

# DENSIDADE BÁSICA E RETRATIBILIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, SUBMETIDA A DIFERENTES TEMPERATURAS DE TERMORRETIFICAÇÃO

José Otávio Brito<sup>1</sup>, José Nivaldo Garcia<sup>1</sup>, Geraldo Bortoletto Júnior<sup>1</sup>, Antonio Maria das Chagas Pessoa<sup>2</sup>, Paulo H. Müller da Silva<sup>3</sup>

(recebido: 10 de fevereiro de 2006; aceito: 25 de maio de 2006)

**RESUMO:** Avaliou-se o comportamento da densidade básica e da retratibilidade volumétrica total da madeira de *Eucalyptus grandis* termorretificada, procurando-se compara-la à madeira original. Para tanto, foi utilizado o delineamento experimental inteiramente ao acaso, com 5 tratamentos e 30 repetições. Os tratamentos compreenderam as seguintes temperaturas de termorretificação: 120, 140, 160, 180 e 200 °C. Nas condições experimentais aplicadas, o tratamento térmico não influenciou de modo significativo a densidade da madeira. No caso da retratibilidade houve influência significativa da termorretificação, somente quando foi utilizada a temperatura de 200°C. Nesse caso a madeira termorretificada apresentou retratibilidade 25% menor que a da madeira original. Respeitados os objetivos e as condições específicas do estudo, o fato de não ter sido detectada influência significativa da termorretificação na densidade e a constatação de uma importante redução na retratibilidade da madeira, conduzem à conclusão de que o tratamento de termorretificação foi positivo.

Palavras-chave: *Eucalyptus grandis*, madeira, termorretificação, densidade, retratibilidade.

## THE DENSITY AND SHRINKAGE BEHAVIOR OF *Eucalyptus grandis* WOOD SUBMITTED TO DIFERENT TEMPERATURES OF THERMORETIFICATION

**ABSTRACT:** This research deals with the evaluation of the behavior of thermorectified wood of *Eucalyptus grandis*, in relation its density and shrinkage. To evaluate these aspects, it was used a totally random experimental outline, with 5 treatments (A - wood thermorectified (wt) at 120 °C; B - wt at 140 °C; C - wt at 160 °C; D - wt at 180 °C; E - wt at 200 °C) and 30 replications. The results indicated that, in statistical terms, the density of wood thermally treated is not different from that obtained from natural wood. The thermorectification process, only when the temperature of 200°C was used, influenced wood shrinkage significantly. The result was 25 % smaller than the observed in the natural wood. Considering the specific conditions of the study, the results indicated as positive the application of thermorectification process to *E. grandis* wood.

Key words: *Eucalyptus grandis*, Wood, Thermorectification, Density, Shrinkage.

### 1 INTRODUÇÃO

A ação do calor na madeira pode provocar diferentes níveis de transformações em sua estrutura, as quais estão associadas ao fenômeno da pirólise. Essa pode ser definida como a degradação da madeira, na qual a ação do calor ocorre na ausência de agentes oxidantes ou de catalisadores e, portanto, sem combustão, conforme propõe Brito (1992).

As fases da pirólise da madeira podem ser identificadas pela sua perda de massa, que ocorre por influência das reações químicas verificadas na elevação da temperatura. Guedira (1998) e Vovelle & Mellottee (1982) classificaram a redução de massa da madeira, durante o processo de pirólise, em cinco diferentes fases. A primeira fase situa-se entre a

temperatura ambiente e 100 °C, e corresponde à saída da chamada “água livre” e “água higroscópica” da madeira, que permanecia retida no lúmen e parede das células. A segunda fase ocorre entre 100 e 250 °C, e também está ligada à eliminação de água. Uma parte dessa água ainda é chamada “higroscópica”, retida pelas paredes celulares e considerada como estando adsorvida junto às hidroxilas das cadeias de polissacarídeos e da lignina. Outra parte da água é chamada “água de constituição”, cuja eliminação é acompanhada por uma degradação irreversível da madeira, sobretudo de seus grupos hidroxílicos. A terceira fase situa-se entre 250 e 330 °C, na qual ocorre, em geral, a destruição da hemicelulose. A quarta fase situa-se entre 330 e 370 °C, em que se supõe ocorrer a destruição da celulose. A quinta fase

<sup>1</sup>Professores da ESALQ/USP – Avenida Pádua Dias, 11 – Cx. P. 9 – 13.418-900 – Piracicaba, SP – jotbrito@esalq.usp.br; jngarcia@esalq.usp.br; gbortoll@esalq.usp.br

<sup>2</sup>Mestrando em Recursos Florestais da ESALQ/USP – Avenida Pádua Dias, 11 – Cx. P. 9 – 13.418-900 – Piracicaba, SP.

