

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NA USINAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* HILL EX. MAIDEN

Pablo Vieira dos Santos, graduando em engenharia florestal, Brasil, UFRRJ-Rod. BR-465, km 07, Seropédica/RJ, 23890-000. pabloufrj@hotmail.com. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Ananias Francisco Dias Júnior, Elaine Ferreira Avelino,
Alexandre Monteiro de Carvalho

1. Introdução

A madeira e seus produtos fazem parte do cotidiano da sociedade humana, em virtude de suas propriedades e características quase insubstituíveis, como beleza, resistência mecânica, facilidade de uso, baixa condutibilidade térmica e baixa demanda de energia para sua conversão em produtos (SILVA, 2002a).

A utilização da madeira de reflorestamento, principalmente a de eucalipto, vem crescendo devido ao melhor conhecimento de suas propriedades, maior divulgação e à crescente preocupação com a preservação das florestas nativas (FERREIRA et al., 2004). Além disso, essas madeiras possuem preço competitivo, comparado às madeiras nativas (VALENÇA, 2002).

Há várias décadas, o *Eucalyptus grandis* vem sendo cultivado intensivamente no Brasil, com o objetivo principal de atender às demandas do setor de celulose e papel, chapas duras e painéis aglomerados, bem como o setor de carvão vegetal para uso siderúrgico e metalúrgico. Segundo CETEMO (1998), é, sem dúvida, uma das espécies mais promissoras para a indústria moveleira, em razão de possuir a maior área plantada dentre as espécies comerciais, apresentar a maior disponibilidade imediata de florestas em idade de corte, destacar-se entre as espécies mais pesquisadas e apresentar uma madeira leve e de boa resistência. Um dos tratamentos físico-químicos mais utilizados atualmente é a termorretificação. A madeira termorretificada é obtida por um processo de termodegradação, no qual seus constituintes se degradam, geralmente na ausência de oxigênio, ou forte deficiência de ar, podendo portanto ser considerada como um produto de uma pirólise controlada, interrompida antes de atingir o patamar das reações exotérmicas (as quais se iniciam aproximadamente à temperatura de 280°C), quando se inicia a combustão espontânea da madeira (Borges & Quirino, 2004).

A termorretificação é utilizada com diversas finalidades, entre elas: conferir maior dureza superficial, maior resistência à degradação fúngica e maior estabilidade dimensional. Ao reduzir a capacidade da madeira de permutar água com o meio, minimiza problemas de contração e inchamento (Borges & Quirino, 2004).

O presente trabalho objetivou estudar o efeito do tratamento de termorretificação sobre os processos de usinagem da madeira de *Eucalyptus grandis*.

2. Materiais e Métodos

A madeira de *Eucalyptus grandis* utilizada foi proveniente de árvores de plantios comerciais pertencentes à região de Piraí, onde existem reflorestamentos de diversas espécies de propriedade de empresas florestais que comumente fornecem matéria-prima para projetos de pesquisa na UFRuralRJ. O desdobro primário das toras foi realizado na serraria LPZ - Artefatos de Madeira e Serviços LTDA., localizada no distrito de Santa Anésia - Piraí/RJ, utilizando-se serra de fita vertical, com volantes de 80m de diâmetro. No sistema de desdobro foi inicialmente retirada uma costaneira, em seguida a tora gira para realização de cortes sucessivos paralelos e posteriormente as toras foram levadas para a marcenaria do DPF/IF/UFRRJ, recebendo dimensões de 12,5 x 2,5 x 30 cm, as quais constituem cada um dos corpos de prova utilizados nos testes.

Após o desdobro, as amostras foram submetidas a seis diferentes tratamentos, sendo cinco de termorreificação e um de controle:

- 160°C por 2 horas
- 180°C por 2 horas
- 180°C por 4 horas
- 200°C por 2 horas
- 215°C por 4 horas
- Amostra Controle (sem termorreificação)

O tratamento de termorreificação foi realizado em uma mufla localizada no Laboratório de Energia do IF/UFRRJ. Foram utilizados um total de trinta corpos de prova, sendo cada tratamento contendo seis corpos de prova e mais seis para a amostra controle (sem termorreificação).

Após o tratamento térmico, as amostras foram submetidas a alguns testes de usinagem da madeira, sendo estes:

- Aplainamento – teste de plaina
- Lixamento – teste de lixa
- Furação – teste de broca
- Rasgo – teste de torno
- Fendilhamento por pregos

Os procedimentos adotados nos testes serão baseados também nos parâmetros estabelecidos pela norma ASTM D 1666–87, e no trabalho realizado por MARQUES et al. (1997) do LPF-Laboratório de Produtos Florestais, do IBAMA, intitulado: “Madeiras da Amazônia, características e utilização”. Serão avaliados os principais defeitos e sua intensidade sobre as peças, aplicando-se um sistema de notas de 1 a 5, onde 1 significa amostra sem defeitos e as demais notas serão determinadas em função da intensidade dos mesmos.

