

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DO TEMPO E MÉTODOS DE AQUECIMENTO DE  
TORAS DE *Eucalyptus grandis* HILL EX-MAIDEN, E SUA INFLUÊNCIA  
NO RENDIMENTO EM LAMINAÇÃO E NA QUALIDADE DAS  
LÂMINAS.**

**ADEMILSON CONEGLIAN**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de  
Botucatu, para obtenção do Título de Mestre  
em Agronomia - Área de Concentração em  
Energia na Agricultura

BOTUCATU - SP

Agosto – 2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DO TEMPO E MÉTODOS DE AQUECIMENTO DE  
TORAS DE *Eucalyptus grandis* HILL EX-MAIDEN, E SUA INFLUENCIA  
NO RENDIMENTO EM LAMINAÇÃO E NA QUALIDADE DAS  
LÂMINAS.**

**ADEMILSON CONEGLIAN**

Orientador: Profº Dr. Elias Taylor Durgante Severo

Co-Orientador: Profº Dr. Geraldo Bortoletto Júnior

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em  
Agronomia - Área de Concentração em Energia  
na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Agosto – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E  
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO  
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C747a Coneglian, Ademilson, 1980-  
Avaliação do tempo e métodos de aquecimento de toras de  
*Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden, e sua influência no ren-  
dimento em laminação e na qualidade das lâminas / Ademil-  
son Coneglian. - Botucatu : [s.n.], 2006.  
xiv, 100 f. : il., color., gráfs, tabs.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2006  
Orientador: Elias Taylor Durgante Severo  
Co-orientador : Geraldo Bortoletto Júnior  
Inclui bibliografia

1. Toras de madeira - Aquecimento. 2. Toras de madeira -  
Modelos matemáticos. 3. *Eucalyptus grandis*. 4. Madeira -  
Tecnologia. 5. Indústria madeireira. I. Severo, Elias Tay-  
lor Durgante. II. Bortoletto Júnior, Geraldo. III. Uni-  
versidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Cam-  
pus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. VI.  
Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

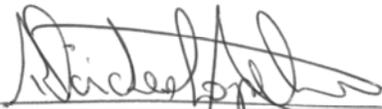
**TÍTULO: AVALIAÇÃO DO TEMPO E MÉTODOS DE AQUECIMENTO DE TORAS DE  
*Eucalyptus grandis* HILL EX-MAIDEN E SUA INFLUÊNCIA NO RENDI-  
MENTO EM LAMINAÇÃO E NA QUALIDADE DAS LAMINAS.**

ALUNO: ADEMILSON CONEGLIAN

ORIENTADOR: PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ALCIDES LOPES LEÃO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. SETSUO IWAKIRI

Data da Realização: 14 de agosto de 2006.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me emprestar diariamente o coração que pulsa, o oxigênio que respiro, o solo em que caminho e milhões de itens para que eu exista. Autor : Augusto Cury

Aos meus pais Irani Alves Nunes e Antonio Carlos Coneglian pelos esforços, compreensão auxílio e suporte em mais uma etapa conquistada. Ao meu irmão Adilton Coneglian pela amizade durante todos esses anos. A minha namorada Thaís Mariana Marques Salles pelo amor, carinho, compreensão e principalmente pela companhia em momentos difíceis de estresse.

Ao meu Orientador e Professor Dr. Elias Taylor Durgante Severo (Unesp), pelo profundo conhecimento na orientação, sugestões, colaboração, confiança e amizade;

Ao meu Co-Orientador e Professor Dr. Geraldo Bortolletto Júnior (ESALQ-USP), pela eficiência, conhecimento, sugestões e auxílio durante a coleta dos dados e finalização da dissertação;

Ao curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual Paulista, pela aceitação na área de concentração em Energia na Agricultura; a secretária Rosângela pelo auxílio na compra dos termopares.

À Floresta Estadual de Águas de Santa Bárbara e ao Horto Florestal de Mandurí pertencente ao Instituto Florestal – Seção de Mandurí, pelo fornecimento do material e disponibilidade dos funcionários no auxílio da coleta do material, em especial ao Engenheiro Florestal Dr. Elizeu de Souza Baena e pela amizade ao Engenheiro Agrônomo Mestre Clovis Ribas.

Ao Professor Dr. Marco Antônio M. Biaggioni pelo voto de confiança, no empréstimo do Datalogger CR10 para importante coleta dos dados durante os tratamentos térmicos realizados.

Ao Professor Dr. Adriano Wagner Ballarin, pela amizade, sugestões e empréstimo do equipamento de ultrassom.

Ao Engenheiro Agrônomo Dr. Antonio Ribeiro da Cunha, pela sincera amizade e companheirismo durante a programação e instalação dos equipamentos;

Aos funcionários do Departamento Recursos Naturais/ Ciências Florestais Dicão, Edson e João, pela amizade e auxílio no corte e transporte do material da dissertação;

Ao pessoal da Seção de Atividades Auxiliares – Transportes da FCA – UNESP pelas inúmeras viagens e transportes do material coletado entre Mandurí- Piracicaba e Piracicaba – Botucatu, aos motoristas Donizeti, Jaime, Adalberto, Vitão, Carlinho, Fogassa, em especial o chefe da seção Jairo;

Ao pessoal da Seção de Conservação e Manutenção pela construção de equipamentos para ao auxílio da coleta dos dados, em especial o funcionário Claudir;

Aos colegas de Pós-Graduação Fred Calonego, Wagner Batista, André Luís, Waldimir (Físico), Flavia Marcelino, Silvia Gabriel; pelas sugestões; colaboração, e bons momentos juntos

Ao professor Dr. Cláudio A. Sansigolo pela colaboração e auxílio nas modificações da dissertação. Em especial ao professor Dr. José Eduardo Corrente (Bioestatística-UNESP) com profundo conhecimento para o auxílio das análises estatísticas e nos modelos matemáticos gerados. Muitos destes fora do horário de trabalho.

As funcionárias Lurdinha e Silvia do Departamento Recursos Naturais/ Ciências Florestais e Marielena, Jackeline e Marlene da seção de pós-graduação pelas informações oferecida;

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa e estímulo de trabalho.

A todos aqueles que emprestaram sua amizade e apoio direto ou indiretamente durante a realização deste curso.

A minha melhor gratidão é trazer um pouco de cada um deles dentro de mim e levar os frutos e suas sementes para minha vida, meu trabalho e deixando um agradecimento a todos eles que me foram tão queridos e importantes

## SUMÁRIO

	Páginas
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XI</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
3.1 O gênero <i>Eucalyptus</i> .....	5
3.2 Aspectos relacionados à laminação de toras de <i>Eucalyptus</i> .....	7
3.2.1 Tensões de crescimento .....	7
3.2.2 Técnicas de liberação das tensões de crescimento .....	10
3.2.2.1 Anelamento, cintamento e gang nail .....	11
3.2.2.2 Tratamento térmico de toras .....	14
3.3 Determinação do tempo de aquecimento de toras .....	19
3.3.1 Avaliação da temperatura por termopares .....	21
3.4 Laminação de toras .....	22
3.4.1 Aspectos relacionados ao torno desfolhador .....	22
3.4.2 Lâminas de madeira .....	24
3.5 Uso do ultra-som para determinação de constantes elásticas das lâminas .....	26
3.6 Produção de lâminas de madeira e fabricação de painéis compensados .....	27
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
4.1 Espécie utilizada .....	33
4.2 Coleta e preparação do material .....	34
4.3 Determinação do teor de umidade e da massa específica básica das toras.....	36
4.4 Tratamentos para liberação das tensões de crescimento .....	37
4.5 Anelamento das toras .....	37
4.6 Tratamento térmico.....	38
4.6.1 Tratamento por imersão em água quente.....	38
4.6.2 Tratamento por vapor .....	39
4.7 Determinação da temperatura e monitoramento do tempo de aquecimento das toras. ...	40
4.7.1 Monitoramento da temperatura das toras. ....	41
4.7.2 Instalação dos termopares nas toras.....	42
4.8 Preparação das toras para laminação .....	44
4.9 Regulagem do torno laminador e desfolhamento das toras.....	45
4.10 Determinação do rendimento na laminação .....	46

## SUMÁRIO

	<b>Páginas</b>
4.11 Secagem e classificação das lâminas.....	50
4.12 Qualidade das lâminas.....	51
4.12.1 Uniformidade em espessura.....	51
4.12.2 Contração máxima das lâminas.....	51
4.12.3 Teor de umidade das lâminas.....	54
4.12.4 Ensaios não-destrutivos nas lâminas por ultra-som.....	55
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>59</b>
5.1 Massa específica básica e o teor de umidade das toras de <i>Eucalyptus grandis</i> .....	59
5.2 Rendimento da laminação.....	62
5.3 Qualidade das Lâminas.....	71
5.4 Tempo de aquecimento das toras.....	73
5.5 Avaliação do módulo de elasticidade longitudinal através de ensaios não-destrutivos. .	74
5.6 Ajuste de um modelo matemático entre o tempo real do tratamento térmico vapor em função da temperatura e da distância radial das toras. ....	80
5.7 Ajuste de um modelo matemático entre o tempo real do tratamento térmico em água quente em função da temperatura e distância radial das toras.....	84
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>89</b>
<b>7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>98</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparativo entre as tensões sofridas por uma árvore, uma antena de televisão e uma coluna de concreto protendido.....	8
Figura 2. Esquema do anelamento das toras com motosserra.....	13
Figura 3. Demonstração do movimento do torno seguindo uma espiral.....	22
Figura 4. Secção transversal de um torno, mostrando a relação geométrica entre as principais partes do corte da lâmina.....	23
Figura 5. Plantio de <i>Eucalyptus grandis</i> , utilizado para este estudo.....	34
Figura 6. A) Medição do DAP das árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> ; B) Corte mais próximo do solo das árvores selecionadas.....	35
Figura 7. Esquema simplificado da coleta do material.....	36
Figura 8. Esquema do sistema de anelamento das toras com auxílio da motosserra.....	38
Figura 9. Tratamento térmico e posicionamento das toras no tanque do Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira da ESALQ - USP.....	39
Figura 10. Tratamento térmico por vapor e posicionamento das toras no tanque de aquecimento.....	40
Figura 11. Faixas de temperaturas favoráveis para laminação de madeiras (folhosas) com base na massa específica básica.....	41
Figura 12. Esquema simplificado da acomodação dos três termopares na tora.....	42
Figura 13. Acomodação dos termopares nas toras: A) Termopar acoplado somente com a proteção de silicone; B) Termopar acomodado com a proteção de durepox e silicone. ...	43
Figura 14. Sistema utilizado para acomodação das toras no tanque.....	43
Figura 15. Figura do sistema utilizado para o acoplamento dos termopares no equipamento de aquisição de dados, datalogger (Campbell Scientific - CR10 )......	44
Figura 16. Preparo das toras para a laminação. A) Retirada das placas de identificação da tora e o termopar; B) Tora já fixada no torno laminador.....	45
Figura 17. Desenrololamento das toras após o tratamento térmico: A) Tora arredondada; B) Lâminas sendo enrolada em uma bobina “carretel”; C) Final da laminação e D) Rolos-resto retirados.....	46

Figura 18. Separadores de madeira para secagem das lâminas. ....	50
Figura 19. Dimensões das amostras indicando os pontos de medição 1º, 2º e 3º para determinação das retrações das lâminas de <i>Eucalyptus grandis</i> .....	52
Figura 20. Leituras efetuadas nas amostras com micrômetro e paquímetro. A) Leitura no sentido radial; B) Leitura no sentido tangencial. ....	52
Figura 21. Medidor de umidade Digisystem, modelo DL 822.....	54
Figura 22. Medição do teor de umidade nas lâminas. A) Leituras efetuadas na lâmina; B) Detalhamento das agulhas sensoras sobre a superfície da lâmina.....	55
Figura 23. Ensaio de ultra-som nas lâminas de <i>Eucalyptus grandis</i> . A) Aparelho BP-7; B) Aplicação da camada de gel; C) Vista geral do equipamento; D) Região da leitura dos transdutores efetuada nas lâminas. ....	56
Figura 24. Correlação entre classificação das lâminas X massa específica (vapor).....	76
Figura 25. Correlação entre classificação de lâminas X módulo de elasticidade (vapor).....	77
Figura 26. correlação entre classificação de lâminas X massa específica (água).....	78
Figura 27. Correlação entre classificação de lâminas X módulo de elasticidade (água).....	78
Figura 28. Modelo matemático ajustado entre o tempo real monitorado em função de temperatura e da profundidade do rolo-resto no tratamento térmico vapor. ....	82
Figura 30. Exemplo aplicável de tempo gasto para o atingir 70°C rolo-resto de 137,5 mm para o tratamento térmico com vapor. ....	84
Figura 29. Modelo matemático ajustado entre o tempo real monitorado em função de temperatura e da profundidade do rolo-resto no tratamento térmico com vapor. ....	86
Figura 31. Exemplo aplicável de tempo gasto para o atingir 70°C rolo-resto de 117,5mm para o tratamento térmico imersão em água quente. ....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação encontrada sobre a densidade e a temperatura de vaporização a ser usada .	18
Tabela 2. Início da produção mundial de diversos painéis de madeira versus a produção brasileira. ....	29
Tabela 3. Massa específica básica e teor de umidade com base na massa seca das toras de <i>Eucalyptus grandis</i> , antes do tratamento térmico em água quente.....	60
Tabela 4. Massa específica básica e teor de umidade com base na massa seca das toras de <i>Eucalyptus grandis</i> , antes do tratamento térmico em vapor.....	60
Tabela 5. Diâmetros (m) e volumes (m <sup>3</sup> ) da madeira de cada diâmetro da espécie <i>Eucalyptus grandis</i> para o tratamento térmico ( Imersão em água quente ),entre as diferentes fases durante a laminação. ....	63
Tabela 6. Diâmetros (m) e volumes (m <sup>3</sup> ) da madeira de cada diâmetro da espécie <i>Eucalyptus grandis</i> para o tratamento térmico (Vapor), entre as diferentes fases durante a laminação. ....	64
Tabela 7. Perdas percentuais nas diferentes fases de obtenção de lâminas por desenrolo e rendimento para a madeira <i>Eucalyptus grandis</i> para o tratamento térmico ( Imersão em água quente). Os valores foram agrupados por classe diamétrica. ....	65
Tabela 8. Perdas percentuais nas diferentes fases de obtenção de lâminas por desenrolo e rendimento para a madeira <i>Eucalyptus grandis</i> para o tratamento térmico ( Vapor ). Os valores foram agrupados por classe diamétrica. ....	66
Tabela 9. Perdas percentuais médias nas diferentes etapas da laminação e rendimento do processo para algumas espécies de <i>Eucalyptus</i> disponíveis na literatura.....	67
Tabela 10. Análise comparativa entre perdas totais dos dois tratamentos térmico. ....	69
Tabela 11. Análise comparativa entre perdas no rendimento entre os dois tratamentos térmicos .....	69
Tabela 12. Qualidade e número de lâminas por classe de diâmetro e tratamento térmico.....	71
Tabela 13. Porcentual de lâminas por classe de diâmetro e tratamento térmico.....	72
Tabela 14. Tempo de aquecimento de todas as classes diamétricas com 50 mm de raio no rolo-resto para atingir 80 °C. ....	73
Tabela 15. Valores médios de massa específica, velocidade e MOE obtidos através de ensaios não destrutivos com o uso de ultra-som nas lâminas.....	74

Tabela 16. Valores das constantes geradas em função da análise de regressão .....80

Tabela 17. Valores das constantes geradas em função da análise de regressão .....85

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo determinar um modelo matemático para estimar o tempo de aquecimento de toras de *Eucalyptus grandis* em vapor e água quente e a implicação dos tratamentos térmicos sobre a qualidade e rendimento na produção de lâminas. Para tanto, foram utilizadas toras com diâmetros de 25 + 30 cm, 30 + 35 cm, 35 + 40 cm, procedentes do Horto Florestal de Águas de Santa Bárbara-SP. Estas toras foram submetidas a dois (2) tipos de tratamento térmico a uma temperatura de 85° C, sendo que no primeiro as toras foram vaporizadas e no segundo as toras foram aquecidas em água quente. Em ambos os tratamentos térmicos a madeira foi aquecida até que o rolo-resto (50mm) atingisse 80° C. Para o monitoramento da temperatura e tempo de aquecimento, foi inserido um termopar no rolo-resto, os dados foram coletados por um equipamento datalogger CR10, minuto a minuto até que atingisse a temperatura desejada. Após o período de aquecimento, as toras foram laminadas em um torno laminador, guilhotinadas, numeradas e separadas, para avaliar o efeito dos tratamentos térmicos sobre a qualidade das lâminas em diferentes classes de diâmetros. Cada lâmina foi medida na direção tangencial e radial antes da secagem ao ar livre e posteriormente à mesma. Isso ocorreu tanto com as lâminas provenientes das toras do tratamento térmico com água quente como das toras vaporizadas. O modelo matemático logístico inverso obtido para estimar o tempo de aquecimento das toras tanto em água quente quanto para vapor, levando em consideração as três classes de diâmetro e a profundidade do

rolo-resto com 50mm de raio, foi o seguinte

$$T = \left[ \frac{\ln \left( \frac{a}{\theta} - 1 \right) - c}{b} \right] \text{ com o tempo}$$

estimado em função da temperatura desejada. Os resultados mostraram que o rendimento médio do processo de laminação das toras que receberam tratamento térmico em água quente foi de 22,00%, enquanto que no tratamento térmico em vapor este rendimento foi de 34,56%. No tratamento térmico em água quente, em todas as classes de diâmetros, a maior porcentagem de lâminas encontra-se nos níveis de qualidade B e C. Já no tratamento térmico com vapor, as classes de diâmetros 25 + 30 cm, 30 + 35 cm de diâmetro a maior porcentagem

de lâminas encontra-se nos níveis de qualidade C e D e para a classe de diâmetro de 35 + 40 cm as lâminas encontram-se nos níveis B e C. A classificação das lâminas por classes de qualidade para ambos os tratamentos térmicos, apresentaram qualidade satisfatória para manufatura de compensados. O modelo matemático logístico foi bem ajustado, demonstrando viabilidade técnica para ser empregado no aquecimento de toras de *Eucalyptus grandis* nas indústrias laminadoras.

---

**Palavras-chave:** *Eucalyptus grandis*, Tensões de crescimento, Tempo de aquecimento de toras, Laminação, modelos matemáticos ajustados.

## SUMMARY

The aim of this study was to determine a mathematical model to estimate the heating time for *Eucalyptus grandis* logs, in vapor and thermal hot water and the implication of thermal treatments on the sheet production quality and yield. In order to do so, logs with a diameter of 25 ÷ 30 cm, 30 ÷ 35 cm e 35 ÷ 40 were used, coming from Horto Florestal, Águas de Santa Barbara, São Paulo. The logs were submitted to two (2) types of thermal treatment at a temperature of 85 ° C. In the first treatment, the logs were vaporized and in the second one they were heated in hot water. In both thermal treatments, the wood was heated until the roll-rest reached 80 °C. For the temperature and heating time monitoring a thermo pair was filled in the roll-rest. A CR10 equipment datalogger was used for collecting the data every minute until the desired temperature was reached. After the heating period, the logs were laminated by the laminating lathe, guillotined, numbered and separated, to evaluate the effect of the thermal treatments on the sheet quality in different diameter classes. Each sheet was measured in the tangential and radial directions before the outdoors drying and then to the same. The same thing happened both for the sheets coming from the hot water thermal treatment logs as for the vaporized logs. The converse mathematical logistic model obtained to estimate the heating time of the logs, in hot water and vapor, considering the three diameter classes and the roll-rest

depth with 50mm radius, was the following one

$$T = \left[ \frac{\ln \left( \frac{a}{\theta} - 1 \right) - c}{b} \right] \text{ with the}$$

estimated time in function of the desired temperature. The results indicated that the average yield for the sheet process in *Eucalyptus grandis* logs which received the hot water thermal treatment was 22,00% and for the *Eucalyptus grandis* logs which were vaporized was 34,56%. Using the thermal treatment with hot water, the biggest sheet percentage was found in the quality levels B and C, in the whole diameter classes. Already, the thermal treatment with vapor applied to logs with a diameter of 25 ÷ 30 cm, 30 ÷ 35 cm, the biggest sheet percentage was found in levels C and D and for a diameter class of 35 ÷ 40, the sheets were found in levels B and C. The classification of the sheets by their quality class, to both thermal

treatments, presented a satisfactory quality to the plywood manufacture. The mathematical logistic model was well adjusted and it demonstrated a feasibility technique that could be used in the heating of *Eucalyptus grandis* logs at the laminating industries.

---

**Keywords: Eucalyptus grandis, Growth stress, Log steaming time, lamination, adjusted mathematical models.**

## **1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA**

O início das atividades industriais na produção de lâminas e compensados no Brasil está diretamente relacionado com a vinda de imigrantes europeus, no início da década de 40, atraídos pela abundância da madeira de *Araucaria angustifolia*, na região sul do país.

A escassez da matéria-prima decorrente da exploração inadequada e incontrolada da madeira de *Araucaria angustifolia* até o início da década de 70, fez com que as indústrias transferissem as suas atividades produtoras para a região norte do país, em função da abundância e disponibilidade de matéria-prima proveniente da floresta Amazônica.

Atualmente, verifica-se uma redução da oferta de madeira para processamento mecânico oriundo de florestas nativas, devido a uma exploração inadequada, ausência de manejo sustentável, pressão sócio-ambiental, distância dos centros produtores e necessidade de certificação que o mercado exige para exportação do produto.

Devido as necessidades de manejo sustentável de florestas nativas, o governo brasileiro estabeleceu leis federais e estaduais para a proteção dos recursos naturais ainda existentes, dificultando ao menos a retirada de madeira nativa apropriada para industrialização de lâminas e produção dos compensados. Com essa ação do governo, aumentou a demanda pela utilização de madeira oriunda de reflorestamento para

processamento mecânico. As espécies mais utilizadas no Brasil atualmente são do gênero *Pinus* e *Eucalyptus* os quais apresentam rápido crescimento e estão bem adaptadas às nossas condições climáticas.

A madeira de *Pinus* é empregada há 30 anos na indústria de painéis compensados, porém estimativas apontam que em médio (10 a 15 anos) prazo haverá um descompasso entre a oferta e a demanda dessa, o que deve gerar problemas no abastecimento da matéria-prima para o segmento de produção de lâminas, manufatura do compensado e madeira-sólida. Isso ocorreu devido à redução das taxas de plantio nas décadas de 80 e 90.

Assim, o gênero *Eucalyptus spp.* apresenta-se com grande potencial para suprir esta demanda de matéria-prima em função das boas características físico-mecânicas, rápido crescimento e grandes áreas plantadas no Brasil. Pesquisas realizadas sobre o comportamento deste gênero para laminação e produção de painéis compensados têm sido amplamente realizadas no Brasil. Entretanto, o monitoramento da temperatura no interior das toras durante os tratamentos térmicos é um tema importante que deve ser pesquisado com profundidade.

Os mercados nacionais e internacionais, a cada dia, valorizam mais as espécies originárias de florestas plantadas, com o intuito de reduzir custos e atender consumidores de consciência ecológica. A possibilidade de utilizar o compensado manufaturado a partir do gênero *Eucalyptus spp.* proporciona redução no uso de madeira nativa, e contribuindo para uso mais racional, dos recursos florestais. Além disso, o fato de empregar espécies de reflorestamento para a confecção dos materiais, pode ser utilizado como estratégia de marketing (Bortoletto, 2003).

Entretanto, a utilização do gênero *Eucalyptus spp.* para laminação tem apresentado problemas no processo de desenrolamento, devido ao aparecimento de defeitos que contribuem para consideráveis perdas de matéria-prima.

Os principais problemas na utilização do gênero *Eucalyptus spp.* para produção de lâminas e confecção dos compensados, referem-se primeiramente ao aparecimento de acentuadas rachaduras no topo das toras, que são provocadas pelas tensões de crescimento e pela secagem, ocasionando perdas de matéria-prima e, conseqüentemente,

um baixo rendimento.

Para contornar esse problema das indústrias de compensado, a literatura recomenda o anelamento das toras e um tratamento térmico.

No entanto, o tempo de vaporização de toras está relacionado ao seu diâmetro, e por isso deve-se desenvolver modelos matemáticos de fácil utilização, em que se leve em consideração as características físicas da madeira, o tempo de aquecimento e a temperatura ideal para a laminação, que é bastante útil para a indústria de compensado.

A escolha da madeira de *Eucalyptus grandis* para este estudo deve-se a grandes áreas de plantios existentes no estado de São Paulo, além de recomendações da literatura sobre a sua utilização no processo mecânico de desenrolamento.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho foi determinar o tempo de aquecimento de toras de *Eucalyptus grandis* necessário para atingir a temperatura de 80 °C no rolo-resto de 50mm de raio utilizando dois meios de aquecimento, água quente e vapor saturado e a sua influencia no rendimento e qualidade das lâminas. Os seguintes objetivos específicos foram desenvolvidos:

- a) Obter um modelo matemático que estima o tempo ótimo de aquecimento em função do diâmetro e da temperatura desejada nas toras.
- b) Avaliar o rendimento no processo de laminação em função do meio de aquecimento.
- c) Avaliar a qualidade das lâminas produzidas em função do meio de aquecimento.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 O gênero *Eucalyptus*

As espécies do gênero *Eucalyptus* têm sua origem na Austrália, Tasmânia e ilhas da Oceania (Java, Filipinas, Papua, Timor, etc). São árvores de grande porte e de rápido crescimento, aptas ao manejo pelo sistema de talhadia, as quais após o corte raso as gemas dormentes dos cotilédones e primeiras folhas, entram em atividade, permitindo a condução das rebrotas por mais duas rotações. Nas florestas australianas, existem cerca de 720 espécies reconhecidas, das quais aproximadamente 100 são utilizadas em produtos madeireiros. Esta abundância de espécies de eucalipto é a maior responsável pelo desenvolvimento das indústrias florestais australianas (WAUGH, 1998).

A principal área de ocorrência natural do *E. grandis* situa-se ao norte de Nova Gales do Sul e ao sul de Queensland, entre as latitudes 25° e 33° Sul, ocorrendo ainda, no centro (latitude 21° Sul) e no norte (16 a 19° Sul) de Queensland. As altitudes variam desde próximas ao nível do mar até 600 m, na área de maior ocorrência e entre 500 e 1.100 m nas áreas mais ao norte (Atherton-QLD). O clima varia de subtropical úmido (área sul) a tropical úmido (Atherton -QLD) (EMBRAPA, 1986).

O incremento da utilização da madeira de *Eucalyptus spp.* pode contribuir até mesmo para que o Brasil alcance melhor posição entre os maiores produtores mundiais de madeiras. O gênero *Eucalyptus spp.* como matéria-prima tem como principal utilização a produção de celulose, papel, chapas de fibras, aglomerados, madeira serrada, móveis, painéis e óleos essenciais. Outras vantagens adicionais são a proteção do solo contra erosões; capacidade de captação de CO<sub>2</sub>; a geração de energia (carvão e lenha); tanino (curtimento do couro) e mel (visando a polinização, pólen). Com isso, o *Eucalyptus spp.* pode ser uma fonte de riqueza econômica e social, gerando empregos diretos e indiretos (ARACRUZ CELULOSE, 2000).

De acordo com Wallis (1970), as principais espécies utilizadas na Austrália para a produção de compensados são o *Eucalyptus maculata*, *E. regnans*, *E. diversicolor*, *E. marginata*, *E. oblíqua* e *E. delegatensis*. As principais características do eucalipto que dificultam sua utilização são a densidade relativamente alta, a facilidade com que as toras racham longitudinalmente a partir dos topos e a susceptibilidade ao colapso durante a secagem.

Algumas espécies de eucaliptos desenvolvem altos níveis de tensão de crescimento que podem causar fendilhamento severo nas toras, distorções durante o desdobro e contrações durante a secagem. As causas destes altos níveis de tensão ainda não são bem entendidas. Os fatores prováveis são: genótipo, idade, tamanho da tora, taxa de crescimento, entre outros. No entanto, as tensões de crescimento podem ser melhor distribuída em toras de maior porte do que em toras de menor tamanho da mesma idade (PIO, 1996).