<sup>3</sup>Pós-graduando em Recursos Florestais da ESALQ/USP – Avenida Pádua Dias, 11 – Cx. P. 9 – 13.418-900 – Piracicaba, SP.

manifesta-se a temperaturas acima de 370 °C, quando o carvão vegetal é produzido, estando fortemente ligada ao início da degradação da lignina.

A termorretificação é um processo em que o calor é aplicado à madeira em temperaturas inferiores às que provocam o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses que são, dentre eles, os mais sensíveis à ação do calor. Conforme Guedira (1998) e Vovelle & Mellottee (1982), tais temperaturas estariam entre 100 e 250 °C. O resultado seria a obtenção de um produto sólido apresentando características diferenciadas, comparativamente à sua madeira original, algumas delas podendo tornar-se interessante para aplicações diferenciadas da madeira. É nesse contexto que se apresenta a madeira termorretificada.

As informações oferecidas a seguir têm como base os trabalhos de Duchez & Guyonnet (2002), Gohar & Guyonnet (1998), Kaila (1999), Pincelli et al. (2002) e Vergnet (1988). Neles podem ser encontradas referências para uma série de possibilidades de uso para a madeira termorretificada, tais como revestimentos, instalações de paredes à prova de som, assoalhos, terraços, móveis para jardim, batentes de porta e janela, parquet, móveis residenciais, decorações, e inclusive na fabricação de instrumentos musicais, em que a estabilidade garante propriedades acústicas consistentes. Transformada em fragmentos, pode ainda ser usada na manufatura de materiais compostos em associação com vidro, fibras de vidro, materiais colantes, tais como gesso e cimento. Pode ainda substituir o tratamento preservante de espécies cuja impregnação com compostos químicos é proibida de acordo com a natureza do uso final da madeira, por exemplo, no caso das embalagens para alimentos. As informações indicam ainda que o processo pode ser desenvolvido em escala industrial e que os custos têm se mostrado compatíveis com as possibilidades de mercado.

A madeira de *Eucalyptus grandis* tem acolhido crescente interesse para aplicações estruturais. Isto tem proporcionado a identificação de vários aspectos técnicos ligados à sua qualidade, para os quais ainda se faz necessária à indução de melhorias.

O *E. grandis* já foi alvo de estudos envolvendo a termorretificação e a ação de cupins de madeira seca. Num estudo realizado por Pessoa (2002),

constatou-se que o tratamento térmico não foi suficiente para oferecer total imunidade dessa madeira ao ataque dos cupins. De qualquer forma, foram observados menores danos à madeira, bem como aumento na mortalidade de insetos, à medida da elevação da temperatura de termorretificação.

A madeira de *E. grandis* é considerada como sendo de elevada retratibilidade, o que para certos usos pode ser um fator negativo. Isso não limita a sua utilização, desde que ações sejam tomadas para minimizar tal questão. Diante disso é que se propôs o presente trabalho, visando avaliar o potencial da termorretificação como técnica para redução do grau de retratibilidade da madeira dessa espécie. Complementarmente, foi ainda efetuado o estudo da variação da densidade da madeira, em função da termorretificação.

