

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

**ESTUDO DOS NÍVEIS DE TENSÕES DE CRESCIMENTO E INFLUÊNCIA DA
VAPORIZAÇÃO DE TORAS NA QUALIDADE DO DESDOBRO DA MADEIRA DE
*Hevea brasiliensis***

MELANY MARIA ALONSO PELOZZI

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp – Câmpus de
Botucatu, para a obtenção do título de Mestre
em Ciência Florestal

BOTUCATU - SP
AGOSTO – 2012

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

**ESTUDO DOS NÍVEIS DE TENSÕES DE CRESCIMENTO E INFLUÊNCIA DA
VAPORIZAÇÃO DE TORAS NA QUALIDADE DO DESDOBRO DA MADEIRA DE
*Hevea brasiliensis***

MELANY MARIA ALONSO PELOZZI

Orientador: Prof. Dr. Elias Taylor Durgante Severo

Co-Orientador: Eng. Florestal Dr. Fred Willians Calonego

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp – Câmpus de
Botucatu, para a obtenção do título de Mestre
em Ciência Florestal

BOTUCATU - SP

AGOSTO - 2012

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

P392e Pelozzi, Melany Maria Alonso, 1986-
Estudo dos níveis de tensões de crescimento e influência da vaporização de toras na qualidade do desdobro da madeira de *Hevea brasiliensis* / Melany Maria Alonso Pelozzi. - Botucatu : [s.n.], 2012
xi, 116 f. : il. color., gráfs., tabs. fotos. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012

Orientador: Elias Taylor Durgante Severo

Co-orientador: Fred Willians Calonego

Inclui bibliografia

1. Madeira de reação. 2. Rachadura de tábua.
3. Seringueira. 4. Toras de madeira. I. Severo, Elias Taylor Durgante. II. Calonego, Fred Willians. III. CIRAD-Forêt. IV. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. V. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ESTUDO DOS NÍVEIS DE TENSÕES DE CRESCIMENTO E INFLUÊNCIA DA VAPORIZAÇÃO DE TORAS NA QUALIDADE DO DESDOBRO DA MADEIRA DE *Hevea Brasiliensis*"

ALUNA: MELANY MARIA ALONSO PELOZZI

ORIENTADOR: PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO
COORIENTADOR: PROF. DR. FRED WILLIANS CALONEGO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO



PROF. DR. CLÁUDIO ANGELI SANSÍGOLO



PROF. DR. JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA

Data da Realização: 31 de agosto de 2012.

DEDICO

Ao meus pais José e Katia por acreditarem em mim, pelo incentivo e carinho transmitido, pelas orientações nas decisões a serem tomadas...enfim por serem um exemplo de vida e me fazerem ser a pessoa que sou hoje.

Aos meus irmãos Tadeu e Talita pela amizade e carinho.

Ao meu namorado Raphael pelo seu amor e companheirismo, pelo seu enorme incentivo principalmente nos momentos mais difíceis, pelas sugestões e ajuda.

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar presente em minha vida e me guiar...

Ao professor Elias Taylor Durgante Severo pela orientação, opiniões, incentivo e amizade.

Ao Dr. Fred Willians Calonego pela co-orientação, dedicação, empenho e sugestões na elaboração da dissertação, pela amizade e incentivo.

Às sugestões dadas pelos professores Cláudio A. Sansígolo e Carmen Regina Marcati na qualificação para a elaboração da dissertação.

À professora Luzia A. Trinca pela sua grande ajuda com a parte estatística dos dados.

À professora Carmen Regina Marcati também pela disponibilização do Laboratório de Anatomia da Madeira da FCA/UNESP.

Aos amigos, em especial a Paula pela grande ajuda, pelo apoio principalmente nos momentos mais difíceis, pelas risadas e sua imensa amizade. A querida amiga Flávia pela sua amizade e grande ajuda. E, também, aos amigos Aline, Felipe e Miguel pela ajuda para a conclusão deste trabalho.

A todos os amigos pelo companheirismo, risadas, abraços e carinho.

Aos funcionários que ajudaram na concretização do projeto, principalmente no momento da coleta do material, no transporte do mesmo (Seção de Atividades Auxiliares - Transportes da FCA), nas atividades realizadas na Marcenaria da FCA e no Laboratório de Anatomia da FCA.

Aos funcionários da biblioteca pelo empenho em conseguir os artigos e pelo auxílio com as referências bibliográficas.

À Fazenda Água Milagrosa, Tabapuã - SP, pela doação da madeira e auxílio na coleta. Ao Horto Florestal de Manduri pertencente ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo pelo processamento da madeira.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Estadual Paulista por aceitar o meu projeto no curso e pelo incentivo na divulgação dos trabalhos (professor Iraê Amaral Guerrini).

À CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa concedida.

À todos aqueles que contribuíram de alguma forma e me deram apoio para a realização desta pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos!

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo.
Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas
admiráveis.”*

José de Alencar

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XI
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	5
2 OBJETIVOS.....	8
3 REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1 A seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)	9
3.2 Considerações gerais da madeira de <i>Hevea brasiliensis</i>	11
3.3 Tensões de crescimento	15
3.3.1 Origem e distribuição das tensões de crescimento.....	16
3.3.2 Método não destrutivo para medição das tensões de crescimento	20
3.4 Formas de alívio das tensões de crescimento	25
3.4.1 Anelamento de toras.....	25
3.4.2 Sistema de corte e desdobro da madeira	26
3.4.3 Processo de aquecimento ou vaporização de toras	29
3.4.3.1 Determinação do tempo de vaporização das toras	29
3.4.3.2 Efeito da vaporização de toras no alívio das tensões de crescimento	33
3.5 Madeira de reação na <i>Hevea brasiliensis</i>	35
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4.1 Área de estudo	40
4.2 Espécie utilizada.....	41
4.3 Avaliação das características de crescimento	42
4.4 Verificação dos níveis de tensões de crescimento do fuste de <i>Hevea brasiliensis</i>	42
4.5 Derrubada das árvores, coleta e preparo da madeira	44
4.6 Determinação do teor de umidade e da massa específica da madeira	45
4.7 Processo de vaporização de toras de <i>Hevea brasiliensis</i>	46

4.8 Desdobro de toras de <i>Hevea brasiliensis</i>	50
4.9 Avaliação das tensões de crescimento no desdobro	52
4.10 Análise de determinação da madeira de reação.....	55
4.11 Forma de análise dos resultados	56
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1 Níveis de tensões de crescimento no fuste de <i>Hevea brasiliensis</i>	58
5.2 Massa específica básica e teor de umidade da madeira.....	60
5.3 Comportamento da temperatura da madeira de <i>Hevea brasiliensis</i> durante a vaporização de toras.....	61
5.4 Efeito da vaporização de toras na qualidade do desdobro de <i>Hevea brasiliensis</i>	67
5.5 Detecção da madeira de reação	72
6 CONCLUSÕES.....	77
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	79
APÊNDICE 1 ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA A VARIÁVEL DRL (DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL).....	89
APÊNDICE 2 TESTE PILOTO PARA A DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE VAPORIZAÇÃO DE TORAS	91
APÊNDICE 3 ANÁLISE DE REGRESSÃO DOS TEMPOS DE VAPORIZAÇÃO DE TORAS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE VAPORIZAÇÃO	93
APÊNDICE 4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DEFEITOS DE DESDOBRO	97
APÊNDICE 5 ANÁLISE MICROSCÓPICA QUALITATIVA AO REDOR DA CIRCUNFERÊNCIA DO DISCO.....	110

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Comparativo entre as tensões sofridas por uma árvore, uma antena de televisão e uma coluna de concreto protendido, segundo Rocha (2000).....	16
Figura 2. Representação esquemática da formação das tensões de crescimento longitudinal em relação ao crescimento transversal da árvore, segundo Chafe (1979).....	18
Figura 3. Classes de temperaturas favoráveis para laminação de madeiras (folhosas) com base na massa específica básica, adaptado de Lutz (1974).	33
Figura 4. Exemplo de liberação da distribuição das tensões no diâmetro de toras de <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don (TEJADA et al., 1997).....	34
Figura 5. Inclinação do fuste mostrando a direção do crescimento induzido por forças externas a fim de manter o equilíbrio da árvore. C = madeira de compressão e T = madeira de tração, segundo Bamber (2001).	36
Figura 6. Localização da cidade de Tabapuã.....	41
Figura 7. Árvores de seringueira da Fazenda Água Milagrosa.	42
Figura 8. Extensômetro CIRAD-Forêt: (1) extensômetro; (2) gabarito; (3) pinos de fixação; (4) prolongador para os pinos.	43
Figura 9. Instalação e verificação dos níveis de tensões de crescimento pelo extensômetro CIRAD-Forêt.....	44
Figura 10. Esquema de subdivisão e de anelamento das toras com motosserra.....	45
Figura 11. Esquema simplificado da coleta dos discos.	45
Figura 12. Toras de <i>Hevea brasiliensis</i> após a remoção da casca.....	47
Figura 13. Esquema de acomodação do termopar no centro da tora conforme metodologia proposta por Calonego (2004), Calonego e Severo (2005) e Calonego et al. (2010).....	48
Figura 14. “Datalogger” acoplado aos termopares inseridos nas toras de <i>Hevea brasiliensis</i> ..	49
Figura 15. Vaporização de toras.	50
Figura 16. Esquema de desdobro realizado pela serra de fita dupla e simples.....	51
Figura 17. Tratamento de imersão das tábuas em produto preservativo.	52

Figura 18. Medição da abertura da tábua em relação à tora de <i>Hevea brasiliensis</i> durante o desdobro.	54
Figura 19. Medição das rachaduras de topo das tábuas de <i>Hevea brasiliensis</i>	54
Figura 20. Medição dos empenamentos após desdobro: torcimento (A), arqueamento (B), encurvamento (C) e encanoamento (D).	55
Figura 21. Esquema de retirada das amostras para análise microscópica.	56
Figura 22. Curva sigmoidal logística ajustada para o comportamento da temperatura no centro de toras de <i>Hevea brasiliensis</i> para a temperatura de 45°C durante a vaporização à 54,4±4,1°C.	63
Figura 23. Curva sigmoidal logística ajustada para o comportamento da temperatura no centro de toras de <i>Hevea brasiliensis</i> para a temperatura de 56°C durante a vaporização à 74,5±3,9°C.	64
Figura 24. Curva sigmoidal logística ajustada para o comportamento da temperatura no centro de toras de <i>Hevea brasiliensis</i> para a temperatura de 71°C durante a vaporização à 91,8±3,0°C.	65
Figura 25. Discos de <i>Hevea brasiliensis</i> com excentricidade e com medula concêntrica.	73
Figura 26. Presença de fibra gelatinosa representada pela coloração azul na <i>Hevea brasiliensis</i>	74
Figura 27. Presença de tilos nos vasos e células parenquimáticas formando reticulado e com reserva de amido e açúcares.	76

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Análise descritiva das Características de Crescimento da árvore e da Deformação Residual Longitudinal (DRL) nas posições cardeais.....	59
Tabela 2. Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação para a massa específica básica e teor de umidade para a <i>Hevea brasiliensis</i>	61
Tabela 3. Equações propostas de temperaturas para a <i>Hevea brasiliensis</i> no centro das toras durante a vaporização.	65
Tabela 4. Análise descritiva das aberturas das toras controles e vaporizadas assim como o aumento (+) ou redução (-) do defeito para todas as temperaturas e para cada classe de temperatura.	67
Tabela 5. Análise descritiva dos índices dos defeitos de rachaduras (principal e total) das toras controles e vaporizadas assim como o aumento (+) ou redução (-) dos defeitos para todas as temperaturas e para cada classe de temperatura.	69
Tabela 6. Análise descritiva dos índices dos defeitos de rachaduras (principal e total) das toras controles e vaporizadas assim como o aumento (+) ou redução (-) dos defeitos para todas as temperaturas e para cada classe de temperatura.	69
Tabela 7. Discos com madeira de reação e tensões de crescimento em relação aos defeitos. ..	75

RESUMO

A madeira de *Hevea brasiliensis* é considerada uma fonte importante de renda após o ciclo produtivo do látex. Porém, as tensões de crescimento e a madeira de reação apresentam-se como entrave para a indústria de transformação e de processamento de madeira. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os níveis de tensões de crescimento e verificar a influência da temperatura de vaporização de toras na qualidade do desdobro da madeira de *Hevea brasiliensis*. Para tanto foram utilizados pé franco da árvore *Hevea brasiliensis* com 53 anos de idade nas quais foram verificados os níveis de tensões de crescimento. Posteriormente, a vaporização ocorreu à $54,4 \pm 4,1^\circ\text{C}$, $74,5 \pm 3,9^\circ\text{C}$ e $91,8 \pm 3,0^\circ\text{C}$, com umidade relativa de 100%, por 36 horas. Durante todo o tratamento as toras tiveram a sua temperatura monitorada através do uso de termopares. Em seguida as toras foram desdobradas pelo sistema de corte tangencial e medições dos defeitos decorrentes das tensões de crescimento foram realizadas, com o intuito de avaliar o efeito do tratamento de vaporização. Foi ainda realizada uma análise anatômica macroscópica e microscópica com o intuito de comprovar a existência da madeira de reação e verificar o comportamento desta. Os resultados evidenciam que: a espécie apresenta uma deformação residual longitudinal média de 0,099 mm e não há uma diferença

significativa das deformações entre as árvores, contudo, nas quatro posições cardeais avaliadas entorno do fuste, devido à ação do vento, os valores diferiram significativamente; a vaporização promoveu o alívio das tensões de crescimento sendo que a temperatura de vapor à $74,5 \pm 3,9^{\circ}\text{C}$ mostrou-se mais adequada como forma de tratamento desta espécie; foi comprovada a existência da madeira de reação distribuída em toda circunferência da árvore.

Palavras-chaves: CIRAD-Forêt, Madeira de Reação, Rachadura de Tábua, Seringueira.

STUDY OF LEVELS OF GROWTH STRESS AND INFLUENCE OF LOGS STEAMING IN THE QUALITY OF THE SAWING WOOD OF *Hevea brasiliensis*. Botucatu, 2012. 125p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MELANY MARIA ALONSO PELOZZI

Adviser: ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO

Adviser-Co: FRED WILLIANS CALONEGO

SUMMARY

The wood of *Hevea brasiliensis* is considered an important source of income after the production cycle of the latex. However, the growth stress and wood reaction are presented as an obstacle to the processing industry and wood processing. Thus, the objective of this research was to evaluate the levels of growth stresses and the influence of logs steaming in the quality of the sawing wood of *Hevea brasiliensis*. Therefore, we used ungrafted tree *Hevea brasiliensis* with 53-year-old were checked in which the levels of growth stresses. Later, the vaporization occurred at $54,4\pm 4,1^{\circ}\text{C}$, $74,5\pm 3,9^{\circ}\text{C}$ e $91,8\pm 3,0^{\circ}\text{C}$, with relative humidity of 100%, for 36 hours. Throughout the treatment the logs have its temperature monitored by thermocouples. Then the logs were sawing by the system tangential and measurements of defects resulting from growth stresses were realized in order to assess the treatment effect of vaporization. Was also realized macroscopic and microscopic anatomical analysis in order to prove the existence of reaction wood and verify the behavior of this. The results show that: the species presents a longitudinal residual strain average of 0,099 mm and there isn't significant difference of strain between the trees, however, the four cardinal positions around the stem assessed, due to wind action, the values differed significantly; vaporization promoted the relief

of growth stresses and the temperature of steam at $74,5\pm 3,9^{\circ}\text{C}$ was more appropriate as a treatment of this kind; was demonstrated the existence of the tension wood distributed across the girth of the tree.

Keywords: CIRAD-Forêt, Tension Wood, Crack Board, Rubberwood.

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A seringueira (*Hevea brasiliensis*), originária da Amazônia, é uma espécie muito utilizada na extração de látex para a fabricação de pneumáticos e outros artefatos. Entretanto, a seringueira também vem se sobressaindo nos assuntos sobre efeito estufa e aquecimento global, na utilização do Sistema Agroflorestal, na capacidade à reposição florestal e, além disso, na possibilidade que sua madeira apresenta de ser comercialmente explorada.

Além do gênero *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp., dados da Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS) de 2009, indicam que a área de floresta plantada de outras espécies ocupa 425,2 mil ha, correspondendo a 7,1% da área total de floresta plantada existente no Brasil. Espécies como acácia, seringueira e paricá representam 83,4% do total dessas outras espécies reflorestadas no Brasil. A área plantada com seringueira no Brasil é de 154,51 mil ha. O estado de São Paulo lidera com 51,09 mil ha de área plantada, sendo mais de 14 milhões de árvores em produção de látex e mais de 4,5 milhões de árvores novas, distribuídos entre 2,5 mil pequenos, médios e grandes produtores, que empregam cerca de 15 mil trabalhadores.

Apesar de todos os desafios e da produção ser ainda pequena, o cultivo da seringueira no Brasil esta crescendo de forma significativa a cada ano, constituindo uma atividade não apenas lucrativa, mas também sustentável. De acordo com a Associação Paulista de Produtores e Beneficiadores de Borracha (Apabor), até 2020, está previsto um plano ambicioso de ampliação da área plantada no Estado de São Paulo para 250 mil hectares.

Entretanto, seu ciclo produtivo de látex decresce a partir dos 25-30 anos de idade, o que, conseqüentemente, permite que a sua madeira se torne uma nova fonte de renda.

Nas décadas de 70 e 80, após a exploração do látex, enquanto no Brasil a madeira de seringueira era utilizada exclusivamente para fins energéticos (lenha e carvão), na Tailândia, Sri Lanka, Índia e Malásia acontecia a formação de grupos de pesquisa que viabilizaram e tornaram disponível a tecnologia de utilização desta madeira para fins mais nobres.

A madeira de *Hevea brasiliensis* é macia, de cor clara, susceptível a fungos e a insetos, sua massa específica básica é em torno de 0,560 a 0,650 g/cm³, aceita bem os revestimentos, suas propriedades mecânicas são consideradas adequadas para serem utilizadas em construção leve, móveis, engradados, brinquedos e chapas.

Entretanto, devido a genética, as condições ambientais e a própria natureza de seu crescimento, trata-se de uma espécie que apresenta madeira de reação e tensões de crescimento, o que gera transtornos para a indústria de transformação e processamento. Além disso, a falta de informações tecnológicas sobre essa madeira apresenta-se como desestímulo para a utilização desta madeira pela indústria brasileira.

Contudo, a utilização de métodos não-destrutivos permite quantificar de maneira rápida e precisa, a avaliação e identificação dos níveis das tensões de crescimento. Estas técnicas possibilitam selecionar árvores produtoras de madeira com agregação de importantes atributos tecnológicos e menos propensas a manifestações de defeitos e, assim, adotar critérios para o melhoramento genético na qualidade da madeira.

Além disso, a vaporização de toras, que consiste em aplicar água quente ou vapor por um determinado tempo é uma técnica interessante do ponto de vista comercial, visto que, melhora a qualidade do desdobro com relação aos defeitos oriundos da madeira e, conseqüentemente, diminui as perdas de matéria prima. O processo de vaporização,

através do calor aplicado nas toras, tem como intuito plasticizar o material para obter o alívio das tensões de crescimento.

No entanto, a determinação exata do tempo de vaporização de toras é muito importante para que se obtenha madeira de melhor qualidade com um menor consumo de energia durante o processo. Desta forma, para definir os limites de tempo do processo de vaporização é necessário um estudo minucioso da temperatura e do tempo da vaporização de toras para cada espécie em questão.

Portanto, devido ao decréscimo da produtividade do látex no término do seu ciclo produtivo e as propriedades físicas e mecânicas adequadas que a madeira de *Hevea brasiliensis* apresenta para determinadas finalidades, sugere-se a aplicação da vaporização de toras, para solucionar as limitações que dificultam o processamento da madeira dessa espécie e a aplicação de métodos não destrutivos para que se possa conhecer os seus níveis das tensões de crescimento.

2 OBJETIVOS

O presente projeto de pesquisa teve como objetivo geral avaliar as tensões de crescimento e verificar a influência da temperatura de vaporização de toras na qualidade do desdobro da madeira de *Hevea brasiliensis*.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar o nível das tensões de crescimento no fuste das árvores em pé;
- Verificar o comportamento da temperatura no centro das toras durante a vaporização;
- Avaliar o efeito do tratamento de vaporização na qualidade do desdobro das toras.

Complementarmente, como objetivo secundário, foi avaliado a existência da madeira de reação na madeira de *Hevea brasiliensis*.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A seringueira (*Hevea brasiliensis*)

A seringueira, originária da região amazônica, pertence ao gênero *Hevea*, da família Euphorbiaceae, com 11 espécies, das quais, *Hevea brasiliensis* (Willd. ex ADR. de Juss.) Muell. Arg. é a mais produtiva e plantada comercialmente, com superior qualidade de látex (GONÇALVES et al., 2002; IAPAR, 2004). Trata-se de uma planta de clima tropical e úmido; com rápido crescimento; ciclo perene; com bom desenvolvimento em solos profundos, bem drenados e aerados; cultivada e utilizada para a extração do látex com a finalidade de produção de borracha natural (IAPAR, 2004; MARTO, 2007).

Esta árvore apresenta fuste ereto, podendo atingir 30 m de altura total sob condições favoráveis, o diâmetro de seu tronco varia entre 30-60 cm, a produção do látex inicia-se aos 6 -7 anos de idade (quando propagada por enxertia), mantendo-se produtiva por um período de aproximadamente 30 anos (IAPAR, 2004; MARTO, 2007).

Segundo Vijendra Rao (1983), Killmann e Hong (2000), Killmann (2001) e Lim et al. (2003) o período econômico do látex é completado entre 25 a 30 anos de

idade. Assim, a madeira de seringueira passa a ser vista como nova fonte de renda, podendo ser esta utilizada como energia ou em serrarias na fabricação de produtos mais nobres.

Ao final do ciclo produtivo de látex, as árvores de seringueira, no estado de São Paulo, chegam a apresentar um diâmetro de 30 a 35 cm na região do DAP, sendo aptas para corte, aproximadamente 184 árvores/hectare (PUSHPADAS et al., 1980 citado por GONÇALVES, 2002). Segundo o autor, de uma árvore obtêm-se 0,62 m³ e 0,39 m³ de madeira proveniente do tronco e dos ramos laterais, respectivamente, totalizando 1,01 m³/árvore. Haridasan (1989) também afirma que em um hectare de seringal com 450 árvores, 200 árvores são aptas para o corte, com uma produção de até 1 m³/árvore. Peries (1990), também citado por Gonçalves (2002), confirma a possibilidade de extração de 130-180 toneladas de madeira/ha, base úmida, em um seringal no final do seu ciclo produtivo. De acordo com Killmann (2001) o volume de madeira disponível, para toras com diâmetro acima de 15 cm, varia de 52 a 162 m³/ha, adotando-se desta forma um valor médio de 100 m³/ha.

As áreas de plantios de seringueiras estão crescendo de forma acelerada na área florestal por demonstrar ser uma atividade muito lucrativa e sustentável (KILLMANN, 2001).

A área total com plantações de seringueira nos principais países produtores é de 8,81 milhões de hectares sendo que grande parte desta área esta localizada no Sudeste asiático, no qual a Indonésia, Tailândia e Malásia são as mais representativas em plantações de seringueira com 3,28, 2,02 e 1,47 milhões de hectares, respectivamente (ZHAO, 2008; SHIGEMATSU et al., 2010).

Na África as áreas das plantações de seringueira são de 545 mil de hectares enquanto que na América Latina as plantações alcançam 270 mil hectares, aproximadamente, sendo a maior área localizada no Brasil com cerca de 150 a 154,51 mil hectares (SBS, 2009).

A área plantada e colhida de seringueira no Brasil, segundo o IBGE (2009), é na ordem de 154,51 mil ha e 128,90 mil ha, havendo um crescimento do ano de 2008 para 2009 de 3,6% e de 3,2%, respectivamente. A região Sudeste representa 39,8% do total de floresta plantada no Brasil enquanto que as regiões do Centro-Oeste, Nordeste, Norte e Sul, representam, respectivamente, 32,2%, 22,1%, 5,5% e 0,4% (IBGE, 2009). Segundo o IBGE

(2009), o estado de São Paulo lidera com 51,09 mil ha de área plantada, havendo 46,29 mil ha de área colhida.

Atualmente, os clones de seringueira de importância comercial utilizados no Estado de São Paulo são: RRIM 600, GT 1, PB 235, IAN 873, Fx 3864, IAC 35, PB 252 e PB 330 (GONÇALVES, 1998). O RRIM 600 é o mais plantado e recomendado para um plantio em grande escala, apresenta bom desempenho em muitos locais, possui ótima produção e vigor, resistência moderada à quebra pelo vento e tolerância a seca do painel; o GT 1, é recomendado para pequenos heveicultores, possui vigor razoável, resistência moderada à quebra pelo vento; o PB 235, apresenta seca do painel, e susceptibilidade ao ataque de oídio; o IAN 873 apresenta uma produção inicial de látex média e considerável sensibilidade ao déficit hídrico; o Fx 3684 apresenta uma produção inicial de látex média e resistência ao mal-das-folhas no sul da Bahia; o IAN 35 apresenta tolerância ao mal-das-folhas no litoral do Estado mas exige necessidade de indução da copa; o PB 252 apresenta resistência ao vento, baixo índice de seca do painel; o PB 330 apresenta tolerância moderada ao oídio e antracnose (GONÇALVES, 1998).

Segundo Dhamodaram (2008), dos 866 milhões de metros cúbicos do estoque mundial crescente de madeira de seringueira 75% serão utilizados para aplicações industriais. Segundo o autor, toras com um diâmetro mínimo e acima de 15 cm são indicadas para serraria e indústria de compensados enquanto que toras com diâmetro de 5 cm e abaixo de 15 cm são recomendadas ao setor de energia. A produção anual do período de 1998 foi de 45 milhões de metros cúbicos nos quais 11 milhões de metros cúbicos foram destinados à serraria e indústria de compensados (DHAMODARAM, 2008). Segundo o mesmo autor, o potencial de produção esperado para o período de 2016-2021 será de 52 milhões de metros cúbicos, sendo 14 milhões de metros cúbicos para a produção de madeira serrada e compensados.

3.2 Considerações gerais da madeira de *Hevea brasiliensis*

Segundo Killmann (2001), Youke, (2008) e SHIGEMATSU et al. (2010), produtos à base de madeira (madeira serrada, móveis, madeira reconstituída) tendo como matéria prima a madeira de seringueira é crescente no mundo.

A Malásia, Tailândia e Indonésia apresentam uma forte utilização da madeira de seringueira (KILLMANN, 2001; ZHAO, 2008; SHIGEMATSU et al., 2010). Em 1999, a Malásia já apresentava 80% do seu mobiliário com madeira de seringueira (KILLMANN, 2001). Em uma pesquisa realizada por Ratnasingam et al. (2007) na Malásia sobre a seringueira foi demonstrado que o sucesso desta madeira era devido ao seu baixo custo, a sua disponibilidade, por estar associada com o meio ambiente e, ainda, por ser de fácil trabalhabilidade. Além disso, outro aspecto bastante atrativo na madeira de seringueira é a sua cor clara (KILLMANN, 2001).

O crescimento deste segmento tem atingido uma importância tão relevante em outros países a ponto de fazer com que os centros de pesquisa se aprofundem mais nos estudos e no desenvolvimento de tecnologias, visando a utilização da madeira de seringueira (KILLMANN, 2001).

Sendo assim, com o aumento da área plantada e aperfeiçoamento das pesquisas com clones de seringueira, visando à produção de látex com melhor qualidade e também a madeira, a perspectiva para o suplemento de madeira de seringueira parece interessante para o mercado (KILLMANN, 2001).