Apesar disso, Wallis (1970) afirma que a partir da madeira de eucalipto é possível produzir compensados com o mais alto padrão de qualidade, desde que seja introduzida técnica de processamento e utilização de tecnologia para se obter uma maior eficiência no processamento.

## **3.2 Aspectos relacionados à laminação de toras de *Eucalyptus***

### **3.2.1 Tensões de crescimento**

Estudos realizados comprovam que as tensões de crescimento são responsáveis por uma grande proporção de defeitos que ocorrem com a madeira de eucalipto durante todas as fases de processamento mecânico. Tais defeitos implicam em grande perda de matéria-prima na laminação, no que se refere ao rendimento, ocasionando a inviabilização, em alguns casos, do uso do *Eucalyptus*.

#### **Origem e distribuição das tensões de crescimento**

A determinação das tensões de crescimento (growth stresses) teve início na década de 40, pela sociedade Americana de Engenheiros Florestais, que definiu tensão de crescimento como sendo forças desenvolvidas no interior dos troncos das árvores vivas (LELLES e SILVA, 1997).

Na realidade, inclui grupos de tensões de origens distintas, que existem no interior de qualquer árvore, produz um auto-equilíbrio ao longo do seu crescimento. Um elo de tensões de apoio tem um caráter intuitivo de produzir cargas, devido ao peso da própria árvore. Já outra tensão de maturação origina tensões inerentes a um complicado processo de amadurecimento das fibras que constitui a madeira (TOUZA, 2001).

Rocha (2000) fez um comparativo das tensões de crescimento, as quais ocorrem naturalmente na árvore antes de sua derrubada, com as tensões que ocorrem em uma antena de televisão e uma coluna de concreto protendido. Tais tensões são necessárias, tanto na árvore como numa antena ou coluna de concreto, para que tais estruturas adquiram estabilidade, como mostra a Figura 1.

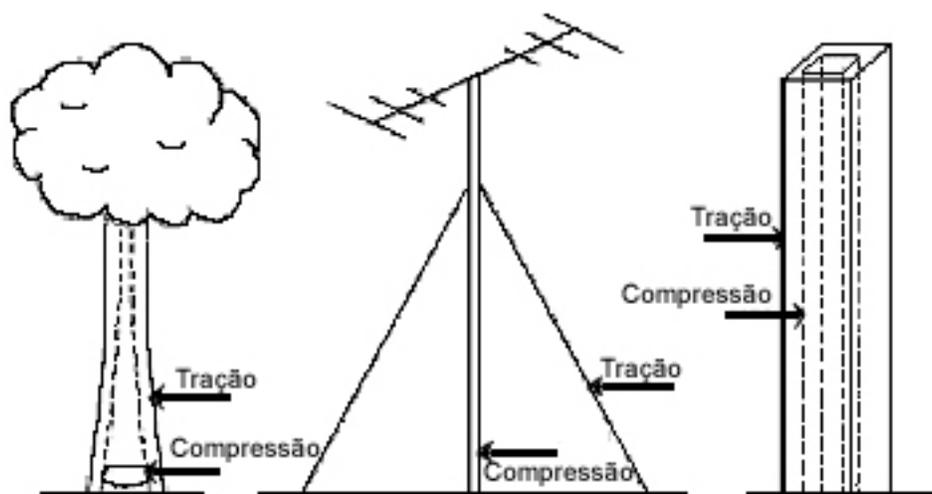


Figura 1. Comparativo entre as tensões sofridas por uma árvore, uma antena de televisão e uma coluna de concreto protendido.

Fonte: Rocha (2000).

As tensões de crescimento ocorrem em três direções: longitudinal, radial e transversal. As tensões de crescimento transversais aparecem na periferia da árvore (câmbio) com o crescimento de novas camadas de células. As tensões de crescimento radiais surgem como reação às tensões de crescimento transversais. As tensões longitudinais acontecem pelo encurtamento das fibras na periferia da árvore, que originam as tensões de tração e pelo alongamento das fibras em direção à medula, tensão de compressão e são responsáveis pela maioria dos danos causados nas toras e peças de madeira (KUBLER, 1973; LIMA, 2000; SCANAVACA, 2001).

A primeira tentativa para explicar as tensões de crescimento surgiu com Marley (1928), citado por Boyd (1972), observando as curvaturas que surgiram nas tábuas de *Olmo* (*Ulmus sp*) após seu corte. O autor considerou que estas tensões poderiam ser causadas pelo próprio peso da árvore durante seu desenvolvimento. Entretanto, cálculos de distribuição de pressões associadas a dados de pesos reais de diferentes espécies convenceram-no de que as tensões devidas ao peso próprio da árvore não seriam suficientes para causar tal influência nas dimensões longitudinais da madeira serrada.

Wikins (1986), por sua vez, comenta que enquanto os pesquisadores mais antigos atribuíram a origem das tensões de crescimento ao peso da árvore, à tensão do alburno e o ao encurtamento longitudinal das células, somente esta última hipótese tem sido

geralmente aceita nos dias atuais.

As causas que provocam as tensões de crescimento aparecem ligadas à atividade do câmbio, tecido responsável pelo crescimento da árvore. Cada ano, o câmbio produz um novo anel do xilema para o interior da casca, pelo qual circula a seiva elaborada para o exterior (TOUZA, 2001).

As tensões de crescimento têm sua origem no crescimento das células produzidas no câmbio, que está diretamente relacionada com a lignificação das paredes celulares. A lignina depositada e polimerizada entre as microfibrilas na parede secundária induzem uma expansão lateral e uma contração longitudinal, impedindo que as células formadas nos anos anteriores, gerem um conjunto de tensões (AMARAL, 1991 E TOUZA, 2001).

Dinwoodie (1966), estudando a madeira de reação, sugeriu que a deposição de materiais nos espaços laterais intermicelares durante a lignificação seria a responsável pela contração longitudinal e pelo inchamento transversal das células da madeira, provocando, assim, o aparecimento de tensões longitudinais de tração e transversais de compressão, respectivamente. Embora esta hipótese tenha sido formulada para madeira de tração ela também tem sido utilizada para explicar as tensões de crescimento em troncos de árvores eretas e normais.

Segundo Sales (1986), Amaral (1991) e Lisboa (1993) a geração das tensões de crescimento está diretamente relacionada com a lignificação das paredes celulares. Segundo os mesmos autores, a lignina depositada e polimerizada entre as microfibrilas na parede secundária induz uma ocorrência irreversível no inchamento ou expansão no plano transversal da célula.

Segundo Boyd (1972) e Sales (1986) essa importante deformação no sentido transversal da fibra provoca aumento ou diminuição do comprimento da célula, em função do ângulo microfibrilar da camada S2 da parede secundária.

Boyd (1972) afirma que a célula contrai longitudinalmente se os ângulos microfibrilares estão entre 10° e 40° e a célula alonga, se os ângulos microfibrilares são maiores que 40°. Como na parede secundária, estes ângulos são geralmente pequenos e

por isso espera-se o encurtamento das células (CHAFE, 1979 e SALES, 1986).

Para Jacobs (1938), esta tendência de contração sendo resistida pela adesão destes elementos e outros situados mais no interior da madeira, provocam um estado de tração a cada nova fibra formada, acumulando, com isso, uma força muito grande ao longo de cada raio, à medida que a árvore cresce em diâmetro.

Assim, Kubler (1973), Miranda (1997) e Lima (2000) afirmam que após o abate e seccionamento de uma árvore em toras, a zona próxima à casca tende a se retrair longitudinalmente enquanto a zona central da tora, antes sob compressão, tende a se expandir. Desta forma, as faces das extremidades da tora tomam a forma côncava e as rachaduras se manifestam.

Wilson (1985), citado por Lima (2000), observou, seis semanas após o corte das toras, um aumento da intensidade de rachaduras com aumento do diâmetro para o *E. macarthurii* e presumiu que isso foi devido ao aumento da proporção do lenho inicial em relação ao lenho tardio, uma vez que nessa espécie e também na *E. elata* o lenho inicial é mais suscetível ao colapso.

### **3.2.2 Técnicas de liberação das tensões de crescimento**

Para minimizar os efeitos das tensões de crescimento, pesquisas têm sido realizadas a fim de obter condições e técnicas de controle das mesmas.

Kubler (1987) recomenda primeiramente que as tensões de crescimento sejam vistas como tendo origem silvicultural, procurando, assim, que todo esforço seja feito para conseguir troncos verticais com tensões periféricas de crescimento uniforme. Segundo o autor, mesmo pequenas inclinações do tronco provocam tensões periféricas desiguais e, portanto, deve-se evitar toda forma de inclinação, devido à competição entre árvores, a inclinação do terreno, o vento ou recebimento de luz solar em apenas um lado.

Oliveira (1999) relata que outras técnicas também podem reduzir ou eliminar as tensões de crescimento, como o desfolhamento da árvore por determinado período

antes da derrubada da mesma, a vaporização das toras ou sua imersão em água quente por um período de 24 horas. Logo após a obtenção das toras e do tratamento térmico, estas podem ser desdobradas ou desenroladas.

Vários métodos ainda são citados para a redução das rachaduras de topo, como bloqueamento da lignina (CHAFE, 1979), selamento de topo (CHAFE, 1979), armazenamento de toras sob aspersão de água (NICHOLSON, 1973) e (AGUIAR, 1986).

Atualmente, as pesquisas têm sido direcionadas para ampliar os conhecimentos acerca de técnicas para a minimização de fendas no topo, causadas pela liberação das tensões internas de crescimento, no sentido de melhorar o aproveitamento da madeira de eucalipto. Por outro lado, inúmeras espécies de eucalipto têm sido estudadas quanto ao comportamento em processamento (IWAKIRI, PEREIRA e NISGOSKI, 1999).

### **3.2.2.1 Anelamento, cintamento e gang nail**

No momento da derrubada da árvore e obtenção das toras, existem algumas técnicas que demonstraram efeitos positivos quanto à redução das tensões de crescimento.

Segundo Aguiar (1986), o ideal para a neutralização das tensões internas de crescimento seria a utilização de técnicas aplicadas nas árvores em pé, para reduzir as rachaduras que ocorrem por ocasião da derrubada da árvore e sua transformação em toras e também, prevenir a ocorrência de falhas internas de compressão e as micro fendas conhecidas como madeira quebradiça. O autor concluiu que as tensões internas de crescimento causadoras das rachaduras de topo das toras de *Eucalyptus grandis* podem ser minimizadas através de técnicas adequadas e que o corte e traçamento das árvores desta espécie com a utilização do anelamento, diminuiu as rachaduras de topo. Pode-se afirmar que o anelamento diminuiu significativamente as tensões internas de crescimento, o que permite aceitar a provável possibilidade da utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* na produção de lâminas desenroladas e na produção de madeira serrada. A partir de toras que receberam o anelamento antes do corte transversal, o autor explica que ocorre uma eliminação de parte das

tensões próximas à casca, sendo que a liberação de parte das tensões internas de crescimento é limitada na extensão entre o anelamento e a face de corte.

Giordano e Ghisi (1965), De Villiers (1973) e Nicholson (1973) observaram que a árvore morta antes da derrubada por anelamento, descascamento ou desfolhação, apresenta efeito das tensões de crescimento muito menores que as árvores derrubadas quando vivas.

Outra alternativa na redução das tensões de crescimento é o emprego de fitas metálicas ou plásticas colocadas ao redor do tronco antes da derrubada. De acordo com Severo (1998), tal alternativa mostra-se efetiva, porém é de difícil manuseio nos trabalhos de campo. Da mesma forma comenta que a utilização de peças metálicas fixadas nos topos das toras tais como *gang nail*, prendedores em forma de S ou C, fixadas após o corte transversal, não reduzem as tensões internas de crescimento, porém, restringem o desenvolvimento das rachaduras, deixando o topo intacto até que o processo de secagem aumente a resistência à tração radial e contrabalance a tensão interna.

Entretanto para Stubbings (1973), citado por Aguiar (1986), estudando vários métodos para redução de rachaduras em postes de *E. grandis*, concluiu que não houve uma diferença significativa entre os tratamentos com *gang nail* e anelamento.

Rozas Mellado (1993), trabalhando com *E. grandis*, utilizou a técnica de anelamento com motosserra a uma profundidade de 1/3 do raio da árvore e a uma altura de 20 a 30 cm acima do corte transversal de derrubada da árvore. Após a derrubada, na obtenção das toras, a profundidade de anelamento também foi de 1/3 do raio, deixando-se 15 a 20 cm a cada extremo do torete. O autor concluiu que tal tratamento evitou a formação de rachaduras de topo, tanto durante a derrubada da árvore como na posterior obtenção das toras. Desta forma, o autor recomenda a realização do anelamento com motosserra, por ter um efeito positivo sobre a liberação das tensões de crescimento e principalmente para dificultar a propagação de rachaduras nas toras durante o aquecimento.

Rozas Mellado (1993) concluiu que o tratamento de anelamento reduz sensivelmente a propagação das rachaduras nos topos das toras provocadas pelo tratamento de aquecimento (vaporização) a uma temperatura de 90 °C por 18 e 36 horas.

Os autores, Barnacle e Gottstein (1968), Giordano e Curro (1972), Kubler e Chen (1975), Conradie (1980), citados por Rozas Mellado (1995), Kubler (1987) e Severo (1998), com intuito de avaliar os efeitos das tensões de crescimento realizaram dois níveis de anelamento.

Conforme Severo (1998), o primeiro anelamento foi realizado quando a árvore ainda encontrava-se em pé, sendo este realizado com uma motosserra a uma profundidade de  $1/3$  de raio da árvore, deixando-se uma distância de 20 cm -30 cm entre o anelamento e o corte transversal da árvore, conforme a Figura 2.

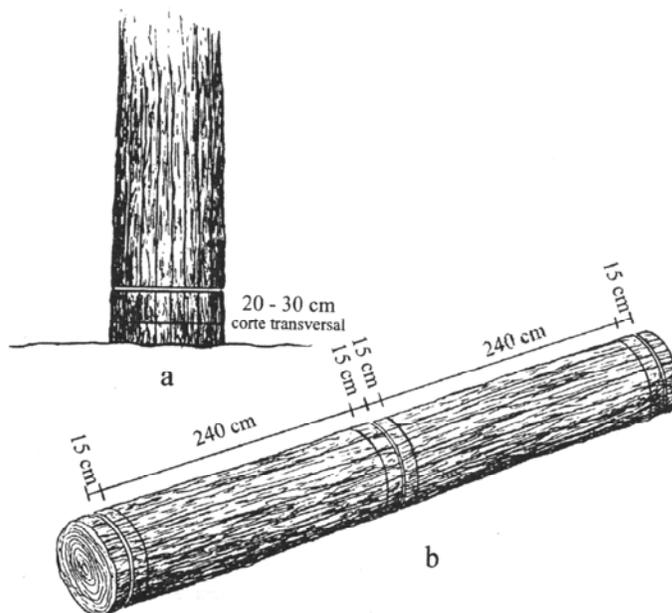


Figura 2. Esquema do anelamento das toras com motosserra.  
Fonte: Severo (1998).

O segundo foi realizado durante o dimensionamento das toras com comprimento de 240 cm, novamente realizado com motosserra na mesma profundidade, porém neste caso deixando-se uma distância de 150 mm de cada extremo da tora (SEVERO, 1998).

Segundo Rozas Mellado (1993) e Severo (1998), tanto a vaporização das toras quanto o anelamento visam à minimização, ou mesmo a eliminação das tensões de

crescimento remanescentes nas toras.

### 3.2.2.2 Tratamento térmico de toras

A madeira possui uma distribuição desigual da umidade no sentido casca-medula. Por isso é necessário uniformizar a umidade e amolecer as fibras, através de um tratamento prévio das toras antes da laminação (PIO, 1996).

A aplicação de calor e umidade simultaneamente na madeira, promove a plasticização da lignina e com isso a liberação das tensões de crescimento (LUTZ, 1978; CHAFE, 1979; SUCHSLAND e JANKOSKY, 1978; AGUIAR, 1986; KUBLER, 1987; PIO, 1996; SEVERO, 1998; SEVERO e TOMASELLI, 2000).

Para Severo e Tomaselli (2000), a vaporização das toras, por um período de 20 horas, apesar de não eliminar por completo as tensões de crescimento, proporcionou redução significativa das mesmas para as duas procedências estudadas de *Eucalyptus dunnii*.

Estudo conduzido por Calonego e Severo (2005) concluíram que a vaporização de toras, por um período de 20 horas, aliviou as tensões de crescimento de toras de 20 ± 25 cm, 25 ± 30 cm, 30 ± 35 cm de diâmetros.

Quanto à laminação de toras, o objetivo do tratamento térmico é aquecer a madeira a uma temperatura adequada até a profundidade em que a lâmina será cortada. Para a produção de lâminas com qualidade adequada, as toras devem ser pré-tratadas ou acondicionadas em vapor ou água quente. Segundo Suchsland & Jankosky (1978), o aumento na temperatura da tora amacia a madeira e facilita a laminação. Quando lâminas são produzidas a altas temperaturas, geralmente são mais firmes e com espessura mais uniforme.

Com o aquecimento das toras em água quente, lâminas produzidas por desenrolamento apresentam menor fendilhamento que a partir de toras laminadas sem aquecimento prévio. Este efeito é mais notável em espécies mais densas e lâminas de maior espessura (PALKA, 1974 e LUTZ, 1978).

Lutz (1967), por sua vez, afirma que o aquecimento também gera uma expansão no sentido tangencial e uma contração no sentido radial e em função da espécie e da temperatura de aquecimento, origina-se rachaduras no topo. De acordo com o mesmo autor, este movimento térmico procede quando do uso de temperaturas superiores a 66°C.

Segundo Haro (1979), o aquecimento de toras provocou um afrouxamento das ligações celulares. O vapor ou água quente serve como veículo na condução de calor sobre a tora. No tanque a ser utilizado para o tratamento térmico, deve-se depositar toras de mesma espécie ou, pelo menos, de massa específica aproximados.

O aquecimento das toras pode levar a não uniformidade da temperatura na tora. Os topos ficam mais quentes e mais moles que a parte central das toras e em consequência, a força de corte necessária será maior no centro, sendo que este gradiente final de forças será responsável pelo desgaste do topo (LUTZ, 1978).

O aquecimento das toras consiste no acondicionamento da madeira em tanques com vapor saturado ou água quente. Geralmente, são tanques de aço ou de concreto armado, abaixo do nível do solo, especialmente construídos. As dimensões podem variar, sendo as mais comuns de 5 - 6 m de comprimento, 3 - 4 m de profundidade, 5 - 6 m de largura, podendo existir tanques com até 20 metros de comprimento. Segundo o Manual do Técnico Florestal (1986) e Samlaic (1980), tipos de acondicionamento, são classificados em:

- a) Vapor direto: O vapor gerado por uma caldeira ou máquina a vapor é distribuído por tubos perfurados. Sua distribuição deve ser de forma contínua e uniforme no tanque. Os orifícios não devem estar voltados para a madeira, para evitar o impacto direto do vapor sobre a mesma. As toras devem ser empilhadas no tanque de modo a possibilitar a livre circulação do vapor. Estas instalações são mais simples e baratas, porém este método não se desenvolve de forma muito suave e uniforme e pode, pelo aquecimento desigual, provocar rachaduras nas toras, prejudicando a laminação e o aproveitamento da madeira;
- b) Vapor indireto: Este sistema é mais aconselhável que o anterior. Os tanques possuem uma bacia com água aquecida por serpentina, sob a carga de madeira. Exige instalações maiores e mais caras, mas em compensação o aquecimento por este método é mais suave e uniforme e não provoca rachaduras na madeira, pois a água é aquecida e desprende o vapor para o

acondicionamento muito suave, com mínimos prejuízos na madeira. Há possibilidade de recuperar a água de condensação, tornando-se o processo mais econômico;

- c) Água quente: as toras são imersas em tanques com água quente. É um método suave e uniforme, pois evita rachaduras de topo ou fendas. O aquecimento da água pode ser feito por jatos de vapor ou por uma serpentina de vapor ou de água quente pressurizada, colocada no fundo do tanque. Este processo é vantajoso para madeiras brancas ou de cor clara, pois não ocorrem mudanças na coloração da madeira. O método exige instalações maiores e mais caras que, porém, são altamente compensadas pelas vantagens proporcionadas.

O acondicionamento por vapor direto, não se desenvolve de forma uniforme na toras, podendo provocar rachaduras de topos. Por isso o vapor indireto é mais aconselhável que o vapor direto, devido ao aquecimento das toras serem mais uniformes e gradativos, apesar de exigir instalações mais cara (SAMPLAIC, 1980).

Conforme Kollmann (1975) o acondicionamento de toras de faia (*Fagus silvática*) por vapor direto, proporcionou um consumo de vapor entre 181 e 222 Kg/m<sup>3</sup>. Já no acondicionamento por vapor indireto o consumo foi de 131 a 142 kg/m<sup>3</sup>. Para um mesmo período de aquecimento de toras e uma certa temperatura, o vapor indireto proporcionou um aquecimento mais suave e uniforme, quando comparado com o aquecimento com vapor direto.

De acordo com Feihl (1972), o aquecimento de toras pelo método de água quente é de 5 a 10 % mais lento para que a madeira atinja a temperatura desejada quando comparado com o método que utiliza vapor direto. Assim, o método de água quente torna-se mais desejável por ser um processo com aquecimento gradativo de temperatura, o que proporciona o aquecimento mais suave e uniforme da madeira, diminuindo a ocorrências de rachaduras de topo.

Entretanto, a temperatura adequada para o aquecimento varia de espécie para espécie. Sendo que muitas espécies de madeira mole apresentam melhor condição de laminação a temperaturas menores, ao contrário de espécies mais duras. A medida em que aumenta a densidade da madeira, aumenta-se a temperatura favorável para laminação (LUTZ ,1974 e KOLLAMANN, 1975).

Lutz (1974), estudando a qualidade das lâminas obtidas por desenrolamento de *Pinus taeda* e *Pinus echinata* verificou que as temperaturas de aquecimento entre 60°C e 70°C foram as que proporcionaram maior redução no desgaste da faca e contrafaca, além de melhorar a qualidade das lâminas.

Pio (1996) comenta que o tempo de aquecimento de uma tora depende principalmente da temperatura recomendada para laminação e do diâmetro da tora. A penetração do calor em uma tora é 2,5 vezes mais rápida na direção longitudinal do que na direção radial. Porém, comparando as dimensões, normalmente as toras possuem o comprimento muito maior do que o próprio diâmetro. De acordo com Feihl (1972), o fator que mais afeta o tempo de aquecimento, após a temperatura pré-estabelecida, é a massa específica, ou seja, quanto maior for a massa específica, maior será o tempo de aquecimento numa mesma temperatura.

O aquecimento excessivo ou drástico das toras pode provocar rachaduras nos topos, separação dos lenhos iniciais e tardios durante a laminação e aumentar o número de toras que serão descartadas antes do processo ou logo após o início.(LUTZ, 1974).

Pereyra (1994) relata que o melhor rendimento de laminação para *Eucalyptus dunnii* foi obtido para uma temperatura de aquecimento de 65 °C, para a abertura horizontal de 1.9mm entre os gumes de faca e contra-faca. As lâminas mais uniformes com respeito à espessura foram aquelas obtidas com uma abertura horizontal de 1,9mm e uma temperatura de aquecimento de 65 °C. Os melhores valores de resistência à tração perpendicular às fibras das lâminas foram encontrados com temperatura de 80 °C, em qualquer nível de regulagem da faca e contra-faca.

Lutz (1978) esclareceu a relação entre a massa específica da madeira de algumas latifoliadas e a temperatura apropriada para sua laminação, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Relação encontrada sobre a densidade e a temperatura de vaporização a ser usada

Massa específica g/cm <sup>3</sup>	Temperatura de Vaporização °C
0,45	48
0,50	60
0,55	70
0,60	85

Fonte: Lutz (1978), modificado pelo autor.

De acordo com Jankowsky e Suchsland (1978), após pré-ensaios, as temperaturas de aquecimento consideradas apropriadas para o *Eucalyptus urophylla* e o *Eucalyptus saligna* foram, respectivamente, de 75°C e 70°C.

Segundo Kollmann (1975), madeiras de massa específica média em torno de 0,46 g/cm<sup>3</sup> podem ser laminadas a uma temperatura de cozimento de 60° C, enquanto que madeira com massa específica de 0,55 g/cm<sup>3</sup> requer uma temperatura de 71° C e madeiras com massa específica de 0,60 – 0,65 g/cm<sup>3</sup> são melhor desenroladas em uma temperatura de aproximadamente 93° C.

Aguiar (1986) comenta em seu trabalho que toras verdes tratadas com calor e umidade podem ter o efeito das tensões de crescimento reduzido através da plastificação da lignina na madeira. Porém, algumas vezes, pode provocar um aumento das rachaduras de topo.

Assim, a técnica de aquecimento é utilizada em conjunto com o anelamento das toras, pois ao ser vaporizada, a tora sofre sérias rachaduras de topo, dificultando a fixação das garras do torno laminador, conseqüentemente resultando em perdas de matéria-prima (PEREYRA 1994).

Rozas Mellado (1993) confirmou, em seu trabalho com *Eucalyptus grandis*, que a vaporização das toras previamente aneladas foi efetiva na liberação das tensões de crescimento, resultando num maior aproveitamento da matéria-prima durante o processamento. Para a liberação das tensões de crescimento, o mesmo recomendou a utilização de um tempo de vaporização de 18 horas, a uma temperatura de 90°C.

### 3.3 Determinação do tempo de aquecimento de toras

O tempo necessário de permanência da tora no tanque de aquecimento depende de vários fatores, tais como: espécie, diâmetro, teor e gradiente de umidade, temperatura inicial, temperatura desejada, tipo de tanque de aquecimento e meio utilizado como aquecedor (KOLLMAN et al., 1975; UMANÃ e BRITO, 2003 e CALONEGO, 2004).

Umanã e Brito (2003) afirmam que no tanque de vaporização de toras deve-se depositar madeira da mesma espécie, ou pelo menos, de massa específica aproximadas. Os mesmos autores, ainda, afirmaram que madeiras duras e de maior massa específica, assim como as de maior diâmetro, necessitam de um maior tempo de vaporização para a laminação das toras, ao contrário do que ocorre com as madeiras mais leves, macias e com diâmetros menores.

Steinhagen et al. (1980) afirmam que é difícil determinar quanto tempo uma tora deve permanecer sob a vaporização. Assim os mesmos autores elaboraram uma estimativa do tempo de aquecimento para variadas condições. Porém, os tempos de aquecimento estimados são satisfatórios como dados experimentais. A discrepância na ordem de 10% nos resultados é principalmente atribuída ao fato do método empregar médias constantes das propriedades térmicas e não levar em conta o efeito do gradiente de umidade do material.

Severo (1998) e Tejada et al. (1997), estudando o efeito da vaporização de toras na liberação das tensões de crescimento, sugerem o desenvolvimento de estudos para definir com maior exatidão a temperatura e o tempo de vaporização de toras.

Já Calonego (2004) fez uma adequação do tempo de vaporização (aquecimento) de toras proposto por Steinhagen et al.(1980) para a espécie *Eucalyptus grandis*, concluindo que o tempo de vaporização real é sempre superior àquele obtido pela aplicação do modelo dos autores. Contudo Calonego (2006) comenta que o modelo de determinação do tempo de vaporização de toras, proposto por Steinhagen et al. (1980), subestima os tempos reais necessários de vaporização do material estudado, por isso, necessita de fatores de correção para a utilização do modelo de determinação do tempo de

vaporização de toras, para a espécie estudada.

Calonego (2004) e Calonego (2006) prescreveram um modelo geral para determinação do tempo de vaporização de toras de *Eucalyptus grandis* nas seguintes condições: 90°C de temperatura e 100% de umidade relativa como sugerido nas seguintes equações:

Equação (1), para toras de 20 – 25cm de diâmetro e até 82°C de temperatura desejada no centro das toras:

$$T_{20-25} = e^{(0,201847+1,135681*Ln t')} \quad (1)$$

Equação (2), para toras de 25 – 30cm de diâmetro e até 68°C de temperatura desejada no centro da tora:

$$T_{25-30} = e^{(0,175077+1,140002*Ln t')} \quad (2)$$

Equação (3), para toras de 30 – 35cm de diâmetro e até 42°C de temperatura desejada no centro das toras:

$$T_{30-35} = e^{(0,0976576+1,36633*Ln t')} \quad (3)$$

Sendo:

$T$  = Tempo de aquecimento real para as respectivas classes de diâmetros, horas;

$t'$  = Tempo de aquecimento pelo modelo proposto por Steinhagen

O tempo utilizado na vaporização das toras foi de 20 horas, para ambos os diâmetros utilizados, portanto não monitorou quanto tempo cada tora em cada classe de diâmetro levaria para atingir uma temperatura de 80 °C no centro.