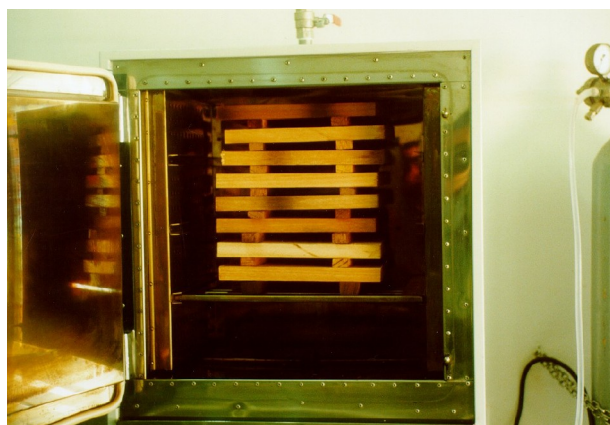
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Tábuas de madeira de *Eucalyptus grandis*, com dimensões de 400 x 25 x 3 cm, foram obtidas de árvores de 21 anos de idade, plantadas na Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, Estado de São Paulo, Brasil. As tábuas foram empilhadas e armazenadas durante 6 meses para pré-secagem ao ar livre, sob abrigo para evitar-se o efeito envelhecedor da intempérie. Delas obteve-se tábuas que foram aparelhadas na plaina desegrossadeira, nas dimensões finais de 28,0 x 15,0 x 2,5 cm, sendo removida uma peça de 2,5 x 15 x 2,5 cm, para posterior avaliação da densidade e da retratibilidade das madeiras. Após a retirada do corpo-de-prova, devidamente identificado, para qualificação da madeira natural, as tábuas foram secas em estufa laboratorial a 100°C, até massa constante. Na seqüência, procedeu-se a eliminação daquelas que apresentavam defeitos visuais expressivos, tais como empenamentos e rachaduras.

Para as termorretificações foi utilizada uma estufa elétrica laboratorial, com controle de temperatura, conforme ilustrado na Figura 1. As condições de aquecimento dos tratamentos são apresentadas na Figura 2. O controle das diferentes condições de temperatura e de tempo foram efetuadas por um sistema automático acoplado à estufa. Ao final de cada tratamento, a estufa era desligada e as amostras permaneciam no seu interior para resfriamento até a temperatura de 30 °C, sendo

então retiradas e armazenadas em sacos plásticos. Procedeu-se ainda o cálculo da redução de massa da madeira termorretificada, segundo a equação  $[R = (M_1 - M_2)/M_1 \times 100]$ , em que R = Redução de massa (%),  $M_1$  = massa da madeira antes da termorretificação (g),  $M_2$  = massa da madeira após termorretificação (g).

Das peças termicamente tratadas foram obtidos novos corpos-de-prova, também nas dimensões de 2,5 x 15 x 2,5 cm, destinados às determinações de densidade e de retratibilidade da

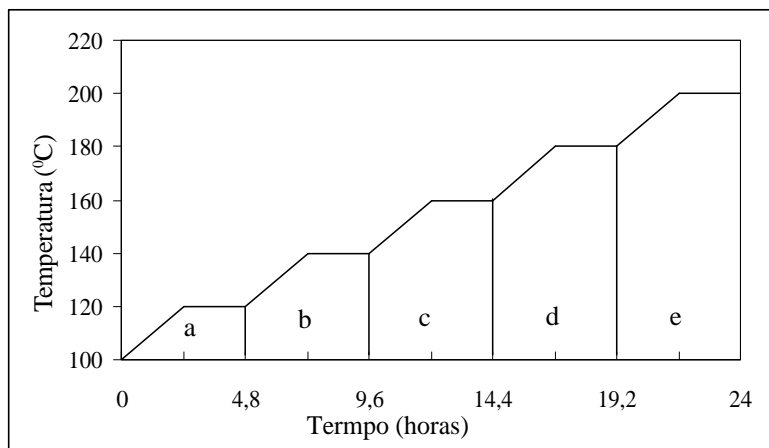


**Figura 1** – Amostras de madeira na estufa elétrica.

*Figure 1* – Wood in the unit of thermoretification.

madeira termorretificada. Tais corpos foram retirados na mesma região central das tábuas onde, inicialmente, foram obtidas as amostras representativas da madeira original. Pôde-se, desta forma, obter amostras com posições adjacentes numa mesma tábua.

Os corpos-de-prova foram em seguida imersos em água, onde permaneceram até atingirem massa constante, sendo este considerado como indicativo da capacidade máxima de saturação da madeira em água. Procedeu-se então à mensuração das dimensões das peças, mediante o uso de paquímetro de 0,01 mm de precisão, o que permitiu o cálculo dos seus volumes teoricamente máximos. Em seguida, elas foram secas em estufa a 100 °C, até massa constante, quando tiveram suas dimensões novamente mensuradas para o cálculo do volume no estado teoricamente anidro. Nessa fase procedeu-se também à determinação das massas dos corpos-de-prova. Os valores obtidos para massas e volumes foram então usados para as determinações de densidade básica e retratibilidade das madeiras, conforme as equações  $[D = M \times V^{-1}]$ , em que: D = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>), M = massa da amostra após secagem em estufa (g) e V = volume da amostra no estado saturado (cm<sup>3</sup>) e  $[Rv = (Vu - Vs)/Vu \times 100]$ , em que: Rv = Retratibilidade (%), Vu = volume da amostra em seu estado saturado (g/cm<sup>3</sup>), Vs = volume da amostra após secagem em estufa (g/cm<sup>3</sup>).