2.1 Teste de Plaina

Foi utilizada uma plaina desengrossadeira de 2 facas, com velocidade de alimentação de 6 m/min e rotação de 3600 rpm, com espessura de corte de 3 mm e o ângulo de ataque de 30°.

Nesta operação os corpos-de-prova foram avaliados em três situações. Na primeira foi observada a presença de defeitos, arrancamento de grã e arrepiamento nas superfícies das peças. Para as quais foram atribuídas as seguintes notas:

- Nota 1 – superfície isenta de quaisquer defeitos;
- Nota 2 – presença de arrepiamento leve a médio;
- Nota 3 – presença de arrepiamento forte e arrancamento leve;
- Nota 4 – presença de arrepiamento forte e arrancamento leve a médio;
- Nota 5 – presença de arrancamento forte, independente da presença de arrepiamento.

2.2 Teste de lixa

Para este teste foi utilizada uma lixadeira de esteira, possuindo 2,70 m entre a roda motriz e a roda guia, sobre as quais será montada a lixa de cinta estreita de 150 mm de largura, com costado em tecido “drill”, camada aberta, grão 60. A face lixada por meio de pressão foi a mesma utilizada no teste de plaina e o processo de lixamento se deu durante um período de 60 segundos.

No teste avaliou-se o riscamento de superfície e grã felpuda, e para cada situação foram conferidas as seguintes notas:

- Nota 1 – superfície sem defeitos;
- Nota 2 – leve, superfície com riscamento ou grã felpuda em apenas uma parte pequena da peça;
- Nota 3 – média, presença de riscamento ou grã felpuda em metade da superfície da peça;
- Nota 4 – severa, presença de riscamento ou grã felpuda em toda ou grande parte da peça.

2.3 Teste de Broca

Para este ensaios foi utilizada uma furadeira de coluna de 1 hp, equipada com broca, tipo helicoidal de aço. Cada amostra de madeira foi perfurada em dois pontos localizados a uma distância mínima de 25 mm de suas bordas e entre os furos.

No teste foi avaliada a ausência ou presença de queima da madeira, além da sua intensidade; o arrancamento de grã; a ocorrência de grã felpuda e de esmagamento de grã, atribuindo, de acordo com os defeitos encontrados, notas de 1 a 4:

- Nota 1 - superfície isenta de defeitos;
- Nota 2 - leve, superfície com queima da madeira, arrancamento de grã, grã felpuda e esmagamento de grã em uma parte pequena da peça;
- Nota 3 - média, presença de queima da madeira, arrancamento de grã, grã felpuda e esmagamento de grã, em metade da superfície da peça;
- Nota 4 - severa, presença de queima da madeira, arrancamento de grã, grã felpuda e esmagamento de grã, em toda ou grande parte da peça.

2.4 Teste de Rasgo

Para este teste utilizou-se uma furadeira horizontal RAIMANN de movimentos manuais, equipada com broca helicoidal de 8 mm e corte a direita. Os rasgos foram executados na extremidade lateral do corpo-de-prova em lado oposto ao lado onde foram feitos os furos de cavilha e dobradiça.

Para avaliação qualitativa da superfície dos rasgos foram atribuídas notas de um a cinco em função do levantamento de fibras nas bordas do rasgo, sendo:

- Nota 1 (excelente): ausência de levantamentos de fibras em qualquer das quatro bordas e no fundo;
- Nota 2 (boa): presença de levantamento leve em uma ou duas faces quaisquer;
- Nota 3 (regular): presença de levantamento forte em uma face e leve em outra;
- Nota 4 (ruim): presença de levantamento forte em duas a quatro faces quaisquer e fundo isento de levantamento;
- Nota 5 (muito ruim): presença de levantamento forte nas quatro faces e no fundo.

2.5 Fendilhamento por pregos

Nesta metodologia foram utilizados pregos 15x15 com 35 mm de comprimento e 2,4 mm de diâmetro, estes foram transpassados em uma das extremidades de cada amostra de madeira, a 10 mm de suas bordas e com um espaçamento de 20 mm entre si, empregando-se um martelo de 425 g. Este teste foi realizado nas amostras utilizadas no teste de lixa.

A avaliação do grau de aceitação dos pregos foi feita através da verificação da presença de rachas ou trincas e de suas dimensões, mesmo quando estas se apresentarem insignificantes, não alcançando o topo das amostras (observadas

na superfície de penetração). A presença ou não destas rachas determinam a aceitação da madeira em relação ao uso de pregos.