### **3.3.1 Avaliação da temperatura por termopares.**

No tratamento térmico de vaporização e imersão em água quente de tora, o transporte de calor ocorre principalmente por condução. Portanto, o conhecimento das propriedades térmicas do material não é importante apenas quando se consideram as propriedades de resistência ao fogo e isolamento térmico da madeira, mas também para estimar o tempo de aquecimento por ocasião do preparo das toras para laminação e o tempo de aquecimento na secagem em estufa (LANGRISH e WALTER, 1993), citados por Santini (1996).

Ainda que a temperatura seja uma variável bem familiar, é difícil encontrar definição exata para ela. Devido a essa dificuldade, define-se igualdade de temperatura.

As escalas padrões de medidas de temperatura (graus Celsius, graus Fahrenheit e Kelvin) surgiram da aplicação de alguns pontos fixos facilmente reprodutíveis como os pontos de vaporização e solidificação da água ao nível do mar, ou ainda os pontos de solidificação normal da prata ou do ouro, e que permitem a leitura precisa da temperatura nos mais diversos termômetros de mercúrio e nos mais diferentes aparelhos de medida de temperatura, como os termômetros de resistência e os sensores termoelétricos.

Os sensores de contato termoelétrico são chamados de termopares quando pelo menos dois condutores diferentes são requeridos para fabricá-los. Um termopar completo é formado por um elemento sensível (a junção dos dois condutores), por um tubo protetor (sobre capa) e terminações (contatos que podem ter a forma de um parafuso, forma aberta, etc) (FRADEN, 1996 e CAMTEC, 2005).

O isolamento termoelétrico dos termopares é afetado pela umidade, abrasão, flexão, temperaturas externas, ataque químico e radiação nuclear. Alguns isolantes têm resistência natural à umidade, como o teflon, PVC e outros polímeros. Para proteger os termopares da umidade, impregnam-lhes com substâncias, tais como resina, ceras e compostos de silicone (FADEN, 1996).

As principais características e recomendações para o uso dos sensores tipo “T” (Cobre e Constantan) são: resistência à corrosão quando exposto à umidade, à atmosférica oxidante e apropriados para medições de temperatura abaixo de 0° C, e devido à oxidação de um dos termoelementos, é restrito a 370° C (FRADEN, 1996).

### 3.4 Laminação de toras

#### 3.4.1 Aspectos relacionados ao torno desfolhador

As lâminas torneadas são obtidas através de um processo desenrolamento de toras no torno. A laminação é uma operação que consiste em obter um lençol contínuo de lâminas, através do giro da tora, fixada entre duas garras, contra o conjunto cortante do torno desfolhador. O movimento do torno segue uma espiral com uma infinidade de centros, chamada de espiral de Arquimedes, que permanecem constantes no decorrer de toda operação (CTBA, 1979 e MANUAL DO TÉCNICO FLORESTAL, 1986). Conforme demonstrado na Figura 3.

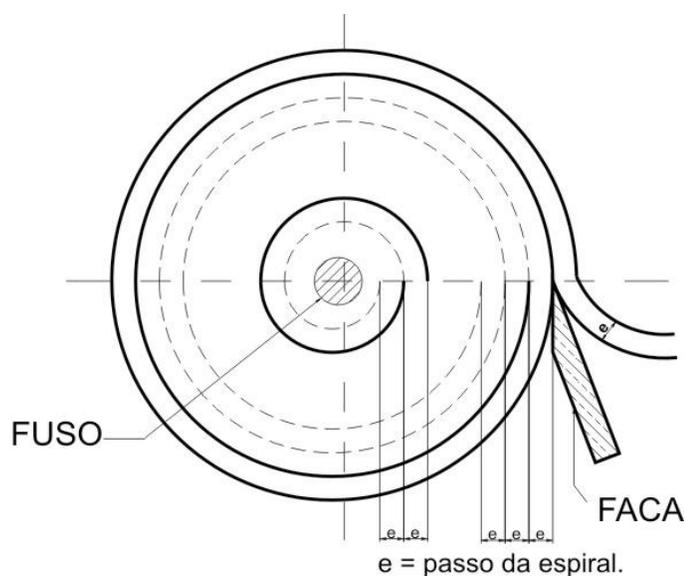


Figura 3. Demonstração do movimento do torno seguindo uma espiral.  
Fonte: CTBA (1979), modificado pelo autor.

A Figura 4 demonstra a secção transversal de um torno, ilustrando a relação geométrica entre as partes diretamente relacionadas ao corte da lâmina.

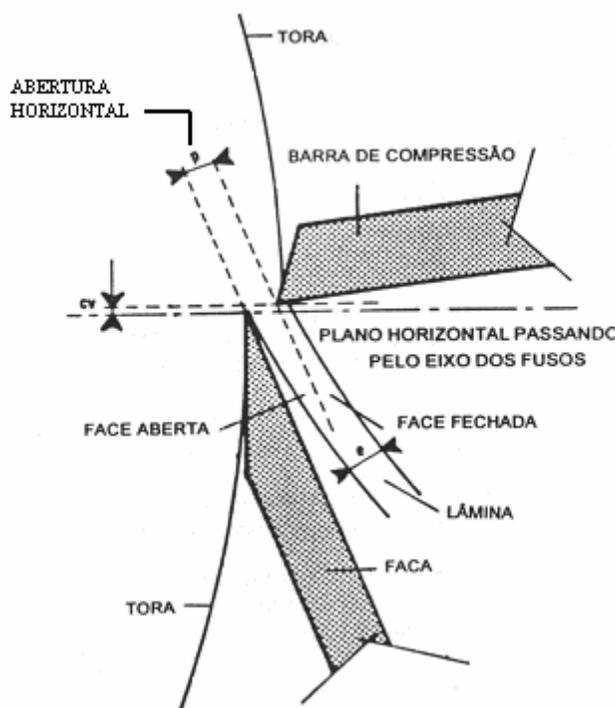


Figura 4. Secção transversal de um torno, mostrando a relação geométrica entre as principais partes do corte da lâmina

Fonte: CTBA (1979).

A função da barra de pressão é comprimir a madeira frente ao bisel da faca. Tal pressão controla a qualidade das lâminas em termos de rugosidade, profundidade das fendas de laminação e uniformidade de espessura (BALDWIN, 1975; LUTZ, 1978 e CTBA, 1979).

Se o ângulo da faca for muito grande, serão produzidas lâminas corrugadas; se muito pequeno, as lâminas apresentarão alternância de espessuras grossas e delgadas. Esta irregularidade de espessura será mais pronunciada em toras que não foram aquecidas uniformemente. Quando o ângulo de afiação da faca é muito grande, favorece a formação das fendas de laminação. O fio da faca é muito importante na rugosidade das lâminas, sendo que melhorando o fio, diminui a rugosidade (LUTZ, 1978).

A função da barra de pressão é comprimir a madeira frente ao bisel da faca. Tal pressão controla a qualidade das lâminas em termos de rugosidade, profundidade das fendas de laminação e uniformidade de espessura (BALDWIN, 1975; LUTZ, 1978 e CTBA, 1979).

Num estudo realizado por Lutz (1976), destinado a determinar a influência da umidade e da velocidade de laminação sobre a qualidade das lâminas de *Pinus taeda*, o autor concluiu que com o aumento da umidade e da velocidade, aumentou-se a carga sobre a barra de pressão, originando-se lâminas delgadas e fracas em tração perpendicular (fendas de laminação profundas). Além disso, observou-se que em velocidades muito baixas, a porção do lenho juvenil sofreu “rasgo por compressão”.

Hayashida (1972), durante a produção de lâminas por desenrolamento a partir de *Pinus elliottii*, testou o efeito de duas velocidades - 35 e 45 r.p.m de laminação sobre a qualidade das lâminas - e observou que ao passar da menor à maior velocidade aumentou a freqüência e a profundidade das fendas.

### **3.4.2 Lâminas de madeira**

Após o processo de desenrolamento vários defeitos podem aparecer em uma mesma lâmina. Alguns defeitos, especialmente aqueles inerentes à madeira, podem ser eliminados, ou atenuados através de um tratamento térmico conveniente (cozimento das toras), por meio de uma regulação precisa do torno de laminação, ou ainda por meio de uma combinação dessas duas operações (MADEIRA e MOBILIÁRIO, 1976).

Existem problemas encontrados na laminação de folhosas, tais como a produção de lâminas felpudas, lâminas desbitoladas e lâminas escamosas. Estes problemas trazem como consequência para a indústria de compensados uma baixa qualidade dos produtos e um excesso no consumo de adesivo e de lixas, materiais que têm influência considerável no custo do compensado (ZAVALA, 1978).

Segundo Umaña e Brito (2003), tais problemas são de fácil solução, quando se dispõe de uma tecnologia voltada à industrialização de lâminas de madeira torneada, visando a produção de compensado.

De acordo com Lutz (1978), outro problema importante que influencia a qualidade das lâminas e conseqüentemente a qualidade dos compensados produzidos é a capacidade de retração das lâminas, mudanças no teor de umidade que

provocam grandes tensões na linha de cola, sendo uma das causas que mais contribuem para o surgimento de delaminação de faces durante a formação do painel, que é um dos motivos do empenamento do compensado. Por outro lado, lâminas obtidas com baixas retrações anisotrópicas são preferidas na manufatura de compensado.

Aguiar (1986), estudando a possibilidade de controle de rachadura de topo em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e sua utilização como matéria-prima para produção de lâminas e compensados, concluiu que é viável produzir lâminas das toras desta espécie pelo processo de desenrolamento. O autor afirma ainda que, apesar do alto índice de nós mortos, as lâminas produzidas apresentaram características visuais que permitiriam sugerir o *Eucalyptus grandis* como espécie de grande potencial para a manufatura de compensados.

Segundo Lutz (1978), normalmente, as toras são desenroladas logo após serem abatidas. Nesse momento o conteúdo de umidade da madeira é muito importante, porque o mesmo está próximo da quantidade contida na árvore em pé. No corte das lâminas, a madeira é comprimida na frente da faca, e quando o seu conteúdo de umidade é muito alto, ocasiona o arrebentamento das fibras da madeira. Experiências realizadas nos Laboratórios de Produtos Florestais do EUA indicaram que toras laminadas a umidades inferiores a 25% produziram lâminas de má qualidade. Os melhores resultados foram obtidos a partir de madeira com umidades compreendidas entre 50 e 60 %.

Bortoletto Júnior et al. (2000), estudando as retrações máximas de lâminas de várias espécies de *Eucalyptus*, afirmaram que a possibilidade de empregar lâminas de madeiras de espécies distintas na manufatura de compensados mistos proporciona uma maior utilização de matéria-prima e flexibilidade da produção industrial.

Iwakiri et al. (2000) avaliaram a influência de diferentes composições de lâminas em compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* e com base nos resultados obtidos concluíram que nas chapas produzidas com mistura de lâminas de pinus e eucalipto, a utilização de lâminas de eucalipto na capa melhorou o MOE e o MOR, demonstrando a influência da maior resistência da madeira de eucalipto em relação a de pinus.

Conforme Almeida (2002), estudos realizados demonstraram que as igualdades dos valores de retração e anisotropia constituem um importante resultado para a mistura de lâminas provenientes da madeira de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* na manufatura de compensados mistos. Isso reduz possibilidade de ocorrer empenamentos nas chapas, os quais são comuns quando lâminas de espécies distintas são misturadas.

### **3.5 Uso do ultra-som para determinação de constantes elásticas das lâminas**

Dentre os avanços tecnológicos, a técnica de Ultra-som é uma importante ferramenta com potencial para melhorar a classificação de peças estruturais de madeira e lâminas e desta forma favorece um incremento na qualidade e na competitividade destes materiais (OLIVEIRA, 2001).

O ultra-som é caracterizado por frequências acima de 20.000 Hz, e dentre as vantagens de sua utilização, vale destacar o baixo custo de aquisição em relação às máquinas de classificação automática, além do treinamento relativamente simples da mão-de-obra para utilização do equipamento (OLIVEIRA et al., 2002).

O método de classificação de lâminas de madeira pelo processo de ultra-som, baseia-se na relação entre a velocidade de propagação de uma onda de tensão na madeira e as propriedades mecânicas da peça. Para a madeira, a onda de tensão é uma onda ultra-sônica, que se propaga ao longo do eixo natural do material (MATOS, 1997).

A propagação das ondas ultra-sônicas na madeira depende principalmente das propriedades mecânicas da parede celular. A densidade da parede celular é razoavelmente constante, mas há variação do módulo de elasticidade devido as variações na estrutura da parede celular, e desse modo, pode-se esperar que os valores para velocidade de propagação resultem em intervalos de acordo com as características e presença de defeitos nas peças investigadas (OLIVEIRA, 2005).

A aplicação e medição de ondas ultra-sônicas consistem no posicionamento de dois transdutores acelerômetros sobre o material a ser avaliado. A onda ultra-sônica é introduzida no material por um dos transdutores, sendo a contagem do tempo

realizada pelo próprio instrumento de ultra-som (OLIVEIRA, 2005).

Também é importante considerar o ângulo das fibrilas da camada  $S_2$ , que pode variar de  $10^\circ$  a  $40^\circ$  em relação ao eixo do tronco ou da célula. De acordo com Dunlop (1981), alguns pesquisadores mediram o MOE para variações do ângulo microfibrilar de  $40^\circ$  a  $10^\circ$ , encontrando valores de 10.000 a 40.000 MPa, respectivamente.

Segundo Dunlop (1981), outro fator que afeta o módulo de elasticidade da parede celular é o teor de umidade. Significativos decréscimos do MOE com o aumento do teor de umidade são esperados, tendo em consequência, significativos efeitos nos valores das velocidades acústicas medida nas peças de madeira.

### **3.6 Produção de lâminas de madeira e fabricação de painéis compensados**

Os painéis de compensados são constituídos por um conjunto de lâminas de madeira coladas entre si sob pressão, sobrepostas com a grã alternada entre si, formando um ângulo de  $90^\circ$  e conferindo ao produto boas propriedades físicas e mecânicas (ARCHER, 1948; MELLO, 1950; CALADO, 1994; PEREYRA,1994; TOMASELLI e SCHEFFER,1999).

O compensado é o painel de madeira mais importante, quando considera-se o volume de produção mundial e também é o mais antigo. Segundo relatos, foi fabricado e utilizado na mais remota antiguidade. No tempo dos faraós, em torno de 3000 a.C, os egípcios empregavam a “madeira compensada” na construção de sarcófagos e existem inscrições de murais ilustrando a sua fabricação. Era usada cola a base de caseína, que eles aplicavam também na fabricação do “papyrus”, na fixação de pigmentos de suas pinturas murais e nas incrustações de marfim, metais, pedras preciosas e madeira (MELLO, 1950). O mesmo autor descreve que há seguras indicações de que os romanos e gregos também conheceram e empregavam o compensado.

Até em 1965, as lâminas eram obtidas em serras verticais. Depois em 1777, em circulares, em serra de fita em 1808 e, finalmente, no século XIX, projetaram-se primeiro torno desfolhador (MELLO, 1950).

O desenvolvimento da produção de lâminas de madeira ocorreu inicialmente nos Estados Unidos e na Europa no final do século XIX e foi a base para o surgimento da indústria de compensado (OLIVEIRA,1988; ALBUQUERQUE, 1999).

A indústria de painéis de madeira chegou ao Brasil por volta de 1940 e teve como seu primeiro produto o painel compensado. A iniciativa dos pioneiros do desenvolvimento industrial brasileiro foi motivada pela abundância de matéria-prima no país e pelo acontecimento da Segunda Guerra Mundial, que causou escassez de matéria-prima na Europa. As primeiras unidades produtivas se instalaram na Região Sul do Brasil, motivadas principalmente pela madeira do pinheiro do Paraná, a *Araucaria angustifolia* (CALADO, 1994).

O crescimento da indústria florestal foi mais acentuado a partir de 1960. A produção de lâminas no Brasil cresceu significativamente de 1960 a 1982, representando 70% da produção da América Latina (TOMASELLI, 1989).

Com a redução das florestas de Pinheiro do Paraná, ocorreu o deslocamento forçado das indústrias da região Sul para a região Norte, passando a utilizar madeiras tropicais da Amazônia como fonte de matéria-prima. Os produtores enfrentaram dificuldades quanto ao custo de transporte, as resinas utilizadas eram inadequadas, vindas de pequenos fornecedores e que não possuíam um mínimo de conhecimento técnico. Estas condições limitavam o desenvolvimento inicial das empresas brasileiras (OLIVEIRA, 1988; TOMASELLI, 1989).

Gonçalves (1998) analisou a indústria do segmento de laminados e compensados do estado do Amazonas. O autor levantou, através de questionário, dados referentes à origem da matéria-prima, da caracterização do processo produtivo, dos entraves de produção e da distribuição do produto. Com base nos dados levantados, classificou as empresas em portes pequeno, médio e grande, segundo a produção mensal, e avaliou, através de critérios financeiros, estruturais e econômicos suas perspectivas para o segmento no mercado. Concluiu-se que, com a mudança no perfil produtivo, resultante de investimentos e da expressiva entrada de grupos asiáticos, a atividade estava em amplo crescimento no Amazonas. Produtores antigos ainda apresentavam pontos fracos na obtenção de matéria-

prima, na estrutura de produção e distribuição.

Delespinasse (1995) simulou a análise de investimento em uma indústria-padrão de compensados, com vistas a demonstrar a importância da origem da matéria-prima nos custos de produção, bem como a influência de outros fatores ligados à localização da indústria. Avaliaram-se três situações: uma indústria localizada em Belém/PA e outra em Curitiba/PR, que utilizavam exclusivamente lâminas torneadas de madeiras tropicais e uma terceira indústria, localizada em Curitiba/PR, que utilizava na fabricação do compensado (*combi*), capa de lâminas torneadas de madeira tropical e, no miolo, lâminas de *Pinus* spp. Os resultados demonstraram que a indústria que usou laminados de *Pinus* spp. foi mais eficiente economicamente, em razão da maior proximidade com o consumidor final e da melhor padronização do produto. Isso gerou menor preço e menor custo de transporte ao produto.

Na indústria do compensado e laminados brasileiros, há predominância de pequenas e médias empresas com estrutura tipicamente familiar. Os equipamentos são pouco sofisticados, de baixa tecnologia e de pequeno rendimento. Nesse aspecto, estima-se que a defasagem tecnológica dessa indústria seja da ordem de 25 a 30 anos em relação aos países mais desenvolvidos (DELESPINASSE, 1995).

Segundo Gonçalves (1998), historicamente, a indústria brasileira de painéis de madeira sempre esteve defasada em relação ao mundo; a maioria das plantas industriais chegou ao Brasil com atraso de mais de duas décadas. A Tabela 2 mostra o ano de início do processo produtivo dos diversos tipos de painéis de madeira no mundo em relação ao Brasil, bem como a defasagem temporal da produção brasileira.

Tabela 2. Início da produção mundial de diversos painéis de madeira versus a produção brasileira.

PAINÉIS	INÍCIO/MUNDO	INÍCIO/BRASIL	DEFASAGEM (Anos)
Compensado	1913	1940	27
Chapa de Fibra	1930	1955	25
Aglomerado	1950	1966	16
MDF	1970	1997	27
OSB	1975	2002	27

Fonte: Gonçalves (1998). Nota: modificado pelo autor

Segundo a ABIMCI (2003), existem aproximadamente 400 empresas de compensados concentradas em sua maioria na região sul e, em especial, no estado do Paraná. Área de 38% é de pequeno porte e 62% de médio/grande porte. Quanto à matéria-prima, estima-se que 65% do compensado nacional exportado, sejam produzidos de *Pinus spp* (ABIMCI, 2006).

Aproximadamente 80% do compensado de madeira de reflorestamento produzidos no Brasil são destinados à exportação, enquanto 70% do compensado de madeira tropical abastecem o mercado interno (REVISTA REFERÊNCIA, 2002). O compensado de madeira reflorestada, no entanto, vem ganhando espaço no mercado nacional, uma vez que madeira de pinus e eucalipto são mais baratas que a madeira tropical (ABIMCI, 2001).

Sob o ponto de vista regional, o parque produtor de compensados divide-se em duas vertentes: de um lado, a Região Norte projeta-se como o mais expressivo centro industrial de painéis de madeiras tropicais, geralmente duras, enquanto, por outro, a Região Sul mantém-se especializada no processamento de madeiras moles, provenientes de florestas plantadas, destacando-se o *Pinus taeda* (ABIMCI, 2003).

Conforme Bortoletto (2003), os primeiros estudos feitos no Brasil, relacionados com a produção de lâminas e compensado a partir de espécies do gênero *Eucalyptus*, tiveram início na ESALQ / USP, com Jankowsky em 1978. O autor utilizou as madeiras de *Eucalyptus saligna* Sm., *E.urophylla* S.T.Blake e *E. grandis* Hill ex Maiden. No estudo, somente foi possível a produção de compensados com lâminas de *E. grandis* Hill ex Maiden, que resultou em um painel de alta densidade, resistente e estável. As outras duas espécies geraram lâminas de qualidade inadequada, inviabilizando a produção dos compensados. A maior parte das lâminas consideradas inadequadas à manufatura de compensados tiveram como causa de rejeição as rachaduras, oriundas das toras já rachadas ou provocadas pela secagem inadequada das lâminas (Jankowsky, 1982).

Jankowsky e Aguiar (1983) avaliaram seis (6) espécies *Eucalyptus* (*E. pilularis*, *E. triantha*, *E. microcorys*, *E. pellita*, *E. saligna* e *E. grandis*), na produção de lâminas. Os principais defeitos foram as rachaduras no topo das toras e o colapso durante a

secagem das lâminas. De apenas duas (2) espécies (*E.triantha* e *E.saligna*) foram obtidas lâminas de qualidade razoável. Essas conclusões dos autores não podem ser consideradas definitivas, pois o trabalho foi desenvolvido em caráter exploratório.

De acordo com Jankowsky (1978), trabalhando com três espécies de *Eucalyptus* (*Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*) foi comprovada a viabilidade tecnológica das espécies citadas na manufatura de painéis compensados.

Conforme Aguiar (1986), as melhores lâminas são, geralmente, aquelas produzidas a partir de espécies com massa específica moderada, variando entre 0,40 – 0,60 g/cm<sup>3</sup>.

Assim Gaiotto (1993), trabalhando com as espécies de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla*, através das características apresentadas pelas lâminas, concluiu-se que é possível utilizá-las para manufatura de painéis de compensado. Porém, existem limitações quanto ao miolo, devido a um grande incidência de nós.

Gaiotto et al.(1993), trabalhando com madeira de *Eucalyptus grandis*, concluíram que os compensados obtidos a partir dessa espécie podem cumprir todas as funções estruturais necessárias para um compensado do tipo exterior. O compensado de eucalipto, quando comparado com o compensado de pinho-do-paraná (*Araucária angustifolia*), apresentou densidade aproximadamente 10% mais alta e resistência à flexão estática igual ou levemente superior.

Conforme Pereyra (1994), a espécie de *Eucalyptus dunnii*, apresenta um alto potencial na utilização de matéria-prima para a indústria de compensados. Pelas características que apresentaram as lâminas, é possível empregarmos na manufatura de compensados, mas com algumas restrições, devido às acentuadas rachaduras de topo encontradas nas toras. Após o corte e o traçado das toras, as rachaduras de topo aumentaram significativamente com a elevação da temperatura de aquecimento, ocasionando problemas na fixação das garras do torno laminador, conseqüentemente, perdas de matéria prima.

De acordo com Almeida (2002), a classificação das lâminas em classes de qualidade obtidas a partir da madeira dos clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, apontaram que ambos geraram lâminas viáveis na manufatura de

compensados. O clone I concebeu lâminas de maior qualidade que o clone II, possibilitando a manufatura de compensados com maior valor agregado.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Espécie utilizada**

Foram utilizadas árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden com 32 anos de idade. Essa espécie ocorre naturalmente na Austrália, nos estados de nova Gales do sul e Queenslândia, em áreas de altitude entre 30 a 900 metros e a temperatura média do mês mais quente compreendida em torno de 30 °C e a do mês mais frio em 6°C. O clima varia de subtropical úmido a tropical úmido (GOES, 1985; EMBRAPA, 1986).

O material coletado para o presente estudo é procedente da Floresta Estadual de Águas de Santa Barbara, pertencente ao Instituto Florestal – Secção de Manduri/SP, localizada em Águas de Santa Bárbara/SP. A altitude do local varia de 600 a 688m de altitude e uma temperatura média anual de 19,8°C. Com as coordenadas geográficas Latitude 22°52'45" sul, Longitude 49°14'25" oeste. O local da coleta é evidenciado na Figura 5.



Figura 5. Plantio de *Eucalyptus grandis*, utilizado para este estudo.

O talhão com uma área de 2,2 hectares, foi plantado em 1973, com um espaçamento inicial de 2,0 m X 3,0 m, passando por três (3) desbastes seletivos. A data do corte das árvores foi em 25/06/2005, com um DAP médio de 39,0 cm.

#### **4.2 Coleta e preparação do material**

Foram coletadas para este estudo 6 (seis) árvores de *Eucalyptus grandis*. A operação de abate foi realizada com auxílio de uma motosserra e as árvores foram cortadas o mais próximo possível do solo, como mostra a Figura 6.



Figura 6. A) Medição do DAP das árvores de *Eucalyptus grandis*; B) Corte mais próximo do solo das árvores selecionadas.

Após a derrubada marcou-se com auxílio de um giz, as classes de diâmetros ao longo do fuste da árvore. As toras foram traçadas a cada 1400 mm de comprimento e aneladas da base para o sentido do topo da tora com 100 mm. Entre as toras foram retirados discos de 40 mm de espessura, sendo o primeiro localizado na base da árvore.

Todo o material foi identificado com lápis cópia e os discos armazenados em sacos plásticos e transportados ao Laboratório de Secagem e Preservação da Madeira pertencente a FCA-UNESP de Botucatu/SP.

Para este estudo, foram utilizadas toras agrupadas nas seguintes classes de diâmetro: 25 + 30 cm, 30 + 35 cm, 35 + 40 cm, sendo que para cada classe diamétrica utilizou-se 5 (cinco) toras com comprimento de 1100mm, totalizando 15 (quinze) toras por tratamento térmico em água quente e vapor. A Figura 7 mostra um esquema simplificado da coleta das toras e dos discos numa árvore.

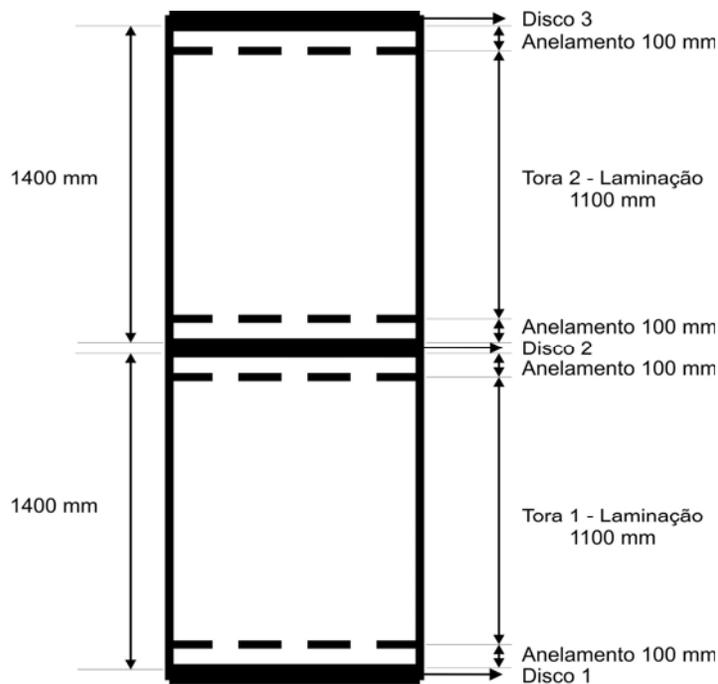


Figura 7. Esquema simplificado da coleta do material

#### 4.3 Determinação do teor de umidade e da massa específica básica das toras

Os ensaios por determinação de massa específica básica e teor de umidade das toras foram realizados utilizando todos os discos coletados entre as toras. Posteriormente, uma média simples entre a massa específica básica dos discos entre toras e o teor de umidade médio de cada um deles, representou cada tora envolvida no estudo.