**Figura 2** – Programa de termorretificação (a = 120° C; a+b = 140° C; a+b+c = 160° C; a+b+c+d = 180° C; a+b+c+d+e = 200° C).

*Figure 2* – Program of thermoretification (a = 120° C; a+b = 140° C; a+b+c = 160° C; a+b+c+d = 180° C; a+b+c+d+e = 200° C).

O delineamento experimental usado no experimento foi o inteiramente casualizado, compreendendo 5 tratamentos e 30 repetições. As temperaturas usadas foram: 120, 140, 160, 180 e 200 °C.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no estudo são apresentados na Tabela 1 e nas Figuras 3 a 6.

Observou-se aumento da perda de massa com a elevação da temperatura, sendo que as diferenças entre alguns tratamentos se mostraram significativas. O maior valor foi para o tratamento a 200°C. No entanto, levando-se em conta as fases da pirólise, pode-se considerar que, provavelmente, as perdas de massa não teriam ocorrido de forma a comprometerem a estrutura fundamental da madeira, tendo com referência as citações bibliográficas do presente trabalho.

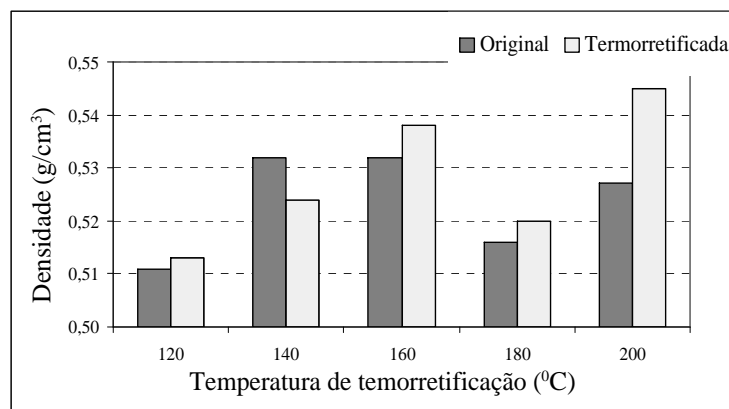
Verificou-se que as termorretificações não exerceram influências significativas nas densidades das madeiras (Figuras 3 e 4), quando os resultados obtidos antes e após os tratamentos foram comparados. Apesar das diferenças entre os valores médios não diferirem significativamente, o comportamento da densidade da madeira a 140 °C merece ser destacado, porque a densidade básica da madeira tratada a essa temperatura mostrou uma tendência de redução do seu valor em relação à da madeira original. De acordo com as fases da pirólise, pode-se supor que tal ocorrência esteve ligada à eliminação de água, principalmente a resultante da degradação das hidroxilas presentes na madeira. Isto poderia ter ocorrido devido à redução mais acentuada de massa em comparação com a redução de volume, o que poderia explicar o menor valor da densidade.

