products Journal**, V.19, n.5, p.55-56, 1969.
- ERICKSON, R. W. HAYGREEN, J.; HOSSFELD, R. Drying prefrozen redwood. **Forest Products Journal**, v. 16, n. 8, p. 57-65, 1966.
- ERICKSON, R. W.; PETERSEN, H. D. The influence of prefreezing and cold water extraction on the shrinkage of wood. **Forest Products Journal**, V. 19, n. 4, p. 53-57, 1969.
- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. p.111.
- GLOSSOP, B. R. Effect of hot-water soaking or freezing pre-treatments on drying rates of two eucalypts. **Forest Products Journal**, V. 44, n. 10, p. 29-32, 1994.
- GUNZERODT, H.; WALKER, J. C.; WHYBREW, K. Compression rolling and hot-water soaking: effects on the drying and tretability of *Nothofagus fusca* hertwood. **New Zeland Journal of Forestry Science**, V. 16, n. 2, p. 223-36, 1986.
- HASLETT, A. N.; KININMONTH, J. A. Pre-treatments to hasten the drying of *Nothofagus fusca*. **New Zeland Journal of Forestry Science**, V.16, n.2, p.237-246, 1986.
- ILIC, J. Advantages of prefreezing for reducing shrinkage-related degrade in eucalypts: General considerações and review of the literature. **Wood Science and Technology**, V. 29, n. 4, p. 277-284, 1995.
- ILIC, J. Influence of prefreezing on shrinkage-

related degrade in *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Holz als Roh und Werkstoff**, V. 57, p. 241-245, 1999.

JANKOWSKY, I. P. Equipamentos e processos para secagem de madeiras. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. 109-118p.

MARTINS, V. A.; GOUVEIA, F. N. ; MARTINEZ, S. Secagem convencional de madeira de Eucalipto Parte I: *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, *E. grandis* Hill ex Maiden e *E. pilularis* Sm. **Brasil Florestal**, n. 70, p. 42-47, 2001.

SANTINI, E. J. **Influência de temperatura na taxa de secagem e contração da madeira de *Pinus elliottii* proveniente de plantios de rápido crescimento**. Curitiba: FUPEF, 1980, 15p. (Série Técnica, 5).

VERMAAS, H. F. Drying eucalyptus for quality: material characteristics, pre-drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT/IUFRO/ESALQ/USP, 1995, p.119-132.