Para determinar a massa específica básica e o teor de umidade, utilizou-se uma balança de precisão de 0,1 g e uma estufa com regulagem de temperatura a  $103 \pm 2$  °C. A massa específica básica foi determinada pelo método de pesagem através da equação (4):

$$Meb = \frac{Ms}{Msat - Msi} \quad (4)$$

Sendo:

$Meb$  = massa específica básica,  $g/cm^3$  ;

$Ms$  = massa seca(g) em estufa a  $103 \pm 2$  °C até o peso constante, g;

$Msat$  = massa saturada, g;

$Mi$  = massa imersa, g.

O teor de umidade inicial com base em massa seca foi determinado pelo método da estufa e através do uso da equação (5):

$$U\% = \frac{Mu - Ms}{Ms} * 100 \quad (5)$$

Sendo:

$U\%$  = Teor de umidade da madeira, %;

$Mu$  = Massa úmida, g;

$Ms$  = Massa seca em estufa a  $\pm 103^0$  C até o peso constante, g.

#### **4.4 Tratamentos para liberação das tensões de crescimento**

Os tratamentos para a liberação das tensões de crescimento constituíram em anelamento de todas as toras, realizados no campo, e tratamentos térmicos com água quente e vapor para 5 (cinco) toras por classe de diâmetro envolvidas no estudo, realizados no Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira do Departamento de Ciências Florestais ESALQ-USP, em Piracicaba-SP.

#### **4.5 Anelamento das toras**

As toras de 1400m de comprimento foram aneladas a 100mm de cada uma das extremidades numa profundidade aproximada de 1/3 do raio da tora, conforme proposto por Aguiar (1986); Kubler (1987); Rozas Melado (1993), e também utilizado por Severo (1998), Calonego (2004). Esse procedimento pode ser observado no esquema apresentado na Figura 8.

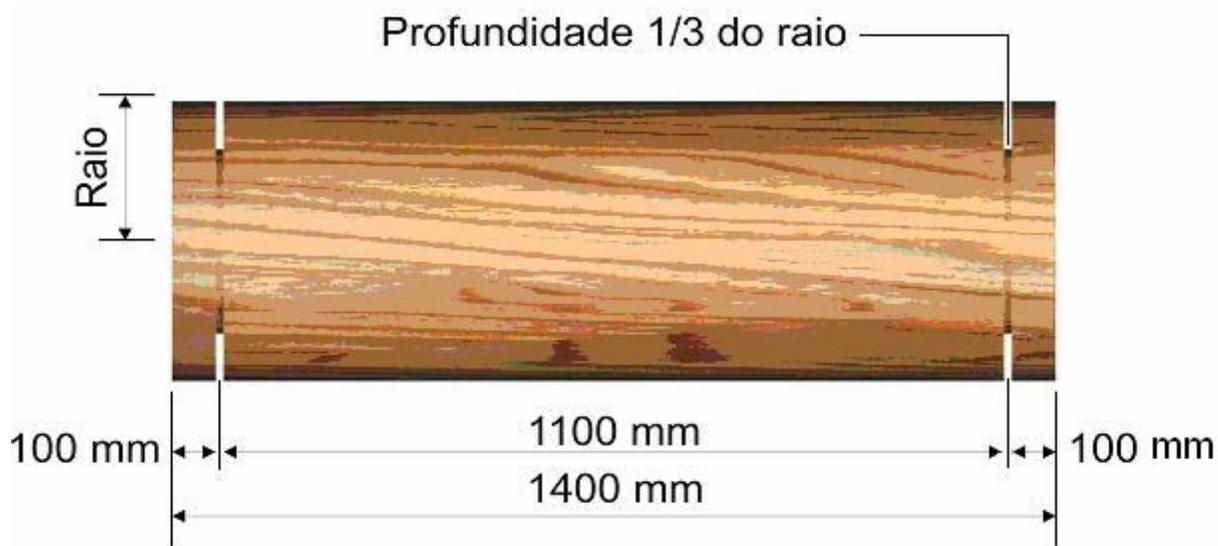


Figura 8. Esquema do sistema de anelamento das toras com auxílio da motosserra.

#### 4.6 Tratamento térmico

O fuste, de cada uma das 6 (seis) árvores, foi traçado de forma que permitiu a retirada de toras com 1100mm de comprimento, as quais foram agrupadas em três classes de diâmetro 25 + 30 cm, 30 + 35 cm, 35 + 40 cm, utilizando 5 (cinco) toras para cada classe diamétrica por tratamento térmico. Das 6 (seis) árvores, 3 (três) foram submetidas ao tratamento térmico com água quente e as restantes foram utilizadas para o tratamento térmico com vapor. As toras foram aquecidas nas seguintes condições em ambos os tratamentos térmicos: 85° C de temperatura e 100 % de umidade relativa.

##### 4.6.1 Tratamento por imersão em água quente

Para esse tratamento foi utilizado um tanque de aço envolto por uma estrutura de alvenaria, abaixo da linha do solo. O tanque tem as seguintes dimensões de 1490 X 1180 X 840 mm, equivalendo a 1,53 m<sup>3</sup> e encontra-se instalado no Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira do Departamento de Ciências Florestais ESALQ – USP.

As toras foram depositadas no tanque descrito anteriormente, sobre uma grelha de ferro. Após o preenchimento com água até a altura máxima do tanque, as resistências elétricas aquecem a água e conseqüentemente, ocorrerá um aquecimento homogêneo no meio, transmitindo por condução a energia gerada da água para as toras. O aquecimento por imersão em água quente é ilustrado na Figura 9.

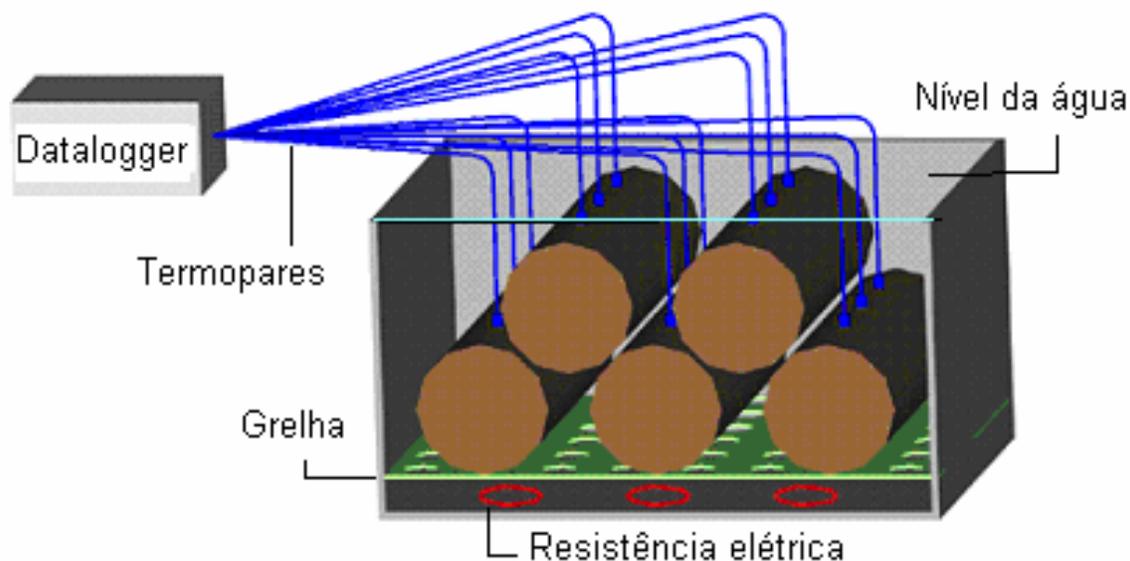


Figura 9. Tratamento térmico por água quente e posicionamento das toras no tanque de aquecimento.

#### 4.6.2 Tratamento por vapor

O aquecimento a vapor utilizado no tratamento térmico é demonstrado na Figura 10. Para este tratamento, foi utilizado vapor indireto, no qual, uma lâmina de água, no fundo do tanque é aquecida por resistências elétricas, que vão fornecer energia para a evaporação da água e conseqüentemente a liberação do vapor indireto para o tratamento térmico.

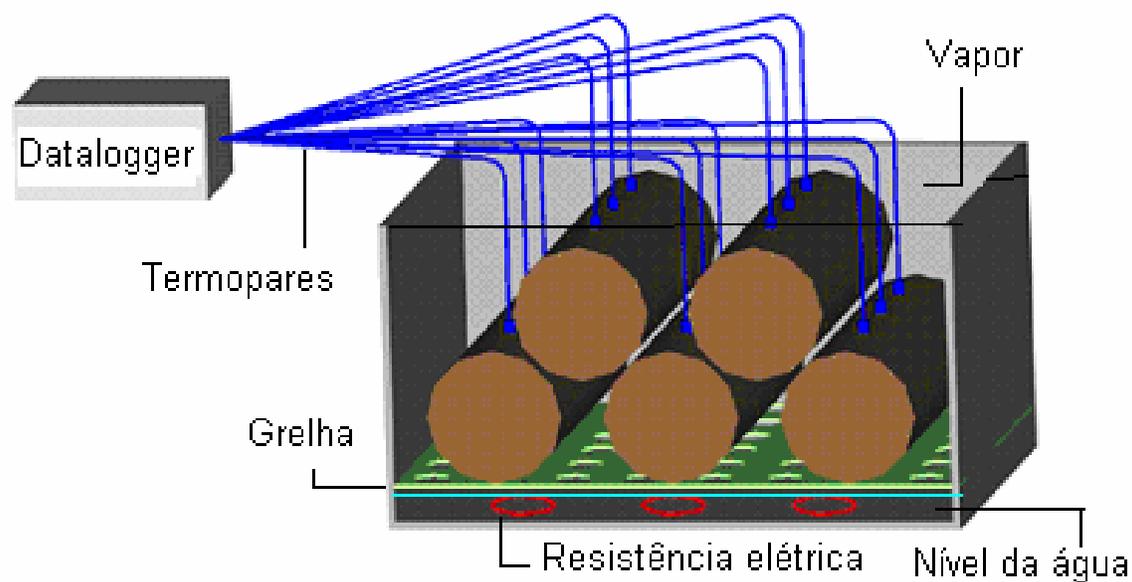


Figura 10. Tratamento térmico por vapor e posicionamento das toras no tanque de aquecimento.

#### **4.7 Determinação da temperatura e monitoramento do tempo de aquecimento das toras.**

A temperatura de 80 °C, empregada no aquecimento, foi estabelecida em função da massa específica básica média obtida a partir dos discos de madeiras retirados das toras (vide item 4.3), levando em conta as recomendações contidas em Lutz (1974); Feihl e Godin (1970), e da metodologia proposta CALONEGO (2004).

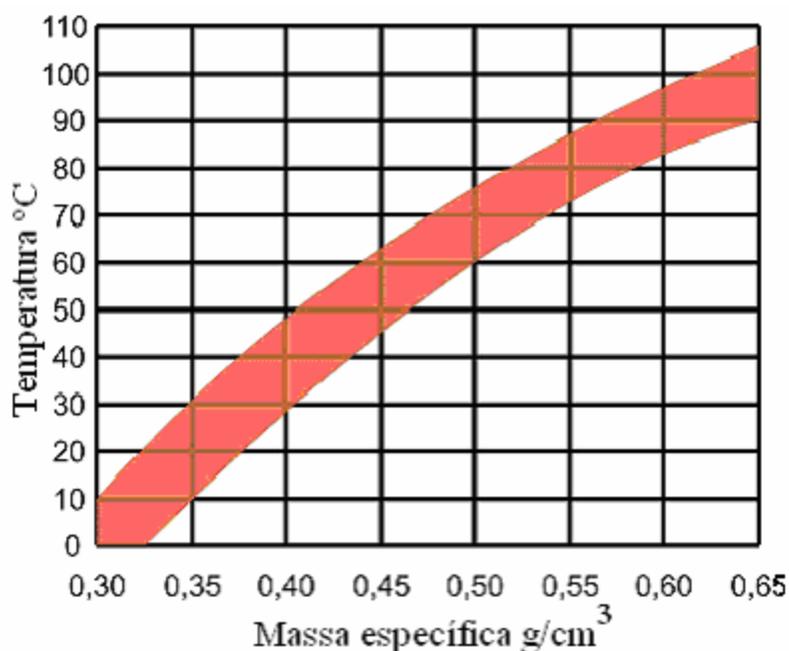


Figura 11. Faixas de temperaturas favoráveis para laminação de madeiras (folhosas) com base na massa específica básica.

Fonte: Lutz (1974), modificado pelo autor

Como pode ser observada na Figura 11, considerando que o valor médio encontrado da massa específica básica do material foi de  $0,59 \text{ g/cm}^3$ , a faixa de temperatura favorável para o aquecimento do material do presente estudo está compreendida entre  $80 \text{ °C}$  e  $95 \text{ °C}$ . Neste estudo foi fixado como  $80 \text{ °C}$  no rolo-resto com raio de  $50 \text{ mm}$ .

De acordo com Severo (1998), Severo e Tomaselli (2000), Severo (2000), Calonego (2004), Calonego e Severo (2004), Calonego e Severo (2005), a vaporização das toras é um aspecto importante para o controle das rachaduras de topo em *Eucalyptus grandis*.

#### 4.7.1 Monitoramento da temperatura das toras.

A escolha de um termopar adequado para o monitoramento da temperatura nas toras foi tomado como base em informações oferecidas pela empresa CAMTEC (2005) e a metodologia utilizada por Calonego (2004).

Para a leitura dos valores de temperatura e tempo foram utilizados termopares do tipo T (cobre X constantan), sendo formadas através da união de ambos termoelementos, utilizando-se um equipamento de solda elétrica.

Após a confecção dos termopares, estes foram submetidos a um teste de 0°C e 100°C, cujas temperaturas representam os pontos de gelo fundente e água de ebulição, respectivamente.

#### 4.7.2 Instalação dos termopares nas toras

Em cada tora foi inserido 1 (um) termopares. Segundo a metodologia adotada por Calonego (2004), foram realizados furos com bitolas escalonadas com a utilização de brocas de dimensões específicas, as quais permitem a instalação e o manuseio dos sensores de temperatura e dos isolantes térmicos. O termopar permanece na posição exata no rolo-resto com 50 mm de raio. O esquema simplificado do termopar inseridos na tora até o rolo-resto de 50mm de raio é mostrado no esquema da Figura 12.

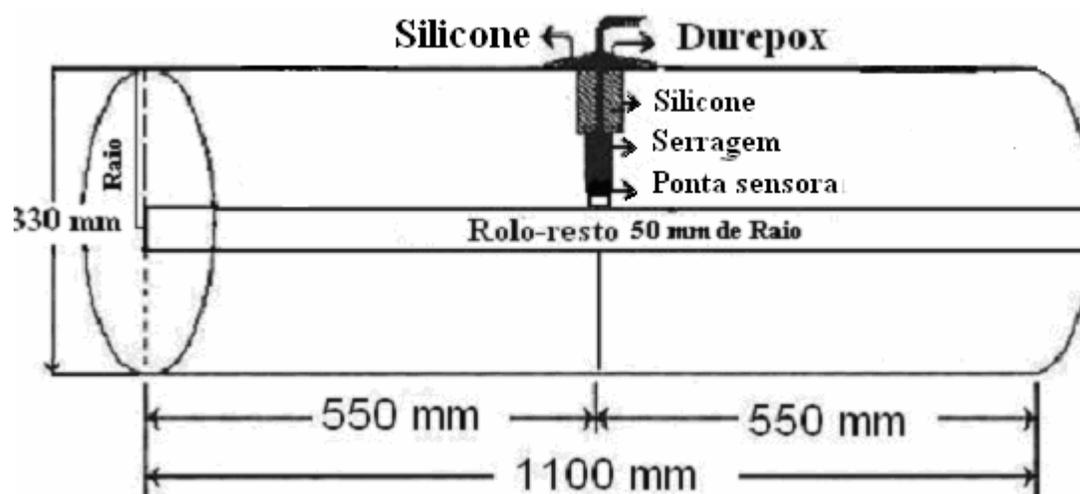


Figura 12. Esquema simplificado da acomodação dos três termopares na tora.

Depois da acomodação dos termopares, os orifícios foram vedados com camadas de serragem, retiradas do próprio furo no momento da perfuração; silicone, resina durepox (material isolante térmico e resistente a elevadas umidades e temperaturas) e uma película de silicone (resistente à umidade) como ilustra a Figura 13.



Figura 13. Acomodação dos termopares nas toras: A) Termopar acoplado somente com a proteção de silicone; B) Termopar acomodado com a proteção de durepox e silicone.

As toras das classes diamétricas de 25 | 30cm, 30 | 35cm, 35 | 40cm de diâmetro, com os três termopares acoplados em cada uma, foram colocadas no tanque de aquecimento, sendo 5 (cinco) toras por classe diamétrica, por intermédio de uma talha com capacidade de 3 (três) ton, que corre sobre uma viga I, como demonstrado na a Figura 14.



Figura 14. Sistema utilizado para acomodação das toras no tanque.

A evolução da temperatura, na profundidade da tora junto com o tempo foi monitorado pelos termopares acoplados em uma base coletora de dados Datalogger da marca Campbell Scientific CR10, como mostrado na Figura 15.



Figura 15. Figura do sistema utilizado para o acoplamento dos termopares no equipamento de aquisição de dados, datalogger (Campbell Scientific - CR10).

#### 4.8 Preparação das toras para laminação

Após permanecerem expostas aos tratamentos térmicos até que o rolo-resto atingisse 80 °C, as toras foram retiradas do tanque e extraídos os 3 (três) termopares acomodados inicialmente. Com o auxílio de um martelo e um formão, foram descartadas as placas de identificação dos topos, o durepox e o silicone juntos. Para a retirada dos termopares inseridos no interior da tora, utilizou-se um alicate. As toras foram levadas com auxílio de uma talha para fixação no torno laminador, como pode ser evidenciado na Figura 16.



Figura 16. Preparo das toras para a laminação. A) Retirada das placas de identificação da tora e o termopar; B) Tora já fixada no torno laminador.

#### 4.9 Regulagem do torno laminador e desfolhamento das toras

As toras de *Eucalyptus grandis* foram processadas em um torno laminador pertencente ao Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira da ESALQ – USP da marca THOMS & BENATO, modelo LHT-14, de 85 cv de potencia, com capacidade para laminar toras de até 60 cm de diâmetro e 1,40 m de comprimento. A espessura da faca era de 19 mm, e o diâmetro das garras externas de 20 cm e internas de 8cm. Para a laminação, optou-se pela espessura nominal de 2,00 mm, escolhida por uma demanda de mercado e pesquisas realizadas por diversos autores como MEDINA (1986); JANKOWSKY (1978); GAIOTTO (1993); PEREYRA (1994); PIO (1996); BORTOLETTO (2003).

A regulagem do torno utilizada foi: Ângulo da faca de  $90^{\circ}00'$ , variando automaticamente para  $89^{\circ}00'$ ; Ângulo de afiação da faca de  $21^{\circ}$ ; Ângulo da barra de compressão de  $15^{\circ}$ ; Abertura horizontal de 1,80 mm; Abertura vertical de 0,45 mm e Distância entre os canivetes de 1000 mm.

As toras, no momento da laminação, apresentavam um comprimento de 1100 mm, em função da região do anelamento retirada anteriormente de 10 cm de cada topo. As lâminas contínuas, na saída do torno, foram enroladas em uma bobina e, posteriormente, guilhotinadas, adquirindo dimensões finais de 2,0 mm de espessura x 1000 mm de largura x 1100 mm de comprimento.

Inicialmente, a tora foi laminada até atingir a forma cilíndrica e posteriormente, foi parado o torno para a medição do diâmetro da tora arredondada. Após o arredondamento da tora, foi efetuada a laminação até atingir a medida mínima do rolo resto com aproximadamente 50mm de raio, como ilustrado na Figura 17.



Figura 17. Desenrololamento das toras após o tratamento térmico: A) Tora arredondada; B) Lâminas sendo enrolada em uma bobina “carretel”; C) Final da laminação e D) Rolos-resto retirados

#### 4.10 Determinação do rendimento na laminação

O rendimento da laminação foi determinado através dos procedimentos empregados por MEDINA (1986); GAIOTTO (1993); PEREYRA (1994); PIO (1996); ALMEIDA (2002).

Segundo tal procedimento, foram realizadas medições do comprimento das toras e do seu diâmetro em quatro etapas: com e sem casca, logo após o arredondamento e após a laminação (rolo resto).

O cálculo dos volumes das toras determinados em cada etapa da laminação, foi realizado através das seguintes equações.

Equação (6) Volume da tora com casca ( $V1$ ) e sem casca ( $V2$ ):

$$V1 \text{ e } V2 = \frac{\pi}{8} * (Da^2 + Db^2) * L \quad (6)$$

Sendo:

$V1$  = volume com casca ( $m^3$ ) e  $V2$  = volume sem casca ( $m^3$ );

$L$  = comprimento da tora (m);

$Da$  = diâmetro maior (m);

$Db$  = diâmetro menor (m).

Equação (7) Volume da tora arredondada ( $V3$ ) e do rolo resto ( $V4$ ):

$$V3 \text{ e } V4 = \frac{\pi}{4} * D^2 * L \quad (7)$$

Sendo  $V3$  e  $V4$  = volume ( $m^3$ );

$D$  = diâmetro do cilindro ou do rolo resto (m);

$L$  = comprimento da tora (m).

Equação (8) Volume laminado ( $V5$ ).

$$V5 = V3 - V4; \quad (8)$$

Sendo:

$V5$  = volume das lâminas ( $m^3$ );

$V3$  = volume da tora arredondada ( $m^3$ );

$V4$  = volume do rolo resto ( $m^3$ ).

Através da diferença entre os volumes calculados para as toras com casca, sem casca, arredondada e do rolo resto, foi possível calcular as perdas em volume ( $m^3$ ), ocorridas em cada uma das etapas do processo de laminação e expressas em porcentagem, considerando o volume das toras com casca como 100%. Para tanto, as seguintes Equações foram utilizadas:

Equação (9) Perdas com o descascamento ( $P_D$ ).

$$P_D (\%) = \frac{[(V1 - V2) * 100]}{V1} \quad (9)$$

Equação (10) Perdas com o arredondamento ( $P_A$ ).

$$P_A (\%) = \frac{[(V2 - V3) * 100]}{V1} \quad (10)$$

Equação (11) Perdas com o rolo resto ( $P_R$ ):

$$P_R (\%) = \frac{[(V3 - V5) * 100]}{V1} \quad (11)$$

O rendimento da laminação ( $R_L$ ) foi obtido através da diferença entre o somatório das perdas percentuais ocorridas em cada etapa do processo e 100%, valor referente ao volume das toras com casca, conforme a seguintes Equações.

$$\text{Equação (12) } R_L (\%) = 100 - (P_D + P_A + P_R). \quad (12)$$

Para determinar o fator de forma das toras, utilizam-se as seguintes Equações:

Equação (13) Volume das toras com casca:

$$V_T = \frac{1}{2} * (A1 + A2) * L \quad (13)$$

Onde:  $A_1 = \frac{\pi}{4} * D^2$  e  $A_2 = \frac{\pi}{4} * d^2$

Sendo:

$V_T$  = volume da tora;

$D$  = diâmetro maior;

$d$  = diâmetro menor;

$L$  = comprimento da tora.

Equação (14) Volume do cilindro:

$$V_{CL} = Da^2 * \left(\frac{\pi}{4}\right) * L \quad (14)$$

Sendo:

$V_{CL}$  = volume do cilindro;

$Da$  = diâmetro maior da tora com casca;

$L$  = comprimento da tora.

Equação (15) Fator de forma:

$$F = V_T / V_{CL}; \quad (15)$$

Sendo:

$F$  = fator de forma;

$V_T$  = volume da tora;

$V_{CL}$  = volume do cilindro.

O fator de forma ( $F$ ) é um indicativo do grau de conicidade das toras e como este fator corresponde à relação entre o volume da tora e o volume do cilindro, quanto mais próximo de 1, mais cilíndrica será a tora.

#### 4.11 Secagem e classificação das lâminas

As lâminas, após saírem do torno laminador com uma largura de 1000 mm, foram enroladas em um carretel e transportadas à guilhotina, onde foi cortado no comprimento de 1100 mm nominal pré-determinado.

A secagem das lâminas deu-se após a guilhotinagem. As lâminas procedentes de cada tratamento foram identificadas com auxílio de giz de cera, e acomodadas em gabaritos de madeira, providos de separadores, desenvolvido no próprio Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira ESALQ-USP. As lâminas foram secadas ao ar livre, em um local coberto, como demonstrado na Figura 18. O tempo de secagem variou de 10 a 20 dias, chegando a um teor de umidade médio de 10%.



Figura 18. Secagem das lâminas ao ar livre.

A perda de umidade durante a secagem foi monitorada através de pesagens periódicas das amostras retiradas após a guilhotinagem a cada três lâminas. Quando as amostras não apresentavam mais variação em seus pesos, as lâminas foram retiradas dos

gabaritos para determinar o teor de umidade.

Após a secagem, seguiu-se a classificação das lâminas em classes de qualidade, de acordo com a norma brasileira NBR 9531 – Chapas de Madeiras Compensadas, classificação da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT(1986), nas classes N, A, B, C e D, da maior para a menor qualidade conforme descrita no apêndice I.

Depois de serem classificadas, as lâminas foram empilhadas umas sobre as outras, permitindo a homogeneização do teor de umidade entre elas e uma possível redução nas ondulações surgidas durante a fase de secagem natural.

#### **4.12 Qualidade das lâminas**

Para determinar a qualidade das lâminas produzidas a partir de toras de *Eucalyptus grandis*, foram efetuadas as seguintes avaliações: uniformidade na espessura, contração máxima, teor de umidade, determinação do MOE.

##### **4.12.1 Uniformidade em espessura**

A uniformidade da espessura foi avaliada com um micrômetro com precisão de 0,01mm, em lâminas com dimensões nominais de 2,00 mm X 1000 mm X 1100 mm. Durante a guilhotinagem de cada 3 (três) lâminas retirou-se uma amostra com dimensões de 40 mm de largura e 1000 mm de comprimento, para a verificação da espessura.

##### **4.12.2 Contração máxima das lâminas**

As amostras utilizadas para a determinação das contrações foram as mesmas utilizadas para a medição da espessura, coletadas de 5 (cinco) toras de *Eucalyptus grandis*, para cada classe diamétrica, por tratamento térmico, durante a fase de guilhotinagem, a cada três lâminas obtidas por desenrolamento.

As amostras foram medidas no sentido tangencial (largura), com o uso de um paquímetro e no sentido radial (espessura), através de um micrômetro, inicialmente com o teor de umidade acima do PSF (Ponto de Saturação das Fibras) e, posteriormente, com o teor de umidade de 0%, obtido com as amostras mantidas em estufa a uma temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2$  até atingirem peso constante (amostra seca). As referidas medições foram realizadas em três pontos, como demonstrado nas Figuras 19 e 20.

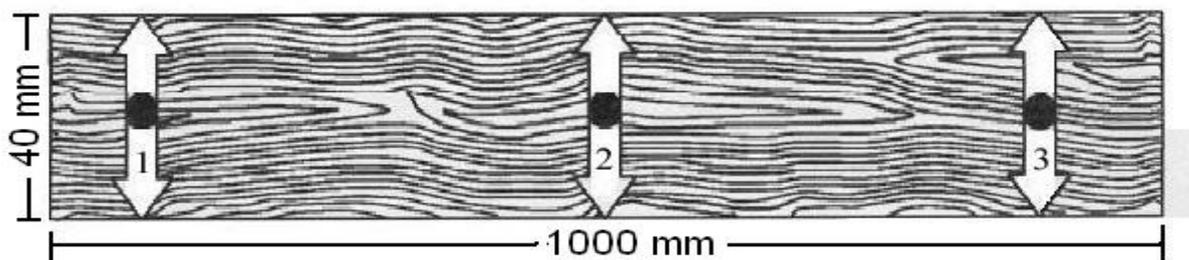


Figura 19. Dimensões das amostras indicando os pontos de medição 1º, 2º e 3º para determinação das retrações das lâminas de madeira de *Eucalyptus grandis*.