No Brasil, a Fazenda Santa Helena e a Serraria Caribeia, localizadas no estado de São Paulo, após três anos de estudos desenvolvendo técnicas de extração, tratamento e industrialização da madeira de seringueira, iniciaram a primeira exploração comercial de madeira (HEVEA, 2008). Segundo o boletim informativo, o preço em estéril da árvore em pé, acertados entre as partes para a finalização dos testes em escala comercial, ficaram na ordem de R\$ 35,00/st para a tora, R\$ 25,00/st para a lenha obtida dos galhos e R\$ 50,00/ton de cavacos obtidos das raízes.

A madeira de seringueira, do ponto de vista anatômico, apresenta visualmente o alburno não diferenciado do cerne; possui cor creme branco ou pálido, podendo ter uma coloração rosada; a textura é moderadamente grossa e uniforme; as paredes das fibras são de espessura média; os vasos são grandes e difusos podendo ser encontrados solitários ou em grupos, e ainda, preenchidos com tiloses; o agrupamento de poros é comum; o parênquima consiste tanto de apotraqueal como paratraqueal e os raios são heterogêneos (LIM e ANI SULAIMAN, 1999; KILLMANN e HONG, 2000).

Em sua composição química, a madeira de seringueira apresenta um alto teor de amido e açúcares, o que a torna altamente susceptível a fungos e insetos (KILLMANN e HONG, 2000). Segundo Peries (1990) citado por May e Gonçalves (1999), os constituintes como celulose, lignina, pentosanas, resinas e outros se apresentam na ordem de 43,9%, 23,3%, 18,0%, 3,9% e 10,9%.

Do ponto de vista tecnológico, a madeira de seringueira é classificada como macia e de alta susceptibilidade ao ataque de fungos e insetos; sua coloração se assemelha ao branco podendo às vezes apresentar um aspecto marrom claro ou amarelado; sua massa específica básica é em torno de 0,560 a 0,650 g/cm³ e a umidade da madeira recém-cortada é entre 60% a 80% (HARIDASAN, 1989; LIM e ANI SULAIMAN, 1999; KILLMANN e HONG, 2000; LIM et al., 2003).

A madeira apresenta ainda boas qualidades para perfurar, pregar e colar, aceita bem os revestimentos, o processo de secagem é relativamente rápido e suas propriedades mecânicas são comparáveis às madeiras tradicionais usadas para a fabricação de mobília e de compensados industriais (KILLMANN e HONG, 2000; WELIVITA e AMARASEKERA, 2008; RATNASINGAM et al., 2009; LARA PALMA, 2010).

Oliveira Junior (2011) estudou as propriedades físicas e químicas nas regiões de painel e sem painel da madeira juvenil e adulta de seringueira com 53 anos de idade. Para as propriedades químicas, o autor obteve teores de holocelulose, lignina e extrativos na região sem painel para a madeira juvenil na ordem de 72,63%, 17,01% e 8,07% enquanto que para a madeira adulta estes valores corresponderam a 74,01%, 17,06% e 7,31%. Segundo o autor, para a região com painel, na madeira juvenil os valores de holoceluloses, lignina e extrativos foram de 72,47%, 17,20% e 7,54%, respectivamente e na madeira adulta os valores foram na ordem de 73,50%, 16,99% e 6,96%. Para as propriedades físicas, o mesmo autor encontrou valores de massa específica a 0%, 12% e 37% para a madeira juvenil na ordem de 0,621g/cm³, 0,667g/cm³ e 0,784 g/cm³, na região sem painel e de 0,615g/cm³, 0,663 g/cm³ e 0,782g/cm³, para a região com painel. Quanto a madeira adulta, o autor encontrou valores de 0,615g/cm³, 0,658g/cm e 0,778g/cm³, na região sem painel e de 0,607 g/cm³, 0,655g/cm³ e 0,759g/cm³, na região com painel. Com relação ainda as propriedades físicas, Oliveira Junior (2011) obteve para madeira juvenil, na região sem painel e com painel, na respectiva ordem, os seguintes valores de contração volumétrica máxima; contrações

lineares tangencial, radial e longitudinal; fator de anisotropia; coeficiente de retratibilidade: 7,439% e 7,500%; 4,880% e 5,007%, 2,218% e 2,256%; 0,409% e 0,414%; 2,273% e 2,361%; 0,242% e 0,234%, respectivamente. Para madeira adulta, na região sem painel e com painel, na respectiva ordem, os valores correspondentes a cada propriedade física foram de: 7,926% e 8,000%; 5,262% e 5,310%, 2,612% e 2,582%, 0,278% e 0,265%; 2,146% e 2,141%; 0,249% e 0,234%.

No estudo de Leonello (2011), as propriedades mecânicas avaliadas para a madeira do clone GT 1 e RRIM 600 com respectivamente 20 e 29 anos de idade, apresentaram valores de resistência à compressão paralela às fibras variando de 41,55 MPa a 48,22 MPa e de 34,96 MPa a 47,89 MPa, respectivamente. Quanto aos valores de resistência no ensaio de flexão estática e rigidez para o clone GT 1 os valores variaram de 79,67 MPa a 90,98 MPa e de 9353 MPa a 10863 MPa, respectivamente (LEONELLO, 2011). Para o clone RRIM 600, estes valores de resistência e rigidez, variaram de 61,05 MPa a 94,11 MPa e de 7138 MPa a 11579 MPa, respectivamente (LEONELLO, 2011). Ainda segundo a autora, os valores de dureza Janka para o clone GT 1 e o RRIM 600 variaram na ordem de 57,27 MPa a 73,71 MPa e de 50,03 MPa a 84,92 MPa. Leonello (2011) estudando também as propriedades físicas para os clones GT 1 e RRIM 600 obteve valores de massa específica básica média de 0,580 g/cm³ a 0,595 g/cm³. Para o clone GT 1, os valores de retratibilidade tangencial, radial, longitudinal e volumétrica variaram de 5,17% a 6,39%, 2,17% a 3,81%, 0,14% a 0,38% e 8,42% a 10,36%, respectivamente enquanto que para o clone RRIM 600, estes valores variaram na ordem de 4,71% a 6,69%, 2,31% a 3,49%, 0,23% a 0,76% a 8,53% a 10,82% (LEONELLO, 2011). Segundo a autora, o índice de anisotropia da madeira do clone GT 1 variou de 1,58 a 2,51 e do clone RRIM 600 variou de 1,57 a 2,63.

Santana et al. (2001), estudaram as propriedades físicas e mecânicas da madeira de seringueira, dos clones brasileiros (IAN-717, IAN-873) e asiáticos (GT-711 e AV-1301), provenientes dos municípios de Ituberá e Grapina da Bahia, plantados entre 1957 e 1961. Os autores obtiveram valores de massa específica básica que variaram de 0,470 g/cm³ a 0,510 g/cm³. Segundo os autores, em termos do índice de anisotropia, os clones IAN-717, IAN-873, GT-711 e AV-1301, apresentaram valores de 3,3, 2,4, 2,2 e 2,2, respectivamente. Com relação às propriedades mecânicas, pode-se dizer que a resistência da madeira do clone AV-1301 seria enquadrada como C30 (compressão paralela às fibras de 30 MPa) e a dos

demais seria enquadrada na classe C20 (compressão paralela às fibras de 20 MPa). Segundo Santana et al. (2001, p. 66), “a madeira de *Hevea* dos clones testados pode ser usada para construções leves, móveis, artigos domésticos decorativos e utilitários, caixas, engradados, brinquedos, palitos de fósforo e painéis”.

Gnanaharan e Dhamodaran (1992), estudando as propriedades físicas e mecânicas da madeira de seringueira, com 35 anos de idade, oriunda da região central de Kerala, na Índia, obtiveram uma massa específica básica de 0,580 g/cm³; resistência de 98,4 MPa (compressão paralela às fibras), rigidez de 15700 MPa (flexão estática) e tensão de compressão máxima de 52,7 MPa. Segundo os autores, os valores de resistência obtidos neste estudo foram comparáveis com os de muitas madeiras comumente utilizadas em Kerala, tais como *Tectona grandis* (teca), *Mangifera indica* (mangueira), *Grevilea robusta* (carvalho sodoso), *Cocos nucifera* (coqueiro), entre outras.

Contudo, segundo Lim e Ani Sulaiman (1999), Lim et al. (2003), Watcharakuldilok e Vitayaudom (2008) a madeira de seringueira apresenta altos níveis de tensões de crescimento e madeira de reação, ocasionadas pelas condições genéticas, ambientais e pela própria natureza do crescimento, o que por sua vez, afeta a qualidade, as características, a utilização e a recuperação da madeira.

3.3 Tensões de crescimento

As tensões de crescimento são definidas como forças de tração e de compressão existentes no fuste da madeira verde e estas se encontram em equilíbrio quando a árvore está em pé, entretanto, ao ser derrubada as tensões se manifestam na forma de defeitos (rachaduras e empenamentos), seja no momento da derrubada ou do desdobro (SALES, 1986; KUBLER, 1987; BOYD, 1972; CHAFE, 1979; CALONEGO e SEVERO, 2005; BELTRAME, 2010).

A principal função das tensões de crescimento é fornecer suporte à árvore durante a sua vida (KUBLER, 1987). As tensões de crescimento são muito mais acentuadas em folhosas, particularmente nas espécies de rápido crescimento (SANTOS, 2002).

Comparando as tensões de crescimento das árvores com as tensões existentes em uma antena de televisão ou em uma coluna de concreto, observa-se o quanto a presença das forças de tração e de compressão são importantes para que tais estruturas adquiram estabilidade, como mostra a Figura 1 (ROCHA, 2000).

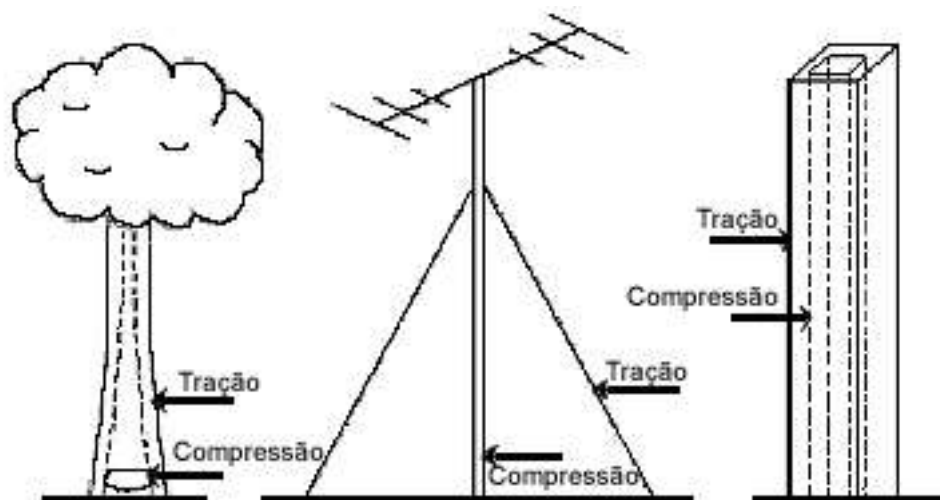


Figura 1. Comparativo entre as tensões sofridas por uma árvore, uma antena de televisão e uma coluna de concreto protendida, segundo Rocha (2000).

Desta forma, ao atenuar as tensões de crescimento, é possível resolver em grande parte os defeitos oriundos da madeira durante o seu processamento mecânico e sua secagem (LISBOA, 1993; OLIVEIRA, 1999; LIMA et al., 2004; CALONEGO, 2004 e BELTRAME, 2010).

3.3.1 Origem e distribuição das tensões de crescimento

Várias hipóteses surgiram na tentativa de explicar as causas das tensões de crescimento. Entre elas pode-se citar o peso da própria árvore, o crescimento circunferencial maior que o radial, a redução da turgidez do tecido mais velho, a mudança química da madeira mais antiga, a tração da seiva e a lignificação (MARTLEY, 1928 segundo BOYD, 1972 e CHAFE, 1979; KOEHLER, 1933; BOYD, 1972; CHAFE, 1979; SALES, 1986; KUBLER, 1987). Contudo, a hipótese da lignificação tem sido geralmente a mais aceita

nos dias atuais (BOYD, 1972; CHAFE, 1979; SALES, 1986; KUBLER, 1987; AMARAL, 1991; LISBOA, 1993; SEVERO, 1998; TOUZA, 2001; SANTOS, 2002; CALONEGO, 2004; TRUGILHO, 2005; SOUZA, 2006; BELTRAME, 2010).

As tensões de crescimento têm sua origem na região cambial onde ocorre a diferenciação das células e, nesta região, com a deposição da lignina entre as microfibrilas na parede secundária, as células tendem a se expandir no plano transversal e a contrair longitudinalmente (BOYD, 1972; CHAFE, 1979; SALES, 1986; KUBLER, 1987; AMARAL, 1991; LISBOA, 1993; SEVERO, 1998; TOUZA, 2001; SANTOS, 2002; CALONEGO, 2004; TRUGILHO, 2005; SOUZA, 2006; BELTRAME, 2010).

Essa alteração da dimensão sofrida pela célula é devido ao ângulo microfibrilar da camada S2 da parede secundária (BOYD, 1972; CHAFE, 1979; SALES, 1986). Desta forma, quando os ângulos das microfibrilas estão entre 10° e 40° a célula tende a se encurtar caso contrário, ou seja, se o ângulo for maior que 40°, a célula sofrerá um alongamento (BOYD, 1972). Como os ângulos microfibrilares na parede secundária são geralmente pequenos, a célula tende a encurtar (BOYD, 1972; CHAFE, 1979; SALES, 1986).

No entanto, as células maduras, já diferenciadas, resistem as alterações em suas dimensões em contrapartida com as células jovens que estão alterando suas dimensões, sendo assim, esta resistência acaba por gerar tensões (SALES, 1986; AMARAL, 1991; LISBOA, 1993; SEVERO, 1998). A restrição imposta pelo tecido maduro sobre as células em diferenciação origina uma tensão de tração longitudinal na periferia do fuste enquanto que estas respondem com tensões de compressão longitudinais sobre o tecido maduro (LISBOA, 1993; SEVERO, 1998). Desta forma, com o surgimento contínuo de novas camadas, haverá mais células novas e, assim, mais tensões de tração na periferia, que levarão o centro (a madeira mais velha) a um estado de compressão crescente conforme pode ser observado na Figura 2 (SALES, 1986; AMARAL, 1991; CALONEGO, 2004).

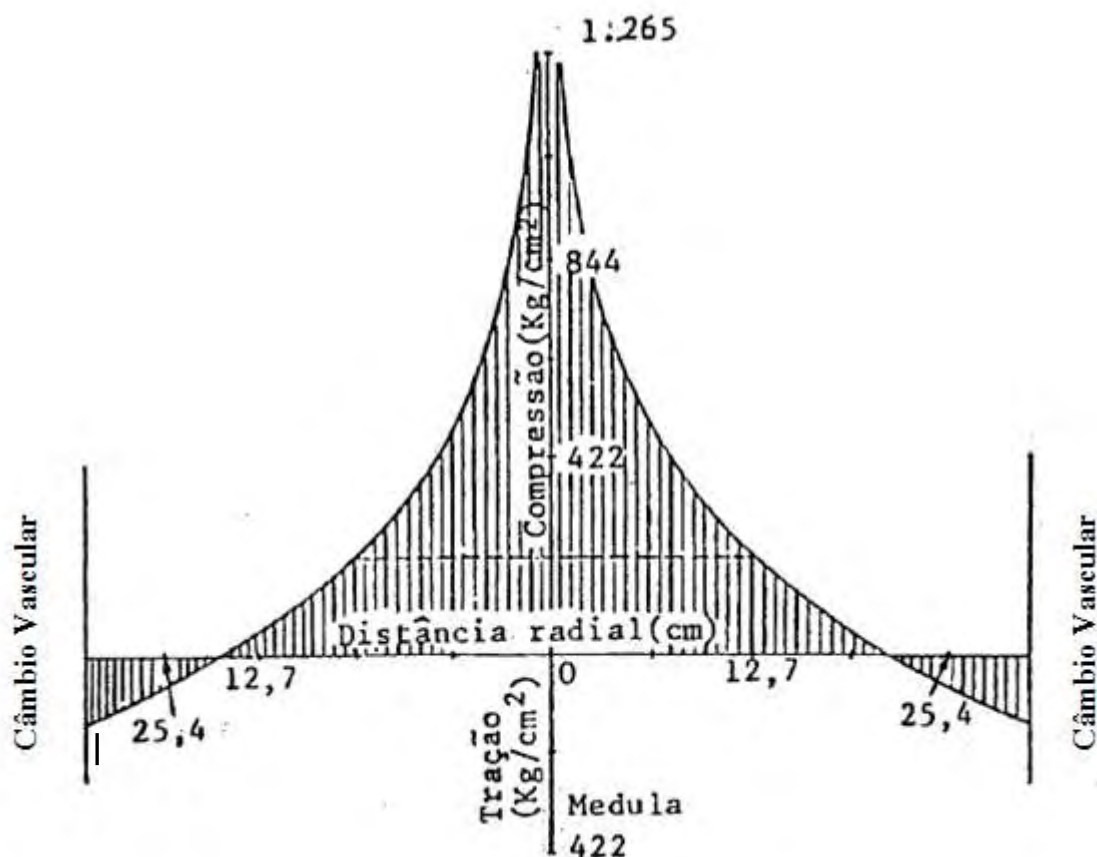


Figura 2. Representação esquemática da formação das tensões de crescimento longitudinal em relação ao crescimento transversal da árvore, segundo Chafe (1979).

Abordando o desenvolvimento nas tensões de crescimento na madeira de reação, Bamber (2001) e Okuyama et al. (1986, 1994) explicam com as teorias do “inchamento da lignina” e da “tração na celulose”.

Segundo Okuyama et al. (1986, 1994) e Bamber (2001), as tensões de crescimento são geradas pela inter-relação entre a tensão de tração das microfibrilas gerada positivamente na direção axial e a tensão de compressão gerada pela deposição de lignina nos espaços entre as microfibrilas. Segundo os autores, o estresse de tração das microfibrilas é responsável pelas tensões de tração no sentido longitudinal na madeira normal e na madeira de reação (madeira de tração). Assim como o estresse de compressão pela deposição de lignina que controla o nível de estresse de compressão longitudinal na madeira de reação (madeira de compressão) e o estresse de compressão no sentido tangencial na madeira normal

(OKUYAMA et al., 1986, 1994). Sendo assim, as tensões nas microfibrilas podem explicar a geração das tensões de crescimento nas regiões da madeira normal e madeira de reação.

No que diz respeito às tensões de crescimento no sentido longitudinal nas espécies que não tem fibras gelatinosas na região acima da inclinação do fuste tem-se as seguintes conclusões: quanto menor o ângulo das microfibrilas maior a tensão de tração (madeira de reação), ocorrendo o mesmo no caso da madeira ser normal ou de compressão; quanto maior a tensão de tração, maior será o conteúdo de α -celulose; o estresse de tração será maior quando for alta a cristalinidade; as tensões de crescimento na madeira de reação (tração) não tem nenhuma ou uma pequena correlação com ao conteúdo de lignina (OKUYAMA et al., 1994).

Entretanto, na literatura existem divergências quanto ao comportamento das tensões de crescimento com relação à altura das árvores e conseqüentemente com o diâmetro das toras (CALONEGO, 2004).

Santos et al. (2004), avaliando o nível de tensões de crescimento em *Eucalyptus grandis*, com a idade de 8 anos, verificaram que as primeiras toras apresentaram valores médios de índices de rachaduras, arqueamento e encurvamento nas tábuas verdes na ordem de 15,27 cm, 5,13 mm e 14,74 mm enquanto que as segundas toras apresentaram os respectivos valores de 15,83 cm, 5,15 mm e 16,44 mm. Segundo os autores, as tábuas provenientes de ambas as toras apresentaram um comportamento semelhante em relação ao arqueamento e ao total de rachaduras, diferindo significativamente apenas para a variável encurvamento.

Souza (2006), também estudando as tensões de crescimento em *Eucalyptus dunnii* de 14 anos de idade, analisou as rachaduras de extremidades de tábuas provenientes das primeiras e segundas toras e obteve valores na ordem de 11,55% e 13,45%, respectivamente, mostrando não haver uma diferença significativa entre as toras.

Roza Mellado (1993), avaliando as tensões de crescimento na altura da árvore em *Eucalyptus grandis* com 14 anos de idade, obteve através das rachaduras de tábuas durante o desdobro, valores de tensões para as primeiras, segundas e terceiras toras na ordem de 29,3, 35,1, e 27,8%. Segundo o autor, embora estes valores não tenham apresentado uma diferença estatística significativa, existe entre as toras uma diferença nas magnitudes das

tensões de crescimento na altura da árvore, indicando que a tora do meio pode ser mais propensa a rachar.

Calonego e Severo (2005), estudando o efeito do diâmetro das toras no comportamento das tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis*, com 30 anos de idade e provenientes de Manduri – São Paulo, concluíram que as toras de menor diâmetro apresentam maior propensão a apresentar abertura das tábuas em relação ao bloco enquanto que as toras de maior diâmetro produzem tábuas mais propensas a rachar. Segundo os autores, tábuas provenientes de toras de 30 a <35, 25 a <30 e 20 a <25 cm de diâmetro apresentaram, respectivamente, 20,9, 24,8 e 31,8 mm de abertura em relação ao bloco. Os mesmo autores obtiveram para as respectivas classes de diâmetros estudadas valores de comprimento e de largura de rachaduras de topos na ordem de 106,3, 82,0 e 54,3 cm e 20,5, 15,8 e 10,0 mm.

De acordo com Fernandes e Ferreira (1986) e Chafe (1981), que estudaram o nível de tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus saligna* Smith e *E. regnans*, respectivamente, existe uma correlação negativa entre a intensidade de rachaduras de topo e os diâmetros das toras. Porém Malan (1984) e Chafe (1985), estudando *E. grandis* e *E. nitens*, observaram o contrário, ou seja, a intensidade de rachaduras de topo é mais pronunciada nas toras com maiores diâmetros.

Segundo Chafe (1979), Shield (1995) e Lima et al. (2004), a variabilidade da intensidade das tensões de crescimento é alta entre espécies, entre árvores da mesma espécie, e mesmo dentro da própria árvore em diferentes posições, variando na altura e no sentido medula-casca.

Souza et al. (2003), estudando clones híbridos naturais do gênero *Eucalyptus*, com seis anos de idade, obtiveram diferentes índices de rachaduras de tábuas os quais variaram de 4,1% a 19,8%, sendo, respectivamente, referentes aos clones 1 e 10. Os autores puderam evidenciar a variabilidade das tensões de crescimento existentes nos clones.

Lim et al. (2003) e Watcharakuldilok e Vitayaudom (2008) comentam a existência das tensões de crescimento na madeira de *Hevea brasiliensis* e, que estas, seriam devido a sua genética e a uma característica própria de seu desenvolvimento, entretanto, não há estudos que mostram os níveis destas tensões, o que evidencia a relevância do trabalho.

3.3.2 Método não destrutivo para medição das tensões de crescimento

O extensômetro CIRAD-Forêt foi desenvolvido no Departamento do Centro de Cooperação Internacional em Pesquisas Agronômicas para o Desenvolvimento (CIRAD), que pertence ao “Centre Technique Forestier Tropical”, na França (TRUGILHO et al., 2004; GONÇALVES, 2007; BELTRAME, 2010).

O CIRAD-Forêt, considerado um método não destrutivo, simples e de rápida execução, tem a finalidade de determinar as deformações residuais longitudinais (DRL) em árvores em pé (vivas), através da liberação das tensões encontradas no fuste (ARCHER, 1986; TRUGILHO et al., 2004; GONÇALVES, 2007; BELTRAME, 2010). A determinação da DRL é mensurada pelo extensômetro a uma distância fixa, a qual é diretamente proporcional à tensão de crescimento na direção longitudinal (TRUGILHO et al., 2004).

Entretanto, as medições das DRL realizadas pelo extensômetro englobam somente a madeira mais recentemente formada (ARCHER, 1986).

O CIRAD-Forêt afere as deformações longitudinais associadas às tensões de crescimento com o auxílio de um relógio comparador pela movimentação sofrida por dois pinos fixados a 45 mm um do outro, ao longo da grã, na superfície do tronco sem casca (LIMA et al., 2004). E, para liberar as tensões e promover a movimentação dos pinos, entre os dois é feito um furo com uma broca de 20 mm de diâmetro (LIMA et al., 2004).

Com a perfuração na madeira entre os pinos tem-se uma estimativa da total liberação das deformações, a qual é 15% inferior ao valor obtido com a remoção completa da peça de madeira (NICHOLSON, 1973).

O método do CIRAD-Forêt é indicado para trabalhos de campo, onde se deseja obter a intensidade aproximada das deformações de crescimento, sua distribuição periférica e sua variação entre árvores e espécies (BELTRAME, 2010). Segundo Trugilho (2005), Souza (2006), Gonçalves (2007) e Beltrame (2010) a importância deste método nesta área é caracterizada pelo estudo da distribuição das tensões ao longo do tronco e suas relações com outras características da madeira, como o DAP e a altura total que são facilmente mensuráveis. Também é uma ferramenta para o melhoramento florestal e, ainda, uma forma de seleção de árvores menos propensas a defeitos no posterior desdobro (TRUGILHO, 2005; SOUZA, 2006; GONÇALVES, 2007; BELTRAME, 2010).

Apesar do método de medição das deformações periféricas ter uma aplicação prática e conhecer a importância dos efeitos das tensões de crescimento para a

utilização da madeira, no Brasil este tema tem sido pouco estudado visto a dificuldade em se determinar a magnitude e a distribuição radial das tensões longitudinais no interior do tronco (TRUGILHO, 2005). Dos poucos estudos existentes na literatura com o CIRAD-Forêt, os trabalhos se estendem para o gênero *Eucalyptus*, o que demonstra a importância do estudo para com a espécie *Hevea brasiliensis*.

Trugilho et al. (2002) avaliando 11 clones híbridos naturais do gênero *Eucalyptus*, com 6 anos de idade, 27,3 cm de DAP médio e 28,8 m de altura total média, encontraram através do CIRAD-Forêt valores médios das deformações residuais longitudinais (DRL) e da estimativa da tensão de crescimento longitudinal (TCL) na ordem de 0,090 mm e 288 kgf/cm². Da mesma forma, Rodrigues (2007), encontrou valores médios de 0,081 mm de DRL para 13 clones de *Eucalyptus* spp., aos dez anos de idade.

Trugilho (2005) também realizou estudos com clones de *Eucalyptus* com idade, DAP médio e altura total média na ordem de: 8 anos, 25,70 cm e 27,41 m; 13 anos, 38,00 cm, 36,80 m; 15 anos, 42,50 cm, 43,53 m; 19 anos, 47,20 cm, 44,46 m, no qual obteve as DRL de 0,107 mm, 0,113 mm, 0,111 mm e 0,123 mm, respectivamente.

Em estudos realizados por Beltrame (2010), com 12 clones do gênero *Eucalyptus* spp. de 9 anos de idade, 24,05 cm de DAP médio e 32,31 m de altura total média, o autor obteve um valor médio das DRL de 0,111 mm.

Já, Souza (2006), para *Eucalyptus dunnii* com 10 anos de idade, 40,53 m de altura total média e 35,3 cm de DAP médio, encontrou valores de DRL médio de 0,141 mm.