2.6 Rugosidade

As análises quantitativas das superfícies usinadas foram feitas através da medição das rugosidades das peças com auxílio de um equipamento desenvolvido no próprio Laboratório de Processamento Mecânico, seguindo o método da agulha, mesa dendrométrica e relógio comparador. O *Cut off* foi de 20mm e parâmetros da rugosidade da superfície determinados foram: Ra, média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil da linha média; Rz, soma da altura média dos cinco picos mais altos do perfil e a profundidade dos cinco vales mais profundos do perfil, medidos de uma linha paralela à linha média; Rt, a soma da altura do pico máximo do perfil e a profundidade do vale máximo do perfil sobre a extensão avaliada.

Para os ensaios de usinagem foram utilizadas 5 peças para cada tratamento, totalizando 30 amostras. Foram feitas 2 medições no sentido transversal às fibras para cada sentido de usinagem da plaina (a favor ou contra). A análise estatística foi realizada com o uso do programa Assistat 7.6, e os resultados obtidos foram analisados por meio da ANOVA e Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

3. Resultados e Discussão

De modo geral, os defeitos mais observados durante as operações de usinagem (aplainamento, furação, lixamento, rasgo e fendilhamento de pregos) foram grã arrancada, arrepiamento das fibras (grã felpuda ou lanosa), levantamento das fibras e grã comprimida.

As peças que obtiveram nota 1 (excelente) e 2 (bom) foram aprovadas para serem utilizadas na confecção de produtos que requerem um ótimo acabamento da superfície, tais como, confecção de móveis, pisos, etc. As peças com notas de 3 a 4 foram aprovadas para serem utilizadas em usos mais rústicos, onde a aparência da superfície não é fator preponderante, tais como portas, janelas, aduelas, estrutura interna de estofados e móveis, etc.

Como os defeitos nem sempre eram semelhantes em todas as operações, optou-se por avaliar cada operação separadamente.

3.1 Teste de Plaina

Nos diferentes tratamentos pode se observar que as notas atribuídas para o defeito de grã arrancada e grã felpuda, para a madeira não termorretificada e termorretificada (nas diferentes temperaturas e tempo), a favor ou contra a grã obtiveram notas inferiores a 3, ou seja, a madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta bom desempenho frente a essa operação., conforme pode ser visto na Tabela 1 do anexo. Os detalhes do defeito grã arrancada podem ser vistos na Figura 1 do anexo.

3.2 Teste de lixa

Com relação ao teste de lixa, pode se observar um comportamento ruim com relação as amostras controle (sem termorreificação), na qual 80% das peças apresentaram nota 3, ocorrendo defeitos como grã felpuda e riscamento. E também se observou que a medida que aumenta a temperatura e o tempo de termorreificação, melhores são as notas das peças, conforme a Tabela 2 do anexo.

3.3 Teste de Broca

Nesse teste se observou que para os furos para cavilha de forma geral os diferentes tratamentos não tiveram diferença relativa, sendo o furo de 6 mm melhor que o de 10 mm que por sua vez foi melhor que o de 8 mm. Com relação aos furos para dobradiça, semelhantemente que o para cavilha, os tratamentos não tiveram diferenças relativa. Com notas variando de 1 à 3, e os defeitos observados foram, grã felpuda, arrancada e levantada.

3.4 Teste de Rasgo

Com relação a este teste pode se observar que a medida que aumenta a temperatura e o tempo de termorreificação, melhores são as notas. Como por exemplo a comparação da amostra controle com o tratamento 215°C/4 horas, onde a amostra controle recebeu notas de 2 à 4 enquanto ao outro tratamento recebeu notas de 1 à 2, evidenciando o efeito da termorreificação sobre esse teste. Nesse teste os defeitos observados foram grã felpuda, levantada e arrancada.

3.5 Fendilhamento de pregos

Para esse teste diferentemente de alguns outros testes, foi observado que procedimento de termorreificação tem um efeito direto sobre a resistência da madeira ao fendilhamento de pregos, onde por exemplo, em comparação, o tratamento 215°C/ 4 horas com relação à amostra controle, a amostra controle aceitou pregos em todas as peças e já o tratamento 215°C/ 4 horas não.

3.6 Rugosidade

Na tabela 3 estão dispostos as médias do Ra obtidos nas peças de *Eucalyptus grandis*. Observa-se que existe diferença significativa a 5% entre os tratamentos controle e do tratamento 215°C dos demais tratamentos. PALERMO 2010 estudando a qualidade das superfícies para essa mesma espécie encontrou Ra de 11,91 para a madeira termorreificada a 190°C/ 6 horas, valor próximo ao encontrado neste trabalho para o tratamento 215°C/ 4 horas no sentido a favor das fibras. O Rt médio no tratamento 160-4h Foi de 89-18, valor relativamente alto e essa valor sugere atenção quanto a usinagem neste tratamento. O Rz médio foi de 63,4, próximo ao encontrado por Martins 2010 que foi de 60,16. Esses parâmetros de usinagem demonstram importância somente quando analisados em conjunto para qualificação da superfície.