Fonte: Almeida (2002), modificado pelo autor.

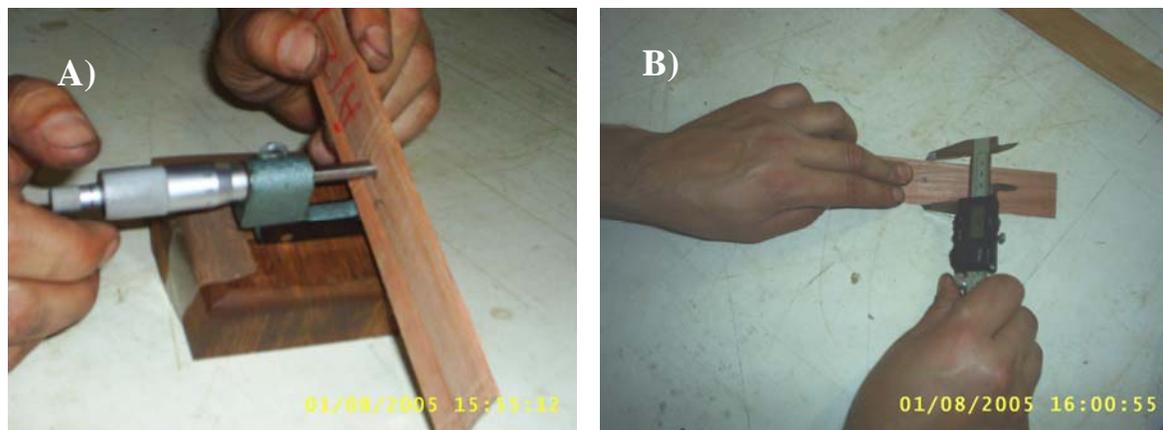


Figura 20. Leituras efetuadas nas amostras com micrômetro e paquímetro. A) Leitura no sentido radial; B) Leitura no sentido tangencial.

As Equações adotadas para determinar os valores das contrações são apresentadas a seguir:

Equação (16) Contração Tangencial:

$$R_T = \frac{(L_V - L_S)}{L_V} * 100 \quad (16)$$

Sendo:

$R_T$  = contração tangencial (%);

$L_V$  = largura verde;

$L_S$  = largura seca.

Equação (17) Retração radial:

$$R_R = \frac{(E_V - E_S)}{E_V} * 100 \quad (17)$$

Sendo:

$R_R$  = retração radial (%);

$E_V$  = espessura verde (mm);

$E_S$  = espessura seca (mm).

Equação (18) Retração Volumétrica:

$$R_V = R_T + R_R \quad (18)$$

Sendo:

$R_V$  = retração volumétrica;

$R_T$  = retração tangencial (%);

$R_R$  = retração radial (%).

Equação (19) Anisotropia de Retração

$$A = R_T / R_R \quad (19)$$

Sendo A = Anisotropia de retração;

$R_T$  = retração tangencial;

$R_R$  = retração radial.

A obtenção dos valores das contrações e da anisotropia teve por finalidade avaliar o efeito dos tratamentos térmicos sobre as lâminas *Eucalyptus grandis* e sobre a qualidade. Além disso, a determinação do valor médio da espessura das lâminas verdes serviu para aferir as regulagens do torno laminador na obtenção das lâminas com a espessura nominal adotada.

#### 4.12.3 Teor de umidade das lâminas

Após a secagem natural, foi determinada o teor de umidade das lâminas com o uso de um medidor elétrico resistivo (marca Digisystem, modelo DL 822) (Figura 21), dotado de quatro agulhas sensoras. Foram efetuadas três leituras por lâmina ao longo do seu comprimento. A precisão do equipamento, segundo o fabricante, é de  $\pm 0,05\%$  do valor obtido na faixa entre 6% e 12% de umidade.



Figura 21. Medidor de umidade Digisystem, modelo DL 822.

O medidor lê a umidade na área imediatamente em contato com as agulhas do eletrodo, indicando o ponto mais úmido encontrado na profundidade percorrida, (Figura 22). Também utilizou-se o método da pesagem por amostras, sendo que a cada três

lâminas guilhotinadas retirava-se uma amostra, as mesmas eram mantidas em estufa a uma temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  até atingirem peso constante (amostra seca).

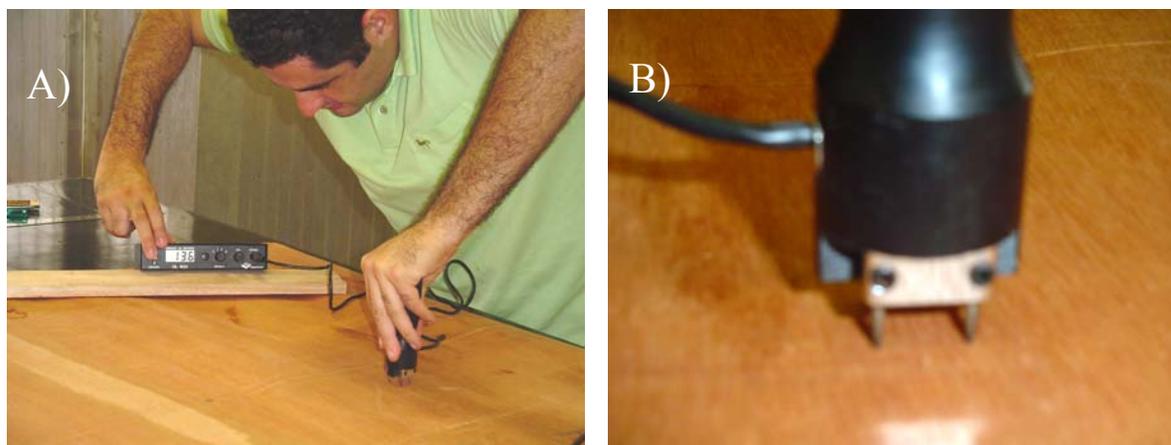


Figura 22. Medição do teor de umidade nas lâminas. A) Leituras efetuadas na lâmina; B) Detalhamento das agulhas sensoras sobre a superfície da lâmina.

#### 4.12.4 Ensaios não-destrutivos nas lâminas por ultra-som

O equipamento utilizado foi da marca Steinkamp Ultrasonic Tester, modelo BP-7, de fabricação alemã, e transdutores piezoelétricos de faces planas e frequência de 45 kHz. A precisão do equipamento, segundo o fabricante, é de 0,001%.

Os transdutores que se acoplam ao equipamento funcionam tanto como emissor quanto como receptor das ondas ultra-sônicas. A frequência do equipamento foi adotada em função do comprimento de onda. O cálculo do comprimento de onda foi realizado utilizando-se leituras preliminares. Essas leituras indicaram que a velocidade média obtida nas lâminas foi de aproximadamente 4708,82 m/s e o módulo de elasticidade foi de 17864,99 (MPa).

Após a etapa de identificação e classificação das lâminas, cada uma delas foi submetida ao ensaio não-destrutivo, utilizando o ultra-som em três posições distintas, com uma distância de 80 cm de um transdutor para outro como demonstra a Figura 23

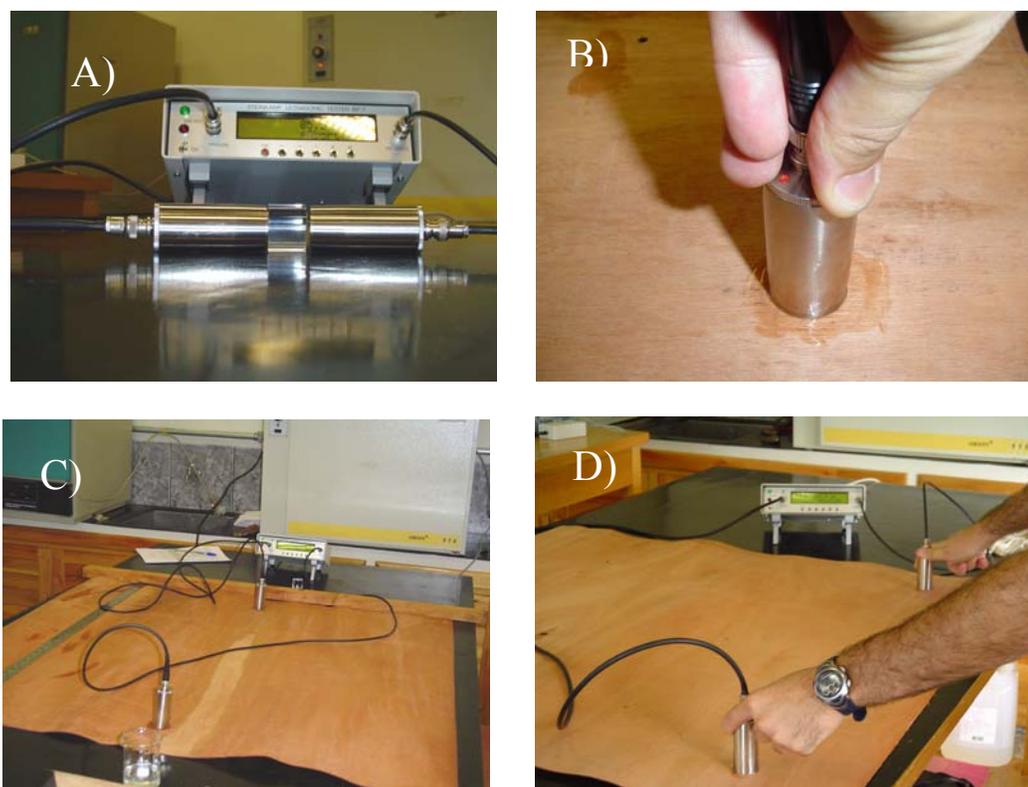


Figura 23. Ensaio de ultra-som nas lâminas de *Eucalyptus grandis*. A) Aparelho BP-7; B) Aplicação da camada de gel; C) Vista geral do equipamento; D) Região da leitura dos transdutores efetuada nas lâminas.

O equipamento de ultra-som foi calibrado no início de cada série de ensaio, utilizando-se o corpo-de-prova acrílico, conforme os procedimentos especificados no manual de operação do equipamento. Após a calibração, os ensaios foram realizados seguindo-se os seguintes procedimentos:

Imediatamente antes da realização do ensaio, aplicou-se uma fina camada de gel medicinal às faces dos transdutores, evitando-se o problema ocasionado na interface corpo-de-prova – transdutor. Uma leve pressão foi exercida para o acoplamento do transdutor ao corpo-de-prova. Verificou-se, então, a leitura do tempo ( $t$ ) em microssegundos, necessário para que a onda ultra-sônica atravessasse a lâmina de madeira e fosse detectada pelo transdutor de recepção.

De posse do tempo de propagação da onda e do comprimento do trecho percorrido ( $L$ ), calculou-se a velocidade de propagação da onda em cada ponto de leitura, utilizando-se a Equação (20).

Equação (20)

$$V = \frac{L}{t} \quad (20)$$

Sendo:

$V$  = velocidade de propagação da onda (m/s);

$L$  = distância percorrida pela onda – comprimento marcado na lâmina;

$t$  = tempo de propagação da onda (s).

Com o valor da velocidade de propagação da onda longitudinal, foi calculado o módulo de elasticidade da madeira na direção da propagação da onda, através da Equação (21). Foi determinado o MOE de cada lâmina por classe de diâmetro nos diferentes tratamentos térmicos.

Equação (21)

$$MOE = Me * V^2 \quad (21)$$

Sendo:

MOE = Módulo dinâmico de elasticidade, Mpa;

$Me$  = Massa específica da lâmina g/cm<sup>3</sup>;

$V$  = Velocidade de propagação da onda ultra-sônica, m/s.

Para determinação da massa específica das lâminas adotou-se a seguinte Equação (22).

$$Mel = \frac{Ml}{E * L * C} \quad (22)$$

Sendo:

$Mel$  = Massa específica da lâmina, g/cm<sup>3</sup>;

$Ml$  = Massa da lâmina, g;

$E$  = Espessura média ;

$L$  = Largura;

$C$  = Comprimento.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Massa específica básica e o teor de umidade das toras de *Eucalyptus grandis***

Conforme sugerido por vários autores, em função dos teores de umidade e das massas específicas básicas, foram determinados a temperatura e o monitoramento do tempo de aquecimento das toras (LUTZ, 1974; KOLLMANN, 1974; FEIHL e GODIN, 1970; MEDINA, 1986; KEINERT JUNIOR, 1994; PIO, 1996; TEJADA, 1997; STEINHAGEN e ROZAS, 1998; SEVERO, 1998; ALMEIDA, 2002; UMANÃ e BRITO, 2003 e CALONEGO, 2004).

A Tabela 3 e Tabela 4 apresentam os valores médios das massas específicas básicas e dos teores de umidade determinados para as toras utilizadas em ambos os tratamentos térmicos.

Tabela 3. Teor de umidade e massa específica básica das toras de *Eucalyptus grandis*, antes do tratamento térmico em água quente.

Toras de 25   30cm			Toras de 30   35cm			Toras de 35   40cm		
Identificação	Ubs	M.E	Identificação	Ubs	M.E	Identificação	Ubs	M.E
(Tora)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Tora)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Tora)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )
1	66,40	0,604	1	76,40	0,606	1	80,50	0,614
2	67,99	0,595	2	67,11	0,619	2	79,93	0,617
3	63,63	0,632	3	77,96	0,597	3	72,09	0,638
4	73,79	0,599	4	70,83	0,602	4	70,19	0,630
5	64,15	0,634	5	78,36	0,578	5	83,55	0,580
<b>Média</b>	<b>67,19</b>	<b>0,613</b>	<b>Média</b>	<b>74,13</b>	<b>0,601</b>	<b>Média</b>	<b>77,25</b>	<b>0,616</b>
Desvio Padrão	3,66	0,017	Desvio Padrão	4,43	0,013	Desvio Padrão	5,18	0,020
Coefic. Var. (%)	5,44	2,77	Coefic. Var. (%)	5,97	2,131	Coefic. Var. (%)	6,70	1,232

Sendo :

Ubs – Teor de umidade inicial com base em massa seca, %;

M.E. – Massa específica básica, g/cm<sup>3</sup>;

Coefic. Var. – Coeficiente de variação, %.

Tabela 4. Teor de umidade e massa específica básica das toras de *Eucalyptus grandis*, antes do tratamento térmico em vapor.

Toras de 25   30cm			Toras de 30   35cm			Toras de 35   40cm		
Identificação	Ubs	M.E	Identificação	Ubs	M.E	Identificação	Ubs	M.E
(Tora)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Tora)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Tora)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )
1	73,09	0,619	1	77,48	0,549	1	85,99	0,641
2	61,02	0,601	2	72,58	0,595	2	83,96	0,627
3	58,09	0,591	3	76,11	0,561	3	75,27	0,604
4	58,33	0,587	4	62,59	0,587	4	65,19	0,594
5	60,48	0,598	5	64,32	0,589	5	75,71	0,613
<b>Média</b>	<b>62,21</b>	<b>0,599</b>	<b>Média</b>	<b>70,62</b>	<b>0,576</b>	<b>Média</b>	<b>77,22</b>	<b>0,616</b>
Desvio Padrão	6,22	0,012	Desvio Padrão	6,80	0,020	Desvio Padrão	7,39	0,016
Coefic. Var. (%)	9,99	2,00	Coefic. Var. (%)	9,62	3,47	Coefic. Var. (%)	9,57	2,597

Os coeficientes de variação da massa específica das toras em cada classe de diâmetro foram inferiores a 9,9 %, mostrando que a madeira estudada apresenta massa específica homogênea compreendida na faixa de 0,587 a 0,634 g/cm<sup>3</sup>. A homogeneidade desta propriedade física é importante pois permite estabelecer, no rolo-resto, uma temperatura ótima de aquecimento na ordem de 80 °C como sugerido por Lutz (1974).

Considerando a massa específica básica das toras, verifica-se que *Eucalyptus grandis* é adequada para a produção de lâminas segundo os autores Lutz (1978), Jankowsky e Suchsland (1978) e Kollmann (1975).

Lutz (1978) citado por Bortoletto (2003) afirma que as espécies florestais com densidade básica entre 0,40 e 0,70 g/cm<sup>3</sup> são as adequadas para a produção de lâminas. De acordo com Walker (1993) as espécies mais adequadas possuem densidade básica entre 0,38 a 0,70 g/cm<sup>3</sup>, com preferência para aquelas com densidade próxima de 0,50 g/cm<sup>3</sup>.

As árvores de *Eucalyptus grandis* apresentaram em ambos os tratamentos, um valor médio do teor de umidade de 71,43 % e densidade básica de 0,603 g/cm<sup>3</sup>. Os valores médios da densidade básica como padrão de variação na direção longitudinal do tronco da árvore de *Eucalyptus grandis* decresceu da base ( toras utilizadas de 35 – 40cm ) até aproximadamente 50% da altura comercial ( toras de 30 – 35cm ), aumentando a seguir para o sentido do topo do tronco ( toras de 25 – 30cm ). Esse comportamento é coerente com os resultados divulgados por outros pesquisadores, tais como: Gaiotto (1993), Goulart (2003), Silva (2004), Alzate, Tomazello e Piedade (2005). Mas para utilização prática nas indústrias considera-se valor médio ao longo do fuste da árvore.

## 5.2 Rendimento da laminação

As Tabelas 5 e 6 apresentam os rendimentos em volumes de madeira, no decorrer de cada uma das operações realizadas na laminação de toras de *Eucalyptus grandis*. Através dos volumes calculados para as toras com casca, sem casca, arredondadas e dos rolos-resto, foi possível calcular as perdas em volume ( $m^3$ ), ocorridas em cada uma das etapas do processo de laminação. As Tabelas 7 e 8 mostram essas perdas em porcentagem e também o rendimento do processo de laminação.

Analisando os valores das Tabelas 7 e 8, pode-se observar que as maiores perdas ocorreram com o rolo-resto por apresentarem diâmetro maiores que o adotado com 50mm de raio, ocasionado por profundas e largas rachaduras de topo responsáveis pelo baixo rendimento em lâminas. Para a classe de diâmetro de 25 – 30 cm as toras aquecidas em ambos os tratamentos térmicos, apresentaram rendimento médio inferior a 37.12 % e neste caso as perdas totais apresentaram-se em torno de 62.87 %, fato também constatado por (PEREYRA, 1994). Por outro lado houve uma perda média significativa no processo de arredondamento, sendo em torno de 23,47% no tratamento térmico por imersão em água quente e 26,03 % no tratamento térmico por vapor.

As toras de *Eucalyptus grandis*, utilizadas neste experimento, mostraram problemas de fixação das garras nos topos das toras durante a laminação, devido à presença de profundas rachaduras nos topos. Aguiar (1986), comenta em seu trabalho que toras verdes tratadas com calor pode apresentar um aumento da profundidade das rachaduras no seu sentido longitudinal, e como as toras com rachaduras não permitem a fixação adequada das garras, principalmente das garras internas do torno, promove-se aumento no esforço requerido pelo corte da lâmina sobre a faca, rachaduras longitudinal da tora e difícil obtenção de um rolo-resto com um diâmetro pequeno, tornando o rendimento de algumas toras insatisfatório. Neste caso a procura por um material genético selecionado para o desenrolo de toras pode contribuir na minimização desse problema.

Tabela 5. Diâmetros (m) e volumes (m<sup>3</sup>) da madeira de cada diâmetro da espécie *Eucalyptus grandis* para o tratamento térmico ( Imersão em água quente ),entre as diferentes fases durante a laminação.

Marcação das toras e classe de diâmetro	Diâmetro maior c/ casca (cm)	Diâmetro menor c/ casca (cm)	Diâmetro maior s/ casca (cm)	Diâmetro menor s/ casca (cm)	Diâmetro Arredondado (cm)	Diâmetro Rolo Resto (cm)	Volume c/ casca (m <sup>3</sup> )	Volume s/ casca (m <sup>3</sup> )	Volume Arredondado (m <sup>3</sup> )	Volume Rolo-Resto (m <sup>3</sup> )	Volume Verde Laminado (m <sup>3</sup> )	Volume de Lâminas (m <sup>3</sup> )	Fator de forma
1 ( 35-40cm)	38,00	37,50	36,00	34,00	28,50	21,50	0,123122	0,105919	0,070173	0,039940	0,030238	0,019360	0,986
2 (35-40cm)	39,00	38,00	35,50	33,00	29,00	.	0,128079	0,101481	0,072657	.	.	.	0,974
3 (35-40cm)	38,00	35,00	33,00	32,00	27,00	21,50	0,115293	0,091275	0,062981	0,039940	0,023046	0,019360	0,924
4 (35-40cm)	40,00	37,00	35,50	34,00	31,50	21,00	0,128252	0,104375	0,085724	0,038100	0,047625	0,043560	0,927
5 (35-40cm)	37,00	35,00	34,00	32,00	29,50	21,50	0,112053	0,094169	0,075184	0,039941	0,035249	0,033880	0,947
<b>Média</b>	<b>38,40</b>	<b>36,50</b>	<b>34,80</b>	<b>33,00</b>	<b>29,10</b>	<b>21,30</b>	<b>0,121361</b>	<b>0,099443</b>	<b>0,073343</b>	<b>0,037993</b>	<b>0,034039</b>	<b>0,029040</b>	<b>0,951</b>
1 ( 30-35cm)	34,00	33,50	32,50	31,00	27,00	21,00	0,098413	0,087139	0,062981	0,038100	0,024881	0,019360	0,985
2 (30-35cm)	31,50	31,00	30,50	30,50	25,50	.	0,085724	0,080368	0,056178	.	.	.	0,984
3 (30-35cm)	33,00	32,00	31,50	30,50	25,50	21,50	0,091275	0,083046	0,056178	0,039936	0,016242	0,014520	0,970
4 (30-35cm)	31,00	31,00	30,50	30,30	26,00	21,00	0,083024	0,079843	0,058402	0,038100	0,020303	0,016940	1,0
5 (30-35cm)	34,00	34,00	32,00	32,00	28,50	21,50	0,099871	0,088467	0,070173	0,039936	0,030238	0,029040	1,0
<b>Média</b>	<b>32,70</b>	<b>32,30</b>	<b>31,40</b>	<b>30,86</b>	<b>26,50</b>	<b>21,25</b>	<b>0,091661</b>	<b>0,083772</b>	<b>0,060722</b>	<b>0,039018</b>	<b>0,022916</b>	<b>0,019965</b>	<b>0,987</b>
1 ( 25-30cm)	29,50	28,50	29,00	28,00	23,00	21,50	0,072679	0,071415	0,045702	0,039936	0,005767	0,004840	0,966
2 (25-30cm)	29,00	28,00	27,50	27,00	23,00	21,30	0,070195	0,064158	0,045702	0,039196	0,006506	0,004840	0,966
3 (25-30cm)	29,00	28,50	27,50	27,50	23,50	21,50	0,071415	0,065335	0,048118	0,039936	0,008182	0,007260	0,982
4 (25-30cm)	28,50	28,00	26,50	26,00	24,00	20,50	0,068953	0,059536	0,049763	0,036307	0,013456	0,014520	0,982
5 (25-30cm)	29,50	28,50	27,50	26,50	24,00	19,00	0,072679	0,063003	0,049763	0,031188	0,018575	0,016940	0,966
<b>Média</b>	<b>29,10</b>	<b>28,30</b>	<b>27,60</b>	<b>27,00</b>	<b>23,50</b>	<b>20,76</b>	<b>0,071184</b>	<b>0,064689</b>	<b>0,047812</b>	<b>0,037313</b>	<b>0,010497</b>	<b>0,009680</b>	<b>0,977</b>
<b>Média Geral</b>	<b>33,40</b>	<b>32,36</b>	<b>31,26</b>	<b>30,28</b>	<b>26,36</b>	<b>21,10</b>	<b>0,094735</b>	<b>0,083634</b>	<b>0,060625</b>	<b>0,038108</b>	<b>0,022484</b>	<b>0,019561</b>	<b>0,971</b>

Tabela 6. Diâmetros (m) e volumes (m<sup>3</sup>) da madeira de cada diâmetro da espécie *Eucalyptus grandis* para o tratamento térmico (Vapor), entre as diferentes fases durante a laminação.

Marcação dos toretes	Diâmetro maior c/ casca (cm)	Diâmetro menor c/ casca (cm)	Diâmetro maior s/ casca (cm)	Diâmetro menor s/ casca (cm)	Diâmetro Arredondado (cm)	Diâmetro Rolo Resto (cm)	Volume c/ casca (m <sup>3</sup> )	Volume s/ casca (m <sup>3</sup> )	Volume Arredondado (m <sup>3</sup> )	Volume Rolo-Resto (m <sup>3</sup> )	Volume Verde Laminado (m <sup>3</sup> )	Volume de Lâminas (m <sup>3</sup> )	Fator de forma
1 (35-40cm)	39,50	38,50	38,00	37,00	31,50	21,50	0,131427	0,121513	0,085724	0,03994	0,045789	0,04114	0,975
2 (35-40cm)	38,50	36,00	37,00	34,50	32,00	20,50	0,120012	0,110552	0,088467	0,03631	0,052160	0,04114	0,937
3 (35-40cm)	39,00	37,00	37,50	35,50	32,00	19,50	0,124839	0,115185	0,088467	0,03285	0,055616	0,04840	0,950
4 (35-40cm)	38,00	36,50	36,50	35,00	30,50	21,00	0,119925	0,110465	0,080368	0,03810	0,042268	0,02904	0,961
5 (35-40cm)	36,50	35,50	35,00	34,00	29,00	22,00	0,111988	0,102852	0,072657	0,04181	0,038432	0,01452	0,972
<b>Média</b>	<b>38,30</b>	<b>36,70</b>	<b>36,80</b>	<b>35,20</b>	<b>31,00</b>	<b>20,90</b>	<b>0,121638</b>	<b>0,109763</b>	<b>0,083136</b>	<b>0,03780</b>	<b>0,046853</b>	<b>0,03484</b>	<b>0,958</b>
1 (30-35cm)	34,50	34,00	33,00	32,50	27,00	15,00	0,101351	0,092668	0,062981	0,01943	0,043542	0,02904	0,985
2 (30-35cm)	34,00	33,50	33,00	32,50	29,00	15,80	0,098413	0,092668	0,072657	0,02156	0,051090	0,04840	0,958
3 (30-35cm)	34,50	33,00	33,00	31,50	28,50	21,00	0,098457	0,089904	0,070173	0,03810	0,032074	0,01452	0,957
4 (30-35cm)	33,00	31,50	31,50	30,50	26,00	20,50	0,089904	0,083046	0,058402	0,03630	0,022095	0,01694	0,955
5 (30-35cm)	34,50	34,00	33,00	32,50	25,50	19,00	0,101351	0,092668	0,056178	0,03118	0,024989	0,01694	0,985
<b>Média</b>	<b>34,10</b>	<b>33,20</b>	<b>32,70</b>	<b>31,90</b>	<b>27,20</b>	<b>18,26</b>	<b>0,097895</b>	<b>0,090190</b>	<b>0,064078</b>	<b>0,02931</b>	<b>0,034758</b>	<b>0,02516</b>	<b>0,968</b>
1 (25-30cm)	30,50	29,50	29,50	29,00	26,50	14,50	0,077776	0,073921	0,060670	0,01816	0,042506	0,02904	0,966
2 (25-30cm)	29,50	28,50	28,50	27,50	22,00	21,00	0,072679	0,067754	0,041815	0,03810	0,003715	0,00968	0,966
3 (25-30cm)	28,50	28,00	27,50	26,50	23,00	20,50	0,068953	0,063003	0,045702	0,03630	0,009395	0,01210	0,982
4 (25-30cm)	29,50	29,00	29,00	28,70	23,00	13,00	0,073921	0,071909	0,045702	0,01460	0,031102	0,00484	0,983
5 (25-30cm)	29,00	28,50	28,50	27,50	24,00	15,50	0,071415	0,067754	0,049763	0,02075	0,029007	0,02662	0,982
<b>Média</b>	<b>29,40</b>	<b>28,70</b>	<b>28,60</b>	<b>27,84</b>	<b>23,70</b>	<b>16,90</b>	<b>0,072948</b>	<b>0,068868</b>	<b>0,048730</b>	<b>0,02558</b>	<b>0,023145</b>	<b>0,01645</b>	<b>0,975</b>
<b>Média Geral</b>	<b>33,93</b>	<b>32,86</b>	<b>32,70</b>	<b>31,64</b>	<b>27,30</b>	<b>18,68</b>	<b>0,097493</b>	<b>0,089607</b>	<b>0,065314</b>	<b>0,03089</b>	<b>0,034918</b>	<b>0,02548</b>	<b>0,967</b>

Tabela 7. Perdas percentuais nas diferentes fases de obtenção de lâminas por desenrolo e rendimento para a madeira *Eucalyptus grandis* para o tratamento térmico ( Imersão em água quente). Os valores foram agrupados por classe diamétrica.