Porém, Lima et al. (2004) avaliando as DRL em 5 clones de *Eucalyptus* spp. em diferentes idades, obtiveram uma deformação média de 0,071 mm, sendo este valor apresentado menor quando comparado com outros autores. Segundo Betrame (2010, p. 44), “deve ser ressaltado que as idades, os locais de avaliação e as espécies estudadas não são as mesmas, o que pode ter contribuído para a ocorrência desta diferença”. Para cada um dos 5 clones de *Eucalyptus*, com idade, DAP médio e altura total média na ordem de: 15 anos, 27,85 cm, 36,62 m; 15 anos, 24,70 cm, 39,42 m; 15 anos, 35,18 cm, 38,49 m; 11 anos, 29,93 cm, 24,33 m; 8,5 anos, 23,20 cm, 27,44 m as DRL obtidas foram de 0,079 mm, 0,049 mm, 0,095 mm e 0,058 mm, respectivamente (LIMA et al., 2004).

Trugilho et al. (2006), avaliando as deformações residuais longitudinais (DRL) e tangenciais (DRT) em seis clones de *Eucalyptus spp.*, com 10,5 anos de idade, através do CIRAD-Forêt modificado, verificaram que os valores médios da DRL e DRT foram, respectivamente, de 0,093 mm e 0,025 mm.

No estudo de Lima et al. (2004), para os clones de *Eucalyptus spp.* em diferentes idades, foi também avaliado a DRL nas quatro posições cardeais. As médias para as DRL foram de 0,084 mm, 0,057 mm, 0,070 mm e 0,072 mm para as respectivas posições cardeais Norte, Sul, Leste e Oeste (LIMA et al., 2004). Os autores concluíram que não houve uma diferença significativa, o que poderia ter sido diferente se os troncos fossem deformados por algum fator ambiental predominante, como a competição por luz ou pelo efeito de ventos, por exemplo. Assim como Rodrigues (2007) que avaliando as DRL para linha e entre linha no plantio encontrou valores médios de 0,81 e 0,82 mm, respectivamente, demonstrando não haver diferenças significativas na DRL ao longo da circunferência do tronco.

Souza (2006), também no seu mesmo estudo, concluiu que entre as posições cardeais não há uma diferença significativa. Os valores obtidos pelo autor nas posições cardeais Norte, Sul, Oeste e Leste foram de 0,126 mm, 0,142 mm, 0,157 mm e 0,138 mm, respectivamente.

Entretanto, Beltrame (2010) pode observar uma diferença significativa entre nas posições cardeais analisadas, o que pode estar associado a algum fator ambiental. As médias das DRL obtidas para as posições cardeais Oeste, Sul, Norte e Leste foram de 0,083 mm, 0,111 mm, 0,112 mm, 0,140 mm, respectivamente. Nicholson (1973), Archer (1986), Dinwoodie (1966) e Rodrigues (2007) também comentam que estas variações nas intensidades das tensões de crescimento ao redor da árvore podem estar associadas a inclinação do fuste ou a copa distribuída de forma desequilibrada, a variação do ângulo da grã da madeira, até mesmo pela tortuosidade do fuste ou ainda pela existência da madeira de reação ocasionada por diversos fatores externos, respectivamente.

Em outro estudo, Trugilho et al. (2007), obtiveram para os 11 clones de *Eucalyptus*, aos 6 anos de idade, uma DRL com valores médios de 0,088 mm a 1,3 m e de 0,092 mm a 3 m de altura em relação ao solo, concluindo que não há diferença significativa de DRL em relação a altura da árvore. Resultado semelhante foi encontrado por Lima et al.

(2004) que obtiveram DRL com valores médios de 0,079 mm a 1,3 m e de 0,076 mm a 2,5 m de altura.

Entretanto, Carvalho et al. (2010) correlacionando o diâmetro com as tensões de crescimento em *Corymbia citriodora* e em *Eucalyptus urophylla*, ambos com 15 anos de idade, observaram que há uma correlação negativa e significativa, ou seja, as tensões de crescimento foram menores em árvores com maiores diâmetros. Os autores encontraram para as espécies de *Corymbia citriodora* e de *Eucalyptus urophylla*, valores de deformações residuais longitudinais na ordem de 0,129 mm e de 0,081 mm e de 0,106 mm e de 0,079 mm, na classe diamétrica compreendida entre 24,3 e 28,4 cm e entre 44,8 e 48,9 cm, respectivamente. Os autores encontraram também uma correlação negativa e significativa entre a deformação e a altura, porém esta foi observada apenas para a espécie de *Eucalyptus urophylla*, evidenciando assim um comportamento distinto das duas espécies estudadas nessa associação. As DRL para *Eucalyptus urophylla*, na classe de altura compreendida entre 28,90 m e 40,16 m, foram de 0,101 mm e de 0,087 mm, respectivamente (CARVALHO et al., 2010).

Souza et al. (2003) estudando 11 clones híbridos naturais do gênero *Eucalyptus*, com 6 anos de idade, avaliou as correlações das DRL com as características de crescimento e da madeira. Os autores obtiveram que não há uma correlação das DRL com o DAP, altura total, incremento médio anual, coeficiente de anisotropia, resistência à tração paralela, módulo de elasticidade à tração paralela, teor de lignina insolúvel, solúvel e total. Entretanto os autores obtiveram correlações positivas e significativas das DRL com o desvio da grã (0,34), índice de rachamento de tábuas (0,68), massa específica básica (0,52) e seca (0,58), contração volumétrica (0,69), tangencial (0,46) e radial (0,71) e resistência ao fendilhamento (0,40).

No estudo de Trugilho et al. (2007), para os 11 clones de *Eucalyptus* de 6 anos de idade, também foi avaliado se existia a correlação das DRL com as características de crescimento e pode concluir que não houve uma correlação significativa desta deformação com o DAP e altura total.

Assim como no estudo de Lima et al. (2004), para os 5 clones de *Eucalyptus* spp. de diferentes idades, no qual analisando as correlações observaram que para cada material genético estudado não havia relação das DRL com as características de crescimento e propriedades da madeira estudadas. Entretanto, ao reunir os materiais genéticos

a correlação entre DRL e DAP, volume, fator estabilidade e massa específica básica passaram a existir (LIMA et al., 2004).

3.4 Formas de alívio das tensões de crescimento

Segundo Ratnasingam et al. (2009) o alívio das tensões existentes na madeira de seringueira é altamente recomendado afim de reduzir os defeitos, sejam estes ocasionados no desdobro ou na secagem, visando desta forma uma diminuição da perda de rendimento. Entretanto na literatura não há muitas informações a respeito para com esta espécie.

3.4.1 Anelamento de toras

O anelamento é utilizado com a intenção de minimizar as rachaduras de topo, assim, como também, as tensões existentes nas toras. Tal técnica é realizada pela motosserra, na árvore em pé ou após sua derrubada, promovendo cortes ao redor do tronco (ROZAS MELLADO, 1993; ROCHA, 2000; CALONEGO, 2004).

Segundo Kubler (1987), o anelamento pode ter o seu efeito mais pronunciado através do aumento da profundidade de corte com a motosserra. A profundidade do corte varia de $1/3$ a $1/2$ do raio e a medida que a profundidade de corte aumenta, a distância entre o anelamento e o topo da tora diminui (KUBLER, 1987).

Considerando-se que a distribuição das tensões longitudinais varia progressivamente de tração na periferia da árvore à compressão no centro da árvore, Sales (1986) concluiu que o nível zero de tensões estaria a uma distância correspondente a 70% do raio da tora a partir da medula. Sendo assim, a tensão seria reduzida com o anelamento da tora na profundidade de $1/3$ do raio (SALES, 1986).

Segundo Rozas Mellado (1993, p. 113), o tratamento de anelamento com motosserra em *Eucalyptus grandis* realizado a uma profundidade de aproximadamente $1/3$ do raio e a uma distância de 20 cm do topo, evitou a formação de rachaduras de topo, tanto durante a derrubada da árvore como na posterior confecção dos toretes. O autor concluiu também que o anelamento

com motosserra, 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, mostrando ter um efeito positivo sobre a liberação das tensões de crescimento.

Matos et al. (2003), estudando a redução do efeito das tensões de crescimento em *Eucalyptus dunnii* com 13 anos de idade, comentam que ao se utilizar o princípio de anelamento de toras, a liberação das tensões residuais após a derrubada da árvore é interrompida no local do anelamento, reduzindo a rachadura no topo da tora. Os autores ainda constataram um menor índice de defeitos das tábuas obtidas de toras com anelamento visto que os resultados médios obtidos para rachaduras, arqueamento e encurvamento foram na ordem de 5,6%, 0,38% e 4,35%. Sendo assim, Matos et al. (2003), puderam concluir que o anelamento é eficiente na redução dos defeitos associados às tensões de crescimento.

Segundo Watcharakuldilok e Vitayaudom (2008), para reduzir os defeitos, rachaduras e torções gerados pelas tensões de crescimento na madeira de *Hevea brasiliensis* também se deve empregar o anelamento.

3.4.2 Sistema de corte e desdobro da madeira

O aprimoramento de técnicas de desdobro, aliado ao uso adequado de técnicas de secagem da madeira, é de fundamental importância para a obtenção de um melhor rendimento das espécies de rápido crescimento e que possuem acentuados níveis de tensões de crescimento (ROCHA e TOMASELLI, 2002; CALONEGO, 2004, p. 18; CALONEGO e SEVERO, 2005, p. 433).

“As tensões de crescimento são uma das principais causas do baixo rendimento em madeira serrada dos eucaliptos, causando perdas de 50% no rendimento em madeira serrada” (SCANAVACA e GARCIA, 2003, p. 33). De acordo com uma pesquisa realizada nas serrarias na Malásia, Tailândia e Indonésia o rendimento obtido no desdobro para a madeira de seringueira é em torno de 27% sendo as tensões responsáveis por este baixo rendimento (RATNASINGAM e SCHOLZ, 2011). De acordo com Ye e Lu (2007) e Kainulainen (2007) a forma do tronco e o pequeno dimensionamento das toras, bem como a

tecnologia inadequada, contribuem para o baixo rendimento no processo de desdobro, podendo este variar de 15% a 45%, dependendo do país, o tipo de tecnologia utilizada e do produto final.

Os rendimentos de madeira serrada de seringueira são mais baixos na Índia, Malásia e Sri Lanka, com uma média de 25% porém, rendimentos mais altos podem ser encontrados na China com 45%, no Vietnã com 30% e na Tailândia com 40%, enquanto que na Indonésia tem-se o menor rendimento observado com 15% (KAINULAINEN, 2007).

Em estudos realizados por Scanavaca e Garcia (2003) com *Eucalyptus urophylla* aos 19 anos de idade, foram avaliados o rendimento em madeira serrada pela serra de fita simples e pelo método de desdobro tangencial. Os autores concluíram que o rendimento final médio (descontadas as perdas do desdobro e das tensões de crescimento longitudinal) foi de 42,53%.

Rocha e Tomaselli (2002), avaliando dois métodos de desdobro para toras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*, respectivamente com 12 e 16,5 anos de idade, com classes diamétricas de 19 a 24 cm e de 25 a 30 cm, observaram nas tábuas verdes uma maior incidência de arqueamento e encurvamento para o desdobro radial, com serra circular múltipla de um eixo, com valores na ordem de 90,57% e 68,05% e de 75,03% e 64,57% para as respectivas espécies. Para o desdobro tangencial, com serra circular múltipla de dois eixos, os autores notaram que as rachaduras e o encanoamento foram mais pronunciados com valores na ordem de 93,68% e sem efeito observado do encanoamento para a espécie de *Eucalyptus grandis* e de 84,22 % e 58,33% para a espécie de *Eucalyptus dunnii*. Os autores ainda concluíram que independente da espécie e do diâmetro das toras, o desdobro tangencial apresenta melhor resultado que o radial já que disponibiliza tábuas mais uniformes e com maiores larguras, espessuras e comprimento.

Ainda, de acordo com Rocha e Tomaselli (2002, p. 74), pela análise de variância do experimento para a condição verde, os fatores que influenciaram significativamente a intensidade do arqueamento nas peças foram a espécie, o sistema de desdobro e a interação espécie e sistema de desdobro. Para o encurvamento, com exceção do fator espécie e da interação espécie e classe diamétrica, os demais fatores foram significativos (ROCHA e TOMASELLI, 2002, p. 74). Os fatores que afetaram na maior ou menor ocorrência de

rachaduras nas tábuas, segundo os autores, foram o sistema de desdobro e a interação entre espécie e sistema de desdobro.

De acordo com Acosta (1999), em estudos para toras de *Eucalyptus grandis* com diâmetro médio entre 25 e 30 cm, as tensões de crescimento podem ser aliviadas pelo desdobro com serra de fita dupla, o qual realiza cortes simultâneos, de maneira a se retirar as costaneiras e obter um bloco central, com no mínimo 67% do diâmetro da tora, podendo ser este encaminhado as serras de fita simples ou serras circulares múltiplas.

Montagna et al. (1991), também estudando o efeito das tensões de crescimento da madeira em função do sistema de desdobro, verificaram em *Eucalyptus grandis* com 18 anos de idade e DAP de 23 cm, que tábuas provenientes de toras aneladas a 1/3 do raio e do desdobro com serra de fita geminada para obtenção do bloco apresentavam um índice de rachadura inferior quando comparado as tábuas obtidas pela serra de fita simples e pelo sistema de cortes paralelos.

No caso da seringueira, o padrão de corte utilizado para toras de pequenos diâmetros é o de serrar a tora ao meio para depois obter uma tábua por vez e para toras com diâmetros maiores primeiramente é obtido um semi-bloco para depois virar a tora a 90°C e começar a realizar os cortes laterais (KAINULAINEN, 2007). O terceiro corte utilizado é o de passar a tora na serra de maneira a tirar uma tábua para depois passar novamente a tora a fim de se obter mais uma tábua e, assim, sucessivamente (KAINULAINEN, 2007). No entanto, de acordo com Kainulainen (2007) e Ye e Lu (2007), quando a seringueira é serrada com serras de fita simples verticais, rendimentos em maior qualidade da madeira não podem ser esperados.

Ratnasingam e Scholz (2011), estudando a técnica de desdobro SDR (desdobro-secagem-dimensionamento) na madeira de seringueira, obtiveram um rendimento de 46%, sendo este superior às técnicas de cortes convencionais. Segundo os autores, as tábuas obtidas através da técnica de desdobro SDR apresentaram menor número de defeitos e uma maior qualidade devido aos cortes balanceados (equilibrados) e realizados na direção da grã da madeira, além disso, a secagem a alta temperatura posterior ao desdobro, reduz as deformações do material serrado.

Segundo Garcia (1995, p. 64), os cortes tangenciais sucessivos, efetuados em serras de corte único não são, do ponto de vista prático, indicados para

produção de madeira serrada de espécies que tenham relativamente altas deformações de crescimento. Isto porque após a retirada de cada tábua, o bloco remanescente se deforma por flexão, pela adaptação à nova distribuição nele residual, implicando na perda de uniformidade de espessura da próxima peça a ser serrada (GARCIA, 1995, p. 64). Segundo o autor, no caso de cortes duplos, quádruplos ou múltiplos como aqueles produzidos pela serra de quadro cheio é preciso preocupar-se com a espessura mínima admissível na prancha diametral, para que não ocorram as prejudiciais rachaduras de extremidades.

Segundo Wisuttitappakul (1999) citado por Watcharakuldilok e Vitayaudom (2008), a técnica de corte com equilíbrio, ou seja, com serra dupla, quádrupla, múltipla, visa liberar as tensões por igual no momento da obtenção das tábuas de seringueira.

3.4.3 Processo de aquecimento ou vaporização de toras

O aquecimento ou vaporização de toras ou de madeira serrada é uma técnica que pode ser utilizada para atender diversas finalidades, dentre as quais se destacam: a redução dos níveis de tensões de crescimento, uma melhor estabilidade dimensional da madeira, um aumento da permeabilidade da mesma, uma maior penetração de preservativos, alterações de cor, redução do teor de umidade inicial, redução no gradiente de umidade e aumento da taxa de secagem (SIMPSON, 1975; MACKAY, 1971; PERKING et al., 1959; WEIK et al., 1984; BARNES, 1986 citados por ROZA MELLADO, 1993; SEVERO E TOMASELLI, 2000; CALONEGO E SEVERO, 2004; 2006).

3.4.3.1 Determinação do tempo de vaporização das toras

Durante a vaporização de toras, o transporte de calor ocorre principalmente através da condução (CALONEGO e SEVERO, 2004, 2006, 2007). Portanto, o conhecimento das propriedades térmicas da madeira é de fundamental importância para se estimar o tempo de vaporização de toras (LANGRISH e WALKER, 1993 citado por

SANTINI, 1996). Segundo USDA (1999), as propriedades térmicas da madeira mais importantes são calor específico do material, condutividade térmica, difusividade térmica.

Entretanto, segundo Steinhagen et al. (1980), Rozas Mellado (1993), Severo (1998), Umaña e Brito (2003), Calonego (2004) o tempo necessário de permanência da tora no tanque de aquecimento também depende de vários fatores, tais como: espécie da madeira, diâmetro da tora, teor e gradiente de umidade, temperatura inicial, temperatura desejada, tipo de tanque de aquecimento e meio utilizado como aquecedor.

Para Kubler (1987) e Chafe (1979) há a possibilidade da liberação das tensões de crescimento pelo relaxamento das deformações por meio da aplicação simultânea de umidade e calor, promovendo assim uma nova acomodação das células ou de componentes das paredes celulares.

Ainda, segundo Kubler (1987), a madeira com a liberação das tensões continua com a deformação já admitida, mas essa deformação é transformada de elástica em plástica e, portanto, tal material não tem tendência a contrair, expandir, empenar ou rachar.

Segundo Klock et al. (2005), a lignina é um polímero amorfo responsável por aumentar a rigidez da parede celular, unir as células umas as outras e reduzir a permeabilidade da parede celular à água. Quando a lignina é “plasticizada” (transição vítrea) com umidade e calor ocorre a liberação das tensões internas da madeira (Klock et al., 2005).

Para Lenth e Haslett (2003) a vaporização é desejada para que ocorra a “plasticização” da lignina abaixo de sua temperatura de transição vítrea, significando desta forma um alívio que facilita o relaxamento do estresse interno através da reorganização molecular e microestrutural.

Ou seja, a transição vítrea é essencialmente cinética, correspondendo a modificações do grau de liberdade nos movimentos das cadeias macromoleculares nas partes amorfas dos polímeros (QUIRINO e VALE, 2002). Isto significa dizer que, antes dos polímeros se degradarem pela ação da temperatura, eles passam por uma fase plástica, denominada fase viscoelástica (QUIRINO e VALE, 2002).

Segundo Figueroa e Moraes (2009) a transição vítrea é a passagem de um estado desordenado rígido (vítreo) do polímero para um estado desordenado maior, no qual as cadeias poliméricas possuem uma maior mobilidade. Essa mobilidade, no caso de

algumas classes de polímeros naturais como as hemiceluloses, a celulose e a lignina, dá origem a um comportamento menos rígido (FIGUEROA e MORAES, 2009).

A lignina e as hemiceluloses são polímeros amorfos e essencialmente termoplásticos para os quais o principal ponto de plasticização é aquele da transição vítrea (FIGUEROA e MORAES, 2009). Segundo Quirino e Vale (2002), Lenth e Haslett (2003), Klock et al. (2005) e Figueroa e Moraes (2009) as transições vítreas da madeira dependem da temperatura; do teor de umidade, já que a temperatura de transição vítrea da lignina decresce com o aumento do teor de umidade; do peso molecular do polímero, pois quanto maior for este maior será a temperatura de transição vítrea; da natureza do material, ou seja, se ele está em sua forma isolada ou se está na forma de madeira, na forma cristalina ou amorfa.

Vários autores relatam que as temperaturas de transição vítrea dos componentes químicos da madeira diferem (IRVINE, 1984; HILLIS e ROZSA, 1985; KELLEY et al., 1987; CHAN et al., 1989; FURUTA et al., 1997; USDA, 1999; LENTH e KAMK, 2001; NAKANO, 2006; FIGUEROA e MORAES, 2009). E, além disso, as temperaturas de transição vítrea são citadas pelos autores em várias condições.

Segundo Figueroa e Moraes (2009), a transição vítrea dos polímeros, quando em estado seco, ocorre em uma alta temperatura, ocasionando a degradação dos mesmos. As temperaturas de transição vítrea da celulose, hemiceluloses e lignina de madeira seca estão nas classes de 200°C a 250°C, 150°C a 220°C e superior a 205°C, respectivamente (FIGUEROA e MORAES, 2009). Segundo USDA (1999) a temperatura de transição vítrea da lignina é de cerca de 170°C.

Para a madeira acima do ponto de saturação das fibras, a temperatura de transição vítrea é de 40°C para as hemiceluloses, 50°C a 100°C para a lignina e acima de 100°C para a celulose (FURUTA et al., 1997), e cerca de 60°C a 70°C para a lignina na madeira (KELLEY et al., 1987). Segundo Hillis e Rozsa (1985), as temperaturas de transição vítrea para as hemiceluloses e para a lignina são de 80°C e 100°C, respectivamente. Segundo Irvine (1984) a temperatura de transição vítrea da lignina, acima do ponto de saturação das fibras, ocorre em zona compreendida entre 60°C e 90°C.

A temperatura de transição vítrea da madeira é a mesma que da lignina, na qual é encontrada entre 60°C e 200°C, e a diminuição do teor de umidade de

madeira aumenta a temperatura de transição vítrea (LENTH e KAMK, 2001). Em geral, para madeira verde, a transição de vítrea da lignina é de cerca de 60°C (NAKANO, 2006).

Segundo Chan et al. (1989), para a madeira de *Hevea brasiliensis*, a temperatura de transição vítrea da lignina nas condições seca e a 14,5% de umidade são de 128°C e 77°C, respectivamente. Para as hemiceluloses, nas mesmas condições, os valores encontram-se na ordem de 93°C e 64°C (CHAN et al., 1989).

Segundo Irvine (1994), para as espécies de *Eucalyptus regnans*, *Eucalyptus marginata* e *Eucalyptus tetrodonta* as temperaturas de transição vítrea da lignina, acima do ponto de saturação das fibras, apresentam valores na ordem de 62-87°C, 68-90°C e 66-90°C.

Para a madeira da espécie *Couratari guianensis*, com umidade acima do ponto de saturação da fibra, a temperatura de transição de vítrea está em torno de 95°C (ROMEIRO DE AGUIAR e PERRÉ, 2005). Para madeira de *Eucalyptus grandis*, com a umidade também acima do ponto de saturação das fibras, a temperatura de transição vítrea é cerca de 82°C (QUIRINO e VALE, 2002).

Assim Steinhagen et al. (1980) procuraram desenvolver uma técnica que permitisse obter o tempo adequado para que a temperatura determinada chegasse no centro das toras. Entretanto, Steinhagen et al. (1987) através do programa de computador LOG-HEAT conseguiram tornar mais prático a determinação deste tempo.

Porém, Calonego e Severo (2006) concluíram que para a espécie *Eucalyptus grandis* o tempo de vaporização real é sempre superior aquele obtido por Steinhagen et al. (1980) e que, portanto, é necessária a adoção de fatores de correções para a utilização do modelo de determinação do tempo de vaporização de tora.

Contudo, Lutz (1978) afirma que há uma relação entre a massa específica da madeira de algumas folhosas e a temperatura de vaporização apropriada para sua laminação. Segundo o autor para 0,45 g/cm³, 0,50 g/cm³, 0,55 g/cm³, 0,60 g/cm³ as temperaturas de vaporização são na ordem de 48°C, 60°C, 70°C, 85°C (Figura 3).

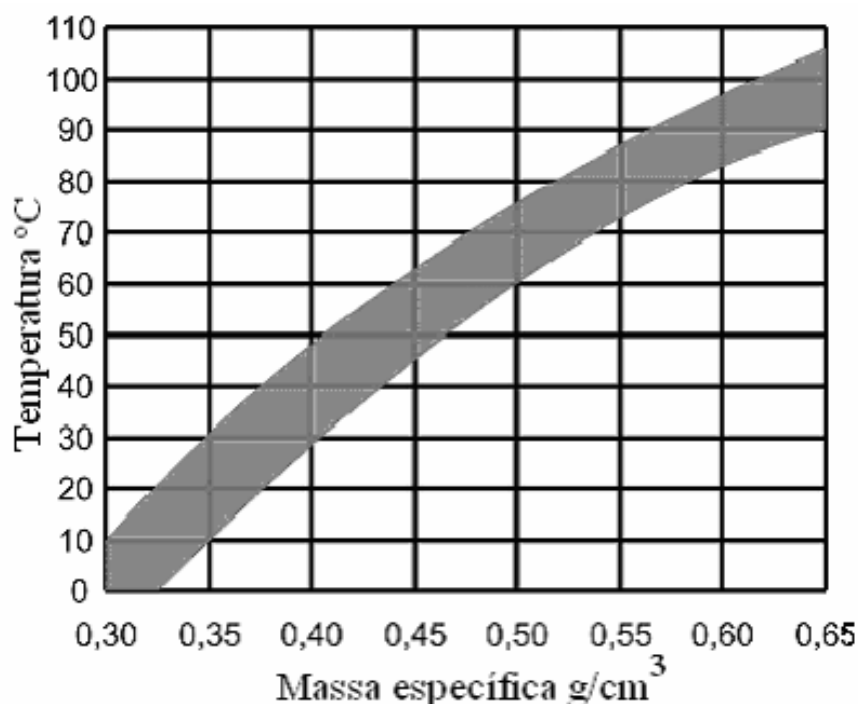


Figura 3. Classes de temperaturas favoráveis para laminação de madeiras (folhosas) com base na massa específica básica, adaptado de Lutz (1974).

Assim Rozas Mellado (1993), Tejada et al. (1997) e Severo (1998) e Calonego (2004) salientaram a necessidade da realização de estudos específicos sobre o efeito da temperatura e o tempo de aquecimento mais apropriado para cada espécie.

3.4.3.2 Efeito da vaporização de toras no alívio das tensões de crescimento

Tejada et al. (1997) verificaram que ao aplicar vapor a 80°C (fumaça quente – fumeação) por 70 horas nas espécies *Larix leptolepis* Gord., *Cryptomeria japonica* D. Don, *Abies sachalinensis* Fr. Schm., *Quercus mongólica* Fisch e *Fraxinus mandshurica* Rupr, há uma liberação das tensões de crescimento (Figura 4). Os mesmos autores afirmam que esse tratamento pode reduzir até cerca de 100% das tensões de crescimento sem afetar as propriedades mecânicas, promovendo também estabilidade dimensional.