**Tabela 1** – Perda de massa, densidade básica e retratibilidade da madeira.

**Table 1** – Loss of mass of the thermorretification, specific gravity and wood shrinkage.

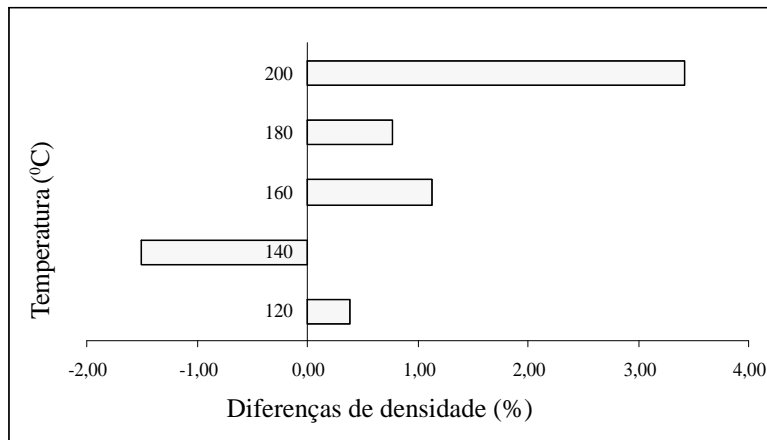
Trat	TP (°C)	Perda de massa (%)		Densidade (g/cm <sup>3</sup> )				Retratibilidade(%)			
				MO		MT		MO		MT	
		m <sup>(1)</sup>	CV	m <sup>(1)</sup>	CV	m <sup>(1)</sup>	CV	m <sup>(1)</sup>	CV	M <sup>(1)</sup>	CV
1	120	2,33 <sup>a</sup>	13,6	0,511	13,5	0,513	12,3	14,7	10,0	15,0	9,6
2	140	2,78 <sup>a</sup>	10,6	0,532	14,2	0,524	14,3	15,0	12,7	15,3	8,9
3	160	4,07 <sup>b</sup>	13,8	0,532	14,2	0,538	14,7	14,9	9,9	15,1	9,5
4	180	5,19 <sup>b</sup>	14,3	0,516	13,6	0,520	15,0	14,5	11,2	13,6	15,4
5	200	9,68 <sup>c</sup>	12,9	0,527	14,0	0,545	15,3	15,1*	11,1	10,8*	15,1

Trat = Tratamento; TP = temperatura; MO = madeira original; MT = madeira termorretificada; m = média de 30 repetições; CV = coeficiente de variação (%); Para as perdas de massa, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si (DMS,  $\alpha = 5\%$ ); \*Diferenças significativas entre as médias de MO e MT (Teste t,  $\alpha = 5\%$ )



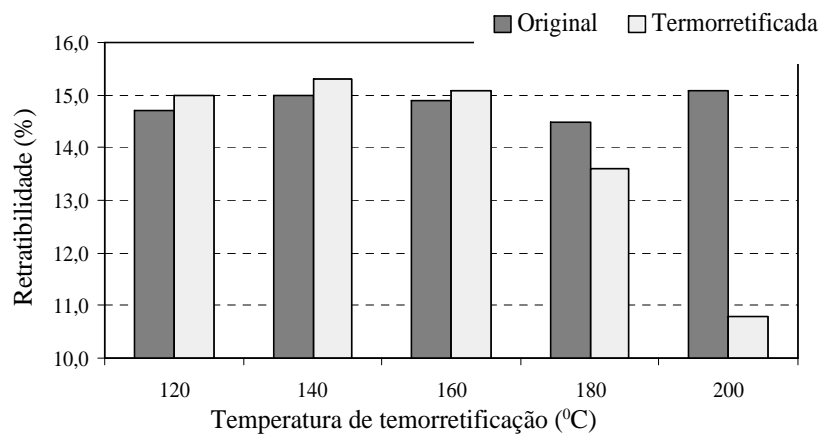
**Figura 3** – Densidade básica das madeiras antes e após as termorretificações.

**Figure 3** – Specific gravity before and after the thermal treatments.



**Figura 4** – Diferenças entre a densidade da madeira original e da madeira termoretificada.

*Figure 4* – Differences between the specific gravity of the original and thermoretified wood.

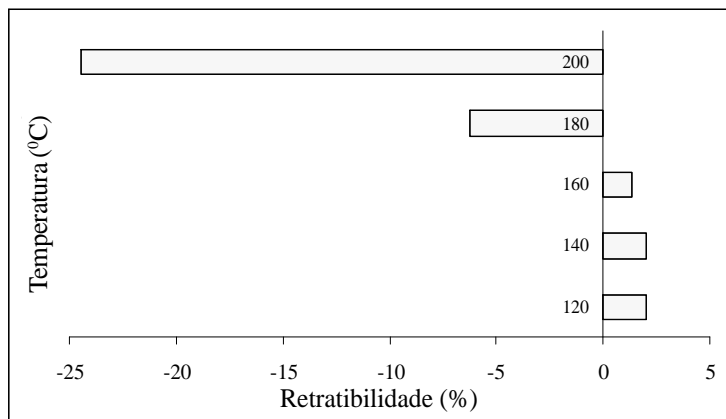


**Figura 5** – Variações dimensionais da madeira original e da madeira termoretificada.

*Figure 5* – Shrinkage of the natural and thermoretified wood.