Marcação das toras e classe de diâmetro	Perda com o descascamento (%)	Perda com o arredondamento (%)	Perdas no rolo- resto (%)	Perda Total (%)	Rendimento da laminação (%)
1 (35- 40cm)	13,97	29,03	32,44	75,44	24,56
2 (35- 40cm)	20,77	22,50	.	43,27	.
3 (35- 40cm)	20,83	24,54	34,64	80,01	19,99
4 (35- 40cm)	18,62	14,54	29,71	62,87	37,13
5 (35- 40cm)	15,96	16,94	35,64	68,54	31,46
<b>Média</b>	<b>18,03</b>	<b>21,51</b>	<b>33,10</b>	<b>66,02</b>	<b>28,28</b>
1 (30- 35cm)	11,46	24,55	38,71	74,72	25,28
2 (30- 35cm)	6,25	28,22	.	34,47	.
3 (30- 35cm)	9,02	29,44	43,75	82,21	17,79
4 (30- 35cm)	3,83	25,82	45,89	75,53	24,45
5 (30- 35cm)	11,42	18,32	39,99	69,72	30,28
<b>Média</b>	<b>8,39</b>	<b>25,27</b>	<b>42,08</b>	<b>67,33</b>	<b>24,45</b>
1 (25- 30cm)	1,74	35,38	54,95	92,07	7,93
2 (25- 30cm)	8,60	26,29	55,84	90,73	9,27
3 (25- 30cm)	8,51	24,11	55,92	88,54	11,46
4 (25- 30cm)	13,66	14,17	52,65	80,49	19,51
5 (25- 30cm)	13,31	18,22	42,91	74,44	25,56
<b>Média</b>	<b>9,16</b>	<b>23,63</b>	<b>52,45</b>	<b>85,25</b>	<b>14,74</b>
<b>Média Geral</b>	<b>11,86</b>	<b>23,47</b>	<b>42,54</b>	<b>72,86</b>	<b>22,49</b>

Tabela 8. Perdas percentuais nas diferentes fases de obtenção de lâminas por desenrolo e rendimento para a madeira *Eucalyptus grandis* para o tratamento térmico ( Vapor ). Os valores foram agrupados por classe diamétrica.

Marcação das toras e classe de diâmetro	Perda com o descascamento (%)	Perda com o arredondamento (%)	Perdas no rolo- resto (%)	Perda Total (%)	Rendimento da laminação (%)
1 (35- 40cm)	7,54	27,23	30,29	65,16	34,84
2 (35- 40cm)	7,88	18,40	30,25	56,54	43,46
3 (35- 40cm)	7,73	21,40	26,31	55,45	44,55
4 (35- 40cm)	7,89	25,10	31,77	64,75	35,25
5 (35- 40cm)	8,16	26,96	37,34	72,46	27,54
<b>Média</b>	<b>7,84</b>	<b>23,81</b>	<b>31,19</b>	<b>62,87</b>	<b>37,12</b>
1 (30- 35cm)	8,57	29,29	19,18	57,04	42,96
2 (30- 35cm)	5,84	20,33	21,92	48,09	51,91
3 (30- 35cm)	8,69	20,04	38,70	67,42	32,58
4 (30- 35cm)	7,63	27,41	40,38	75,42	24,58
5 (30- 35cm)	8,57	36,00	30,77	75,34	24,66
<b>Média</b>	<b>7,86</b>	<b>26,61</b>	<b>30,19</b>	<b>64,66</b>	<b>35,33</b>
1 (25- 30cm)	4,96	17,04	23,35	45,35	54,65
2 (25- 30cm)	6,78	35,69	52,42	94,89	5,11
3 (25- 30cm)	8,63	25,09	52,65	86,37	13,63
4 (25- 30cm)	2,72	35,45	19,75	57,93	42,07
5 (25- 30cm)	5,13	25,19	29,06	59,38	40,62
<b>Média</b>	<b>5,64</b>	<b>27,69</b>	<b>35,44</b>	<b>68,78</b>	<b>31,21</b>
<b>Média Geral</b>	<b>7,11</b>	<b>26,03</b>	<b>32,27</b>	<b>65,43</b>	<b>34,55</b>

A perda média com o descascamento das toras foi superior para o tratamento térmico imersão em água quente com valores médios de 18,03 %, 8,39% e 9,16%, respectivamente para toras de 35 -|40cm, 35 -|30cm e 25 -|30cm, indicando que as mesmas possuem maior quantidade de casca. A perda com o descascamento, para ambos os tratamentos foi maior para as toras extraídas da posição mais próxima da base da árvore, com diâmetro de 35 -|40cm. para *Eucalyptus urophylla* Gaiotto (1993) e Almeida (2002), comparando as perdas no descascamento de toras de clones híbrido de *Eucalyptus urophylla*

e *Eucalyptus grandis*, retiradas de três posições distintas da árvore (base, meio, topo), encontraram as maiores perdas nas toras mais próximas da base, as quais apresentam maior quantidade de casca. As perdas médias com o descascamento das toras para ambos tratamentos térmicos, foram compatíveis com os valores encontrados na literatura na (Tabela 9).

Tabela 9. Perdas percentuais médias nas diferentes etapas da laminação e rendimento do processo para algumas espécies de *Eucalyptus* disponíveis na literatura.

Autores	Perdas %					Rendimen to
	ESPÉCIES	DESCAS S.	ARRED.	ROLO- RESTO	TOTAL	(%)
Keinert Junior (1993)	<i>E. robusta</i>	14,11	24,54	12,77	51,42	48,58
	<i>E. saligna</i>	5,00	19,80	25,00	49,80	50,20
	<i>E. viminalis</i>	11,22	25,50	14,30	50,02	49,98
	<i>E. dunnii</i>	8,60	23,65	24,75	57,00	43,00
	<i>E. grandis</i>	5,20	20,74	16,26	42,20	57,80
	<i>E. grandis</i>	4,10	17,19	27,13	48,42	51,58
	<i>E. grandis</i>	5,17	22,41	30,18	57,46	42,24
Gaiotto (1993)	<i>E. urophylla</i>	23,25	21,58	18,62	63,45	36,55
Pereyra (1994)	<i>E. dunnii</i>	10,61	21,77	32,93	65,31	34,69
Pio (1996)	<i>E. scabra</i>	10,63	26,78	26,12	63,53	36,47
	<i>E. robusta</i>	10,58	22,48	22,85	56,00	44,00
Interamnense (1998)	<i>E. cloeziana</i>	17,86	18,03	13,68	49,57	50,43
	<i>E. maculata</i>	18,43	22,78	13,93	55,14	44,86
Almeida (2002)	<i>E. grandis</i>	12,11	22,35	13,81	48,26	51,74
	<i>E. urophylla</i>	12,57	19,70	10,92	43,19	56,81
	Médias	11,29	21,95	20,21	53,38	46,59

Fonte: Almeida (2002), modificado.

As Tabelas 7 e 8 demonstram que a maior perda no processo de laminação das toras de madeira de *Eucalyptus grandis*, para todas as classes de diâmetro em ambos os tratamentos térmicos, foi referente ao rolo-resto, em seguida o arredondamento. Isso ocorreu devido a conicidade das toras como pode ser verificado nos valores médios de perdas por arredondamento nas Tabelas 7 e 8. A classe de diâmetro 35 | 40 apresentou perdas de 21,51%; 30 | 35 com perdas de 25,27% e 25 | 30 com 23,63% para o tratamento térmico imersão em água quente. Já para o tratamento térmico com vapor a classe de diâmetro de

35 - 40 apresentou perdas de 23,81%; 30 - 35 com 26,61% e 25 - 30 com 27,69%. Os resultados de perdas são compatíveis com os valores similares aos encontrados pelos autores, Keinert Junior (1993), Gaiotto (1993), Pereyra (1994), Pio (1996), Interamnense (1998) e Almeida (2002).

Para a classe de diâmetro de 25 - 30cm utilizada no processo de vaporização, ocorreu uma perda de 27,69 %  $\pm$  7,08, e para classe de diâmetro de 30 - 35cm com o tratamento térmico imersão em água quente, apresentou uma perda de 25,27 %  $\pm$  5,21, mostrando que as toras do topo das árvores (25 - 30cm) e do meio (30 - 35cm) apresentam maior perda no arredondamento, do que as toras da base (35 - 40cm) com fator de forma de 0,951.

Isso mostra que às toras intermediárias e as do topo são menos cilíndricas em relação às retiradas da base da árvore. Para as classes de diâmetro de 25 - 30 cm e 30 - 35cm, o disco 1 (base) e o disco 2 (topo) são iguais e portanto o fator de forma é alto, entretanto as toras são ovaladas. Já as toras retiradas da base da árvore com diâmetro de 35 - 40cm apresentam seus topos cilíndricos, entretanto com diferentes dimensões de diâmetros, ocasionando a presença de um fator de forma baixo. Por essa razão, a tora retirada do topo da árvore tem uma perda considerável com o arredondamento, quando comparada com as toras utilizadas da base da árvore.

Para comparar os rendimentos e perdas totais entre os diâmetros de toras, o modelo adotado para análise estatística, foi o Teste Tukey a 5 % de probabilidade com apresentado nas Tabela 10 e 11.

Para comparar a perda total entre os tratamentos térmicos como pode ser observada na Tabela 10 uma comparação entre cada classe de diâmetro com diferentes tratamentos térmicos, utilizou-se um teste de Tukey. Verifica-se que não houve uma diferença significativa quando é comparado o efeito de cada classe de diâmetro em ambos os tratamentos térmicos. Já através da ANOVA verifica-se que não ocorreu diferença significativa entre as toras por classe de diâmetro nas perdas totais da laminação.

Tabela 10. Análise comparativa entre perdas totais dos dois tratamentos térmico.

Classe de diâmetro	Tratamento				F entre Tratamentos
	Água quente	Tukey	Vapor	Tukey	
35   40 cm	66,03	a	62,87	a	NS (Test t)
30   35 cm	67,33	a	64,66	a	NS (Test t)
25   30 cm	85,25	a	68,78	a	NS (Test t)
Todos	72,87	NS	65,44	NS	NS (Test t)

Tabela 11. Análise comparativa entre perdas no rendimento entre os dois tratamentos térmicos

Classe de diâmetro	Tratamento				F entre Tratamentos
	Água quente	Tukey	Vapor	Tukey	
35   40 cm	28,29	a	37,13	a	NS (Test t)
30   35 cm	24,45	ab	35,34	a	NS (Test t)
25   30 cm	14,75	b	31,22	a	NS (Test t)
Todos	21,90	NS	34,56	NS	*

Para comparar o rendimento de laminação pode ser observado na Tabela 11, com uma comparação entre cada classe de diâmetro com diferentes tratamentos térmicos, utilizou-se um test Tukey. Verifica-se que não houve uma diferença significativa quando é comparado o efeito da cada classe de diâmetro em ambos os tratamentos térmicos. Entretanto através da ANOVA verifica-se que não ocorre uma diferença significativa entre as toras por classe de diâmetro nas perdas totais da laminação. Portanto a classe de diâmetro de 25 | 30cm apresentaram letras diferentes e o test de Tukey foi não significativo, isso ocorreu, devido ao coeficiente de variação dos dados serem altos, isso pode estar relacionados ao aquecimento das toras serem mais rápido na água quente em relação ao do vapor indireto, conforme descrito por Kolmann (1975).

Como observado no trabalho de Medina (1986), e verificando-se os resultados obtidos pelos autores apresentados na Tabelas 9, as fases que geraram maiores perdas pela média foram no arredondamento, no rolo-resto e no descascamento, por causa dos seguintes fatores relacionados: (1º) alto índice de conicidade das toras (2º) as rachaduras profundas e largas do topo (3º) a alta quantidade de casca. Esses fatores são características intrínsecas da espécie, que torna difícil a sua diminuição, mas também as tendências ao

rachamento de topo das toras durante o tratamento térmico provocam a ocorrência de má fixação das garras, provocando um baixo rendimento de laminação.

Para reduzir o fator intrínseco da espécie recomenda-se a utilização de árvores proveniente de um melhoramento genético, como utilizado por Almeida (2002), que obteve um bom rendimento, para os dois (2) clones híbrido de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* clone I (51,74%) e clone II (56,81%) no presente estudo.

A perda média com o rolo-resto, gerada a partir dos dois tratamentos, foi bem superior à maioria das espécies apresentadas nas Tabelas 7 e 8. A perda média com o rolo-resto nas classes diamétricas do tratamento térmico em vapor, foi de  $32.27\% \pm 2,27$ , já o das toras da classe diamétrica do tratamento térmico com imersão em água quente foi de  $42,54\% \pm 7,90$ . A perda é considerada alta, quando comparada com dados da literatura contidos na Tabela 9. Isso pode estar relacionado com a matéria-prima não selecionada geneticamente, que ocasionou um aumento na tendência ao desenvolvimento de rachaduras nas toras durante o processamento, a qual não permitiu que a laminação pudesse prosseguir até o limite do equipamento. Esse limite é dado pelo diâmetro das garras do torno laminador, que permite a laminação das toras com o raio de 50mm final.

Na Tabelas 5, pode ser observado que o diâmetro dos rolos restos variou de 21,50 a 19,00 cm e na Tabela 6 de 22,00 a 13,00 cm, demonstrando que houve uma perda significativa em relação a volume de madeira, não aproveitando o limite de laminação do equipamento de 10cm de diâmetro.

O rendimento médio da laminação foi maior para as toras da classe diamétrica do tratamento térmico em vapor, que apresentou menores perdas com o rolo resto. Ainda nas Tabela 7 e 8, verifica-se que o rendimento de algumas toras de *Eucalyptus grandis* no tratamento de vaporização, por classes diamétricas situa-se próximo a 35 % de aproveitamento (35 - 40cm com 37,12%, 30 - 35cm com 35,33% e 25 - 30cm 31,21 %), como encontrado por Medina (1986) para *Pinus elliottii*, Gaiotto (1993) para *Eucalyptus urophylla* 36,55%, Pereyra (1994) *Eucalyptus dunnii* 34,69 % e Pio (1996) para *Eucalyptus scabra* 36,47 %.

Para o tratamento por imersão em água quente, o rendimentos da

classe diamétrica (35 - 40cm foi de 28,28%, 30 - 35cm com 24,45% e 25 - 30cm com 14,74 %), o rendimento foi semelhante ao encontrado por Medina (1986) para *Pinus elliottii*, Gaiotto (1993) para *Eucalyptus urophylla* 36,55%, Pereyra (1994) *Eucalyptus dunnii* 34,69 %.

Nesse estudo não foram consideradas as perdas no manuseio das lâminas que teoricamente podem alcançar níveis de 5% quando bem conduzida, encontradas por Gaiotto (1993), Keinert Junior (1994).

### 5.3 Qualidade das Lâminas

As lâminas geradas a partir de madeira de *Eucalyptus grandis*, após a secagem, foram avaliadas segundo a Norma de controle de Qualidade e Classificação dos Compensados, que é normatizada pela ABIMCI (2003), nas classes N, A, B, C e D, da melhor para a pior qualidade, respectivamente. O resultado da classificação é apresentado na Tabela 12, o qual demonstra o número de lâminas e o seu respectivo percentual (nota), expresso em relação ao número total, obtido em cada classe de qualidade, para ambos os tratamentos e para as diferentes classes de diâmetros.

Tabela 12. Qualidade e número de lâminas por classe de diâmetro e tratamento térmico..

Tratamento	Classe de Diâmetro	Número e Porcentagem de Lâminas por Qualidade					TOTAL
		N	A	B	C	D	
Vapor	35 a < 40 cm		2 (2,46%)	34 (41,98%)	32 (39,50%)	13 (16,06%)	81 (100%)
Vapor	30 a < 35 cm		3 (5,18%)	14 (24,14%)	12 (20,68%)	29 (50,00%)	58 (100%)
Vapor	25 a < 30 cm		2 (5,41%)	8 (21,63%)	11 (29,72%)	16 (43,24%)	37 (100%)
<b>Total</b>			<b>7</b>	<b>56</b>	<b>55</b>	<b>58</b>	<b>176</b>
Água Quente	35 a < 40 cm		3 (6,52%)	22 (47,83%)	16 (34,79%)	5 (10,86%)	46 (100%)
Água Quente	30 a < 35 cm		1 (3,03%)	11 (33,33%)	16 (48,48%)	5 (15,16%)	33 (100%)
Água Quente	25 a < 30 cm		2 (10,00%)	2 (10,00%)	10 (50,00%)	6 (30,00%)	20 (100%)
<b>Total</b>			<b>6</b>	<b>35</b>	<b>42</b>	<b>16</b>	<b>99</b>

De acordo com a Tabela 12, pode-se observar que foram obtidas lâminas em quase todas as classes de qualidade. Para o tratamento térmico de aplicação de vapor indireto as classes diamétrica de 25 – 30cm nível D (43%) com 16 lâminas obtidas do total de 37 lâminas, 30 – 35cm níveis D (50%) com 29 lâminas obtidas no total de 58 lâminas e 35 – 40cm obtiveram maior número de lâminas na ordem de níveis B (42%) com 34 lâminas no total de 81.

Para o tratamento térmico de imersão em água quente, as classes diamétricas 25 – 30cm nível C (50%) com 10 lâminas obtidas do total de 20, 30 – 35 cm níveis C (48%) com 16 lâminas do total de 33 e 35 – 40 cm obtiveram maior número de lâminas no nível B (47%) com 22 lâminas no total de 46.

A comparação da qualidade das lâminas por classe de diâmetro e entre os tratamentos térmico pode ser visualizado na Tabela 13.

Tabela 13. Porcentual de lâminas por classe de diâmetro e tratamento térmico..

Classe de diâmetro	Tratamento térmico	Classe A (%)	Classe B (%)	Classe C (%)	Classe D (%)	Total (%) e nº lâm.
35 – 40cm	Vapor	2,46	41,98	39,50	16,06	100 e 81
35 – 40cm	Água quen.	6,52	47,83	34,79	10,86	100 e 46
30 – 35cm	Vapor	5,18	24,14	20,68	50,00	100 e 58
30 – 35cm	Água quen.	3,03	33,33	48,48	15,16	100 e 33
25 – 30cm	Vapor	5,14	21,63	29,72	43,24	100 e 37
25 – 30cm	Água quen.	10,00	10,00	50,00	30,00	100 e 20

Os valores apresentados na Tabela 13 mostram que o tratamento térmico imersão em água quente proporcionou a produção de lâminas com uma melhor qualidade do que a obtida com o tratamento térmico com vapor. Isso está relacionado com a faixa laminável de todas as classes de diâmetros e toras obtidas pelo tratamento térmico água quente que foi desenrolado somente no lenho adulto, o rolo-resto ficou na faixa entre 21,50cm a 19,00cm.

Já as laminas retiradas das toras das três classes diamétrica, com o tratamento térmico vapor foram desenroladas do lenho juvenil e adulto das toras com o rolo-resto que variou de 21,00cm a 13,00cm, portanto, essa tabela subestima o valor de qualidade de lâminas, quando comparado com os dois tratamento térmico.

#### 5.4 Tempo de aquecimento das toras

Os tempos de aquecimento em água quente, para todas as classes diamétricas, foram inferiores aos tempos de aquecimento quando comparadas com vapor indireto, o que significa uma economia de energia.

As diferenças justificam as melhores condições de temperatura das toras laminadas provenientes do tratamento térmico com imersão em água quente, devido ao aquecimento das toras serem mais rápido em relação ao tratamento com vapor como descrito por Kolmann (1975). Para o tratamento térmico com vapor para atingir 85°C, o sistema levou 19 horas e 02 minutos, o tratamento térmico com água quente para o meio atingir 85°C foi necessário 15 horas e 25 minutos. Na Tabela 14, demonstra o tempo de aquecimento para que o rolo-resto com 50mm atingisse os 80°C, com o meio aquecedor a 85°C.

Tabela 14. Tempo de aquecimento de todas as classes de diamétricas com 50mm de raio no rolo resto para atingir 80 °C.

Tratamento térmico	Classe diamétrica	Tempo de aquecimento foram:	Consumo médio de energia
Vapor	35   40 cm	33 horas e 37 minutos (80 °C)	<b>404,04 kWh</b>
	30   35 cm	26 horas e 44 minutos (80 °C)	<b>320,76 kWh</b>
	25   30 cm	19 horas e 09 minutos (80 °C)	<b>228,24 kWh</b>
Tratamento térmico	Classe diamétrica	Tempo de aquecimento foram:	Consumo médio de energia
Água Quente	35   40 cm	29 horas e 35 minutos (80 °C)	<b>354,96 kWh</b>
	30   35 cm	26 horas e 11 minutos (80°C)	<b>314,16 kWh</b>
	25   30 cm	20 horas e 45 minutos (80 °C)	<b>249,00 kWh</b>

Assim, o acondicionamento por vapor é mais aconselhável devido a uma melhor qualidade de lâminas, em toras com maior diâmetro principalmente e uma redução no tempo gasto de energia no processo em relação ao usado atualmente.

### 5.5 Avaliação do módulo de elasticidade longitudinal através de ensaios não-destrutivos.

A finalidade deste ensaio é a determinação prévia da rigidez das lâminas, influenciando diretamente a qualidade do compensado para o estrutural. Quanto maior o módulo de elasticidade menor é a deformação sob determinada tensão (MEDINA,1986; PEREYRA, 1994).

A Tabela 15 apresenta os valores máximos e mínimos do módulo de elasticidade para todas as classes diamétricas em cada tratamento térmico nos ensaios de ultra-som nas lâminas de *Eucalyptus grandis*.

Tabela 15. Valores médios de massa específica, velocidade e MOE obtidos através de ensaios não destrutivos com o uso de ultra-som nas lâminas.

	TU médio das lâm. (%)	Tratamento térmico imersão em água quente, 99 lâminas ensaiadas.			Tratamento térmico vapor, 176 lâminas ensaiadas.		
		M.E das Lâminas (g/cm <sup>3</sup> )	Velocidade (m/s) <sup>(1)</sup>	Módulo Elasticidade (MPa) <sup>(2)</sup>	M.E (g/cm <sup>3</sup> )	Velocidade (m/s)	Módulo Elasticidade (MPa)
Mínimo	8,50	0,750	3833,87	13.086,0	0,610	3801,68	11.473,1
Máximo	11,00	1,006	5429,86	24.797,3	0,992	5268,94	22.163,9
<b>Médio</b>	<b>9,75</b>	<b>0,878</b>	<b>4681,86</b>	<b>18.941,6</b>	<b>0,801</b>	<b>4535,31</b>	<b>16.818,5</b>
D.Padrão	1,76	0,181	1128,53	8281,14	0,2701	1037,50	7559,53
C.V	18,05	20,61	24,10	43,71	33,72	22,87	44,94

Sendo:

M.E - massa específica básica;

(1) - velocidade obtida com o uso de transdutores planos de 45 kHz;

(2) - constante dinâmica na direção longitudinal.

Como pode ser observado na Tabela 15, o valor máximo do módulo de elasticidade foi de 24.793,3 MPa para o tratamento térmico com água quente sendo maior que no tratamento térmico com vapor de (22,163,9 MPa). Isso pode ter ocorrido devido a faixa laminável do tratamento térmico água quente que ficou somente no lenho adulto, o rolo-resto variou de 21,50 cm a 19,00cm, de acordo com Oliveira (1997), o lenho juvenil procede abaixo de um raio de 80 mm (diâmetro de 16,00cm). Para o tratamento térmico com vapor avaliou-se as lâminas retiradas do lenho adulto e juvenil, o rolo-resto ficou na faixa de 21,00 a 13,00 cm..

A média da massa específica de todas as toras no tratamento térmico imersão em água quente foi de 0,610 g/cm<sup>3</sup> e para o vapor apresentou uma média 0,597 g/cm<sup>3</sup>. A diferença interfere diretamente na velocidade longitudinal diminuindo com a diminuição da densidade aparente, de acordo BARTHOLOMEU (2001).

A magnitude dessas relações pode ser variável em função do teor de umidade, rachaduras, nós, desvios de grã e outros defeitos que podem estar presentes nas lâminas. Quanto maior for a presença desses fatores, maior será a perturbação da onda, que resultará um maior tempo para atingir o outro transdutor (chegada). Portanto, a onda percorrerá o material com menor velocidade <sup>1</sup>.

Para verificar se existe uma correlação entre a classificação visual adotada na norma (ABIMCI, 2003) com o módulo de elasticidade não destrutivo calculado, adotou-se o método de correlação de Pearson com um índice de significância de 5%.

Correlacionou a massa específica com as classes de qualidades das lâminas (Figura 24) e módulo de elasticidade com as classes de qualidade das lâminas (Figura 25), para o tratamento térmico com vapor.

---

<sup>1</sup> BORTOLETTO, G. Comunicação oral, 2006

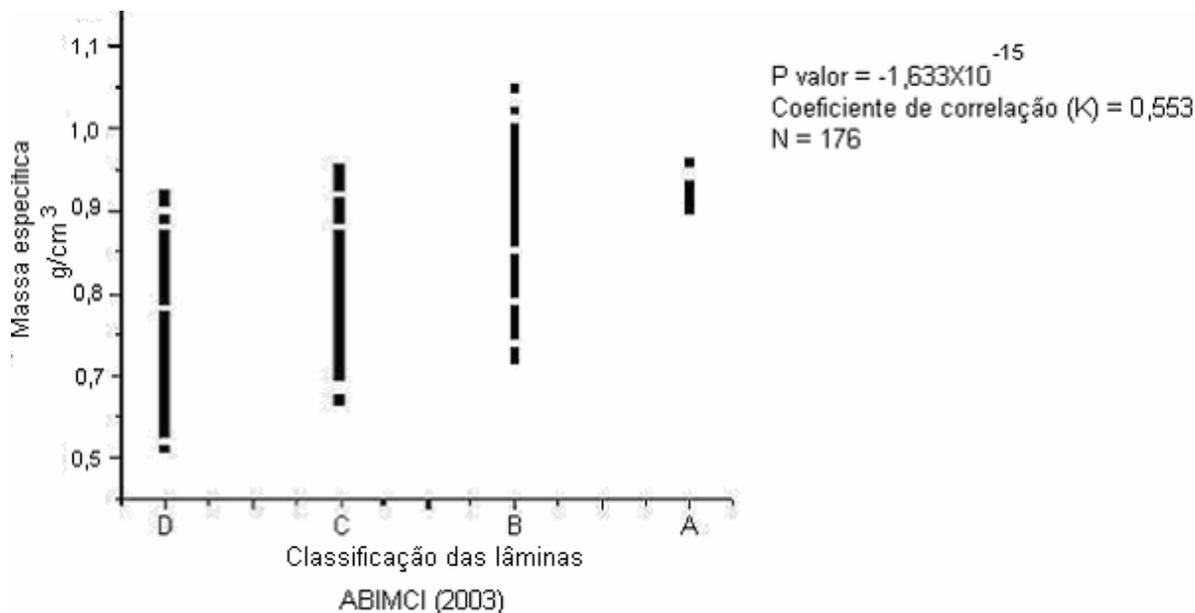


Figura 24. Correlação entre classificação das lâminas X massa específica (vapor)

Como o P valor  $0,05 > -1,633 \times 10^{-15}$  há uma correlação entre as variáveis, como o coeficiente de correlação de Pearson (K) é negativo existe uma relação inversamente proporcional entre as variáveis (correlação indireta). Se considerarmos o índice de significância de 0,55 (K) é baixo, por isso a classificação de lâminas não pode ser relacionada com a massa específica.