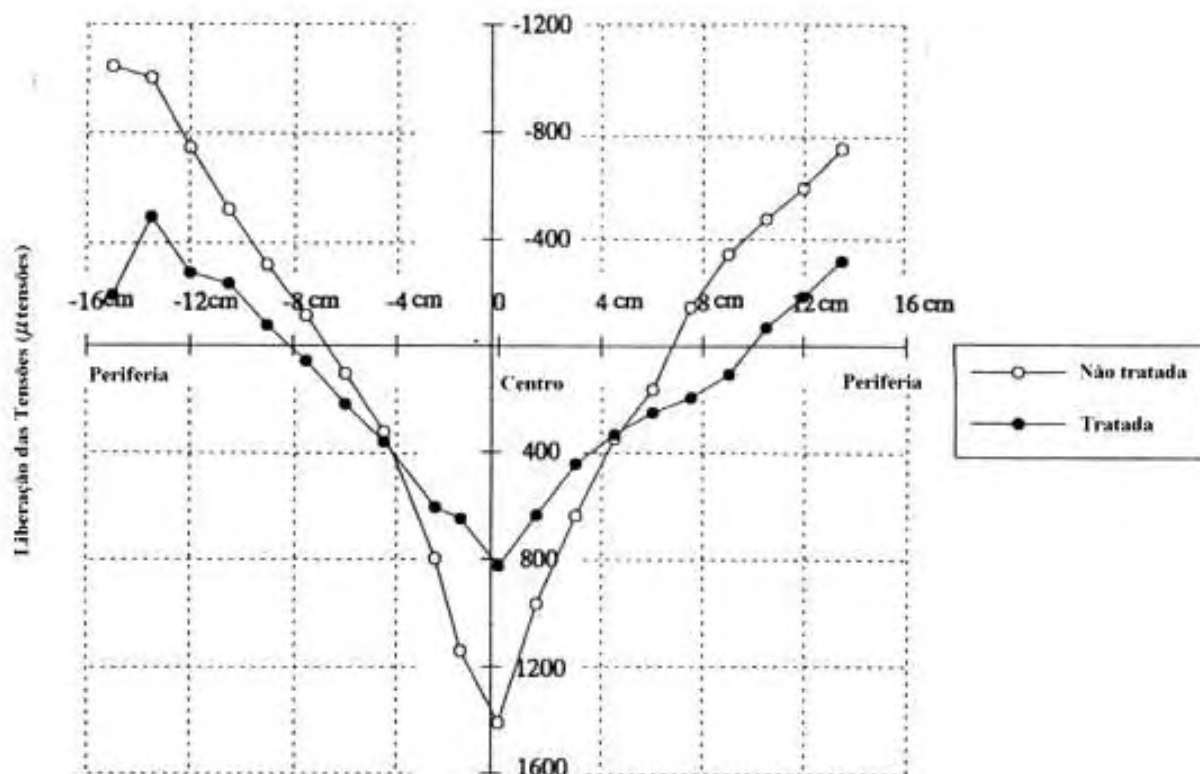


Figura 4. Exemplo de liberação da distribuição das tensões no diâmetro de toras de *Cryptomeria japonica* D. Don (TEJADA et al., 1997).

Severo (1998, p. 156), em estudos com a madeira de *Eucalyptus dunnii* também concluiu que “a vaporização das toras por um período de 20 horas, apesar de não eliminar por completo as tensões de crescimento, proporcionou uma redução significativa das mesmas”.

Kikata (1995), segundo Severo e Tomaselli (2000), demonstrou que a aplicação de vapor saturado nas temperaturas de 90°C, 110°C e 140°C durante 3 h em toras verdes de *Eucalyptus rubida* reduziu as tensões de crescimento de forma crescente com a temperatura empregada.

Severo e Tomaselli (2000, p. 31) concluíram que a vaporização de toras a 100°C de temperatura durante 20 horas reduziu significativamente as tensões de crescimento em relação “[...] a abertura das tábuas em relação à tora, o comprimento das rachaduras e a largura das rachaduras em 49%, 48% e 51%, respectivamente, para a

procedência Urbenville, e 33%, 39% e 54%, respectivamente, para a procedência Dorrigo de *Eucalyptus dunnii*".

Rozas Mellado (1993), estudando o tratamento de vaporização de toras de *Eucalyptus grandis*, previamente aneladas, concluiu que houve liberação das tensões de crescimento. O autor utilizando um tempo de vaporização de 18 e 36 horas e uma temperatura de 90°C para toras com diâmetro entre 15 e 20 cm e obteve melhoras na qualidade da madeira serrada como a diminuição da abertura, das rachaduras e empenamentos das tábuas durante o desdobro de *Eucalyptus grandis*. O autor concluiu ainda que para ambos os tempos de vaporização aplicados não houve uma diferença significativa com relação a redução dos defeitos no desdobro. Sendo assim, o autor recomenda a utilização do menor tempo de vaporização possível com intuito de ter uma diminuição dos custos.

Calonego e Severo (2005) também recomendam a vaporização de toras em *Eucalyptus grandis* para a redução dos defeitos associados às tensões de crescimento. À 90°C de temperatura e 100% de umidade relativa durante 20 horas, os autores observaram para todas as classes de diâmetros das toras uma redução de 18,9% de abertura das tábuas, de 36,4% de comprimento e de 49,7% de largura de rachaduras de topo.

Severo et al. (2010), estudando o efeito vaporização por 20 horas com uma temperatura de 90°C e uma umidade relativa de 100% em *Eucalyptus grandis* com 30 anos de idade, obtiveram um alívio das tensões de crescimento responsáveis pelos defeitos na madeira. Os autores avaliaram toras com o diâmetro de 20-25 cm, 25-30 cm e 30-35 cm e notaram que houve uma redução no comprimento das rachaduras para as respectivas classes de diâmetro na ordem de 31,8-46,6%, 27,4-40,6% e 15,2-34,5%, assim como também na largura das mesmas com os valores de 48,8-49,6%, 40,8-65,2% e 29,3-54,7%, respectivamente. Severo et al. (2010) concluíram que as toras com maiores diâmetros e as tábuas localizadas mais próximas da medula apresentavam um maior número de rachaduras.

3.5 Madeira de reação na *Hevea brasiliensis*

As árvores durante o seu desenvolvimento apresentam um crescimento vertical, porém se este ambiente é perturbado por forças mecânicas externas, tais como ventos fortes, crescimento geotrópico, terreno declivoso e seu próprio peso, a árvore tende a

apresentar como resposta a estas forças o desenvolvimento da madeira de reação (BAMBER, 2001; MATHEW, 2003; PILATE et al., 2004; RODRIGUES, 2007).

Diante das forças externas e as tensões causadas nas árvores, o câmbio responde a distribuição destas tensões de forma assimétrica na região inclinada do fuste e com formação acelerada das células (BAMBER, 2001; PILATE et al., 2004). Segundo Vijendra Rao et al. (1983), Bamber (2001) e Pilate et al. (2004), no caso das coníferas, isto ocorre no lado abaixo do inclinação do fuste. Já para as folhosas, segundo os mesmos autores, tal efeito ocorre no outro lado, acima do inclinação do fuste (Figura 5). As células formadas na madeira de reação apresentam um baixo teor de lignina, o que contribui com uma maior elasticidade do fuste para que este se mantenha em equilíbrio (ZOBEL e BUIJTENEN, 1989; LIM e ANI SULAIMAN, 1999; BAMBER, 2001; MATHEW, 2003; KLOCK et al., 2005). Esta elasticidade pode ser na forma de compressão de maneira a empurrar o fuste verticalmente ou por um esforço de tração a fim de puxar o fuste para cima (BAMBER, 2001).

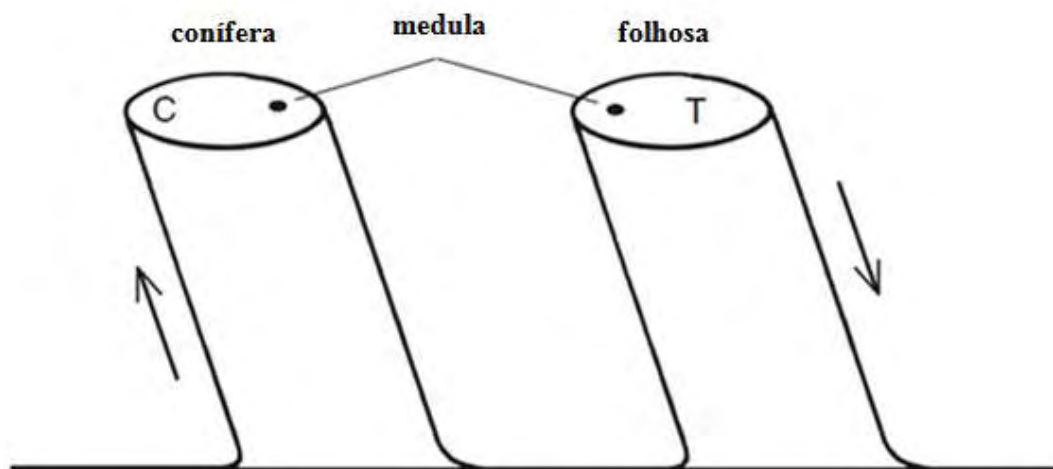


Figura 5. Inclinação do fuste mostrando a direção do crescimento induzido por forças externas a fim de manter o equilíbrio da árvore. C = madeira de compressão e T = madeira de tração, segundo Bamber (2001).

Segundo Okuyama et al. (1994), Bamber (2001), Mathew (2003) e Pilate et al. (2004), para as folhosas a madeira de reação desenvolvida é a de tração enquanto que nas coníferas é a de compressão. Na seringueira, é desenvolvida a madeira de tração e esta é um fenômeno muito comum para tal espécie, que é principalmente susceptível a força do

vento (PANIKKAR, 1971; VIJENDRA RAO et al., 1983; LIM e ANI SULAIMAN, 1999; LIM et al., 2003; MATHEW, 2003).

A madeira de tração apresenta algumas características que a diferenciam de uma madeira normal. Com relação às características físicas macroscópicas e as propriedades mecânicas tem-se: a excentricidade da seção transversal do caule; quando a madeira é serrada e aplainada observa-se um brilho prateado em muitas espécies na zona do lenho de tração e uma cor mais escura do que o normal em certas espécies tropicais e australianas; contração longitudinal próximo de 1% em tábuas serradas verdes; alta resistência à tração no estado seco, e mais baixo do que o normal no estado verde. Em se tratando das características anatômicas, há a ocorrência de: fibras gelatinosas, embora possam estar ausentes em algumas espécies; vasos reduzidos em tamanho e número nas zonas do lenho de tensão; raio e parênquima axial aparentemente não modificado. Quanto à composição química observa-se que: há uma lignificação variável das fibras do lenho de tração; a camada gelatinosa (G) apresenta-se com um alto conteúdo de celulose e um baixo conteúdo de lignina; há uma maior quantidade de galactanas e uma menor quantidade de xilanas do que o normal (ZOBEL e BUIJTENEN, 1989; LIM e ANI SULAIMAN, 1999; MATHEW, 2003; PILATE et al., 2004; KLOCK et al., 2005).

Na seringueira a madeira de tração está muito associada à excentricidade da medula (LIN e ANI SULAIMAN, 1999; LIM et al., 2003; MATHEW, 2003). Geralmente, a medula excêntrica apresenta a madeira de tração na parte mais larga da secção transversal da tora. No entanto, na Malásia e na Índia foram feitas observações em algumas toras de seringueira que indicaram que madeira de tração pode ocorrer tanto de forma concêntrica como crescente distribuído aleatoriamente nas regiões em toda a secção transversal do tronco (PANIKKAR, 1971; LIN e ANI SULAIMAN, 1999; LIM et al., 2003).

Outra característica marcante na seringueira com relação à madeira de tração é a presença da fibra gelatinosa que tem sua distribuição muito variada, podendo esta ser encontrada em faixas (contínuas ou descontínuas) ou de forma isolada. Mathew (2003), analisando discos de árvores maduras de *Hevea brasiliensis*, encontrou para o clone GT 1 faixas de fibras gelatinosas na região central e na periferia, além de alguns grupos distintos entre as fibras normais. Já para o RRIM 600, o autor observou faixas largas na periferia e no meio da porção do disco, especialmente na região de maior excentricidade do disco. E, para o

clone RRII 015, as faixas encontradas eram estreitas e concentradas principalmente na periferia e na região da medula (MATHEW, 2003).

Panikkar (1971), estudando também a distribuição das fibras gelatinosas nos discos de *Hevea brasiliensis*, observou que para o clone Tjir 1 com um ano de idade as larguras das faixas de fibras gelatinosas não eram uniformes e, em alguns casos, estavam em forma crescente, podendo estas, ainda, ocorrer de forma contínua e descontínua ao longo da circunferência do disco. Para árvores maduras, os clones Tjir 1, G1 1 e RRIM 501 apresentaram faixas de fibras gelatinosas em maior proporção no lado mais excêntrico do disco, com poucas fibras gelatinosas do outro lado do mesmo, ocorrendo também de forma contínua e descontínua ao longo da circunferência do disco.

A ocorrência de madeira de tração na seringueira ocasiona muitos problemas que dificultam a sua utilização. Os principais problemas segundo Lin e Ani Sulaiman (1999), Lim et al. (2003) e Mathew (2003) são: as serras e as ferramentas de corte que ficam facilmente desgastadas; durante o corte há ocorrência de uma superfície áspera devido as fibras serem desfibradas; há empenamentos ocasionados pelo encolhimento longitudinal elevado durante a secagem.

Lim e Ani Sulaiman (1999) e Mathew (2003) comentam que a proporção de madeira de tração em *Hevea* pode variar entre árvores, de clone para clone e até mesmo dentro da árvore ao longo do comprimento do seu tronco. De acordo com Sharma e Kukreti (1981), esta variação da madeira de tração na *Hevea* é 15 - 65%.

Panikkar (1971) observou a presença de madeira de tração em mudas com um ano de idade para o clone de *Hevea brasiliensis* Tjir 1 e em galhos maduros para os clones de *Hevea brasiliensis* Tjir 1, G1 e RRIM 501.

Segundo Mathew (2003), para os 4 clones de árvores adultas de *Hevea brasiliensis* estudados, as proporções de madeira de tração encontradas foram de 28,31% para RRII 105, de 26,49% para RRIM 600, de 18,79% para Tjir 1 e de 16,75% para GT 1. O mesmo autor observou que há um aumento crescente da proporção de madeira de tração no sentido base-meio-topo (60 cm – 210 cm – 300 cm), entretanto esta diferença não foi significativa para os clones Tjir 1, GT 1 e RRII 105 ao contrário do clone RRIM 600 que houve uma significância ao nível de 5%.

Mathew (2003) estudou ainda 10 clones de árvores não maduras de *Hevea brasiliensis* e obteve para Tjir 1, RRIM 703, PB 5/51, RRIM 623, GT 1, RRIM 600, PB 217, PB 235, RRII 105 e Gl 1 as seguintes proporções de madeira de tração: 49,97%, 37,59%, 34,91%, 34,71%, 30,28%, 28,98%, 25,14%, 18,82%, 18,28% e 14,32%, respectivamente.

Ratnasingam et al. (2009) também observou a presença da madeira de tração na madeira de *Hevea brasiliensis* tanto em árvores com 3 anos como com 25 anos de idade. Segundo os autores a proporção deste tipo de lenho para árvores com 3, 15, 17, 19, 21 e 25 anos de idade foram na ordem de 18%, 22%, 22%, 21%, 19% e 17%.

Segundo Vijendra Rao et al. (1983) a proporção de madeira tração para a *Hevea brasiliensis* varia com os diferentes níveis de alturas da árvore assim como entre elas, dependendo da influência dos fatores do meio ambiente em que se desenvolvem. Os mesmos autores, estudando árvores de seringueira de 25-30 anos de idade, comentam que de uma tora obtiveram 6 e 7 tábuas da parte superior ao inclinação da tora com 38% e 17% de madeira de tração, respectivamente; de outra três toras obtiveram 2 tábuas na parte superior e 2 tábuas na parte inferior ao inclinação da tora com 15% e 18% de madeira de tração, respectivamente; de mais quatro toras obtiveram ainda 7 tábuas laterais superiores e 7 tábuas laterais inferiores, referente também ao inclinação da tora, com 48% e 68% de madeira de tração, respectivamente.

Segundo Lim e Ani Sulaiman (1994, 1999), em estudos realizados e não publicados em 1992, o clone de *Hevea* PB 260 apresentou um aumento na porcentagem de madeira de tração com a altura da árvore enquanto que para o clone RRIM 600 ocorreu o inverso (LIM e ANI SULAIMAN, 1999). A porcentagem de madeira de tração para o clone PB 260 encontrada pelos autores, na seqüência base-meio-topo, para árvores com 3, 8 e 14 anos de idade foram na ordem de 35%, 40% e 57%, de 27%, 29% e 37% e de 49%, 36% e 52%, respectivamente. Já, para o clone RRIM 600, os autores encontraram valores na seqüência base-meio-topo, para árvores com 8, 24 e 29 anos de idade, na ordem de 42%, 33% e 25%, de 39%, 29% e 25% e de 25%, 30% e 30%.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A coleta do material foi realizada na Fazenda Água Milagrosa em Tabapuã - São Paulo, conforme ilustrado na Figura 6. A área de estudo possui 9,93 ha e um espaçamento inicial de 7x2 m.

A altitude do local varia de 450 a 560 metros e sua localização geográfica é definida pelas seguintes coordenadas: Latitudes 20°45' – 20°50' e Longitudes 49°00' - 49°10' WGr.

A área de estudo apresenta um solo podzólico vermelho amarelo, argila de atividade baixa, textura arenosa média e com relevo suave ondulado; um clima tropical (Aw - classificação Köppen-Geider), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, uma precipitação média anual de 1420 mm e uma temperatura média anual de 23,7°C.



Figura 6. Localização da cidade de Tabapuã.

4.2 Espécie utilizada

Foram utilizadas 18 árvores de pé franco de *Hevea brasiliensis* com 53 anos de idade e com diâmetros de aproximadamente 45cm (Figura 7).

As árvores foram amostradas com base na classe de DAP de 45-50 cm e no fuste com no mínimo 6 m de comprimento.

Além disso, para a seleção das árvores foram adotados alguns critérios como base: fuste o mais cilíndrico e reto possível, presença de bifurcação acima apenas de 6 m, ausência de doenças ou pragas e, ainda, árvores da bordadura desconsideradas.



Figura 7. Árvores de seringueira da Fazenda Água Milagrosa.

4.3 Avaliação das características de crescimento

Foram avaliadas características de crescimento como o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP) e a altura total (h) para as 18 árvores.

O DAP foi mensurado por meio de uma fita diamétrica, em centímetros e a altura total foi obtida com auxílio de um clinômetro, em metros, ambos com as árvores em pé.

4.4 Verificação dos níveis de tensões de crescimento do fuste de *Hevea brasiliensis*

Foram realizadas as medições dos níveis de tensões de crescimento do fuste nas 18 árvores através do extensômetro CIRAD-Forêt (Figura 8).

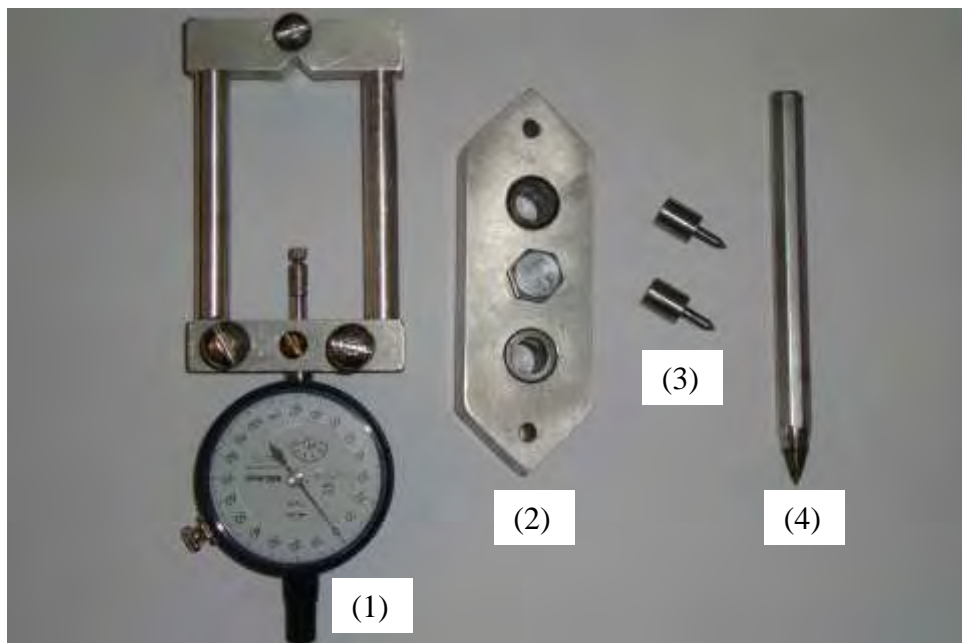


Figura 8. Extensômetro CIRAD-Forêt: (1) extensômetro; (2) gabarito; (3) pinos de fixação; (4) prolongador para os pinos.

Inicialmente, foram realizadas aberturas de painel na árvore em pé, na altura do peito e em quatro pontos (noroeste, sudoeste, sudeste e nordeste) ao redor do tronco, em função do sentido do vento predominante, a fim de se obter quatro leituras pelo aparelho. As aberturas dos painéis consistiram apenas na retirada da casca através do uso de formão e martelo. As aberturas realizadas foram de um tamanho suficiente para que o extensômetro pudesse ser fixado.

Em seguida, houve a fixação do extensômetro por dois pinos de fixação metálicos cravados nas aberturas de painel, na direção da grã e a uma distância de 45 mm entre eles, com auxílio de um gabarito para estabelecer a distância determinada entre eles e de um martelo e um prolongador para fixar os pinos na madeira.

Após a fixação do extensômetro, iniciou-se a perfuração na madeira com o auxílio de um arco de pua com broca de 20 mm, como pode se observar na Figura 9. A perfuração na madeira, realizada entre os dois pinos metálicos, foi a uma profundidade

suficiente para que fosse mantida a estabilização da leitura do relógio do extensômetro, a qual equivale à 2,5 cm.

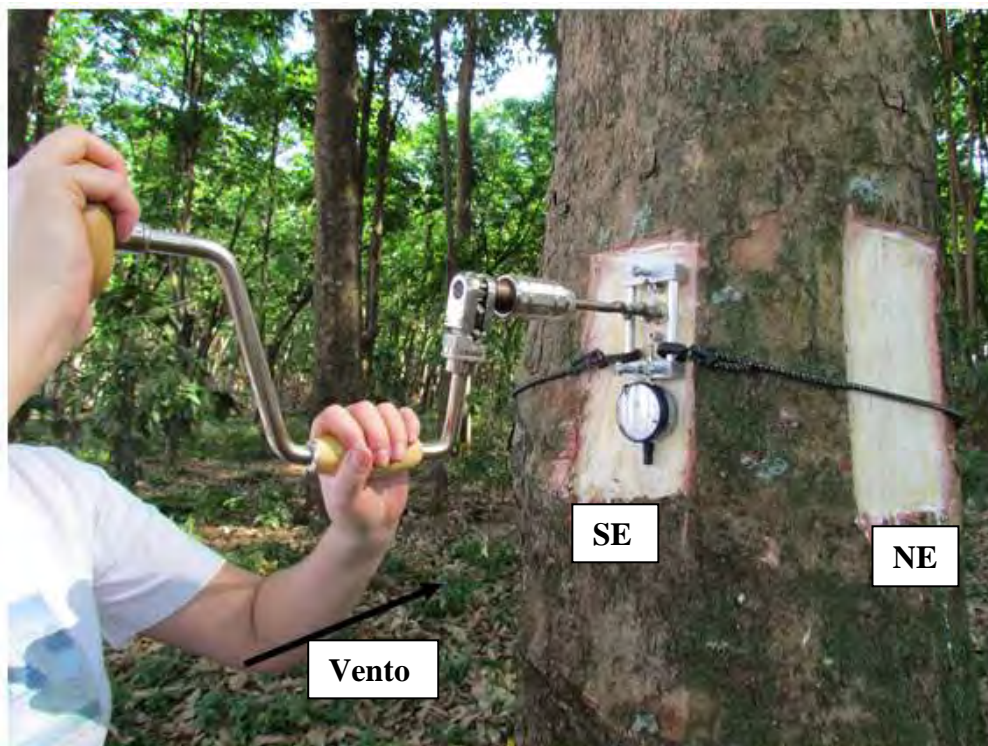


Figura 9. Instalação e verificação dos níveis de tensões de crescimento pelo extensômetro CIRAD-Forêt.

4.5 Derrubada das árvores, coleta e preparo da madeira

A coleta do material de *Hevea brasiliensis* consistiu no abate das 18 árvores com o auxílio de uma motosserra. As toras obtidas, com 6 m de comprimento, foram então subdivididas de maneira a se ter 36 toras de 3 m de comprimento, onde 18 foram vaporizadas e 18 mantidas como controle. A subdivisão em toras controle e vaporizadas, com relação à base e topo da tora, ocorreu de forma aleatória.

No momento do traçamento das toras para cada tratamento, foi realizado o anelamento a uma profundidade de um terço do raio e a uma distância de 10 cm de cada extremo da tora, conforme proposto por Sales (1986), Kubler (1987) e Rozas Mellado (1993). Esse procedimento pode ser melhor observado no esquema simplificado da Figura 10.

Em seguida, por se tratar de uma madeira muito susceptível a fungos e insetos, houve a aplicação do produto preservante à base de quelato de cobre carbamato para evitar a contaminação das toras pelos respectivos agentes xilófagos.

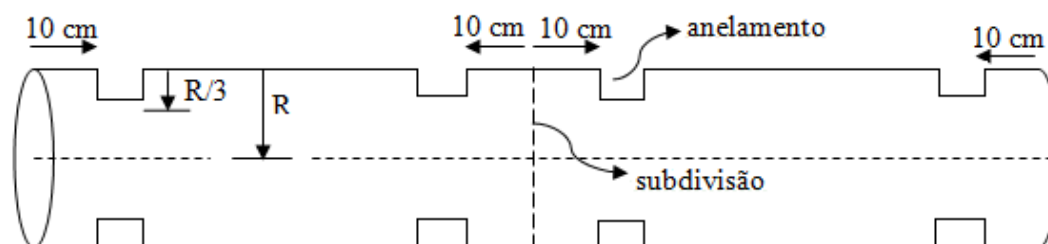


Figura 10. Esquema de subdivisão e de anelamento das toras com motosserra.

4.6 Determinação do teor de umidade e da massa específica da madeira

Para a determinação do teor de umidade e massa específica foram retirados discos de 3cm de espessura, sendo o primeiro localizado na base da árvore, o segundo na subdivisão entre tora controle e vaporizada e o terceiro no topo. A Figura 11 é um esquema simplificado da coleta dos discos numa árvore.

Todo o material foi identificado por lápis cópia e os discos armazenados em sacos plásticos a fim de evitar a perda de umidade. Tanto o ensaio de determinação de massa específica básica quanto o de umidade das toras foram realizados em todos os discos.

Para a verificação dessas variáveis utilizou-se uma balança de precisão de 0,1g e uma estufa com regulagem de temperatura à $103\pm 2^{\circ}\text{C}$.

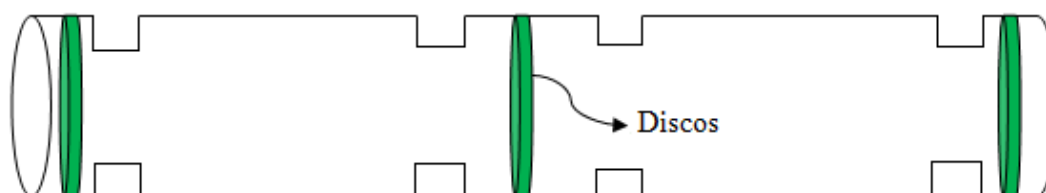


Figura 11. Esquema simplificado da coleta dos discos.

A massa específica básica foi determinada pelo método de balança hidrostática através da equação (1):

$$\rho b = \frac{M_s}{V_u} \quad (1)$$

sendo:

ρb = massa específica básica, g/cm³;

M_s = massa seca em estufa a 103±2°C até massa constante, g;

V_u = volume saturado, cm³.

O teor de umidade inicial com base em massa seca foi determinado pelo método da estufa e através do uso da equação (2):

$$U_{bs} \% = \frac{Mu - Ms}{Ms} * 100 \quad (2)$$

sendo:

$U_{bs} \%$ = teor de umidade da madeira com base em massa seca, %;

Mu = massa úmida, g;

M_s = massa seca em estufa a 103±2°C até massa constante, g.