Referências Bibliográficas

BORGES, L.M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribea* var. *hondurensis* tratada termicamente. **Revista Biomassa & Energia**, Vol 1, N.2, 2004, p.173 - 182.

CETEMO A madeira de eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, Belo Horizonte, 1998; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. Anais.... Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998, p. 191-195.

FERREIRA, S.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.; TRUGILHO, P.F. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. *Revista Cerne*, Lavras, v.10, n.1, p.10-21, 2004.

MARQUES, M.H.B., MELO, J.E. et al. Madeiras da Amazônia: características e utilização. 1997. 141p. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

MARTINS, S. A.; FERRAZ, J. M.; DOS SANTOS, C. M. T.; DEL MENEZZI, C. H. S.; DE SOUZA, M. R. Efeito da usinagem na rugosidade da superfície da madeira de *eucalyptus benthamii* maiden et cambage. In: Anais do II Simpósio de Ciência e Tecnologia da Madeira do Estado do RJ, 2010.

PALERMO, G.P. de M.; LATORRACA, J. V. F.; MOURA, L. F de; NOLASCO, A. M.; CARVALHO, A. M. de; GARCIA, R. A. Rugosidade superficial da madeira de *eucalyptus grandis* hill ex. Maiden após termorreificação. In Anais do Simpósio de Ciência e Tecnologia da Madeira do Estado do RJ, 2010.

SILVA, J.C. Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* hill ex. maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira. 2002a. 160f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

VALENÇA, A.C.V.; PAMPLONA, L.M.P.; SOUTO, S.W. Os novos desafios para a indústria moveleira no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.15, p.83-96, 2002.

ANEXO

Tabela 1: Teste de plaina em *Eucalyptus grandis* termorreteficada:

Teste de Plaina																				
Velocidade : 6 m/min																				
Notas(%)																				
Tratamentos	1				2				3				4				5			
	F	D	C	D	F	D	C	D	F	D	C	D	F	D	C	D	F	D	C	D
160°C/4h	60	-	20	-	40	Grã Felpuda	40	Grã Arrancada	-	-	40	Grã Arrancada	-	-	-	-	-	-	-	-
180°C/2h	60	-	20	-	40	Grã Felpuda e Arrancada	60	Grã Arrancada	-	-	20	Grã Felpuda e Arrancada	-	-	-	-	-	-	-	-
180°C/4h	100	-	60	-	-	-	40	Grã Arrancada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200°C/2h	100	-	60	-	-	-	40	Grã Arrancada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
215°C/4h	100	-	80	-	-	-	20	Grã Arrancada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Controle	80	-	60	-	20	Grã Felpuda e Arrancada	20	Grã Felpuda	-	-	20	Grã Felpuda e Arrancada	-	-	-	-	-	-	-	-

F = a Favor, C = Contra, D = Defeito

Tabela 2: Teste de Lixa em madeira de *Eucalyptus grandis* termorreteficada:

Teste de Lixa										
Notas(%)										
Tratamentos	1	Defeito	2	Defeito	3	Defeito	4	Defeito	5	Defeito
160°C/4h	-	-	60	Grã Felpuda e Riscamento	40	Grã Felpuda e Riscamento	-	-	-	-
180°C/2h	20	-	80	Grã Felpuda e Riscamento	-	-	-	-	-	-
180°C/4h	20	-	60	Grã Felpuda e Riscamento	20	Grã Felpuda	-	-	-	-
200°C/2h	60	-	20	Grã Felpuda	20	Grã Felpuda e Riscamento	-	-	-	-
215°C/4h	40	-	60	Grã Felpuda	-	-	-	-	-	-
Controle	-	-	20	Grã Felpuda e Riscamento	80	Grã Felpuda e Riscamento	-	-	-	-

Tabela 3: Médias do parâmetro de rugosidade (Ra) em *Eucalyptus grandis* termorreteficada:

Amostra	Ra [μm]	
	Favor	Contra
Controle	9,00 bcd	24,00 abc
160°/4h	14,91 bcd	25,66 ab
180°/2h	11,99 bcd	18,19 bcd
180°/4h	12,75 bcd	8,33 d
200°/2h	14,75 bcd	19,03 bcd
215°/4h	10,49 cd	35,44 a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4: Análise da variância do parâmetro de rugosidade (Ra) em *Eucalyptus grandis* termorreteficada:

F.V.	G.L	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	11	317.171	28,8337	8.2174**
Resíduo	12	4.210.620	350.885	
Total	23	3.592.778		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)



Figura 1 : Detalhes de grã arrancada no teste de plaina.



Figura 2 : *Ilustração do teste de rasgo em uma peça*



Figura 3: *Ilustração do Fendilhamento de pregos em uma peça pertencente ao tratamento 215°C/4 horas.*