Correlacionamos também a classificação de lâminas ABIMCI (2003) com o módulo de elasticidade (MPa) de cada lâmina por tratamento térmico e obtivemos o seguinte gráfico como demonstrado na Figura 25.

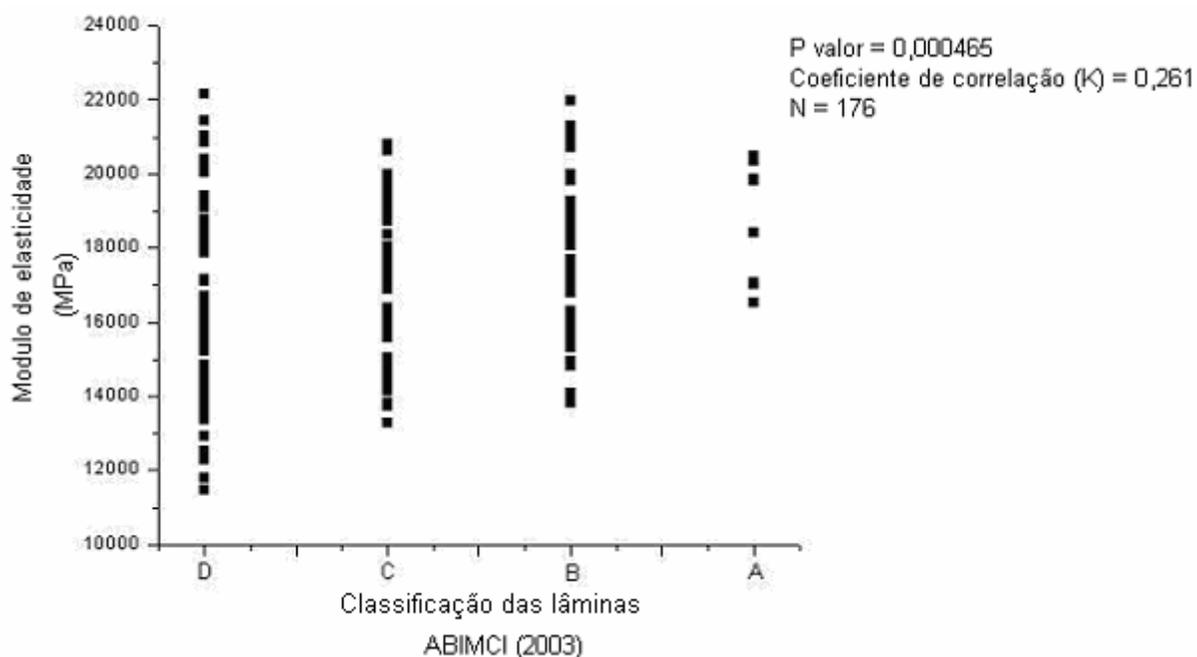


Figura 25. Correlação entre classificação de lâminas X módulo de elasticidade (vapor)

Para o P valor  $0,05 > 0,000465$  há correlação significativa entre as variáveis, como o coeficiente de correlação de Pearson (K) é positivo existe uma correlação direta entre as variáveis. Se considerarmos o índice de significância de 0,26 (K) é baixo, não representa praticamente nada, entre a classificação de lâminas e o módulo de elasticidade. Por isso o módulo de elasticidade não pode substituir a classificação visual, pois o módulo de elasticidade mede a resistência das lâminas visando um uso estrutural e a classificação das lâminas visa um uso decorativos e visual, que agrega valor ao painel.

Para o tratamento térmico com imersão em água quente, correlacionou também a massa específica com as classes de qualidades das lâminas (Figura 26), não houve correlação; entre o módulo de elasticidade X as classes de qualidades das lâminas (Figura 27), também não houve se que uma correlação coerente entre as variáveis.

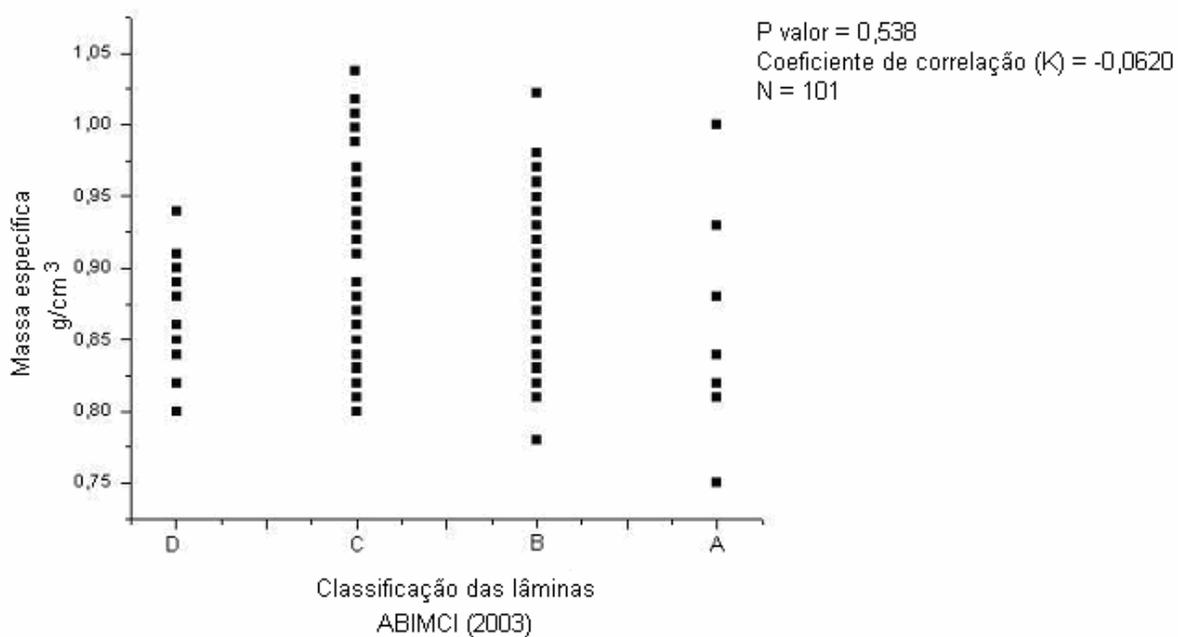


Figura 26. correlação entre classificação de lâminas X massa específica (água)

Como o P valor  $0,05 < 0,538$  a correlação inversa entre as variáveis e não é significativa.

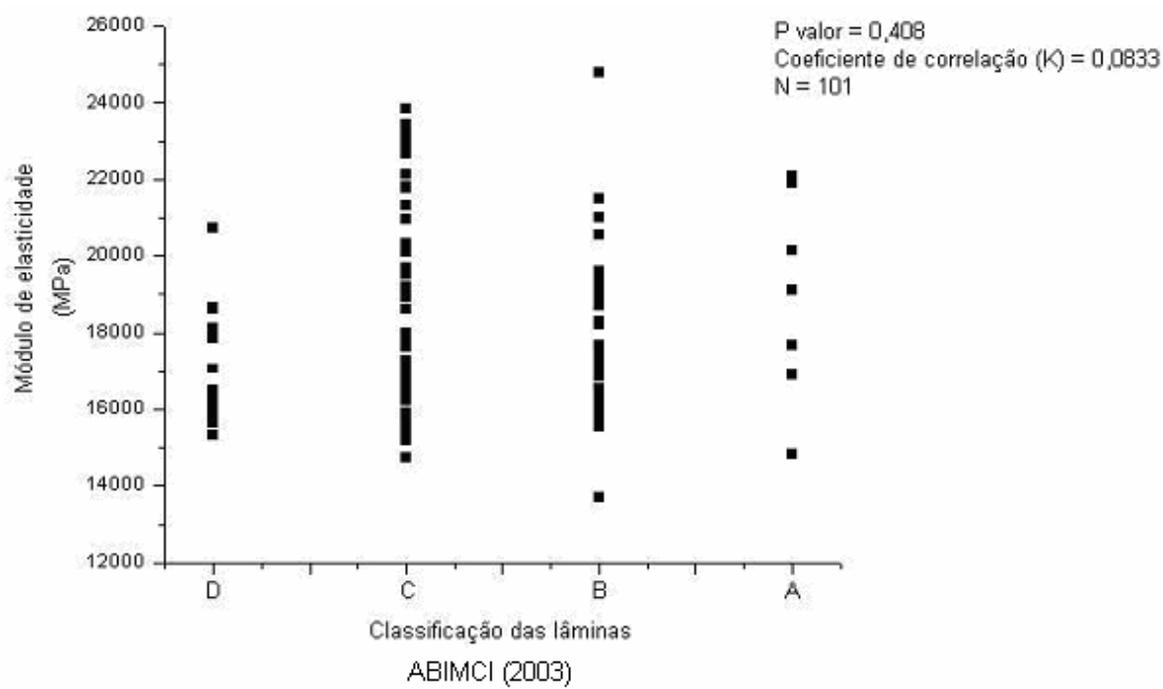


Figura 27. Correlação entre classificação de lâminas X módulo de elasticidade (água).

Como o P valor  $0,05 < 0,408$  verifica-se que a correlação entre as variáveis não é significativa, por apresentar um alto índice no desvio padrão entre as variáveis analisadas.

No tratamento térmico com imersão em água quente não houve correlação alguma direta entre a classificação e a massa específica. Essas correlações pode estar relacionados com a faixa laminável das toras que foi sobre o lenho adulto, já as toras provenientes do tratamento térmico com vapor, existiu uma possível correlação devido as lâminas serem provenientes do dois lenhos juvenil e adulto.

Para Mishiro (1996), citado por Bartholomeu (2001) em alguns casos, as velocidades aumentam ou diminuem com o aumento da massa específica básica de cada lâmina, com a interferências de nós e rachaduras, entre outros casos as velocidades eram independentes da densidade.

Bartholomeu (2001) relata que utilizando espécies de dicotilodôneas (densidade aparente de  $1,04 \text{ g/cm}^3$  e  $0,86 \text{ g/cm}^3$  na condição seca ao ar) e uma espécie de conífera (densidade aparente  $0,51 \text{ g/cm}^3$  na condição seca ao ar) os resultados mostraram pequeno aumento da velocidade com o aumento da densidade aparente.

Observou-se através do presente estudo que em algumas lâminas, o tempo do percurso da onda foi menor e assim, a velocidade da onda é maior para percorrer os 0,8m entre os transdutores e conseqüentemente uma lâmina que foi visualmente classificada como C pode apresentar um MOE maior que outra lâmina classificada como A. Portando a classificação visual não é suficiente para decidir ou definir uma classificação estrutural não-destrutiva para o tratamento térmico imersão em água quente.

### 5.6 Ajuste de um modelo matemático entre o tempo real do tratamento térmico vapor em função da temperatura e da distância radial das toras.

Para as classes de diâmetros de 25 + 30 cm, 30 + 35 cm, 35 + 40 cm com profundidade até o rolo-resto 50mm de raio de toras de *Eucalyptus grandis*, à 85 °C de temperatura, 100% de umidade relativa, foi ajustado um modelo logístico da seguinte forma na Equação (23):

$$\theta = \frac{a}{1 + e^{-bT + c}} \quad (23)$$

Sendo:

$T$  = Tempo estimado

$a$  = Constante da temperatura final desejada para o modelo logístico;

$b$  = Constante, calculada em função da análise de regressão para cada classe de diâmetro;

$c$  = Constante estimada da temperatura inicial para o modelo logístico.

$\theta$  = Temperatura desejada

De acordo com o modelo logístico dado pela Equação (23), foi obtido os valores dos parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$  através de procedimentos não lineares de ajuste, considerando cada classe de diâmetro em separado. Desse modo, fez-se à suposição de que os parâmetros poderiam ser todos diferentes e, através de modelos encaixados, foram testados os ajustes de modo a reduzir o número de parâmetros envolvidos. Assim, os modelos logísticos finais para o tratamento térmico com vapor estão representados na Tabela 16.

Tabela 16. Valores das constantes geradas em função da análise de regressão

Classe de diâmetro	Constante $a$	Constante $b$	Constante $c$
25 + 30cm	$a_1 = 82,2156$	$b_1 = 0,00433$	$c_1 = 1,4777$
30 + 35cm	$a_2 = 82,2156$	$b_2 = 0,00351$	$c_2 = 1,4777$
35 + 40cm	$a_3 = 82,2156$	$b_3 = 0,002535$	$c_3 = 1,4777$

Desse modo, o modelo final foi ajustado e considera-se que  $a_1 = a_2 = a_3$  e  $c_1 = c_2 = c_3$ . Podemos concluir que para os valores de  $c_1, c_2, c_3$  serem considerados iguais é porque as condições iniciais do experimento, tanto para a tora quanto para o meio eram iguais, ou seja, partindo do início que todos os termopares estavam na mesma temperatura que o meio condutor de calor. Na hipótese que  $a_1, a_2, a_3$  serem considerados iguais, é porque em ambas as profundidades dos termopares acoplados nas toras por classe diamétrica quando atingissem  $80^\circ\text{C}$  era interrompida a coleta dos dados (Tempo e Temperatura), portando considera-se que  $c_1, c_2, c_3$  tende a atingir a mesma temperatura estabelecida do experimento.

Na condição dos valores de  $b_1, b_2, b_3$  além de não serem considerados iguais estatisticamente, conclui-se que mesmo os termopares acoplados na mesma classe de diâmetro não atingem  $80^\circ\text{C}$  no mesmo tempo, isso é devido a quantidade de massa que o fluxo de calor leva para aumentar  $1^\circ\text{C}$ , ou seja, na mesma classe de diâmetro existem variações nas toras como por exemplo; classe de diâmetro de 25-30cm, foi utilizado tora de diâmetro de 26,5 cm e toras de 29,8 cm, essa diferença de massa influencia diretamente na condução de calor sobre a toras, conseqüentemente ocorre uma diferença de tempo para atingir a temperatura desejada. Essa diferença faz com que o  $b_1, b_2, b_3$ , não são considerados iguais. Essa conclusão é válida para todas as classes de diâmetros no tratamento térmico por vapor, isso pode ser melhor observado na Figura 28.

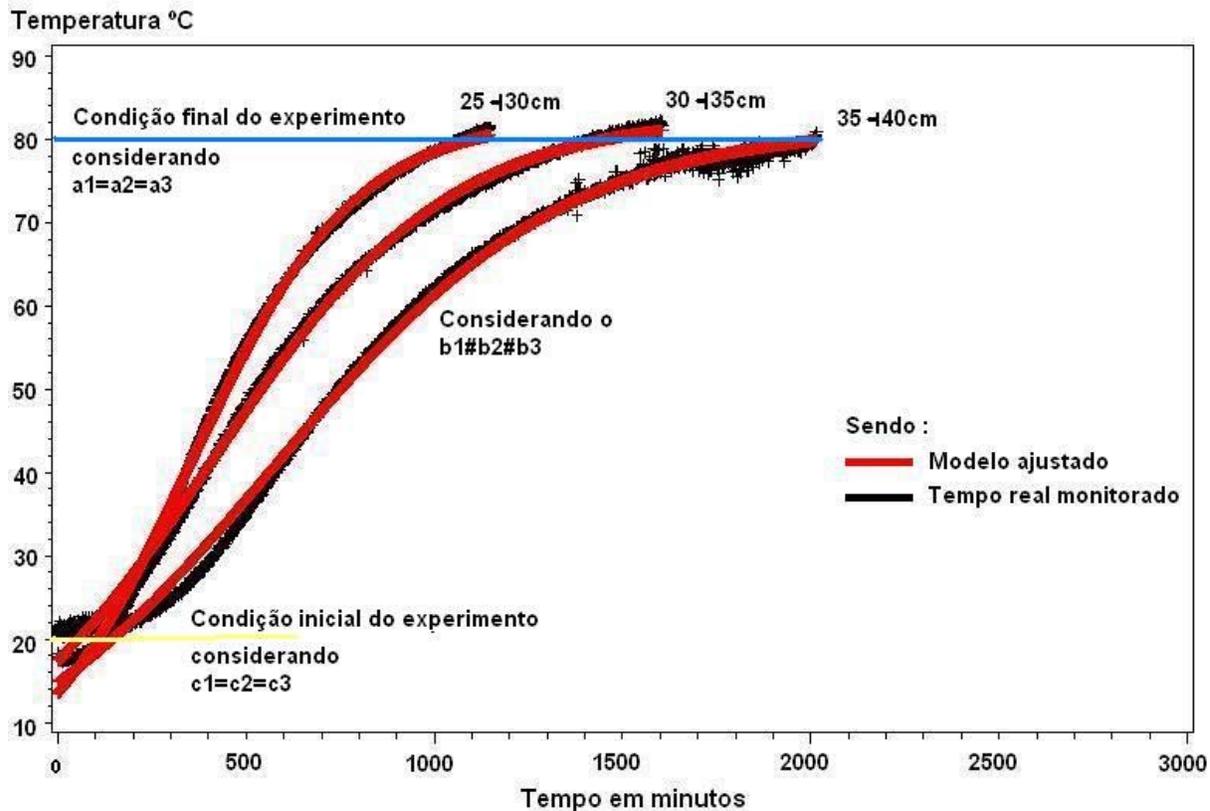


Figura 28. Modelo matemático ajustado entre o tempo real monitorado em função de temperatura e da profundidade do rolo-resto no tratamento térmico a vapor.

**Exemplo aplicável ao modelo matemático logístico ajustado para o tratamento térmico em vapor.**

Para uma aplicação real do modelo ajustado para as classes de diâmetros de 25 – 30, 30 – 35cm, 35 – 40cm com profundidade até o rolo-resto 50mm de raio de *Eucalyptus grandis*, à 85 °C de temperatura, 100% de umidade relativa, foi aplicado o inverso da função para o modelo logístico ajustado da seguinte forma em relação a Equação (23). Que apresenta o tempo em função da temperatura desejada.

$$T = \left[ \frac{\ln \left( \frac{a}{\theta} - 1 \right) - c}{b} \right]$$

Sendo:

$T$  = Tempo estimado

$a$  = Constante da temperatura final desejada para o modelo logístico;

$b$  = Constante, calculada em função da análise de regressão para cada classe de diâmetro;

$c$  = Constante estimada da temperatura inicial para o modelo logístico.

$\ln$  = Logarítmo neperiano

$\theta$  = Temperatura desejada

Supondo que para a profundidade de 137,5mm até o rolo-resto de uma tora de diâmetro de 37,5cm atinja 70 °C de temperatura no processo de vaporização à 85 °C, quanto tempo será necessário para que essa situação ocorra. Então, através da aplicação da função inversa dada pela Equação (23), temos:

$$T_{35 - 40} = \left[ \frac{\ln \left( \frac{82,2156}{70} - 1 \right) - 1,4777}{0,002535} \right]$$

$$T_{35 - 40} = 1272 \quad \text{minutos ou 21 horas e 12 minutos.}$$

Como demonstra o gráfico da Figura 30 e o resultado do exemplo adotado para mostrar a utilização da Equação (23), o tempo de vaporização real monitorado foi de 1223 minutos ou 20 horas e 23 minutos, o mesmo valor para o modelo ajustado, no caso 1272 minutos ou 21 horas e 12 minutos, mostrando que o modelo logístico é aplicável para a espécie e para a classe diâmetro adotada com uma diferença de 49 minutos entre o tempo monitorado e o ajustado. Na Figura 30, observa-se a aplicação do modelo proposto para o tempo de vaporização real em função do tempo de vaporização proposto pelo modelo logístico é válido.

Considerando o modelo matemático logístico ajustado para o tratamento térmico com vapor, o erro avaliado entre o tempo real e o tempo calculado para que o rolo-resto atingisse 80°C foi de 3,85%. Verifica-se que esse erro é insignificante pois o tempo real do tratamento térmico foi 20 horas e 23 minutos, que é praticamente igual as 21 horas e 12 minutos do tempo calculado. O modelo matemático logístico gerado é viável na aplicação do processo de aquecimento de toras, também promove o consumo ideal de energia.

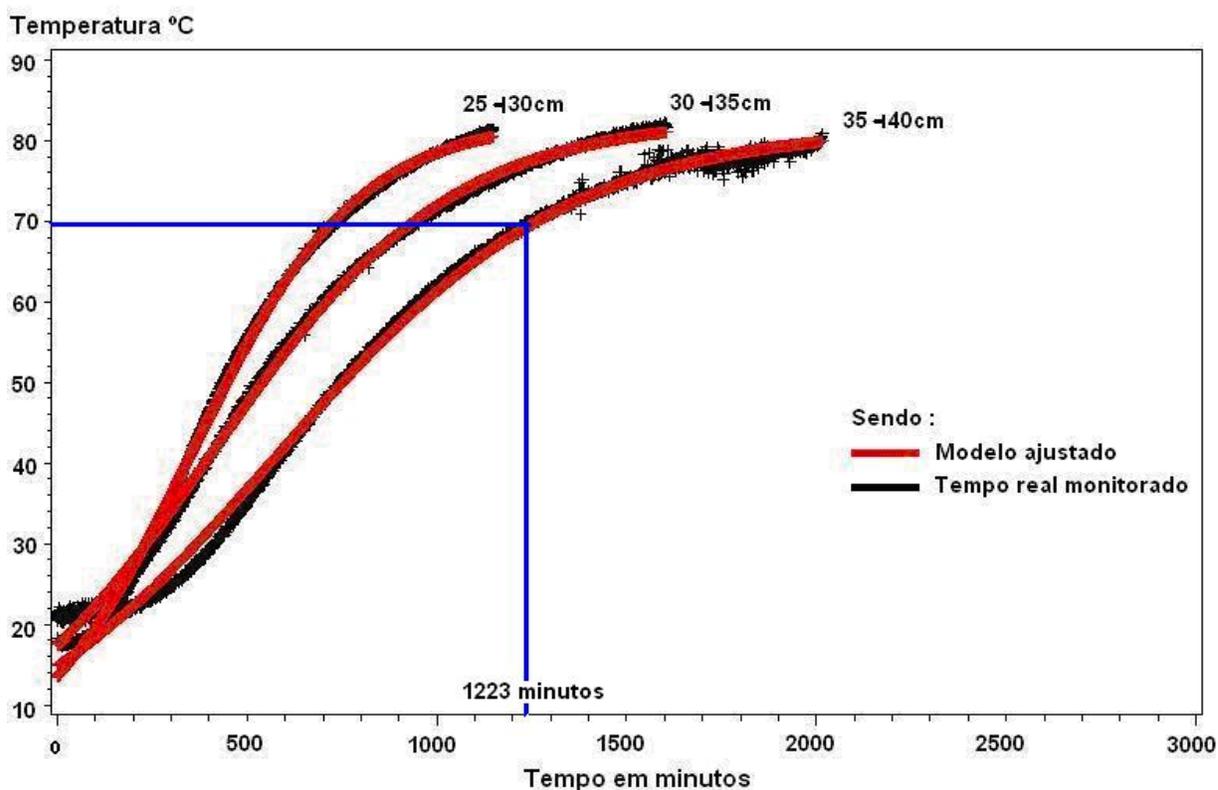


Figura 29. Exemplo aplicável de tempo gasto para o atingir 70°C rolo-resto de 137,5 mm para o tratamento térmico com vapor.

### 5.7 Ajuste de um modelo matemático entre o tempo real do tratamento térmico em água quente em função da temperatura e distância radial das toras.

Para as classes de diâmetros de 25 -30, 30 -35cm, 35 -40cm com profundidade até o rolo-resto 50mm de raio de *Eucalyptus grandis*, à 85 °C de temperatura,

100% de umidade relativa, foi ajustado um modelo logístico da forma como apresentado na Equação (24):

$$\theta = \frac{a}{1 + e^{-bT + c}} \quad (24)$$

Sendo:

$T$  = Tempo estimado

$a$  = Constante da temperatura final desejada para o modelo logístico;

$b$  = Constante, calculada em função da análise de regressão para cada classe de diâmetro;

$c$  = Constante estimada da temperatura inicial para o modelo logístico.

$\theta$  = Temperatura desejada

Utilizando os mesmo métodos que no caso anterior, temos que o modelo logístico final para o tratamento térmico com água quente como apresentado na Tabela 17.

Tabela 17. Valores das constantes geradas em função da análise de regressão

Classe de diâmetro	Constante $a$	Constante $b$	Constante $c$
25 - 30cm	$a_1 = 92,6529$	$b_1 = 0,0022$	$c_1 = 1,6051$
30 - 35cm	$a_2 = 92,6529$	$b_2 = 0,00232$	$c_2 = 1,6051$
35 - 40cm	$a_3 = 92,6529$	$b_3 = 0,00284$	$c_3 = 1,6051$

O modelo final considera-se que  $a_1 = a_2 = a_3$  e  $c_1 = c_2 = c_3$ . Podemos concluir que para os valores de  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  foram considerados iguais devido as condições iniciais do experimento, que tanto para a tora quanto para o meio eram iguais, ou seja, partindo do início que todos os termopares estavam na mesma temperatura que o meio condutor de calor. Na hipótese que  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  serem considerados iguais, é porque em ambas as profundidades dos termopares acoplados nas toras por classe diamétrica quando atingissem

80°C era interrompida a coleta de dados (Tempo e Temperatura), portando considera-se que  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  tende a atingir a mesma temperatura estabelecida do experimento.

Na condição dos valores de  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  além de não serem considerados iguais estatisticamente, conclui-se que mesmo os termopares acoplados na mesma profundidade não atingem 80 °C no mesmo tempo é devido a quantidade de massa que o fluxo de calor leva para aumentar 1°C, ou seja, na mesma classe de diâmetro existem variações nas toras como por exemplo; classe de diâmetro de 35 - 40cm, foram utilizadas toras de diâmetros de 35,5 cm e toras de até 39,5 cm, essa diferença de massa influencia diretamente na condução de calor sobre a toras, conseqüentemente ocorre uma diferença de tempo para atingir a temperatura desejada. Essa diferença faz com que o  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ , não são considerados iguais. Essa conclusão é válida para todas as classes de diâmetros no tratamento térmico imersão em água quente, isso pode ser melhor observado na Figura 30.

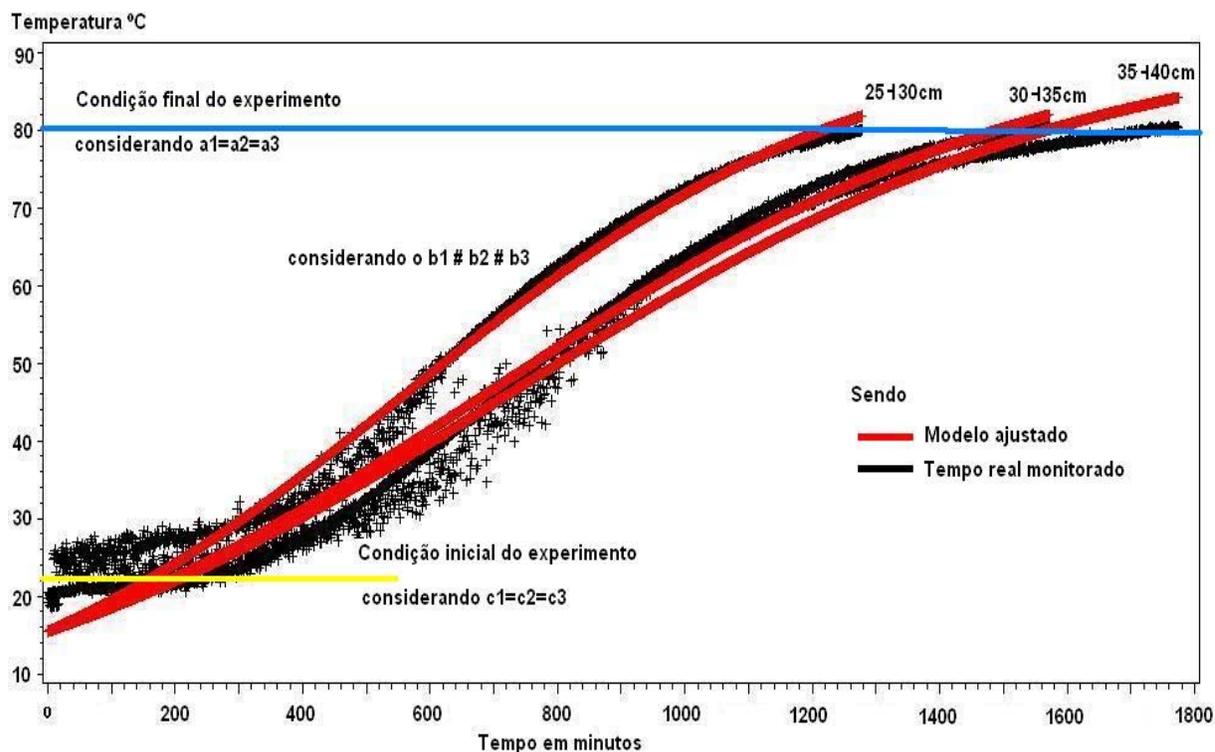


Figura 30. Modelo matemático ajustado entre o tempo real monitorado em função de temperatura e da profundidade do rolo-resto no tratamento térmico com vapor.