4.7 Processo de vaporização de toras de *Hevea brasiliensis*

Das 36 toras, metade foi submetida à vaporização enquanto que a outra metade foi mantida em seu estado original. As toras submetidas ao tratamento de vaporização foram primeiramente descascadas com o auxílio de martelo e formão como pode ser observado na Figura 12. A casca é considerada um material isolante, sendo assim, o descascamento foi realizado com intuito de facilitar a transferência de calor pela tora durante o tratamento térmico.



Figura 12. Toras de *Hevea brasiliensis* após a remoção da casca.

Em seguida, nas toras foram instalados termopares conforme a metodologia desenvolvida por Calonego (2004) e Calonego e Severo (2006), de modo a monitorar as temperaturas por um datalogger durante todo o tratamento de vaporização. Os termopares tipo “T”, que suportam uma temperatura de -270 a 400°C , foram construídos através da união dos termoelementos cobre e constantan (liga de níquel, cobre e manganês), os quais apresentam polaridade positiva e negativa respectivamente, através de um equipamento de solda elétrico.

Após a construção dos termopares, estes foram submetidos a teste de 0°C e 100°C que representam os pontos de gelo fundente e água em ebulição, respectivamente. Os valores obtidos foram em média $-0,2^{\circ}\text{C}$ e 96°C para o ponto de gelo fundente e água em ebulição, respectivamente.

Cada tora, desta forma, recebeu um termopar e para tanto, foram realizados furos com bitolas escalonadas devido à utilização de brocas com dimensões específicas, o que proporcionou a colocação do termopar no centro de cada tora e facilitou o manuseio do sensor de temperatura e dos isolantes térmicos. O esquema simplificado do termo-sensor inserido na tora é mostrado na Figura 13.

Depois da acomodação dos termopares, os orifícios foram vedados com camadas de: serragem, retirada do próprio furo no momento da furação; silicone, material resistente à temperaturas e umidades elevadas; resina durepox, material isolante térmico; e uma película de silicone, resistente à umidade, temperatura e possíveis choques mecânicos.

Cada material isolante foi aplicado durante um intervalo de no mínimo 24 horas, garantindo, dessa maneira, a perfeita fixação dos isolantes na madeira.

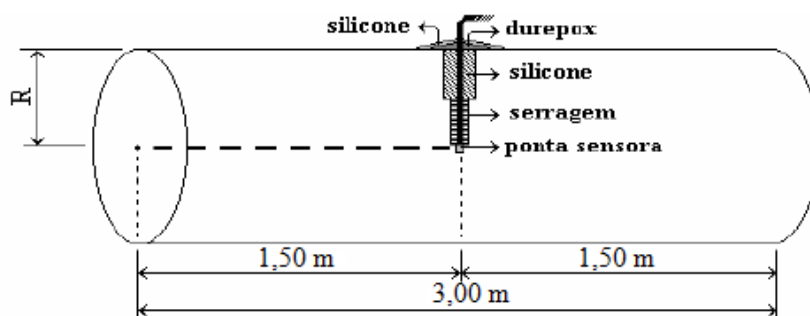


Figura 13. Esquema de acomodação do termopar no centro da tora conforme metodologia proposta por Calonego (2004), Calonego e Severo (2005) e Calonego et al. (2010).

O comportamento da temperatura nas toras, assim como a temperatura ambiente do meio vaporizador, foram verificados e monitorados pelos termopares acoplados em uma base coletora de dados (Field Logger V1.42.), como mostrado na Figura 14.



Figura 14. “Datalogger” acoplado aos termopares inseridos nas toras de *Hevea brasiliensis*.

Posteriormente, as toras foram encaminhadas a uma estufa de secagem convencional do Laboratório de Secagem e Preservação de Madeiras – FCA/UNESP, como pode ser visualizado na Figura 15, a qual possui uma caldeira com a capacidade de fornecer vapor com 8kgf/cm^2 de pressão, atuando desta forma como um tanque vaporizador de toras.

E, assim, iniciou-se o processo de vaporização por 36 horas, de acordo com o teste piloto (APÊNDICE 2), com temperatura ambiente (vapor) de $54,4\pm 4,1^\circ\text{C}$, $74,5\pm 3,9^\circ\text{C}$ e $91,8\pm 3,0^\circ\text{C}$ e com umidade relativa de 100%. No tratamento foram realizadas um total de 3 cargas, com 6 toras em cada uma.



Figura 15. Vaporização de toras.

4.8 Desdobro de toras de *Hevea brasiliensis*

Posteriormente, todas as 36 toras, controle e vaporizadas, foram desdobradas em tábuas no Horto Florestal de Manduri – SP. O desdobro consistiu em cortes tangenciais através de serra de fita dupla. Entretanto, para a retirada das tábuas mais próxima a tábua central foi necessário o uso da serra de fita simples. As tábuas obtidas apresentaram uma espessura final de 28 mm. O método de desdobro adotado, conforme ilustrado na Figura 16, foi utilizado para todas as toras e com a finalidade se ter um maior número de tábuas possível.

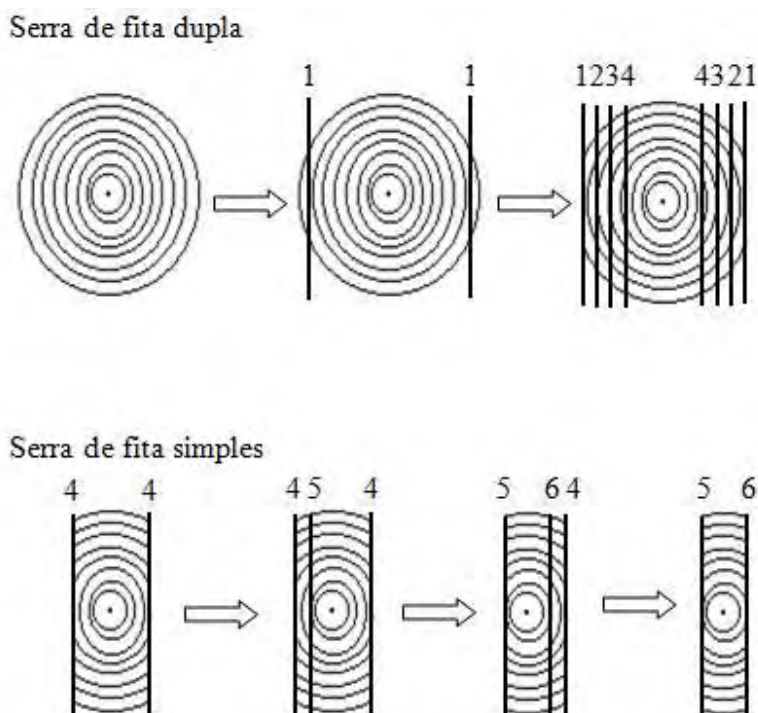


Figura 16. Esquema de desdobro realizado pela serra de fita dupla e simples.

A serra de fita dupla utilizada apresenta o diâmetro e a largura dos volantes de 1,10 m e de 11,5 cm; a dimensão da polia do motor e do volante de 27 cm e de 38 cm; o RPM e a potência do motor de 1170 rpm e de 22 Kw = 29,9 Hp; a altura de corte máximo da serra de 35,36 cm; a espessura e a largura da lâmina da serra de 1,3 mm e de 3,2 mm.

A serra de fita simples empregada apresenta o diâmetro e a largura dos volantes de 1,10 m e de 11,5 cm; a dimensão da polia do motor e do volante de 27 cm e de 38 cm; o RPM e a potência do motor de 1175 rpm e de 18,5 Kw = 25,15 Hp; a espessura e a largura da lâmina da serra de 1,2 mm e de 3,2 mm.

Após a obtenção de todas as tábuas, um novo tratamento de preservação foi aplicado, através da imersão das tábuas em um recipiente, por alguns minutos, com o produto preservativo de princípio ativo a base de tribromofenol. Tal procedimento pode ser visualizado na Figura 17.



Figura 17. Tratamento de imersão das tábuas em produto preservativo.

4.9 Avaliação das tensões de crescimento no desdobro

Para a avaliação das tensões de crescimento foi considerada a forma como essas tensões se manifestam na madeira serrada, através da abertura das tábuas em relação à tora no momento do desdobro, das rachaduras, e dos empenamentos (torcimento, arqueamento, encurvamento e encanoamento). Para a medição dos defeitos proveniente da liberação das tensões de crescimento foram utilizadas régua e paquímetro.

Para a abertura da tábua em relação à tora, a medição foi realizada quando a serra-fita encontrava-se a cerca de 2 m do comprimento final da tábua, conforme metodologia proposta por Rozas Mellado (1993), Severo (1998) e Calonego (2004).

Na avaliação das rachaduras foi aferido o comprimento e a largura das rachaduras nas tábuas, nas duas extremidades das tábuas. Desta forma pode se obter os índices de rachaduras pela equação (3):

$$R = \frac{(l_2 + l_3 + \dots + l_n) \times 100}{L_1} \quad (3)$$

sendo:

R = índice representativo das rachaduras, %;

$l_2 + l_3 + \dots + l_n$ = comprimento individual das rachaduras, mm;

L_1 = comprimento total da peça, mm.

Quanto aos empenamentos, todas as flechas na curvatura da peça foram medidas a fim de se obter os índices de arqueamento, encurvamento, encanoamento e torcimento, através das respectivas equações (4) e (5):

$$I_{ea} = \frac{x}{L_1} \times 100 \quad (4)$$

sendo:

I_{ea} = intensidade do encurvamento ou arqueamento, %;

x = flecha na curvatura da peça, mm;

L_1 = comprimento da tábua, mm.

$$I_{et} = \frac{x}{l_1} \times 100 \quad (5)$$

sendo:

I_{et} = intensidade do encanoamento ou torcimento, %;

x = flecha na curvatura da peça, mm;

l_1 = Largura da tábua, mm.

Os defeitos de desdobros analisados podem ser melhores observados nas Figuras 18, 19 e 20.



Figura 18. Medição da abertura da tábua em relação à tora de *Hevea brasiliensis* durante o desdobro.



Figura 19. Medição das rachaduras de topo das tábuas de *Hevea brasiliensis*.



Figura 20. Medição dos empenamentos após desdobro: torcimento (A), arqueamento (B), encurvamento (C) e encanoamento (D).

4.10 Análise de determinação da madeira de reação

Para a determinação da madeira de reação foram utilizados 5 discos posicionados no meio da tora (3 m de fuste), pertencentes a 5 árvores selecionadas de forma aleatória. Os discos tiveram a sua secção transversal polida pela lixadeira elétrica da Marcenaria da FCA/UNESP com intuito de observar a excentricidade da medula e, desta, forma constatar macroscopicamente a presença da madeira de reação.

Para a análise microscópica, realizada no Laboratório de Anatomia da Madeira da FCA/UNESP, foram retiradas baguetas dos 5 discos de forma a obter a parte normal da madeira - medula - parte excêntrica da madeira. Destas baguetas foram então retiradas amostras da parte normal e excêntrica com uso do formão e martelo nas regiões do lenho juvenil, adulto e próxima à casca de acordo com Ferreira et al. (2010) conforme pode ser

visualizado na Figura 21. Estas amostras foram posteriormente colocadas em recipientes com álcool de maneira a amolecer a madeira.

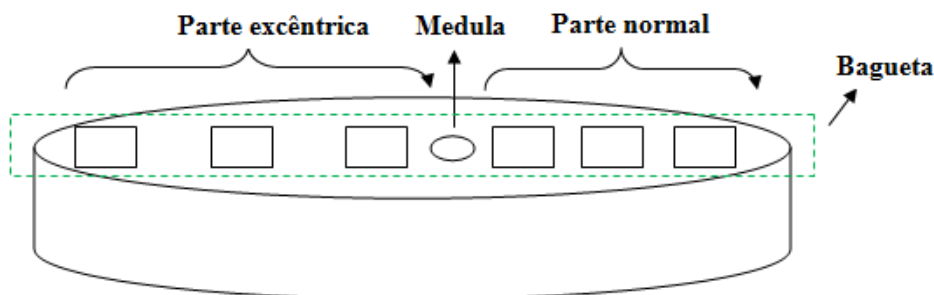


Figura 21. Esquema de retirada das amostras para análise microscópica.

Em seguida, corpos-de-prova foram seccionados pelo micrótomo de deslize para obtenção do corte histológico nos planos transversal e longitudinal. Os cortes realizados foram clarificados com hipoclorito de sódio 50% e em seguida lavados em água acética 1%. O material foi então corado com safrablau, visando o contraste das estruturas celulares. Após a coloração, os cortes foram desidratados através de uma série gradual de concentração de alcoóis (30% - 50% - 70% - 90% - 95% - 100%). A fixação do corante foi feita com acetato de butila e as lâminas foram montadas permanentemente com Entellan®.

O microscópio de luz (ZEISS) possibilitou verificar a presença da madeira de reação que é representada pela cor azul a qual corresponde a fibra gelatinosa.

4.11 Forma de análise dos resultados

Para as tensões de crescimento foi realizada uma análise descritiva e uma análise de variância das deformações residuais longitudinais entre as árvores e as posições cardeais ao redor do fuste das mesmas.

Do mesmo modo, para massa específica básica e teor de umidade, foi realizada uma análise descritiva para todas as toras.

Para as temperaturas alcançadas no interior das toras, em função da tendência observada, foram realizadas uma análise de regressão não linear no qual foi

selecionado o modelo sigmoidal logístico para representar os pares de dados: temperatura no centro da tora em função do tempo de vaporização empregado.

Quanto ao estudo sobre os defeitos oriundos no desdobro, foi realizada uma análise de variância onde a variável resposta é a diferença entre o tratamento (classes de temperaturas) e o seu respectivo controle.

Para a verificação da madeira de reação foi feita uma análise qualitativa na qual foi observada a existência desta, de forma visual em relação aos discos e com o auxílio do microscópio de luz (ZEISS) na detecção da coloração azul que representa a fibra gelatinosa, característica da madeira de reação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Níveis de tensões de crescimento no fuste de *Hevea brasiliensis*

As árvores estudadas de *Hevea brasiliensis*, pela Tabela 1, apresentaram um “DAP” médio de 49,36 cm e uma “h” média de 29,65 m. O valor médio geral encontrado de deformação residual longitudinal (DRL) para as árvores estudadas foi de 0,099 mm.

Entre as árvores não houve uma diferença significativa quanto as DRL, porém, ao redor do fuste das mesmas esta diferença se mostrou significativa. As médias das DRL para posições SE, NE, NO e SO foram de 0,131 mm, 0,126 mm, 0,074 mm e 0,063 mm, respectivamente e podem ser observadas na Tabela 1. A maior deformação na posição SE se deve ao fator ambiental vento que ocorre preferencialmente nesta direção, apesar das leituras terem sido realizadas na ausência dele. No APÊNDICE 1-1 podem ser observadas as diferenças significativas encontradas dos resultados discutidos.

Tabela 1. Análise descritiva das Características de Crescimento da árvore e da Deformação Residual Longitudinal (DRL) nas posições cardeais.

Árvore	Características de Crescimento		DRL (mm)			
	DAP (cm)	h (m)	SE (vento)	NE	NO	SO
Média	49,36	29,65	0,131 a	0,126 a	0,074 b	0,063 b
Desvio Padrão	3,84	4,61	0,05	0,06	0,04	0,04
CV (%)	7,78	15,54	39,99	46,34	57,46	58,85

sendo: DAP - diâmetro altura do peito; h - altura total; SE – Sudeste; NE – Nordeste; NO – Noroeste; SO – Sudoeste; letras iguais = não apresentam diferença significativa e letras diferentes = diferem significativamente.

O valor médio das DRL encontrado para árvores estudadas mostra-se semelhante à média das deformações obtidas por Trugilho (2005) que foi de 0,090 mm para clones do gênero *Eucalyptus* com 6 anos de idade. Contudo, pelos valores dos níveis das tensões de crescimento levando em consideração as idades das espécies, supõe-se que estas ocorram de forma mais intensa em *Eucalyptus* do que em *Hevea*.

Entretanto, para outros estudos realizados por Trugilho (2005) com clones de *Eucalyptus* com idade de 8, 13, 15 e 19 anos, o autor obteve as DRL de 0,107 mm, 0,113 mm, 0,111 mm e 0,123 mm, respectivamente, sendo estas superiores ao valor obtido no estudo presente. Assim como Beltrame (2010), para os clones do gênero *Eucalyptus* com 9 anos de idade que também obteve uma média das DRL superior de 0,111 mm em relação a DRL do estudo. De acordo com os dados apresentados, fica evidente que as tensões de crescimento são mais encontradas em *Eucalyptus* do que em *Hevea*.

Já, Lima et al. (2004) obtiveram uma média de DRL inferior ao obtido no referente estudo, com o valor de 0,071 mm para os 5 clones estudados de diferentes idades. Para os 5 clones de *Eucalyptus* estudados, com idades de 15, 15, 15, 11 e 8,5 anos, os autores obtiveram as DRL inferiores de 0,079 mm, 0,049 mm, 0,095 mm, 0,058 mm e 0,073 mm, respectivamente (LIMA et al., 2004).

Porém, Carvalho et al. (2010) encontraram tanto valor superior quanto inferior em relação a DRL do presente estudo. Para *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus*

urophylla, com 15 anos de idade, as DRL foram de 0,106 mm e de 0,092 mm, respectivamente.

De acordo com Beltrame (2010, p. 44), “deve ser ressaltado que as idades, os locais de avaliação e as espécies estudadas não são as mesmas, o que pode ter contribuído nas diferenças dos níveis de tensões de crescimento” encontrados entre os autores.

Comparando as quatro posições cardeais pelo Teste de Tukey observa-se que as diferenças das DRL foram significativas entre NO-NE, SO-NE, SE-NO e SO-SE (letras diferentes) e não significativas entre SE-NE e SO-NO (letras iguais). As probabilidades de significância pelo teste de Tukey podem ser melhores observadas no APÊNDICE 1-2. Assim como no estudo realizado por Beltrame (2010), em que o autor também comparando as posições entre si, obteve para Norte e Sul, uma diferença não significativa.

No estudo de Beltrame (2010), o autor observou uma diferença significativa entre nas posições cardeais analisadas. As médias das DRL obtidas para as posições Oeste, Sul, Norte e Leste foram de 0,083 mm, 0,111 mm, 0,112 mm, 0,140 mm, respectivamente (BELTRAME, 2010). Entretanto, Lima et al. (2004) não observaram diferença significativa entre as posições cardeais estudadas. As médias para as DRL foram de 0,084 mm, 0,057 mm, 0,070 mm e 0,072 mm para as respectivas posições Norte, Sul, Leste e Oeste (LIMA et al., 2004).

As diferenças de DRL encontradas ao redor do fuste podem ser devido à formação da madeira de reação (RODRIGUES, 2007; BELTRAME, 2010). As diferentes DRL ao redor do fuste influenciam na qualidade da madeira, pois as propriedades da madeira ao longo da circunferência da árvore são diferentes entre a madeira de reação e a normal.

5.2 Massa específica básica e teor de umidade da madeira

Na Tabela 2 pode-se visualizar os valores médios de massa específica básica e de teor de umidade para a *Hevea brasiliensis* obtidos através dos discos coletados. O valor médio geral de massa específica básica e de teor de umidade obtido para todas as toras foi de 0,54 g/cm³ e 86,56%, respectivamente.

Tabela 2. Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação para a massa específica básica e teor de umidade para a *Hevea brasiliensis*.

Massa específica básica			Teor de Umidade		
Média (g/cm ³)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Média (%)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
0,54	0,02	4,14	86,56	7,05	8,14

Os valores obtidos são semelhantes com os encontrados por Haridasan (1989) citado por May e Gonçalves (1999), Lim e Ani Sulaiman (1999), Kilmann e Hong (2000) e Lim et al. (2003), que afirmam que a *Hevea brasiliensis* apresenta uma massa específica básica de 0,56 a 0,65 g/cm³ e um teor de umidade de 60 a 80%.

Os valores também condizem com os encontrados por Santana et al. (2001) que obtiveram valores de massa específica básica para os clones de *Hevea* GT 711, IAN 873, IAN 717 e AV1301, na ordem de 0,51 g/cm³, 0,49 g/cm³, 0,47 g/cm³ e 0,47 g/cm³.

A massa específica básica obtida no presente estudo também é semelhante à encontrada por Gnanaharan e Dhamodaram (1992), para *Hevea brasiliensis* e por Leonello (2011), para os clones de *Hevea* GT 1 e RRIM 600, os quais obtiveram valores de 0,58 g/cm³ e de 0,580 g/cm³ a 0,595 g/cm³, respectivamente, apesar destes valores terem sido superiores.

A determinação da massa específica básica e o teor de umidade são variáveis muito importantes para o processo de vaporização, já que estas influenciam no tempo do tratamento (STEINHAGEN et al., 1980; TEJADA et al., 1997; SEVERO, 1998; UMANÃ e BRITO, 2003; CALONEGO, 2004).

5.3 Comportamento da temperatura da madeira de *Hevea brasiliensis* durante a vaporização de toras

Durante o processo de vaporização das 18 toras de *Hevea brasiliensis* à temperatura ambiente (vapor) de 54,4±4,1°C, de 74,5±3,9°C e de 91,8±3,0°C com 100% de umidade relativa, a temperatura no centro das toras foi monitorada a cada minuto por 36 horas.

As toras apresentavam valores médios de diâmetros, teores de umidade e massas específicas similares, entretanto, no decorrer do tratamento, nas 3 cargas realizadas, devido as diferentes temperaturas de vaporização utilizadas, foram obtidas as seguintes temperaturas nas toras: 45°C, 56°C e 71°C, respectivas a cada temperatura ambiente.

Devido à tendência dos dados, para cada temperatura no centro das toras de seringueira em função do tempo de vaporização, foi selecionado um modelo de regressão não-linear sigmoidal logístico para representar os pares de dados, conforme mostra a equação 6:

$$y = A_2 + \frac{(A_1 + A_2)}{\left(1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^p\right)} \quad (6)$$

sendo:

$A_1, A_2, x_0, p =$ constantes;

$x =$ o tempo de vaporização de toras, horas;

$y =$ temperatura no centro das toras, °C.

Na Figura 22, pelo modelo ajustado, para a vaporização à 54,4±4,1°C, pode se observar o comportamento da temperatura na madeira de *Hevea brasiliensis* para as toras que atingiram a temperatura de 45°C. As toras com esta temperatura apresentaram valores médios de diâmetro, massa específica e teor de umidade na ordem de 37,6 cm, 0,54 g/cm³ e 87,37%.

No APÊNDICE 3-1 encontra-se a análise de regressão e de variância. O R² ajustado neste caso foi de 0,9803.

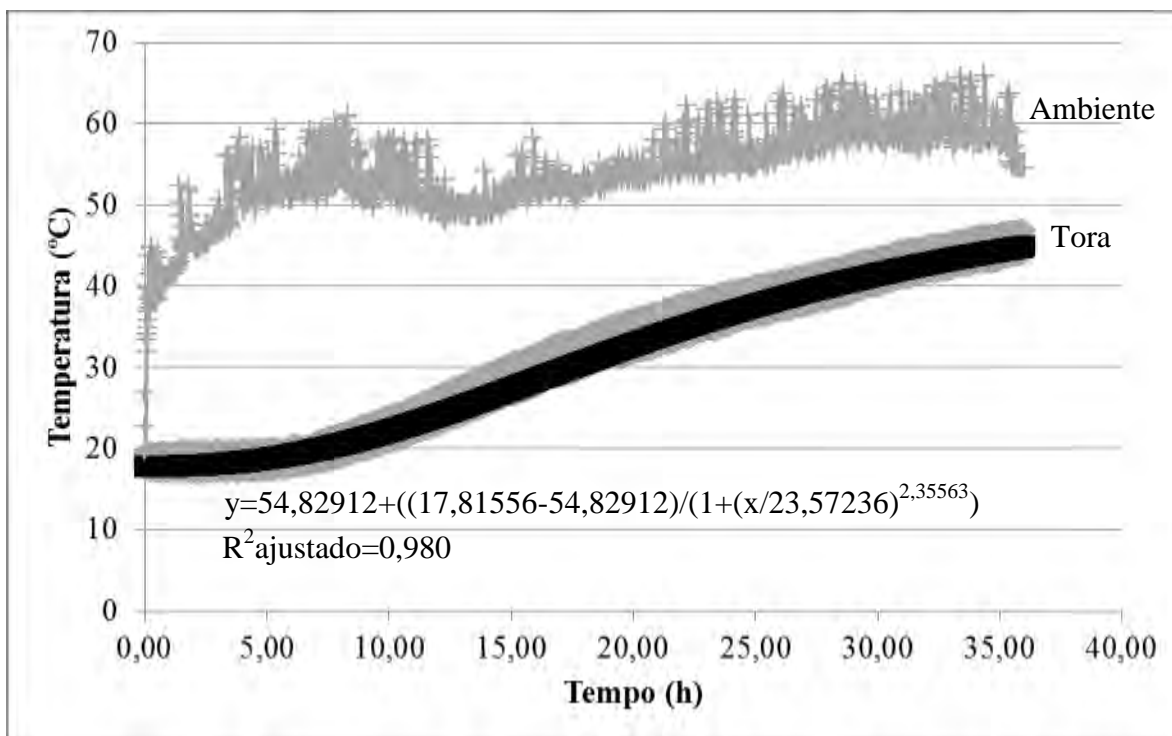


Figura 22. Curva sigmoide logística ajustada para o comportamento da temperatura no centro de toras de *Hevea brasiliensis* para a temperatura de 45°C durante a vaporização à 54,4±4,1°C.

Na Figura 23, também pelo modelo ajustado, para a vaporização à 74,5±3,9°C, pode se observar o comportamento da temperatura na madeira de *Hevea brasiliensis* para as toras que atingiram a temperatura de 56°C. Para esta temperatura, as toras apresentaram valores médios de diâmetro, massa específica e teor de umidade de 33,6 cm, 0,54 g/cm³ e 84,14 %, respectivamente.

A análise de regressão e de variância podem ser visualizadas no APÊNDICE 3-2. O R² ajustado foi de 0,9273.

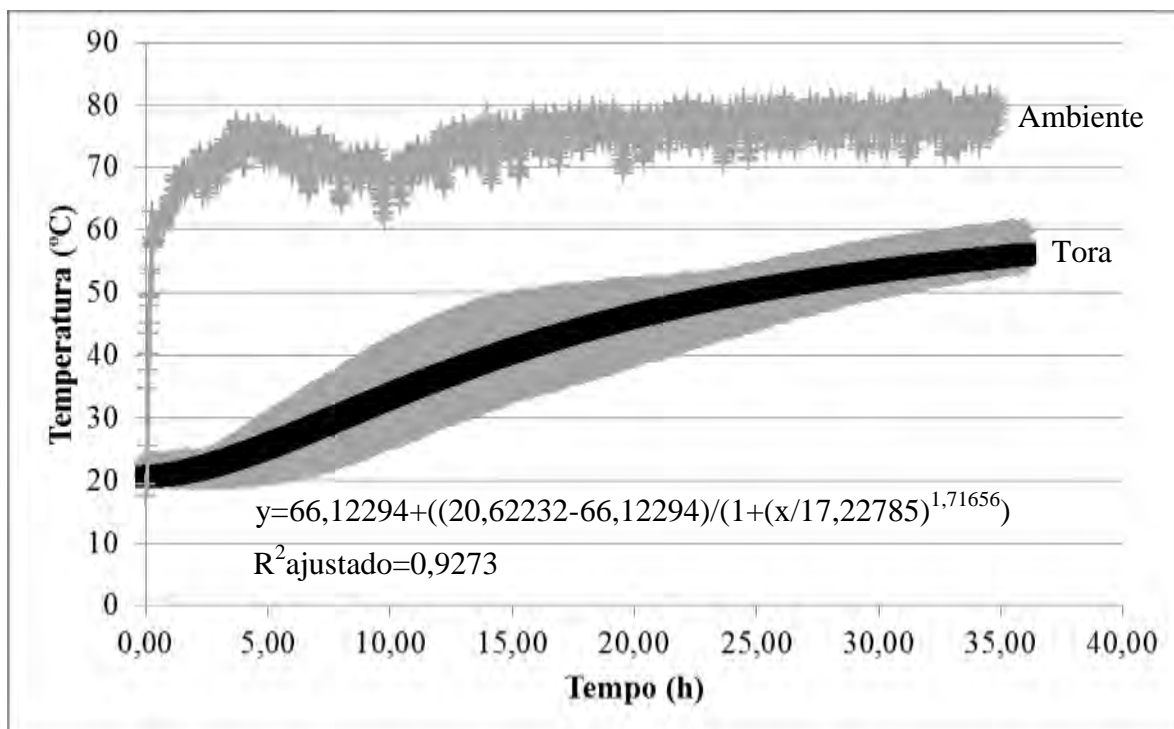


Figura 23. Curva sigmoideal logística ajustada para o comportamento da temperatura no centro de toras de *Hevea brasiliensis* para a temperatura de 56°C durante a vaporização à $74,5\pm 3,9^\circ\text{C}$.