Com a elevação da temperatura, as densidades das madeiras termoretificadas mostraram tendência de aumento do seu valor em relação às das madeiras originais, apesar das diferenças não terem sido significativas. Pode-se supor que, também de acordo com as fases da pirólise, apesar do aumento da ação do calor, tal aumento não teria sido suficiente para provocar uma perda de massa na mesma proporção da redução no volume das madeiras. Isto poderia explicar o aumento da densidade, lembrando sempre que

as diferenças não foram significativas. Deve ser destacado ainda que o acompanhamento da degradação dos componentes químicos das madeiras não foi alvo do presente estudo. Desse modo, a explanação oferecida é apenas indicativa e, certamente, somente poderia ser comprovada, mediante a realização de estudos mais específicos sobre o tema. O estudo aqui realizado e seus resultados são importantes, desse modo, para o despertar de novas ações de pesquisa nessa direção.



**Figura 6** – Diferenças entre a retratibilidade da madeira original e da madeira termorretrificada.

*Figure 6* – Differences in the shrinkage of the original and thermoretrified wood.

No caso da retratibilidade (Figuras 5 e 6), uma influência significativa da termorretrificação somente foi detectada a 200 °C. A madeira tratada nessa temperatura apresentou menor retratibilidade, comparativamente ao material original. A diferença, além de estatisticamente significativa, foi também importante no aspecto prático, por representar 25% de redução na retratibilidade da madeira. O valor médio de 10,8 % de retratibilidade da madeira termorretrificada é mais favorável que os 15,0% apresentados pela madeira original. Pode-se dizer, desse modo, que a termorretrificação torna a madeira mais estável em termos dimensionais.

Tendo-se novamente as fases da pirólise como referência, pode-se supor que a menor retratibilidade viria da redução dos sítios de sorção da madeira, sobretudo das hidroxilas, que se envolvem com as moléculas de água durante as trocas de umidade com o ambiente externo.

### CONCLUSÕES

Para as condições experimentais do estudo, os resultados indicaram que o tratamento térmico não exerceu influência significativa na densidade básica da madeira.

No caso da retratibilidade, a influência da termorretrificação foi significativa somente no

tratamento a 200°C. A madeira termorretrificada apresentou retratibilidade 25% menor, do que a da madeira original.

Respeitadas as nuances que envolveram os objetivos e as condições específicas do presente estudo, a não existência de influência significativa sobre a densidade, bem como a indução para uma importante redução da retratibilidade, podem ser considerados como aspectos positivos da aplicação da termorretrificação à madeira de *Eucalyptus grandis*.

### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, J. O. **Estudo das influências da temperatura, taxa de aquecimento e densidade da madeira de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus citriodora* sobre os resíduos sólidos da pirólise.** 1992. 81 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

DUCHEZ, L.; GUYONNET, R. **Principles and applications of wood rectification.** Disponível em: <<http://techtp.com/twpapers/fao>>. Acesso em: 20 mar. 2002.

GOHAR, P.; GUYONNET, R. Development of wood rectification process at the industrial stage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD PRESERVATION, 4., 1998, Cannes. **Resumes...** Cannes: IRG, 1998. p. 173-178.

GUEDIRA, F. **Pyrolise lente de la biomasse**: comportement compare des tourteux d'olives, de la bagasse de canne a sucre et la sciure de bois (Pin maritime). 1988. 122 f. Thèse (Docteur) - Université Mohamed, Maroc, 1988.

KAILA, P. Architecture en Finlandia: tecnologia de la construcción: los paneles. **Revista Internacional para la Industria Maderera para Latino América**, [S.l.], v. 19, n. 202, p. 8-19, mayo 1999.

PESSOA, A. M. C. **Termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden (Myrtaceae) submetida ao cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis* (Walker, 1853) (Isoptera: Kalotermitidae) para teste de resistência**. 2002. 39 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

PINCELLI, A. L. P. S.; BRITO, J. O.; CORRENTE, J. E. Avaliação da termorretificação sobre a colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 122-132, jun. 2002.

VERGNET, L. F. **Torrefied wood**: characteristics, economics and prospects at the present stage of process development. Nogent Sur Marne: CIRAD, Head of Energy Department, 1988.

VOVELLE, C.; MELLOOTTEE, H. Modelisation de la pyrolyse oxydante ou noxydante de bois ou de déchets végétaux à partir de leurs composants. In: PALZ, W.; CHARTIER, P. (Eds.). **Energy from biomass**. 2. ed. London: Applied Sciences, 1982. p. 925-929.