**Exemplo aplicável ao modelo matemático logístico ajustado para o tratamento térmico imersão em água quente.**

Para uma aplicação real do modelo ajustado para as classes de diâmetros de 25 – 30, 30 – 35cm, 35 – 40cm com profundidade até o rolo-resto 50mm de raio de *Eucalyptus grandis*, à 85 °C de temperatura, 100% de umidade relativa, foi aplicado o inverso da função para o modelo logístico ajustado da seguinte forma em relação a Equação (24): A função inversa é o tempo em função da temperatura desejada.

$$T = \left[ \frac{\ln \left( \frac{a}{\theta} - 1 \right) - c}{b} \right]$$

Sendo:

$T$  = Tempo estimado

$a$  = Constante da temperatura final desejada para o modelo logístico;

$b$  = Constante, calculada em função da análise de regressão para cada classe de diâmetro;

$c$  = Constante estimada da temperatura inicial para o modelo logístico.

$\ln$  = Logarítmo neperiano

$\theta$  = Temperatura desejada

Para um exemplo prático e real consideramos uma profundidade de 117,5 mm até o rolo-resto de uma tora diâmetro de 33,5 cm para que atinja 70 °C de temperatura no processo de vaporização à 85 °C, em quanto tempo será necessário para que essa situação ocorra. Então, através da aplicação inversa da Equação (24), temos:

$$T_{30 - 35} = \left[ \frac{\ln \left( \frac{92,6529}{70} - 1 \right) - 1,6051}{0,00232} \right]$$

$$T_{30 - 35} = 1178 \quad \text{minutos ou 19 horas e 38 minutos.}$$

Como demonstra o gráfico da Figura 30 e o resultado do exemplo adotado para mostrar a utilização da Equação (24), o tempo de vaporização real monitorado foi de 1145 minutos ou 19 horas e 05 minutos, o valor para o modelo ajustado, no caso 1178 minutos ou 19 horas e 38 minutos, mostrando que o modelo logístico é aplicável para a espécie e para a classe diâmetro adotada com uma diferença de 33 minutos entre o tempo real monitorado e o ajustado. Na Figura 31, observa-se a aplicação do modelo proposto para o tempo de vaporização real em função do tempo de vaporização proposto pelo modelo logístico é válido.

Considerando o modelo matemático logístico ajustado para o tratamento térmico com vapor, o erro avaliado entre o tempo real e o tempo calculado para que o rolo-resto atingisse 80°C foi de 2,80%. Verifica-se que esse erro é insignificante pois o tempo real do tratamento térmico foi 19 horas e 05 minutos, que é praticamente igual as 19 horas e 38 minutos do tempo calculado. O modelo matemático logístico gerado é viável na aplicação do processo de aquecimento de toras, também promove o consumo ideal de energia.

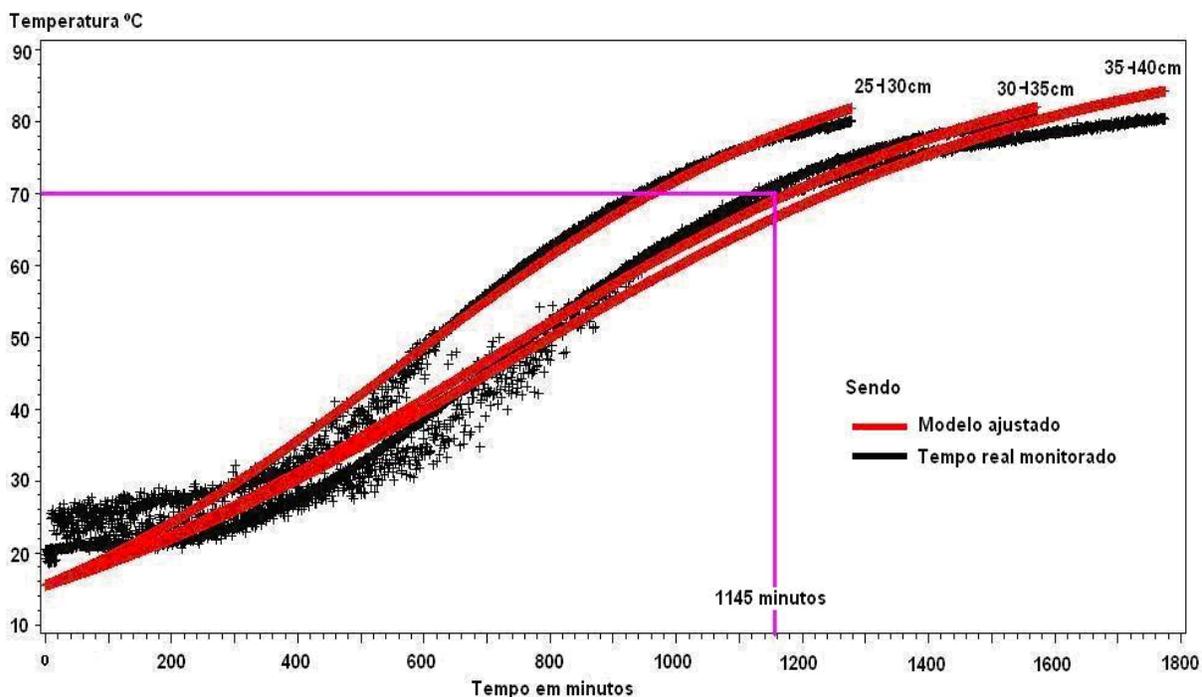


Figura 31. Exemplo aplicável de tempo gasto para o atingir 70°C rolo-resto de 117,5mm para o tratamento térmico imersão em água quente.

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados e discussões pode se concluir:

a) O modelo matemático logístico inverso obtido para estimar o tempo de aquecimento das toras, para temperatura do meio de 85°C, diâmetro de 25 + 40 cm com uma profundidade de 50mm de raio até que o rolo-resto atinga 80°C, tanto para o tratamento térmico com água

quente quanto e no vapor é o seguinte:..

$$T = \left[ \frac{\ln \left( \frac{a}{\theta} - 1 \right) - c}{b} \right].$$

b) Com relação ao rendimento de laminação pode-se concluir:

- Tanto no tratamento térmico em água quente quanto em vapor o maior rendimento de laminação foi obtido na classes de diâmetro de 35 + 40 cm.
- O tratamento térmico com vapor apresentou um rendimento de 34,56%, , enquanto que no rendimento em água quente este rendimento foi de 22%.

c) Com relação a qualidade das lâminas em água quente pode-se concluir:

- Nas classes de diâmetros de 30 + 35 cm, 35 + 40 cm apresentaram o maior número de lâminas nos níveis B e C. Já a classe de diâmetro de 25 + 30 cm o maior número de lâminas encontram-se no níveis C e D.
- Entre as classes diamétricas 25 + 30 cm, 30 + 35 cm e 35 + 40 cm, a classe diamétrica de 35 + 40 cm, foi a que apresentou lâminas de melhor qualidade A e B.

d) Com relação á qualidade das lâminas em vapor pode-se concluir:

- Nas classes de diâmetros de 30 + 35 cm, 25 + 30 cm apresentaram o maior número de lâminas nos níveis C e D. Já a classe de diâmetro de 35 + 40 cm o maior número de lâminas encontram-se no níveis B e C.
- Entre as classes diamétricas 25 + 30 cm, 30 + 35 cm e 35 + 40 cm, a classe diamétrica de 35 + 40 cm, foi a que apresentou lâminas de melhor qualidade B e C.

Portanto pode ser observado que quanto maior o diâmetro da tora melhor é a qualidade das lâminas. A classificação das lâminas, por classes de qualidade, obtidas a partir da madeira de *Eucalyptus grandis* em ambos os tratamentos térmicos, mostraram-se que geraram lâminas viáveis para manufatura de compensados. O acondicionamento por vapor é mais aconselhável, devido a uma melhor qualidade de lâminas, o que possibilita a fabricação do painel com um maior valor agregado, em toras com maior diâmetro e principalmente e uma redução no tempo gasto de energia no processo usado atualmente.

### **Sugestões e recomendações**

Finalmente como sugestões pode se dizer que seria do interesse desenvolver os seguintes estudos adicionais:

- Estudar a influencia da temperatura de aquecimento para valores inferiores a 85°C, já visto que essa temperatura mostrou-se como limite superior máximo para *Eucalyptus grandis*, provocando profundas e largas rachaduras de topo.

## 7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMCI. **Madeira processada mecanicamente: estudo setorial, 2001.** Curitiba, 2001. 27p.
- ABIMCI. **Recentes desenvolvimentos na indústria brasileira de compensados.** Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/port/06Docs/06QuadroDocs.html>>. Acesso em 23/01/2006.
- ABIMCI, **Painéis de madeira compensada, 2003.** Curitiba, 2003, 49p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . **Chapas de madeira compensada: classificação.** Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9531).
- AGUIAR, O. J. R. **Métodos para controle das rachaduras de topo para toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden visando a produção de lâminas para desenrolamento.** Piracicaba, 1986. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade de São Paulo.
- ALBUQUERQUE, C. E. C. Da madeira dos sarcófagos à moderna indústria . **Revista da Madeira**, n.45, p.26-28, 1999.
- ALMEIDA, R.A. **Potencial da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para produção de laminas e manufatura de painéis compensado.** Piracicaba, 2002. 80f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais/Tecnologia de Produtos Florestais – Escola Superior Luiz de Queiroz (ESALQ) Universidade de São Paulo.
- AMARAL, A. C. B. **Defeitos na madeira de eucalipto: suas causas e possibilidades de redução** (revisão bibliográfica). Piracicaba: ESALQ/LCF, 25p.1991
- MELLO, R. **Madeira compensada.** ANUÁRIO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL. Rio de Janeiro-RJ, ano.1, n.1, pg. 228- 235, 1950
- ARACRUZ CELULOSE. **Eucalipto - uma árvore amiga da natureza.** Aracruz, 2000, 34p.
- ARCHER, L. B. A fabricação de bons compensados. **Anuário Brasileiro de Economia florestal**, v.1, n.1, p.113-121, 1948.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **Normas de controle de qualidade e classificação de compensados.** São Paulo, 1986. 79p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **Revisão Normas de Compensado.** São Paulo, 2003. dividido em quatro partes..
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA COMPENSADA (ABIMCI). **Norma de controle de qualidade e classificação de compensados, 2003.**

ALZATER, A. B. S.; TOMAZELLO F. M.; PIEDADE, S. M. S. **Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* ex Maiden, *E.saligna* SM. E *E. grandis* x *urophylla*.** Revista Scientia Forestalis, n.68, p.87-95, 2005.

BARNACLE, J. E., GOTTSTEIN, J. W. **Control of end-splitting in tound timber: A promising new method.** Technical Notes. F. P. CSIRO, Melbourne, n.4, p.8, 1968.

BARTHOLOMEU, A. **Classificação de peças estruturais de madeira através do ultrassom.** Campinas-SP. Tese Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas/ área de concentração Engenharia Agrícola, 2001.

BORTOLETTO, J. G.; et al. Shinkage in veneer sheets of Eucalyptus wood (compact disc). In: REUNIÓN SOBRE INVESTIGACIÓN Y DESARROLO DE RPRODUCTOS FORESTALE, 1.; CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLO DE PROCTOS FORESTALES, 9 Concepción, 2000.

BORTOLETTO, J. G. **Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, Avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização.** Revista Scientia Forestalis n.63. p.65-78, jun. 2003.

BOYD, J.D. **Tree growth Stresses V. evidence of an origin in differentiation and lignification.** Wood Science and technol, v.6, p.251-62, 1972.

CALONEGO, W. F. **Estimativa do tempo de vaporização das toras e sua implicação no desdobro e na secagem da madeira de *Eucalyptus grandis*. Botucatu –SP.** Dissertação, Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp, Universidade Estadual Paulista/ área de concentração Energia na Agricultura , 2004.

CALONEGO, W. F.; SEVERO, D. T. E.; ASSI, P. P. Mensuração do comprimento das fibras para determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*, **Revista Scientia Forestalis**, n.68, P.113-121, 2005.

CALONEGO, W. F.; SEVERO, D. T. E. Efeito da vaporização de toras na redução dos defeitos associada tensão de crescimento de *Eucalyptus grandis*, **Revista Ciência Florestal**, n.4, v.15, p.431-440, 2005.

CALONEGO, W. F.; SEVERO, D. T. E. Estimativa do tempo de vaporização de toras de *Eucalyptus grandis*, **Revista árvore**, n.3, v.30, p.457-462, 2006.

CALADO, F. **Evolução da madeira compensada no Brasil.** Revista Silvicultura, n.58, p.44-46, 1994.

CAMTEC. Catálogo eletrônico. Disponível em:<<http://www.exacta.ind.br>> Acesso em 29/11/2005.

CHAFE, S. C. Growth stresses in trees. **Australian For. Rev.**, v.9, p.203-333,1979.

CTBA, **Tecnologia de laminação de madeiras**, editora Paris, 82p.,1979.

DELESPINASSE, B.F.M. **Simulação da análise de investimentos na indústria de compensados no Brasil**. Curitiba, 1995. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

De VILLIERS, A. M. **Utilization problems with some eucalipts in South Africa**. In: IUFRO-5 MEETING. *Proceedings*. Republic of South Africa, 1973, v.2, p.238-55, 1973.

DINWOODIE, J. M. Growth stresses in timber – a review of European investigations, In:INTERNATIONAL UNION OF FORESTRY RESEARCH ORGANIZATIONS – IUFRO MEETING SECCION 41., Melbourn, 1965. **Proceedings**. Melbourne: IUFRO; CSTRO, 1965. V.3, 10P.

DUNPLO, J. I. Testing of poles by using acoustic pulse method. **Wood science and Tecnology**. V. 15, n. 4, p.301-310, 1981.

EMBRAPA. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná**. Ministério da Agricultura – Programa Nacioal de Pesquisa de Florestas – PNPf (EMBRAPA/IBDF). Curitiba, 1986, 89p.

FEIHL, O., GODIN, V. **Peeling defects in veneer, their cause and control**. Departmente of Fisheries and Forestry. Canadian forestry service. Publication n. 1280, p. 18, 1970.

FEIHL, O. **heating frozen and nonfrozen veneer logs**. Forest Products Journal, Madison, n. 22, p.41-51, 1972.

FRADEN, J. **Handbook of modern sensors: physiscs, degns, and applications**. New york: American Institute of Physics, 2 ed.,1996, 556p.

GAIOTTO, M. R. **Avaliação de *Eucalyptys saligna* e *Eucalyptus urophylla* para a produção de lâminas** . Piracicaba, 1993. 119p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz “, Universidade de São Paulo.

GIORDANO, G., GHISI, G. **Contribution to the study o growth stresses in *Eucalyptus*** . Proceeding. IUFRO-41 Meeting, Melbourne, Austrália, 6p., 1965.

GIORDANO, F. G., CURRO, P. **Observations concerning unusual methods for reducing damage from Growth Stresses in eucalyptus saws timber**. In: IUFRO-5 MEETING (1973 Cope Town, RSA). Proceedins. Republic of South África, 1972. v.2. p.322-5.

GONÇALVES, S.L.F. **Análise da indústria do segmento laminados e compensados do estado do Amazonas**, 1996. Curitiba,1998. 100p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

HARO, C. A indústria do compensado: Produtividade e qualidade. **Brasil Madeira**. Curitiba. Julho, 1979. P42-43.

HAYASHIDA, K. **Compensado de *Pinus elliottii* e suas propriedades físicas e mecânicas.** São Paulo, IPT, 1972, 6f (relatório n. 6248).

INTERAMNENSE, M. T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus punctata*. para produção de painéis compensados.** Curitiba, 1998. 82p. Dissertação – Universidade Federal do Paraná UFPR.

IWAKIRI, S. & PEREIRA, J.S. & NISGOSKI, S. **Avaliação da qualidade de colagem em compensados de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus robusta*.** Revista floresta e Ambiente, v.6, n.1. p.45-50, jan./dez., 1999.

JACOBS, M.R. **The growth of woody stems.** Bulletin. Commonwealth Forest Bureau, n.28, p.1-67, 1945.

JANKOWSKY, I. P. **A produção de laminas de madeira por desenrolamento.** Revista Madeira, São Paulo, n.321, p. 7-12, 1978.

JANKOWSKY, I. P. e AGUIAR, O. J. R. **Manufatura de painéis compensados com *Eucalyptus*: Caracterização de diversas espécies.** Revista Floresta, Curitiba-PR, n.14, 46-53, 1983.

KEINERT JUNIOR, S. **A viabilidade de utilização de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus viminalis* para produção de chapas de composição.** Curitiba 1985. 76f. Tese(Professor Titular) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology.** New York: Springer-Verlag. 1975.

KUBLER, H. **Role of moisture in hygrothermal recovery of wood.** Wood Science, v.5, n.3, p198-204, 1973.

KUBLER, H., CHEN, T. H. **Preservation of crosscut and heating checks in log ends.** Wood Sci. *Technol.* New York, v.9, n.1, p.15-24, 1975.

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, Farnham Royal, v.10, n.3 p.61-119, 1987.

LELLES, G. J. & SILVA, C. J. **Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeira de *Eucalyptus spp.* nas fases de desdobro e secagem.** Informativo Agropec, Belo Horizonte, v.18, n.186 p.62-69, 1997.

LIMA, I.L. **Variação de propriedades indicativas da tensão de crescimento em função da posição na árvores e da intensidade de desbaste.** Piracicaba, 2000. 90p. Tese (Mestrado)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.

LISBÔA, C.D.J.; MATOS, J.L.M; MELO, J.E. **Amostragem e propriedades físico-mecânicas de madeiras Amazônicas**. Brasília, D.F. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 103p, 1993.

LUTZ, J. F. **Effect of moisture content and split of cut on quality of rotary – cut – veneer**. USDA : Forest Service FPL research.note, Madison, n.176, p.1- 63, 1974.

LUTZ, J. F. **Techniques for peeling, slicing and drying veneer**. USDA : Forest Service FPL research. Paper, Madison, n.228, p.1- 63, 1974.

LUTZ, J. F. **Research at forest products laboratory that heating southern pine bolts improves veneer quality**. Plywood e Panel. 21-28, 1967

LUTZ, J. F. **Wood Veneer: log selection, cutting and dryng**. USDA. Technical bulletin, (1577). 1978.

MADEIRA & MOBILIÁRIO : Boletim Técnico, v.3, n.4, Set/Out, 1976.

MANUAL DO TÉCNICO FLORESTAL. **Apostilas do Colégio Florestal de Irati** : Campo Largo, 1986. Vol 4, ilustr.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Tese – Doutorado : Universidade Federal do Paraná / Setor de ciências Agrárias, Curitiba, 1997 82 f..

MEDINA, J. C. **Efeito da temperatura de aquecimento na obtenção de lâminas por desenrolo e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii***. Curitiba. Dissertação, Universidade Federal do Paraná UFPR, Ciências Florestais, 113p,1996.

NICHOLSON, J. E. Growth stresses differences in *Eucalyptus*. **Forest Science**, V.9, n.3, p.169; 1973

OLIVEIRA, E. T. **Análise setorial das exportações de lâminas, compensados, chapas de fibras e madeira aglomerada**, In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, Curitiba, 1988. **Anais**. Curitiba: Embrapa, 1988. p. 213-234.

OLIVEIRA, J. T. S. **Problemas e Oportunidades com a Utilização da Madeira de Eucalipto**. **WORKSHOP: Técnicas de Abate, Processamento e Utilização da Madeira de Eucalipto**. Viçosa-MG, 22 a 24 de junho de 1999. p. 39-52.

OLIVEIRA, F. G. R. **Estudo de propriedade mecânica de dicotiledônea por meio de ensaio não-destrutivo utilizando equipamento de ultra-som**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

OLIVEIRA, F. G. R.; CAMPOS, J. A. O.; SALES, A. **Ultrasonic measurements in brazilian hardwood**. **Materiais Research, S>I**. v.5, n.1, p.51-55, 2002.

OLIVEIRA, F. G. R. de et. al. **Influencia da secção transversal na velocidade ultra-sônica na madeira de *eucalyptus citriodora***. Revista Cerne, Lavras- MG, v.11, n.2, p.197-203, 2005

PALKA, L. C. **Venner cutting review**. Can. For. Serv. Inf. Rep. 135pg, 1974.

PEREYRA, O. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis compensados**. Dissertação – Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP. Piracicaba, 1994. 86p.

PIO, N. S. Avaliação da madeira de *Eucalyptus scabra* (Dum-Cours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) na produção de painéis compensados. Curitiba, 1996. 101 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal do Paraná.

REVISTA REFERÊNCIA. **Mercado externo está aquecido**. Curitiba, n.17, p.35-36, 2002.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. Tese – Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000. 185p.

ROZAS MELLADO, E. C. E. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado**. Dissertação-Mestrado. Curso de Pósgraduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1993. 133p.

SALES, C. Growth stresses : main results obtained on the study of sawe guyana species and consequences for use ends. In: IUFRO WORLD CONGRESS, v.18, 1986, Ljvbljama Proceedings. Blacksburg, UA: IUFRO, 1986, US, pg.234-48.

SAMLAIC, P. Pré-tratamento de toras destinadas para a produção de lâminasde madeira. **Revista de Madeira**, n.342, Junho de 1980.

SANTINI, E. J. Alternativa para o monitoramento e controle do processo de secagemde madeira serrada em estufa. Curitiba, 1996. 198f. Tese (Doutorado Engenharia Florestal/ Setor de Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná.

SCANAVACA, J.L. **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do *Eucalyptus urophylla* e de seu potencial para utilização em serraria**. Piracicaba, 2001. 108p. Tese (Mestrado)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.

SEVERO, E. T. D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid**. Tese- Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná, 1998, 200 p.

SEVERO, D. T. E. & TOMASELLI, I. Efeito da vaporização no alívio das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus dunnii* de duas procedências. **Revista Scientia Agrária** v.1, n.1-2, p.29-32, 2000. Editora da UFPR.

SILVA, C. J. **Influencia da idade e da posição radial na massa específica da madeira *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden.** Revista Floresta, Curitiba, n.34, p.13-22, 2004.

STEINHAGEN, H. P; MEYERS, G. E.; KUBLER, H. Heating times charts for frozen and nonfrozen veneer logs. **Forest Products journal**, v.30, n.4, p.27-37, 1980.

SUCHSLAND, O. e JANKOWSKY, I. P. **A produção de lâminas por desenrolo.** IPF. Circular técnica n.33. 9p. Piracicaba, São Paulo, 1978.

TEJADA, A.; OKUYAMA, T.; YAMAMOTO, H.; YOSHIDA, M. Reduction of growth stress in logs by direct heat treatment: assessment of a commercial-scale operation. **Forest Products Journal**, v.47, n.9, p.86-93, 1997.

TOMASELLI, I. **Produção de compensados e laminados na bacia amazônica. Uma oportunidade de investimento,** IBDF, pg. 225-244. Brasília, 1989.

TOMASELLI, I.; SCHEFFER, L. F. A reação do compensado. **Revista da Madeira** , n.45, p.10-14, 1999.

TOUZA, M. Proyecto de investigación sobre sistemas de aserrado adecuados para procesar *Eucalyptus globulus* com tensiones de crecimiento. **Revista CIS-MADERA**, n.6, p. 8-37, 2001.

UMAÑA, C.L.A & BRITO, E.O. **Avaliação de tempos de cozimento de toras de três espécies florestais utilizadas na fabricação de laminas de madeira.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADO E MADEIRA TROPICAL, 5, 2003, 26.f Pará : CDP,2003.

WILKINS, A. P. **Nature and origin of growth stresses in trees.** Aust. Forest. v.49, n.1, p.56-68, 1986.

WALLIS, N. K. **Australian timber handbook.** Sideny, halstead Press, 1970. 340p.

WALKER, J.C.F. **Primary wood processing: principles and practice.** London : Chapman e Hall, 1993. p.377-416, 1993.

WAUGH, G. **Sawing of Young, Fast-Grow Eucalypts.** 1o Seminário Internacional sobre produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia e 1o Encontro sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e utilização da Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte, 7 a 11 de dezembro de 1998. p. 69-81.

ZAVALA, J. A. Conseqüências de um bom laminado de madeira para indústrias de compensado. **Madeira & Mobiliário** : Boletim Técnico. v.5, n.4, p.27, Jul/Ago, 1978.

## **APÊNDICE I**

### **Classificação das lâminas por categoria, utilizada no presente estudo**

**Natural – N** Lâmina lisa, livre de nós, buracos de nós, rachaduras, aberturas ou qualquer outro defeito aberto, sem manchas, proveniente 100% de cerne ou 100% de alburno. Massa sintética é admitida em rachaduras não mais largas do que 1 mm e não excedendo 50 mm de comprimento. Reparos podem ser aceitos desde que não excedam seis na superfície total do painel, e que sejam feitos com madeira que tenham cor e grã combinando com a lamina, emenda perfeita, e não excedendo 25 mm em largura e 100 mm em comprimento.

**Primeira – A** Lâmina lisa firme, uniforme em cor e grã, livre de nós ou outros defeitos abertos. Admite-se a utilização de massa sintética em pequenas rachaduras com no máximo 5 mm de largura e 100 mm de comprimento, ou em aberturas de no máximo 15 mm de largura e 50 mm de comprimento ou área equivalente. Admite-se massa sintética em rachaduras com no máximo 1 mm de largura e 100 mm de comprimento, ou em pequenas aberturas menores que 2 mm de largura e 50 mm de comprimento ou área equivalente. Reparos de madeiras para todos os tipos de painéis não devem exceder 60 mm de largura e 100 mm de comprimento. Perfeitamente juntados e combinados em cor e grã.

**Segunda – B** Lâmina sólida, firme, admitindo-se leves descolorações, livre de defeitos, aberturas ou grã rompida, ermitindos e leves rugosidades ou aspereza desde que não exceda 5% da área do painel. Admitem-se nós de até 25 mm de diâmetro desde que estes estejam fechados e firmes. Furos verticais são admitidos desde que menores de 2 mm em diâmetro e menos de 15 por metro quadrado. Furos horizontais não podem exceder 2 mm de largura o 25 mm em comprimento e em número inferior a 15 no total de superfície do painel. Admite-se o uso de massa sintética em pequenas rachaduras com no máximo 5 mm de largura e 150 mm de comprimento ou aberturas com 15 mm de largura e 100 mm de comprimento ou área equivalente.

**Terceira – C** Sem restrição quanto a descolorações, de estrutura firme, sendo admitidos nós firmes de até 40 mm desde que não comprometam o uso ou a

resistência mecânica. Nós abertos não maiores que 20 mm e furos não maiores que 6 mm por 12 mm são admitidos. A soma da largura dos defeitos não pode exceder 200 mm. Rachaduras medidas a 150 mm do topo do painel não devem exceder 16 mm de largura, admitindo-se um comprimento de, no máximo, a metade do comprimento do painel. Nenhum dos defeitos deve comprometer a utilização e a resistência do painel. A soma dos reparos de madeira ou massa sintética não deve exceder 150 mm na largura.

**Quarta – D** Admitem-se nós firmes ou abertos de até 70 mm de largura desde que a soma dos defeitos não seja superior a 300 mm na largura. Rachaduras medidas a 150 mm da extremidade não devem exceder 30 mm de largura. Outros defeitos não mencionados são admitidos desde que não afetem a resistência ou a utilização dos painéis