Assim como na Figura 24 pelo modelo ajustado, em que para a vaporização à $87-94,9^\circ\text{C}$ pode-se observar o comportamento da temperatura na madeira de *Hevea brasiliensis* para as toras que atingiram a temperatura de 71°C . As toras nesta temperatura apresentaram valores médios de diâmetro, massa específica e teor de umidade na ordem de 33,9 cm, $0,54\text{ g/cm}^3$ e 87,97 %.

A análise de regressão e de variância encontram-se no APÊNDICE 3-3. Obteve para o R^2 ajustado o valor de 0,9793.

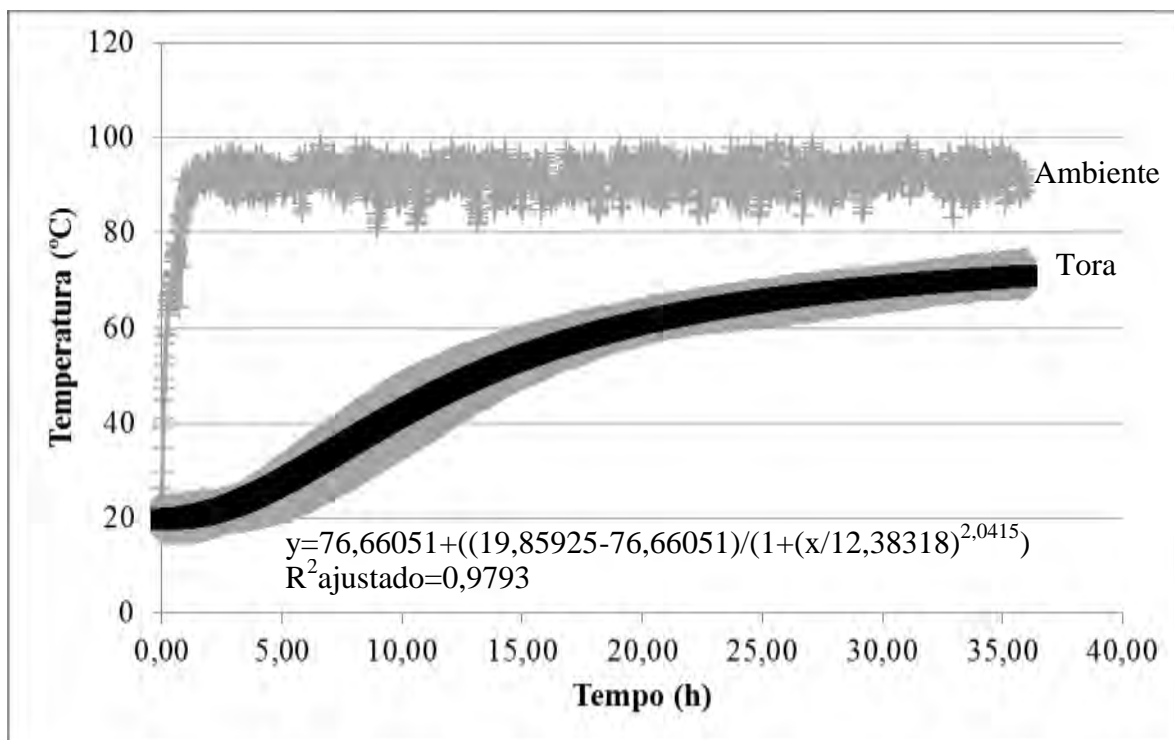


Figura 24. Curva sigmoideal logística ajustada para o comportamento da temperatura no centro de toras de *Hevea brasiliensis* para a temperatura de 71°C durante a vaporização à 91,8±3,0°C.

O modelo de regressão proposto para cada classe de temperatura para *Hevea brasiliensis* e a temperatura máxima alcançada no centro das toras após 36 horas de tratamento podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3. Equações propostas de temperaturas para a *Hevea brasiliensis* no centro das toras durante a vaporização.

Temperatura de Vapor	Varição de temperatura no centro da tora	Temperatura máxima (°C)
54,4±4,1°C	$y=54,82912+\frac{(17,81556-54,82912)}{(1+(x/23,57236)^{2,35563}}$	45
74,5±3,9°C	$y=66,12294+\frac{(20,62232-66,12294)}{(1+(x/17,22785)^{1,71656}}$	56
91,8±3,0°C	$y=76,66051+\frac{(19,85925-76,66051)}{(1+(x/12,38318)^{2,0415}}$	71

sendo: A_1 , A_2 , x_0 e p - contantes; x – tempo de vaporização em horas e y – temperatura no centro das toras em °C.

As toras de *Hevea brasiliensis* para 36 horas de vaporização atingiram a temperatura máxima de 71°C, conforme Lutz (1978) recomenda, em função da massa específica da espécie. A temperatura atingida é referente a temperatura de transição vítrea da

lignina da madeira verde, a qual é importante para redução dos defeitos no momento do desdobro.

Entretanto, outros autores, afirmam que a temperatura de transição vítrea da lignina da madeira verde compreende uma zona que ocorre de 60°C a 70°C (KELLEY et al. 1987); em geral 60°C (NAKANO, 2006); de 60°C a 90 °C (IRVINE, 1984). E ainda, seguindo a recomendação de Rozas Mellado (1993), que estudou a vaporização de toras em diferentes períodos de tempo, sugere-se a utilização do menor tempo possível, a fim de viabilizar o custo. Além disso, de acordo com Chan et al. (1989), a temperatura de transição vítrea da lignina nas condições seca e de 14,5% de umidade que são de 128°C e 77°C, respectivamente, dá indícios de que esta temperatura no ponto de saturação das fibras seria menor que 71°C, contrariando Lutz (1978) e, desta forma, a temperatura de 56°C (temperatura de vapor de 74,5±3,9°C) seria a mais adequada. Entretanto sugere-se maiores estudos a fim de se terminar a temperatura de transição vítrea da lignina da madeira verde de *Hevea brasiliensis*.

Alguns autores, como Severo e Tomaselli (2000) e Calonego e Severo (2005), utilizaram um tempo 20 horas de vaporização para *Eucalyptus dunni* e para *Eucalyptus grandis*, respectivamente, sendo este inferior ao tempo utilizado para a vaporização da *Hevea brasiliensis*. Porém, Rozas Mellado (1993) recomenda a vaporização por um tempo de 18 horas para *Eucalyptus grandis*. Contudo, para *Larix leptolepis* Gord., *Cryptomeria japonica* D. Don, *Abies sachalinensis* Fr. Schm., *Quercus mongólica* Fisch e *Fraxinus mandshurica* Rupr, Tejada et al. (1997) sugerem a aplicação de vapor durante 70 horas, mostrando um valor bem acima do que quando comparado a *Hevea brasiliensis*.

Esta variação no tempo para a vaporização de tora do estudo presente em relação aos encontrados em literatura é devido a muitos fatores. Além da massa específica, teor de umidade e diâmetro das toras, o tratamento é influenciado pela espécie, pelo teor e gradiente de umidade, pela temperatura inicial utilizada no aquecimento e temperatura desejada no final além do tipo de tanque de aquecimento e meio utilizado como aquecedor (STEINHAGEN et al., 1980; ROZAS MELLADO, 1993; SEVERO, 1998; UMANÃ e BRITO, 2003; CALONEGO, 2004).

5.4 Efeito da vaporização de toras na qualidade do desdobro de *Hevea brasiliensis*

O efeito da vaporização de toras foi avaliado pela forma como os defeitos se manifestaram na madeira de *Hevea brasiliensis*, logo após o seu desdobro.

Analisando o efeito da vaporização nas aberturas das tábuas, nas temperaturas de $54,4\pm 4,1^{\circ}\text{C}$, $74,5\pm 3,9^{\circ}\text{C}$ e $91,8\pm 3,0^{\circ}\text{C}$ com as suas respectivas toras controle, observa-se pela Tabela 4 que houve uma redução dos defeitos em todas as temperaturas, contudo apenas na primeira e última temperatura ocorreu de forma significativa com 29,11% e 34,02%, respectivamente. Além disso, entre as temperaturas não foi observado uma diferença entre os tratamentos.

Tabela 4. Análise descritiva das aberturas das toras controles e vaporizadas assim como o aumento (+) ou redução (-) do defeito para todas as temperaturas e para cada classe de temperatura.

Temperaturas de Vapor	ABERTURA				Aumento (+) ou Redução (-) do Defeito (%)
	Controle		Vaporizada		
	Média (mm)	CV (%)	Média (mm)	CV (%)	
54,4±4,1°C	19,90	56,74	14,11 a	58,11	-29,11*
74,5±3,9°C	14,91	69,30	13,23 a	73,98	-11,30NS
91,8±3,0°C	17,04	61,17	11,24 a	71,23	-34,02*
Todas	16,98	62,90	12,59	69,10	-25,82

sendo: as toras controle são pareadas as vaporizadas nas respectivas classes de temperaturas; letras diferentes indicam que houve diferenças entre as classes de temperaturas; * ou NS o tratamento de vaporização mostrou-se significativo ou não significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey, seja no aumento (+) ou na redução (-) dos defeitos.

Analisando da mesma forma a Tabela 5, com relação às rachaduras principal e total, tem-se a redução do defeito nas temperaturas de $74,5\pm 3,9^{\circ}\text{C}$ e de $91,8\pm 3,0^{\circ}\text{C}$ com valores na ordem de 36,42% e 30,39% e de 5,86% e 3,52%, respectivamente. Entretanto, a redução não ocorre de forma significativa. Enquanto que para a temperatura de $54,4\pm 4,1^{\circ}\text{C}$ observa-se um aumento significativo do defeito de 112,62% para rachadura principal e de 129,13% para rachadura total. E, ainda, avaliando entre as temperaturas de $54,4\pm 4,1^{\circ}\text{C}$ e $91,8\pm 3,0^{\circ}\text{C}$ e de $74,5\pm 3,9^{\circ}\text{C}$ e $91,8\pm 3,0^{\circ}\text{C}$ observa-se que não há uma diferença entre os

tratamentos, contudo entre as temperaturas de $54,4\pm 4,1^{\circ}\text{C}$ e $74,5\pm 3,9^{\circ}\text{C}$ observa-se uma diferença entre estes tratamentos.

Na sequencia, pela Tabela 6, temos uma redução do empenamento arqueamento apenas na temperatura de $74,5\pm 3,9^{\circ}\text{C}$ com 15,00% porém não de forma significativa. Já com relação ao empenamento encurvamento temos uma redução do defeito em todas as temperaturas ocorrendo esta de forma significativa para a de $91,8\pm 3,0^{\circ}\text{C}$ com 40,40%. Entre as temperaturas, nos empenamentos arqueamento e encurvamento não foi observado uma diferença entre os tratamentos. Quanto ao empenamento encanoamento, não houve a ocorrência do mesmo. E, para o empenamento torcimento, apesar de sua ocorrência, a incidência deste foi muito pouco pronunciada, sugerindo um aumento no número de réplicas entre as temperaturas a fim de se ter um número maior deste defeito e desta forma permitir uma melhor exploração dos dados.

Tabela 5. Análise descritiva dos índices dos defeitos de rachaduras (principal e total) das toras controles e vaporizadas assim como o aumento (+) ou redução (-) dos defeitos para todas as temperaturas e para cada classe de temperatura.

Temperaturas de Vapor	Índice Rachadura Principal						Índice Rachadura Total											
	Controle			Vaporizada			Aumento (+) ou Redução (-) do Defeito (%)			Controle			Vaporizada			Aumento (+) ou Redução (-) do Defeito (%)		
	Média (%)	CV (%)		Média (%)	CV (%)		Média (%)	CV (%)		Média (%)	CV (%)		Média (%)	CV (%)		Média (%)	CV (%)	
54,4±4,1°C	8,82	150,82	18,75a	113,32	112,62*	9,76	153,83	22,36a	116,97	129,13*								
74,5±3,9°C	12,96	127,10	8,24b	74,60	-36,42NS	13,81	123,06	9,61b	79,50	-30,39NS								
91,8±3,0°C	10,20	193,13	9,60ab	69,26	-5,86NS	11,01	181,29	11,40ab	75,95	3,52NS								
Todas	10,82	159,44	11,31	109,36	4,53	11,67	152,94	13,39	114,34	14,73								

sendo: as toras controle são pareadas as vaporizadas nas respectivas classes de temperaturas; letras diferentes indicam que houve diferenças entre as classes de temperaturas; * ou NS o tratamento de vaporização mostrou-se significativo ou não significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey, seja no aumento (+) ou na redução (-) dos defeitos.

Tabela 6. Análise descritiva dos índices dos defeitos de rachaduras (principal e total) das toras controles e vaporizadas assim como o aumento (+) ou redução (-) dos defeitos para todas as temperaturas e para cada classe de temperatura.

Temperaturas de Vapor	Índice Arqueamento						Índice Encurvamento											
	Controle			Vaporizada			Aumento (+) ou Redução (-) do Defeito (%)			Controle			Vaporizada			Aumento (+) ou Redução (-) do Defeito (%)		
	Média (%)	CV (%)		Média (%)	CV (%)		Média (%)	CV (%)		Média (%)	CV (%)		Média (%)	CV (%)		Média (%)	CV (%)	
54,4±4,1°C	0,24	54,90	0,28a	39,14	16,28NS	0,27	82,50	0,21a	81,46	-22,61NS								
74,5±3,9°C	0,32	71,84	0,27a	41,89	-15,00NS	0,26	71,97	0,20a	95,17	-21,90NS								
91,8±3,0°C	0,24	44,09	0,26a	48,42	6,11NS	0,23	68,19	0,14a	97,66	-40,40*								
Todas	0,27	61,92	0,27	43,71	-0,30	0,25	73,47	0,18	94,27	-29,32								

sendo: as toras controle são pareadas as vaporizadas nas respectivas classes de temperaturas; letras diferentes indicam que houve diferenças entre as classes de temperaturas; * ou NS o tratamento de vaporização mostrou-se significativo ou não significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey, seja no aumento (+) ou na redução (-) dos defeitos.

Considerando que a abertura é um apenas um indicativo do quanto a tábua estava tensionada em relação ao bloco, não inviabilizando desta forma o uso da peça e, ainda, que os empenamentos são distorções da peça de madeira em relação aos planos originais de suas superfícies, e que “[...] podem ser amenizados ou até eliminados com a redução do comprimento das peças, operação comum nas indústrias de beneficiamento da madeira, no momento da retirada de defeitos como nós e bolsas de resina, entre outros” (GARCIA, 1992, 1995; ROCHA e TRUGILHO, 2006, p. 320), podemos afirmar que as rachaduras apresentam-se como o defeito de maior importância, já que contribui negativamente com o rendimento de madeira. Desta forma, observa-se pela Tabela 5, que a classe de temperatura 56°C é a mais adequada para esta espécie.

Apesar de Lutz (1974) afirmar que para a madeira verde com massa específica básica de 0,54 g/cm³ a temperatura ideal seria de 70°C a 85°C, Chan et al. (1989) mostra que a temperatura de transição vítrea da lignina para a madeira seca e a 14,5% de umidade para a espécie seringueira é de 128°C e 77°C, respectivamente. Tais informações levam a supor que a temperatura de transição vítrea da lignina da madeira verde para a seringueira seria então menor do que Lutz (1974) propõe. Desta forma, é recomendado um estudo a fim de se determinar a temperatura de transição vítrea da lignina da madeira verde de *Hevea brasiliensis*.

De acordo ainda com Placet et al. (2007), a existência da madeira de reação, ou seja, de tração para a seringueira, apresenta uma camada gelatinosa a qual é ligada fracamente ao resto das outras camadas da parede. Isso pode explicar por que a temperatura de plasticização da lignina na madeira de reação é menor do que para a madeira normal (PLACET et al., 2007).

Desta forma, levando-se em consideração as rachaduras como defeito principal, observa-se na Tabela 5 pela classe de temperatura 54,4±4,1°C que a vaporização piorou os defeitos. Antes de atingir a temperatura de transição vítrea da lignina na madeira verde as moléculas estão em um estado de agitação muito baixo e por isso encontram-se em um estado rígido, porém, conforme se eleva a temperatura, mas antes da temperatura de transição vítrea, as moléculas começam a entrar em estado de agitação, ou seja, há uma maior mobilidade de acordo com Quirino e Vale (2002) e Figueroa e Moraes (2009) no qual a estrutura de lignina é alterada e as hemiceluloses começam a plasticizar (FURUTA et al., 1997). E, ainda, o teor de

umidade, aspecto importante na plasticização segundo Quirino e Vale (2002), Lenth e Haslett (2003), Klock et al. (2005) e Figueroa e Moraes (2009), no centro da tora apresenta-se maior em relação a superfície da mesma, logo a temperatura atingida no centro encontra-se diferente da superfície, sendo assim o material encontra-se com parte das tensões liberadas, supondo que desta forma haja um desequilíbrio interno que ainda está em processo de reorganização molecular e microestrutural conforme diz Lenth e Haslett (2003).

Tal alívio das tensões também foi observado por Tejada et al. (1997) em toras de *Larix leptolepis* Gord., *Cryptomeria japonica* D. Don, *Abies sachalinensis* Fr. Schm., *Quercus mongólica* Fisch e *Fraxinus mandshurica* Rupr no tratamento de aplicação de vapor.

Assim como Severo (1998) que observou uma redução significativa das tensões de crescimento para *Eucalyptus dunnii* e, também, como Severo e Tomaselli (2000) que observaram esta redução na abertura em relação à tora, comprimento e largura das rachaduras em *Eucalyptus dunnii* na ordem de 49%, 48% e 51%, para a procedência Urbenville e de 33%, 39% e 54%, respectivamente, para a procedência Dorrigo.

O efeito da vaporização também foi semelhante ao encontrado por Rozas Mellado (1993) que obteve uma diminuição da abertura, das rachaduras e empenamentos das tábuas durante o desdobro de *Eucalyptus grandis*.

Da mesma forma ocorreu com Calonego e Severo (2005) que obtiveram uma redução de 18,9% de abertura das tábuas, de 36,4% de comprimento e de 49,7% de largura de rachaduras de topo.

Assim também, como Severo et al. (2010), que pela vaporização em *Eucalyptus grandis*, obtiveram para toras com o diâmetro de 20-25 cm, 25-30 cm e 30-35 cm uma redução no comprimento das rachaduras para as respectivas classes de diâmetro na ordem de 31,8-46,6%, 27,4-40,6% e 15,2-34,5%, assim como também na largura das mesmas com os valores de 48,8-49,6%, 40,8-65,2% e 29,3-54,7%, respectivamente.

A redução dos defeitos ocasionados pela vaporização de toras na madeira de seringueira foi menos significativa se comparada a outros estudos e, tal comportamento, leva a supor que a presença da madeira de reação em grande quantidade na seringueira possa ter influenciado no processo de vaporização. A madeira de reação apresenta como característica a existência de fibras gelatinosas que apresentam um alto conteúdo de

celulose, sendo assim, a lignina, constituinte essencial ao tratamento, encontra-se em menor quantidade (PLACET et al., 2007).

Assim, é sugerido maiores estudos a respeito, a fim de determinar se a madeira de reação realmente interfere no processo de vaporização de toras e o quanto ela é responsável.

Outra questão é grande variabilidade genética do material utilizado que também pode ter contribuído para que o efeito da vaporização não ocorresse de forma significativa.

5.5 Detecção da madeira de reação

Foi observado pelas análises macroscópica e microscópica que a madeira de *Hevea brasiliensis* apresenta madeira de reação, ou seja, madeira de tração, o que condiz com a literatura (LIN e ANI SULAIMAN, 1999, LIM et al., 2003; MATHEW, 2003).

Pela análise macroscópica foi possível visualizar a excentricidade da medula nos discos a qual indica a presença da madeira de reação segundo Lin e Ani Sulaiman (1999), Lim et al. (2003) e Mathew (2003). Além disso, em alguns discos foram observados a existência de medula concêntrica assim como encontrado pelos mesmos autores e, que, segundo eles apresentavam também madeira de reação.

Os discos provenientes das árvores 3, 4 e 5 apresentaram uma maior excentricidade da medula enquanto que no disco 15 tal característica foi observada de forma menos acentuada, já no disco 8 a medula se mostrou concêntrica (Figura 25).

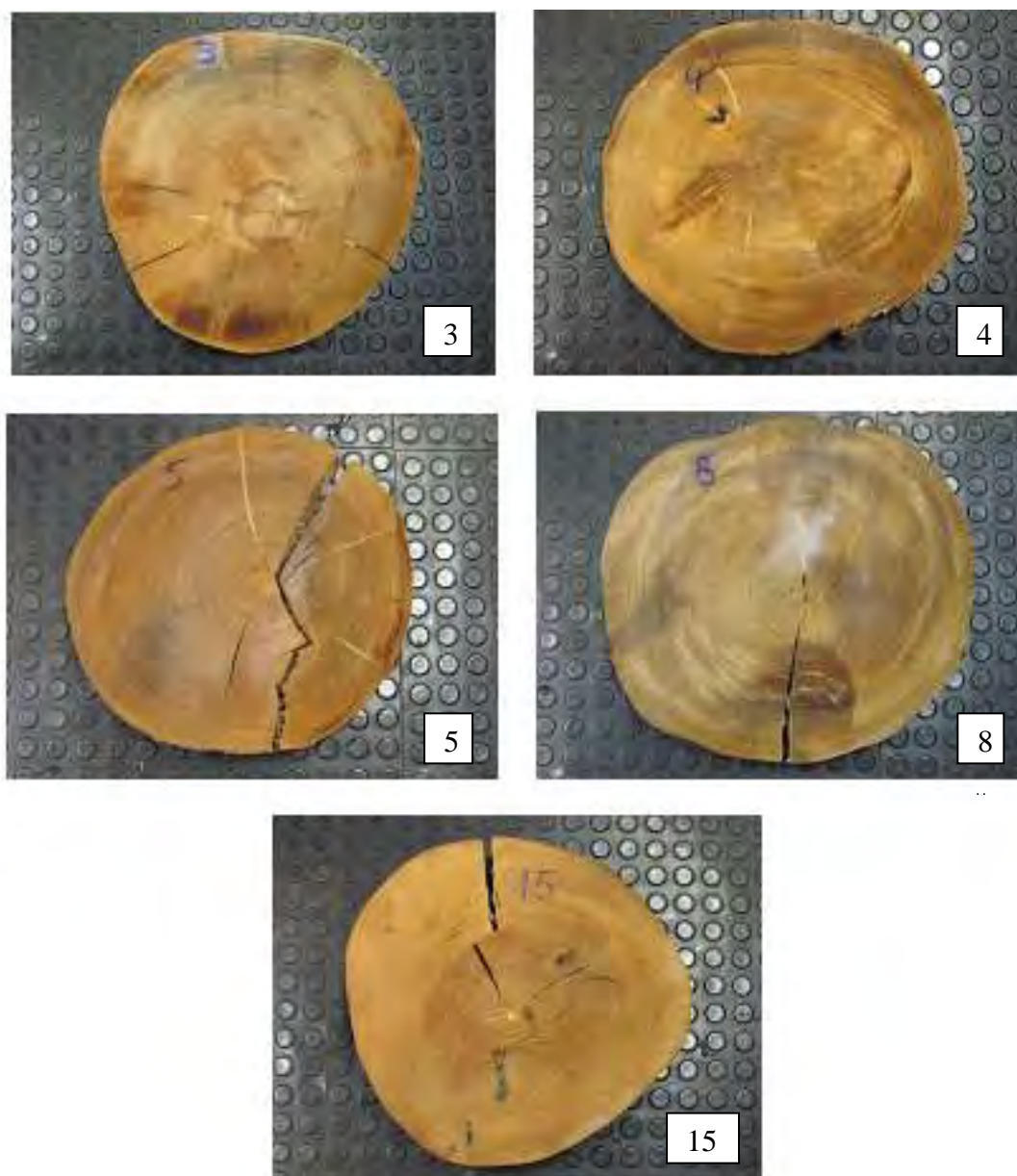


Figura 25. Discos de *Hevea brasiliensis* com excentricidade e com medula concêntrica.

Através da análise microscópica realizada detectou-se a presença de fibra gelatinosa (Figura 26), característica também da madeira de reação, de acordo com Zobel e Buijtenen (1989), Lim e Ani Sulaiman (1999), Mathew (2003), Pilate et al. (2004) e Klock et al. (2005). A fibra gelatinosa encontrada na *Hevea brasiliensis*, representada pela coloração azul, apresenta-se em faixas largas de forma contínua podendo ocorrer também de forma descontínua e isolada assim como afirmam Lim e Ani Sulaiman (1999) e Mathew (2003). As

fibras gelatinosas são em sua maioria celulósica, porém foi observado que há algumas com traços de lignina.

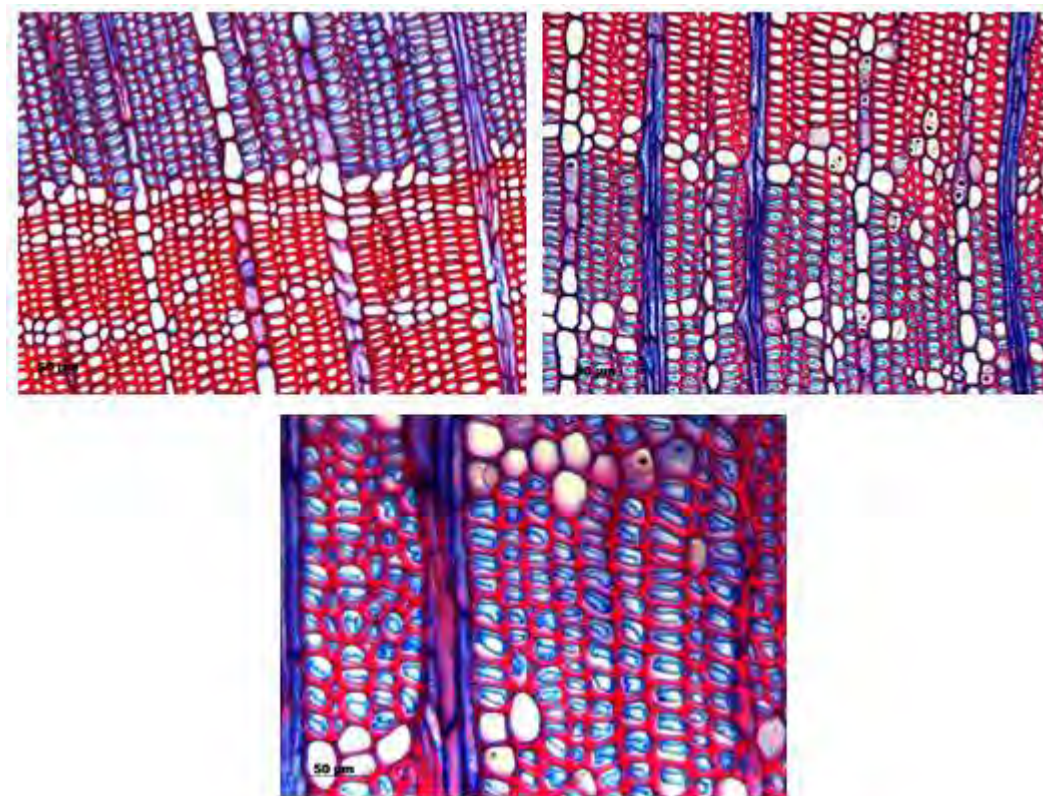


Figura 26. Presença de fibra gelatinosa representada pela coloração azul na *Hevea brasiliensis*.

A fibra gelatinosa foi encontrada em todos os discos e, em todas as posições cardiais, da parte normal à parte excêntrica da madeira, desde o lenho juvenil até o lenho mais próximo a casca, conforme Panikkar (1971) e Mathew (2003) que afirmam que a madeira de reação está distribuída ao longo de todo fuste (APÊNDICE 5). Foi constatada também uma maior presença de fibra gelatinosa na parte mais excêntrica da madeira e, além disso, observou-se que estas fibras no lenho mais próximo a casca estavam mais presentes.

Analisando a questão madeira de reação e tensão de crescimento com relação aos defeitos, temos pela Tabela 7 que: os discos provenientes das árvores 3 e 4 apresentavam uma baixa tensão de crescimento visto que há uma menor intensidade das rachaduras nas tábuas com valores na ordem de 5,07% e 2,51% e uma DRL alta apenas na direção do vento com 0,127 mm e 0,160 mm respectivamente. O disco proveniente da árvore 5

apresentou as mesmas características que os discos anteriores entretanto com tensão de crescimento um pouco superior com valores de DRL na direção do vento e intensidade das rachaduras de 0,200 mm e 12,26%, respectivamente. Quanto ao disco 8 a tensão de crescimento foi bem inferior com o nível de rachaduras e as DRL baixas em todas as direções com os respectivos valores de 2,04% e 0,054 mm (sudeste); 0,051 mm (nordeste); 0,023 mm (noroeste); 0,065 mm (sudoeste). Já no o disco 15, as mesmas características mostraram-se com valores mais altos na ordem de 31,35%, 0,103 mm (sudeste); 0,140 mm (nordeste); 0,164 mm (noroeste); 0,145 mm (sudoeste).

Tabela 7. Discos com madeira de reação e tensões de crescimento em relação aos defeitos.

Discos	Tensões de Crescimento	Rachaduras (%)	DRL(mm)
3	Baixa	5,07	0,127 (vento)
4	Baixa	2,51	0,160 (vento)
5	Média	12,26	0,200 (vento)
8	Baixa	2,04	0,054-0,051-0,023-0,065 (SE-NE-NO-SO)
15	Alta	31,35	0,103-0,140-0,164-0,145 (SE-NE-NO-SO)

Analisando estes dados, nos quais a presença de madeira de reação é intensa em todos os discos, verifica-se que quanto maior a tensão de crescimento maior será a DRL e a intensidade das rachaduras o que leva a afirmar que as tensões de crescimento são as maiores responsáveis pelas rachaduras ocasionados no momento do desdobro.

Outra característica também observada foi que a madeira de *Hevea brasiliensis* apresenta muito tilos nos vasos e células parenquimáticas formando reticulado e com reservas de amido e açúcares (Figura 27), de acordo com LIM e ANI SULAIMAN (1999) e KILLMANN e HONG (2000) que também fizeram a mesma constatação.

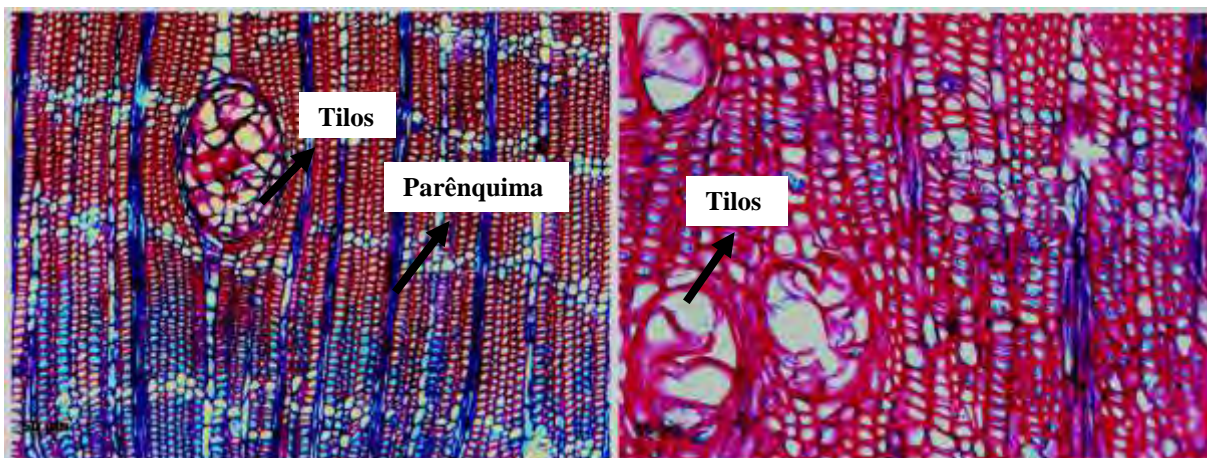


Figura 27. Presença de tilos nos vasos e células parenquimáticas formando reticulado e com reserva de amido e açúcares.

6 CONCLUSÕES

Para o estudo realizado sobre os níveis de tensões de crescimento e o efeito da vaporização nas toras de *Hevea brasiliensis* conclui-se que:

- As deformações residuais longitudinais não apresentaram diferenças entre as árvores, contudo houve diferença significativa entorno do fuste. A deformação residual longitudinal média para a espécie foi de 0,099 mm sendo que o menor valor foi de 0,063 mm e o maior, devido à ação do vento, foi de 0,131 mm;
- A vaporização à $74,5 \pm 3,9^{\circ}\text{C}$ reduziu a magnitude do índice de rachadura principal e total e do arqueamento em 36,42%, 30,39% e 15,00%, respectivamente. O aumento da temperatura promoveu reduções crescentes em até 40,40% no índice de encurvamento quando tratada à $91,8 \pm 3,0^{\circ}\text{C}$;
- A espécie em estudo apresenta um alto índice de madeira de reação;

- Através dos resultados apresentados no presente trabalho conclui-se que a vaporização de toras à $74,5 \pm 3,9^\circ\text{C}$ durante 36 horas é o tratamento mais indicado para melhorar a qualidade da madeira sendo que o índice de rachaduras apresentou menores valores nestas condições e é o defeito mais importante para caracterizar o rendimento de madeira serrada.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AMARAL, A. C. B. **Defeitos na madeira de *Eucalyptus*: suas causas e possibilidades de redução** (revisão bibliográfica). Piracicaba: ESALQ/LCF, 1991. 25 p.

ARCHER, R. R. **Growth stresses and strains in trees**. Berlin: Springer Verlag, 1986. 24 p.

BAMBER, R. K. A general theory for the origin of growth stresses in reaction wood: how trees stay upright. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 22, n. 3, p. 205-212, 2001.

BELTRAME, R. **Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus* spp.** 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal/ Tecnologia de Produtos Florestais)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BOYD, J. D. The growth stresses: evidence of origin in differentiation and lignification. **Wood Science and Technology**, New York, v. 6, p. 251-262, 1972.

CALONEGO, F. W. **Estimativa do tempo de vaporização das toras e sua implicação no desdobro e na secagem da madeira de *Eucalyptus grandis*.** 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

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

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Efeito da vaporização de toras na secagem da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 7-13, 2004.

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

CALONEGO, F. W. et al. Use of glass transition temperature for stabilization of board's cracks of *Eucalyptus grandis*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 82, n. 3, p. 791-797, 2010.

CARVALHO, A. M. et al. Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 323-331, 2010.

CHAFE, S. C. Growth stresses in trees. **Australian Forest Research**, Canberra, v. 9, n. 3, p. 203-223, 1979.

CHAN, K. Y. et al. Viscoelastic behaviour of rubberwood-polymer composites. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 33, n. 3, p. 205-210, 1989.

DHAMODARAM, T. K. **Status of rubber wood processing and utilization in India:** a country report. In: ITTO/CFC INTERNATIONAL RUBBERWOOD WORKSHOP, 2008, Haikou: **Promotion of rubberwood processing technology in the Asia-Pacific region:** proceedings... Haikou: ITTO/CFC, 2008. p. 17-37.

DINWOODIE, J. M. Growth stresses in timber: a review of literature. **Forestry**, Oxford, v. 39, n. 2, p. 162-170, 1966.

FERNANDES, P. S.; FERREIRA, M. C. Tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus saligna* e suas relações com os diâmetros. São Paulo: **Instituto Florestal**, 1986. 17 p.

FERRAND, J. C. Growth stresses and silviculture of eucalyptus. **Australian Forest Research**, Melbourne, v. 13, n. 1, p. 75 - 81, 1983.

FERREIRA, A.L.; SEVERO, E.T.D.; CALONEGO, F.W. Determination of fiber length and juvenile and mature wood zones from *Hevea brasiliensis* trees grown in Brazil. **European Journal of Wood Production**, Heidelberg, v. 4, p. 659-662, julho. 2010.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009.

FURUTA, Y. et al. Thermal-softening properties of water-swollen wood: IV. Effects of chemical constituents of the cell wall on the thermal-softening properties of wood. **Mokuzai Gakkaishi**, Tokyo, v. 43, n. 9, p.725-730, 1997.

- GARCIA, J. N. **Estados de tensão em árvores e de deformação em peças de madeira serrada**. 1992. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- GARCIA, J. N. Técnicas de desdobro de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 59-67.
- GNANAHARAN, R.; DHAMODARAN, T. K. Mechanical properties of rubberwood from a 35-year-old plantation in central Kerala, India. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 6, n. 2, p. 136-140, 1992.
- GONÇALVES, M. P. M. **Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Eucalyptus citriodora* Hook e *Eucalyptus urophylla* s. T. Blake**. 2007. 24 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso)-Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.
- GONÇALVES, P. S. Recomendação de clones de seringueira para o Estado de São Paulo. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE HEVEICULTURA PAULISTA, 1998, Barretos. **Anais...** Barretos: Secretaria de Agricultura e Abastecimento/Associação Paulista de Produtores e Beneficiadores de Borracha, 1998. p. 115-140.
- GONÇALVES, P. S. Sub-produtos complementares da renda de um seringal. Disponível em: <<http://www.apabor.org.br>>. Acesso em: 29 mar. 2011.
- GONÇALVES, P. S. et al. Desempenho de clones de seringueira da séria IAC 300 na região do planalto de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 2, p. 131-138, fev. 2002.
- HARIDASAN, V. Rubber wood: promise of the future. **Rubber Board Bulletin**, Kottayam, v. 25, p. 7-8, 1989.
- HEVEA no campo. **Boletim Informativo Hevea-Tec**, Jaci, v. 1, n. 2, set. 2008.
- HILLIS, W. E.; ROZSA, A. N. High temperature and chemical effects on wood stability: the effect of heat on the softening of radiate pine. **Wood Science and Technology**, New York, v. 19, n. 1, p. 57-66, 1985.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. A importância da borracha. 2008. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/UniPesquisa/Seringueira/QuemSomosImportanciaBorracha.asp>>. Acesso em: 02 fev. 2011.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Programa Seringueira. 2004. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/centros/centro_cafe/seringueira/programa%20seringueira.htm>. Acesso em: 02 fev. 2011.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. O cultivo da seringueira (*Hevea* spp.). Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento, 2004. Disponível em: <http://www.iapar.br/zip_pdf/cultsering.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da extração vegetal e da silvicultura. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2010/pevs2010.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

IRVINE, G. The glass transitions of lignin and hemicellulose and their measurement by differential thermal analysis. **Journal Tappi**, Norgross, v. 67, n. 5, p. 116-121, 1984.

KAINULAINEN, O. **Efficiency of sawmill operations and the role of rubber smallholdings in the rubberwood supply in Thailand**. 2007. 80 f. Master's thesis - Department of Forest Resource Management Wood Technology, University of Helsinki, Helsinki, 2007.

KELLEY, S. S.; TIMOTHY, G. R.; GLASSER, W.G. Relaxation behaviour of the amorphous components of wood. **Journal of Materials Science**, Secaucus, v. 22, p. 617-624, 1987.

KILLMANN, W.; HONG, L. T. Rubberwood: the success of an agricultural by-product. **Unasyva**, Roma, v. 51, n. 201, p. 66-72, 2000.

KILLMANN, W. Non-forest tree plantations. In: MEAD, D. J. (Ed.). **Forest plantations thematic papers**. Rome: FAO, 2001. p. 1-17. (Working Paper, 6).

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3 ed. rev. Curitiba: Ed. Universidade Federal do Paraná, 2005. 86 p. (Manual Didático).

KOEHLER, A. A new hypothesis as to the cause of shakes and rift cracks in green timber. **Journal of Forestry**, Washington, DC, v. 31, n. 5, p. 39-129, 1933.

KRONKA, F. J. N. Uso do potencial da madeira da seringueira (*Hevea brasiliensis*) In: **Seringueira**. Viçosa, MG: EPAMIG, 2008. p. 721-744.

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

LARA PALMA, H. A. Propriedades técnicas e utilização da madeira da seringueira. In: **CICLO DE PALESTRAS SOBRE A HEVEICULTURA PAULISTA**, 7., 2010, São José do Rio Preto. São Paulo : FUNEP/APABOR, 2010. p. 1-18. Disponível em: <<http://www.apabor.org.br/sitio/index.html>>. Acesso em: 29 mar. 2011.

LENTH, C. A.; KAMKET, F. A. Moisture dependent softening behavior of wood. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 33, n. 3, p. 492-507, 2001.

LENTH, C. A.; HASLETT, A. N. Moisture uptake patterns in pressure steaming of Radiate Pine. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 61, n. 6, p. 444-448, 2003.

LEONELLO, E. C. **Avaliação das propriedades físico-mecânicas da madeira de árvores de *Hevea brasiliensis* em três condições de sanidade no Estado de São Paulo.** 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado em)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

LIM, S. C.; SULAIMAN, A. Structure and characteristics of rubberwood. **Forest Research Institute of Malaysia**, Kuala Lumpur, v. 3, n. 39, p. 17-26, 1999.

LIM, S. C.; GAN, K. S.; CHOO, K. T. The characteristics, properties and uses of plantation timbers- rubberwood and *Acacia mangium*. **Timber Technology Bulletin**, Kepong, n. 26, p. 1-11, 2003.

LIMA, J. T. et al. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 107-16, 2004.

LISBOA, C. D. J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.** 1993. 298 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

LUTZ, J. F. **Wood veneer:** log selection, cutting and dryng. Washington, DC: USDA, 1978. (Technical Bulletin, 1577).

MALAN, F. S. **Studies on the phenotypic variation in growth stress intensity and its association with tree and wood properties of South African grown *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden).** 1984. 272 p. Thesis (Ph.D.)-University of Stellenbosch, Matieland, 1984.

MARTO, G. B. T. *Hevea brasiliensis* (Seringueira). 2007. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/hevea.brasiliensis.asp>>. Acesso em: 12 jul. 2010.

MATHEW, F. **Structural studies on tension wood of *Hevea brasiliensis* (Para Rubber) with special reference to clonal variability.** 2003. 157 f. Thesis (Ph.D.)-Rubber Research Institute of India, Mahatma Gandhi University, Kerala, 2003.

MATOS, J. L. M. et al. Redução dos efeitos das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus dunnii*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 128-135, dez. 2003.

MAY, A.; GONÇALVES, P. S.; Produtos complementares na exploração do seringal. **Borracha Atual**, Campinas, v. 20, p. 17-21, 1999.

MONTAGNA, R. G. et al. Desdobro de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden visando a diminuir o efeito das tensões de crescimento. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 181-190, 1991.

NAKANO, T. Analysis of the temperature dependence of water sorption for wood on the basis of dual mode theory. **Journal of Wood Science**, London, v. 52, n. 6, p. 490-495, 2006.

NICHOLSON, J. E. Growth stresses differences in eucalypts. **Forest Science**, Lawrence, v. 9, n. 3, p. 169-174, 1973.

OKUYAMA, T. et al. The growth stresses in reaction wood. In: IUFRO-18 WORLD CONGRESS, 5., 1986. Ljubljana. **Proceedings...** Ljubljana, 1986. p. 249-260.

OKUYAMA, T. et al. Growth stresses in tension wood: role of microfibrils and lignification. **Annales des Sciences Forestieres**, Versailles, v. 51, p. 291-300, 1994.

OLIVEIRA, J. T. S. Problemas e oportunidades com a utilização da madeira de eucalipto. In: WORKSHOP TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV/DEF/SIF/IEF, 1999. p. 39-52.

OLIVEIRA JUNIOR, E. F. **Determinação das propriedades físicas e químicas da madeira de *Hevea brasiliensis* em relação ao painel de extração de látex.** 2011. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

PANIKKAR, A. O. N. Occurrence of tension wood in *Hevea*. **Rubber Board Bulletin**, Kottayam, v. 11, n. 2, p. 55-58, 1971.

PILATE, G. et al. Lignification and tension wood. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 327, p. 889-901, 2004.

PLACET, V.; PASSARD, J.; PERRÉ, P. Viscoelastic properties of green wood across the grain measured by harmonic tests in the range of 0°C to 95°C: Hardwood vs. softwood and normal wood vs. reaction wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 61, p. 548-557, 2007.

PUSHPADAS, M.V.; HARIDASAN, V.; JAYARATHNAM, K. By-products and ancillary in rubber plantations. In: RADHAKRISHNA PILLAY, P. N. (Ed.). **Handbook of natural rubber production in India.** Kerala: Rubber Research Institute of India, 1980. v. 514. p. 505-514.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T. Retificação térmica de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, Curitiba, nesp., p. 60-66, set. 2002.

RATNASINGAM, J.; IORAS, F.; MACPHERSON, T. H. Influence of wood species on the perceived value of wooden furniture: the case of rubberwood. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 65, p. 487-489, 2007.

RATNASINGAM, J.; GROHMANN, R.; SCHOLZ, F. Drying quality of rubberwood: an industrial perspective. **European Journal of Wood Products**, Berlin, v. 68, n. 1, p. 115-116, 2009.

RATNASINGAM, J.; SCHOLZ F. Yield improvement in rubberwood sawmilling through the saw, dry and rip (SDR) technique. **European Journal of Wood Products**, Berlin, v. 70, n. 4, p. 525-526, 2011.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. 2000. 185 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROCHA, M.P.; TOMASELLI, I. Efeito de modelo de corte nas dimensões de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 94-103, 2001.

ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Qualidade de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 314-321, out./dez. 2006.

RODRIGUES, E. A. C. **Estimação de parâmetros genéticos fenotípicos e ambientais para a qualidade d amadeira de *Eucalyptus* em árvores vivas**. 2007. 83 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

ROMEIRO DE AGUIAR, O. J.; PERRÉ, P. **Wood accelerating drying process based on its rheological properties**. United States Patent, US n. 006910284B2, 2005.

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**. 1993. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

SALES, C. G. Growth stresses: main results obtained on the study of guyana species and consequences for and use. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 18., Ljubljana, 1986. **Proceedings...** Ljubljana: IUFRO, 1986. v. 5, p. 234-248.

SANTINI, E. J. **Alternativas para o monitoramento e controle do processo de secagem de madeira serrada em estufa**. 1996. 198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SANTANA, M. A. E.; EIRAS, K. M. M.; PASTORE, T. C. M. Avaliação da madeira de quatro clones de *Hevea brasiliensis* por meio de sua caracterização físico-mecânica. **Brasil Florestal**, Brasília, DF, n. 70, p. 61-68, 2001.

SANTOS, P. E. T. **Avaliação de características tecnológicas de madeira para serraria em progênies de polinização aberta de eucalipto e implicações para o melhoramento genético**. 2002. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Genética e Melhoramento de Plantas)-Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SANTOS, P. E. T.; GARCIA, J. N.; GERALDI, I. O. Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 142-151, dez. 2004.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 32-43, jun. 2003.

SEVERO, E. T. D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem na madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid.** 1998. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

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

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; MATOS, C. A. O. Lumber quality of *Eucalyptus grandis* as a function of diametrical position and log steaming. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, p. 2545-2548, 2010.

SHIELD, E. D. Plantation grown eucalypts: utilization for lumber and rotary veneers-primary conversion. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF, 1995. p. 133-139.

SHIGEMATSU, A. et al. Importance of rubberwood in wood export of Malaysia and Thailand. **New Forests**, Dordrecht, v. 41, n. 2, p. 179-189, 2010.

SIMPSON, W. T. Effect of steaming on the drying rate of several species of wood. **Wood Science**, Madison, v. 7, p. 247-255, 1975.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Fatos e números do Brasil florestal. 2009. 93 p. Disponível em: < <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/SBS-2008.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2011.

SOUZA, M. A. M. **Metodologias não destrutivas para avaliação das tensões de crescimento em *Eucalyptus dunnii* Maiden.** 2006. 80 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SOUZA, M. A. M. et al. Deformação residual longitudinal e sua relação com algumas características de crescimento e da madeira em clones de eucalyptus. **Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 275-284, 2003.

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

STEINHAGEN, H. P.; LEE, H. W.; LOEHNERTZ, S. P. LOG-HEAT: a computer program for determining log heating times charts for frozen and nonfrozen logs. **Forest Products Journal**, Madison, v. 37, n. 11/12, p. 60-64, 1987.

TEJADA, A. et al. Reduction of growth stress in logs by direct heat treatment: assessment of a commercial-scale operation. **Forest Products Journal**, Madison, v. 47, n. 9, p. 86-93, 1997.

TOUZA, M. Proyecto de investigación sobre sistemas de aserrado adecuado para procesar *Eucalyptus globulus* con tensiones de crecimiento. **Revista CIS-Madera**, San Cibrao das Viñas, n. 6, p. 8-37, 2001.

TRUGILHO, P. F. et al. Avaliação da tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 38-44, jan./dez. 2002.

TRUGILHO, P. F. et al. Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus spp.* **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 279-286, jul./set. 2006.

TRUGILHO, P. F. et al. Deformação residual longitudinal (DRL) e sua relação com as características de crescimento da árvore de clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 130-137, abr./jun. 2007.

TRUGILHO, P. F. et al. Efeitos da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p. 725-731, 2004.

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, Belém. **Anais...** Belém: CDP, 2003. 26 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Washington, DC: USDA, 1999. 463 p.

VIJENDRA RAO, R.; DAYAL, R.; SHARMA, B. Studies on the nature and pattern of distribution of tension wood in *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Rubber wood). **India Forester**, Dehra Dun, v. 109, n. 5, p. 286-291, 1983.

WATANABE, H. A study of origin of longitudinal growth stress in tree stem. In: MEETING OF IUFRO SECTION 41., 1965, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne, 1965. v. 3, p. 45-62.

WATCHARAKULDILOK, S.; VITAYAUDOM, S. The utilization of rubber wood in Thailand. In: INTERNATIONAL RUBBERWOOD WORKSHOP, 2008, Haikou. **Processing technology in the Asia-Pacific region**: proceedings... Haikou: ITTO/CFC, 2008. p. 99-106.

WELIVITA, I. D.; AMARASEKERA, H. S. **Value addition potential for rubber wood in Sri Lanka**. Certification Project. Sri Lanka: IUCN, 2008. 20 p.

YAMSAENGSUNG, R.; BUAPHUD, K. Effects of superheated steam on the drying of rubberwood. **Songklanakar Journal of Science and Technology**, Songkhla, v. 28, n. 4, p. 803-816, 2006.

YE, K.; LU, J. Demonstration of rubberwood processing technology and promotion of sustainable development in China and other Asian countries. In: CFC/ITTO. **Rubberwood processing manual**. China, 2007. p. 3-24.

ZHAO, Y. The rubberwood utilization in China. In: INTERNATIONAL RUBBERWOOD WORKSHOP, 2008, Haikou. **Processing technology in the Asia-Pacific region: proceedings...** Haikou: ITTO/CFC, 2008. p. 1-8.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer Verlag, 1989. 418 p.

APÊNDICE 1

ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA A VARIÁVEL DRL (DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL)

APENDICÊ 1-1: Análise de Variância para as DRL da *Hevea brasiliensis* entre árvores e entre posições cardeais

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P
Árvore	17	0,048819	0,0028717	13,195	0,2189
Posição Cardeal	3	0,06648	0,0221601	101,824	2,312e-05***
Resíduo	51	0,110992	0,0021763		

sendo: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; *** = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

APENDICÊ 1-2: Teste de Tukey para as DRL nas quatro posições cardeais da *Hevea brasiliensis*

Posição Cardeal	p-valor
NO-NE	0,0077154*
SE-NE	0,9883703NS
SO-NE	0,0009612*
SE-NO	0,0030028*
SO-NO	0,9006317NS
SO-SE	0,0003402*

APÊNDICE 2

TESTE PILOTO PARA A DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE VAPORIZAÇÃO DE TORAS

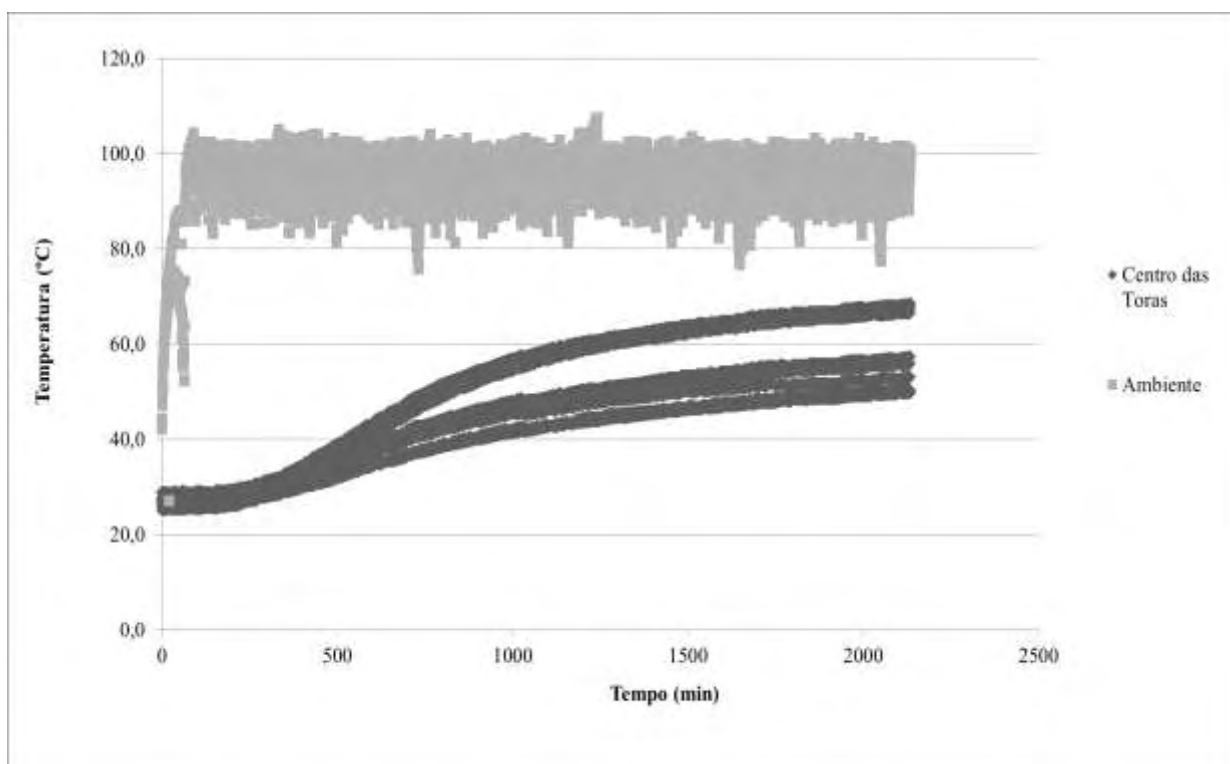
APENDICÊ 2: Determinação do tempo de vaporização de toras

Para a determinação do tempo de vaporização de toras foi realizado um teste piloto com 5 toras de *Hevea brasiliensis*, fornecidas pela Serraria Caribea localizada no município de São Manuel – São Paulo. Tais toras, provenientes da Fazenda Milagrosa de Tabapuã, São Paulo, são de pé-franco, com 53 anos de idade e com 2,60 m de comprimento.

As toras utilizadas possuíam diâmetro, massa específica básica e teor de umidade médio na ordem de 32,2 cm, 0,52 g/cm³ e 87,08%.

A vaporização no teste piloto foi realizada com uma temperatura de 90°C e uma umidade relativa de 100% e a temperatura no centro das 5 toras foram monitoradas pela instalação de termopares que coletavam dados a cada minuto.

Pelo gráfico tempo x temperatura foi possível observar que a temperatura no centro das toras ao atingir em torno de 70°C no tempo de 36 horas apresentou-se constante, ou seja, não houve um aumento significativo da temperatura no centro nas toras a partir deste tempo. Além disso, manter a processo de vaporização por mais de 36 horas, seria inviável economicamente.



APÊNDICE 3

ANÁLISE DE REGRESSÃO DOS TEMPOS DE VAPORIZAÇÃO DE TORAS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE VAPORIZAÇÃO

APENDICÊ 3-1: Análise de regressão do tempo de vaporização de toras de *Hevea brasiliensis* na temperatura de 45°C.

$$y = A_2 + \frac{(A_1 + A_2)}{\left(1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^p\right)}$$

Parâmetros			
	Parâmetros	Valor	Erro Padrão
Temperatura Tora (°C)	A ₁	17,81556	0,04062
	A ₂	54,82912	0,31143
	X ₀	23,57236	0,17808
	P	2,35563	0,02153
	EC20	13,08639	0,04906
	EC50	23,57236	0,17808
	EC80	42,46064	0,53366

ANOVA						
		GL	SQ	QM	F	P
Temperatura Tora (°C)	Regressão	4	9010190	2252550	1308160	0
	Resíduo	8752	15070,28619	1,72192		
	Total não corrigida	8756	9025260			
	Total corrigida	8755	763707,7049			

sendo: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; valor de F calculado; P= significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

$$R^2 = 0,9803; R^2_{\text{ajustado}} = 0,9803; \text{QM resíduo} = 1,72192$$

APENDICÊ 3-2: Análise de regressão do tempo de vaporização de toras de *Hevea brasiliensis* na temperatura de 56°C.

$$y = A_2 + \frac{(A_1 + A_2)}{\left(1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^p\right)}$$

Parâmetros			
	Parâmetros	Valor	Erro Padrão
Temperatura Tora (°C)	A ₁	20,62232	0,11591
	A ₂	66,12294	0,47866
	X ₀	17,22785	0,21766
	P	1,71656	0,02554
	EC20	7,68236	0,05669
	EC50	17,22785	0,21766
	EC80	38,63377	0,90898

ANOVA						
		GL	SQ	QM	F	P
Temperatura Tora (°C)	Regressão	4	24018900	6004730	598670	0
	Resíduo	12962	130010,2687	10,03011		
	Total não corrigida	12966	24148900			
	Total corrigida	12965	1787620			

sendo: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; valor de F calculado; P= significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

$$R^2 = 0,9273; R^2_{ajustado} = 0,9273; QM \text{ resíduo} = 10,03011$$

APENDICÊ 3-3: Análise de regressão do tempo de vaporização de toras de *Hevea brasiliensis* na classe de temperatura de 71°C.

$$y = A_2 + \frac{(A_1 + A_2)}{\left(1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^p\right)}$$

Parâmetros			
	Parâmetros	Valor	Erro Padrão
Temperatura Tora (°C)	A ₁	19,85925	0,07214
	A ₂	76,66051	0,113223
	X ₀	12,38318	0,03379
	P	2,0415	0,01137
	EC20	6,27945	0,02163
	EC50	12,38318	0,03379
	EC80	24,41984	0,13731

ANOVA						
		GL	SQ	QM	F	P
Temperatura Tora (°C)	Regressão	4	53011600	13252900	22371600	0
	Resíduo	17385	102076,1987	5,87151		
	Total não corrigida	17389	53113700			
	Total corrigida	17388	4940060			

sendo: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; valor de F calculado; P= significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

$$R^2 = 0,9793; R^2_{\text{ajustado}} = 0,9793; \text{QM resíduo} = 5,87151$$

APÊNDICE 4

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DEFEITOS DE DESDOBRO

APENDICÊ 4-1: Rachaduras Principais da madeira de *Hevea brasiliensis*

APENDICÊ 4-1-1: Análise de variância entre as classes de temperaturas

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P
Classes de temperaturas	2	413,00	206,498	4,068	0,03877 *
Resíduo	15	761,43	50,762		

sendo: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; *** = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

APENDICÊ 4-1-2: Teste de Tukey para as classes de temperaturas

Classes de temperaturas	p-valor
2 e 1	0,0314435*
3 e 1	0,1452426NS
3 e 2	0,5165286NS

sendo: 1 – 45°C; 2 – 56°C; 3 – 71°C.

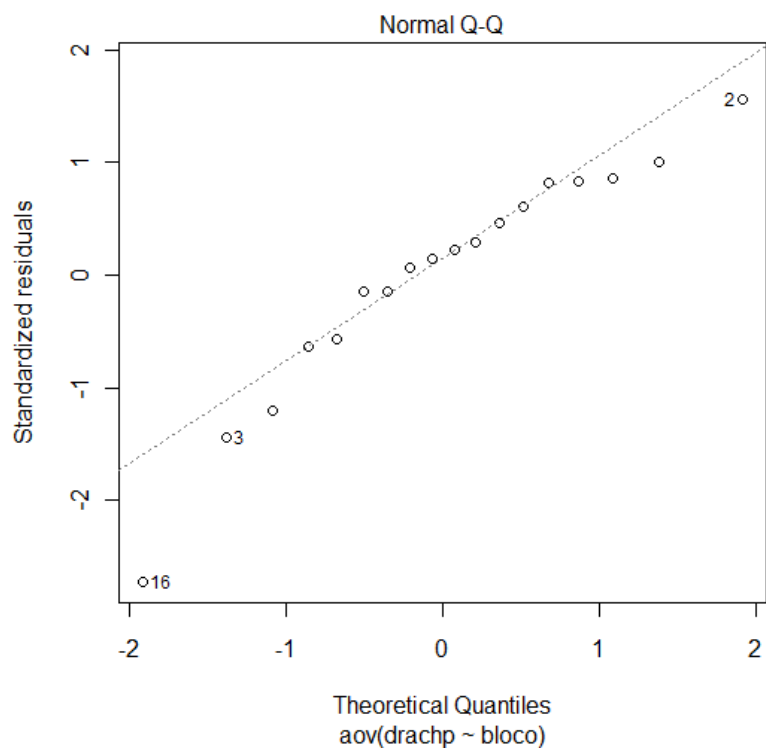
APENDICÊ 4-1-3: P-valor resultante da análise de variância das classes de temperaturas com suas respectivas controle

Variável	p-valor
1 e controle 1	0,02423504*
2 e controle 2	0,1757935NS
3 e controle 3	0,9441953NS

sendo: 1 – 45°C; 2 – 56°C; 3 – 71°C; controle 1 – material controle pareado com a classe de temperatura 45°C; controle 2 – material controle pareado com a classe de temperatura 56°C; controle 3 – material controle pareado com a classe de temperatura 71°C.

APENDICÊ 4-1-4: Teste de Normalidade

Gráfico



Teste de Shapiro – Wilk

$W = 0,9185$, $p\text{-valor} = 0,1214^*$

Teste de Levene – homogeneidade de variâncias

$p\text{-valor} = 0,8044^*$

APENDICÊ 4-2: Rachaduras Totais da madeira de *Hevea brasiliensis*

APENDICÊ 4-2-1: Análise de variância entre as classes de temperaturas

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P
Tratamentos	2	545,48	272,741	43,195	0,03300 *
Resíduo	15	947,12	63,142		

sendo: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; *** = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

APENDICÊ 4-2-2: Teste de Tukey para as classes de temperaturas

Tratamentos	p-valor
2 e 1	0,0265075*
3 e 1	0,1330969NS
3 e 2	0,4896939NS

sendo: 1 – 45°C; 2 – 56°C; 3 – 71°C.

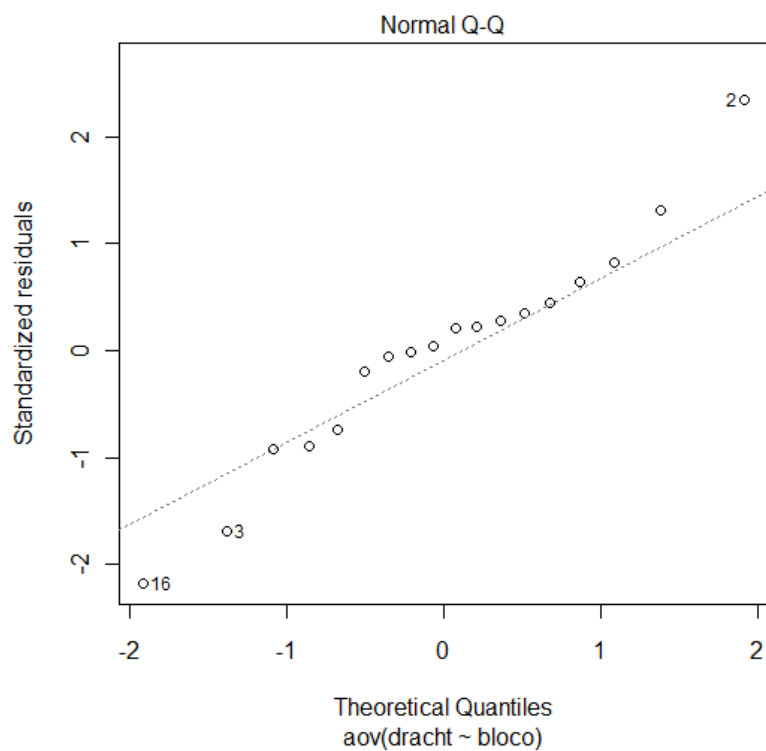
APENDICÊ 4-2-3: P-valor resultante da análise de variância das classes de temperaturas com suas respectivas controle

Variável	p-valor
1 e controle 1	0,01250104*
2 e controle 2	0,2660161NS
3 e controle 3	0,6599557NS

sendo: 1 – 1 – 45°C; 2 – 56°C; 3 – 71°C; controle 1 – material controle pareado com a classe de temperatura 45°C; controle 2 – material controle pareado com a classe de temperatura 56°C; controle 3 – material controle pareado com a classe de temperatura 71°C.

APENDICÊ 4-2-4: Teste de Normalidade

Gráfico



Shapiro – Wilk

$W = 0,9694$, $p\text{-valor} = 0,7855^*$

Teste de Levene – homogeneidade de variâncias

$p\text{-valor} = 0,3042^*$

APENDICÊ 4-3: Arqueamento da madeira de *Hevea brasiliensis*

APENDICÊ 4-3-1: Análise de variância entre as classes de temperaturas

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P
Tratamentos	2	0,022782	0,011391	27,489	0,09614
Resíduo	15	0,062159	0,004144		

sendo: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; *** = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

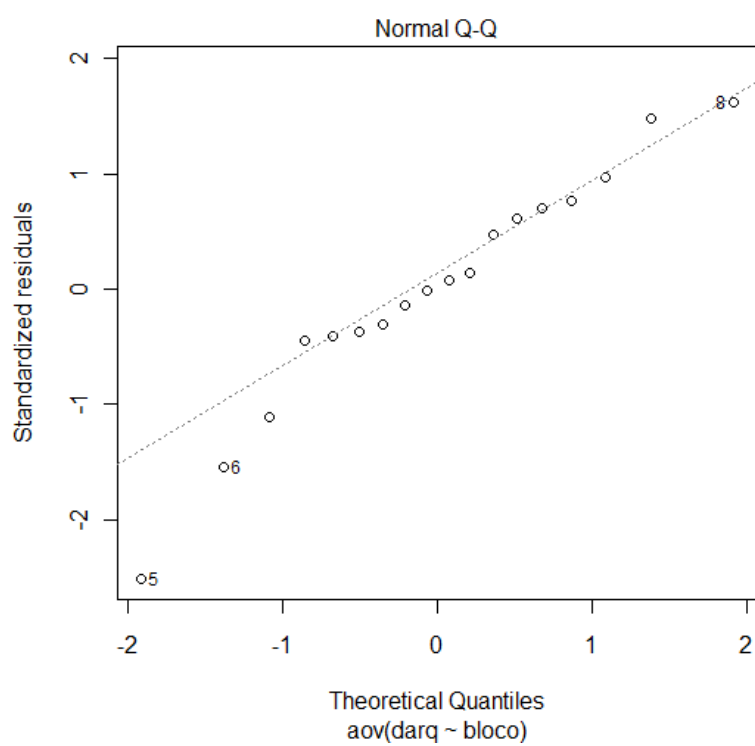
APENDICÊ 4-3-2: P-valor resultante da análise de variância das classes de temperaturas com suas respectivas controle

Variável	p-valor
1 e controle 1	0,2506776NS
2 e controle 2	0,07079388NS
3 e controle 3	0,5795269NS

sendo: 1 – 1 – 45°C; 2 – 56°C; 3 – 71°C; controle 1 – material controle pareado com a classe de temperatura 45°C; controle 2 – material controle pareado com a classe de temperatura 56°C; controle 3 – material controle pareado com a classe de temperatura 71°C.

APENDICÊ 4-3-3: Teste de Normalidade

Gráfico



Shapiro – Wilk

$W = 0,9574$, $p\text{-value} = 0,5528^*$

Teste de Levene – homogeneidade de variâncias

$p\text{-valor} = 0,01602\text{NS}$

Os dados não foram tão homogêneos, porém notou-se o desvio de uma observação.

APENDICÊ 4-4: Encurvamento da madeira de *Hevea brasiliensis*

APENDICÊ 4-4-1: Análise de variância entre as classes de temperaturas

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P
Tratamentos	2	0,006217	0,0031087	0,483	0,62600
Resíduo	15	0,096485	0,0064323		

sendo: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; *** = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

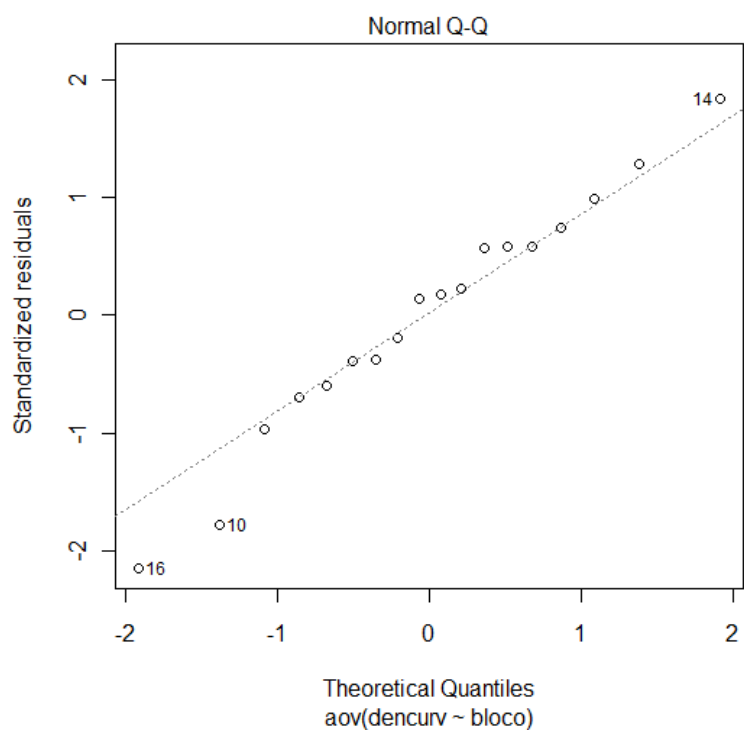
APENDICÊ 4-4-2: P-valor resultante da análise de variância das classes de temperaturas com suas respectivas controle

Variável	p-valor
1 e controle 1	0,1357005NS
2 e controle 2	0,1715109NS
3 e controle 3	0,006780248*

sendo: 1 – 45°C; 2 – 56°C; 3 – 71°C; controle 1 – material controle pareado com a classe de temperatura 45°C; controle 2 – material controle pareado com a classe de temperatura 56°C; controle 3 – material controle pareado com a classe de temperatura 71°C.

APENDICÊ 4-4-3: Teste de Normalidade

Gráfico

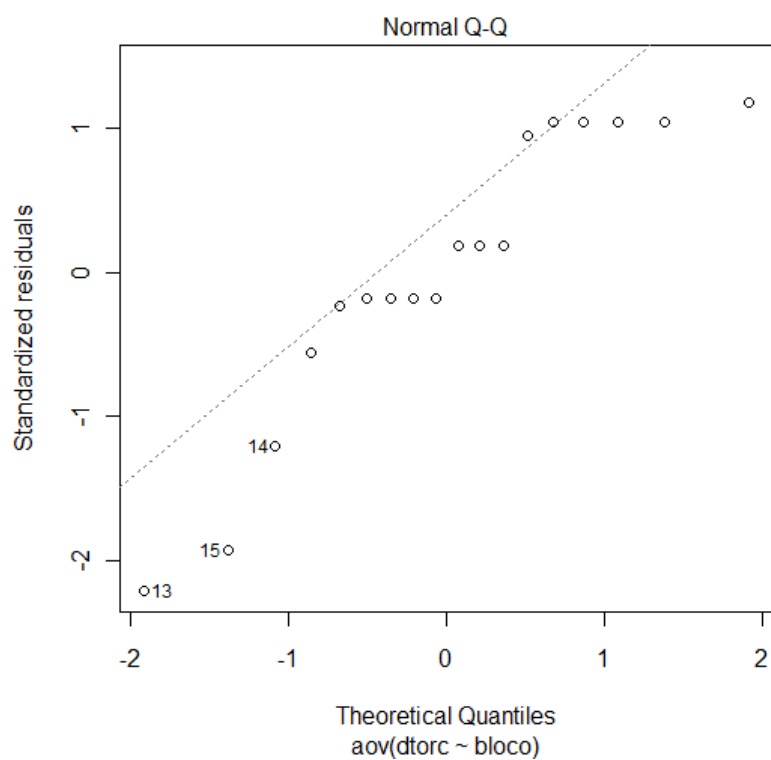


Shapiro – Wilk

$W = 0,9767$, $p\text{-valor} = 0,9092^*$

Teste de Levene – homogeneidade de variâncias

$p\text{-valor} = 0,3343^*$

APENDICÊ 4-5: Torcimento da madeira de *Hevea brasiliensis***APENDICÊ 4-5-1: Teste de Normalidade****Gráfico****Shapiro – Wilk**

$W = 0,8836$, $p\text{-valor} = 0,03004NS$

Teste de Levene – homogeneidade de variâncias

$P\text{-valor} = 0,0001056NS$

Os dados não apresentaram normalidade e isso se deve pelo baixo número da ocorrência deste defeito entre as classes de temperaturas, desta forma o número de réplicas deveria ser maior para se explorar melhor o padrão deste defeito. Por isso foi sugerido para tal defeito apenas analisar de forma descritiva os dados.

TORCIMENTO					
Temperaturas de Vapor	Controle		Vaporizada		Aumento (+) ou Redução (-) do Defeito (%)
	Média (%)	CV (%)	Média (%)	CV (%)	
54,4±4,1°C	0,09	547,72	0,04a	529,15	-55,38NS
74,5±3,9°C	0,55	292,48	0,52a	286,69	-5,72NS
91,8±3,0°C	0,32	309,67	0,01a	707,11	-97,96*
Todas	0,35	338,34	0,19	476,02	-45,79

APENDICÊ 4-6: Abertura das tábuas em relação à tora durante o desdobro da madeira de *Hevea brasiliensis*

APENDICÊ 4-6-1: Análise de variância entre as classes de temperaturas

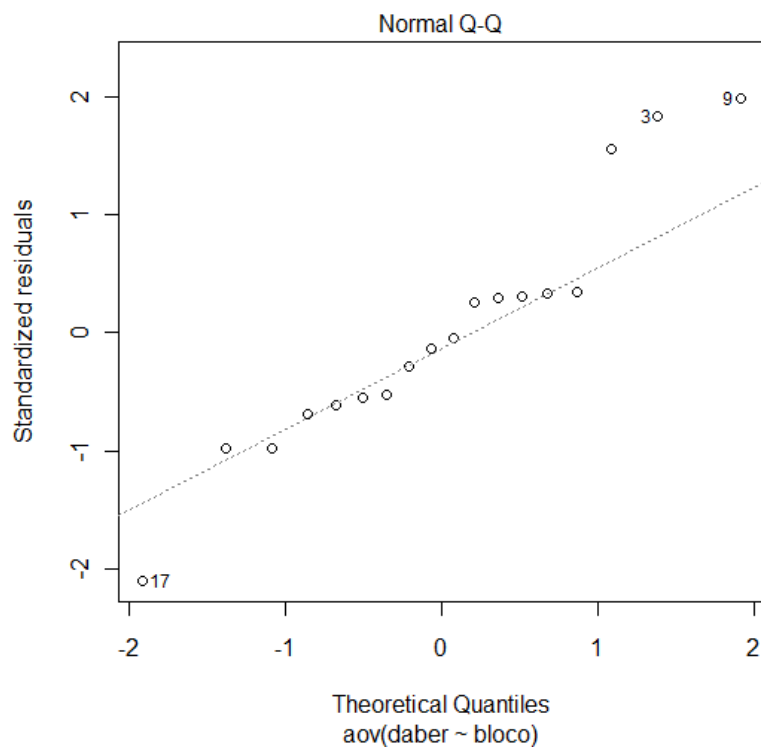
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P
Tratamentos	2	87,19	43,594	14,626	0,2628
Resíduo	15	447,07	29,805		

sendo: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; *** = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

APENDICÊ 4-6-2: P-valor resultante da análise de variância das classes de temperaturas com suas respectivas controle

Variável	p-valor
1 e controle 1	0,04911301*
2 e controle 2	0,6534472NS
3 e controle 3	0,01089696*

sendo: 1 – 45°C; 2 – 56°C; 3 – 71°C; controle 1 – material controle pareado com a classe de temperatura 45°C; controle 2 – material controle pareado com a classe de temperatura 56°C; controle 3 – material controle pareado com a classe de temperatura 71°C.

APENDICÊ 4-6-3: Teste de Normalidade**Gráfico****Shapiro – Wilk**

$W = 0,9406$, $p\text{-valor} = 0,2964^*$

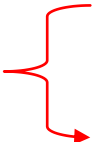
Teste de Levene – homogeneidade de variâncias


$p\text{-valor} = 0,9357^*$

APÊNDICE 5

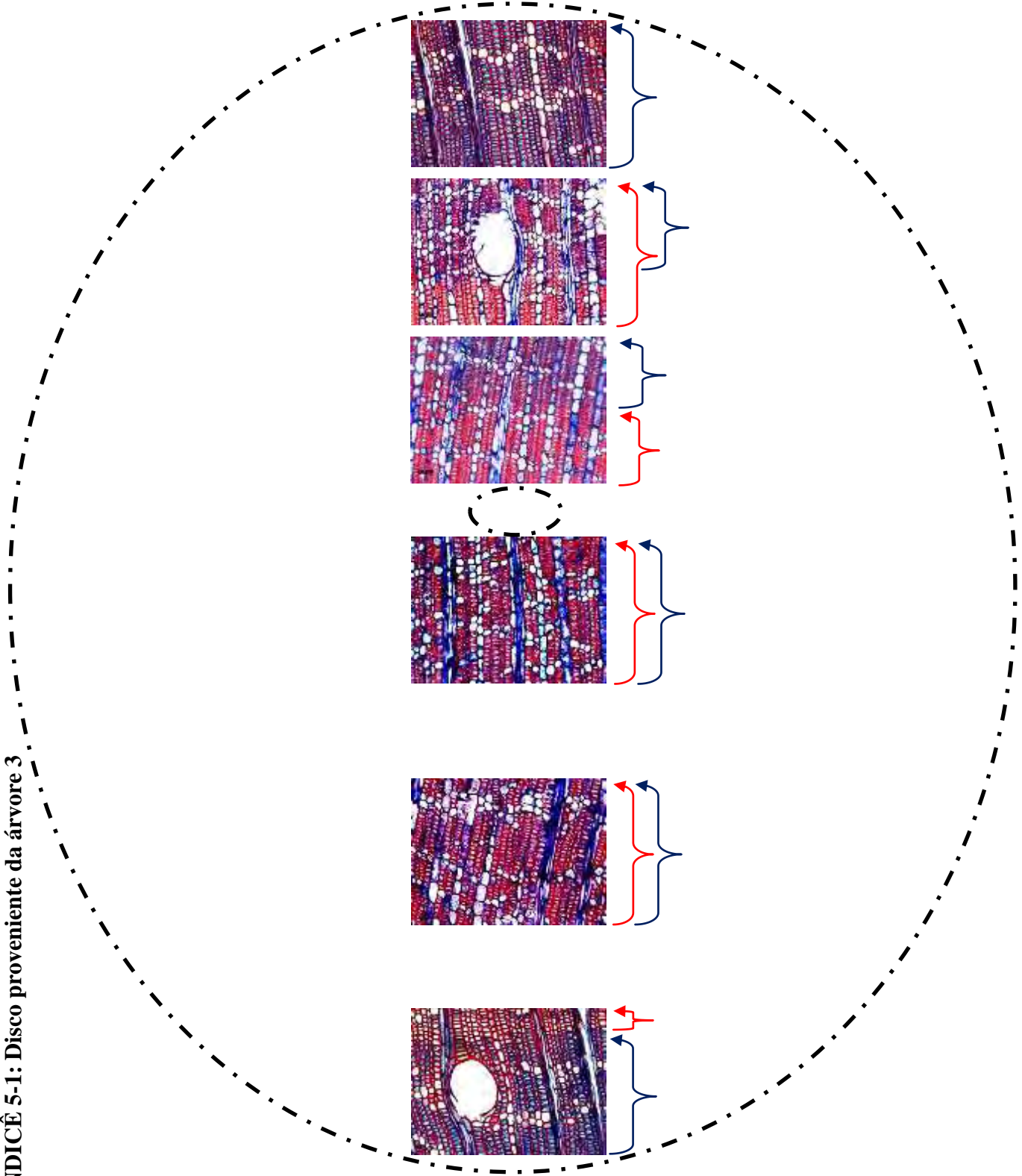
**ANÁLISE MICROSCÓPICA QUALITATIVA AO REDOR DA CIRCUNFERÊNCIA
DO DISCO**

APENDICÊ 5:**Legenda**

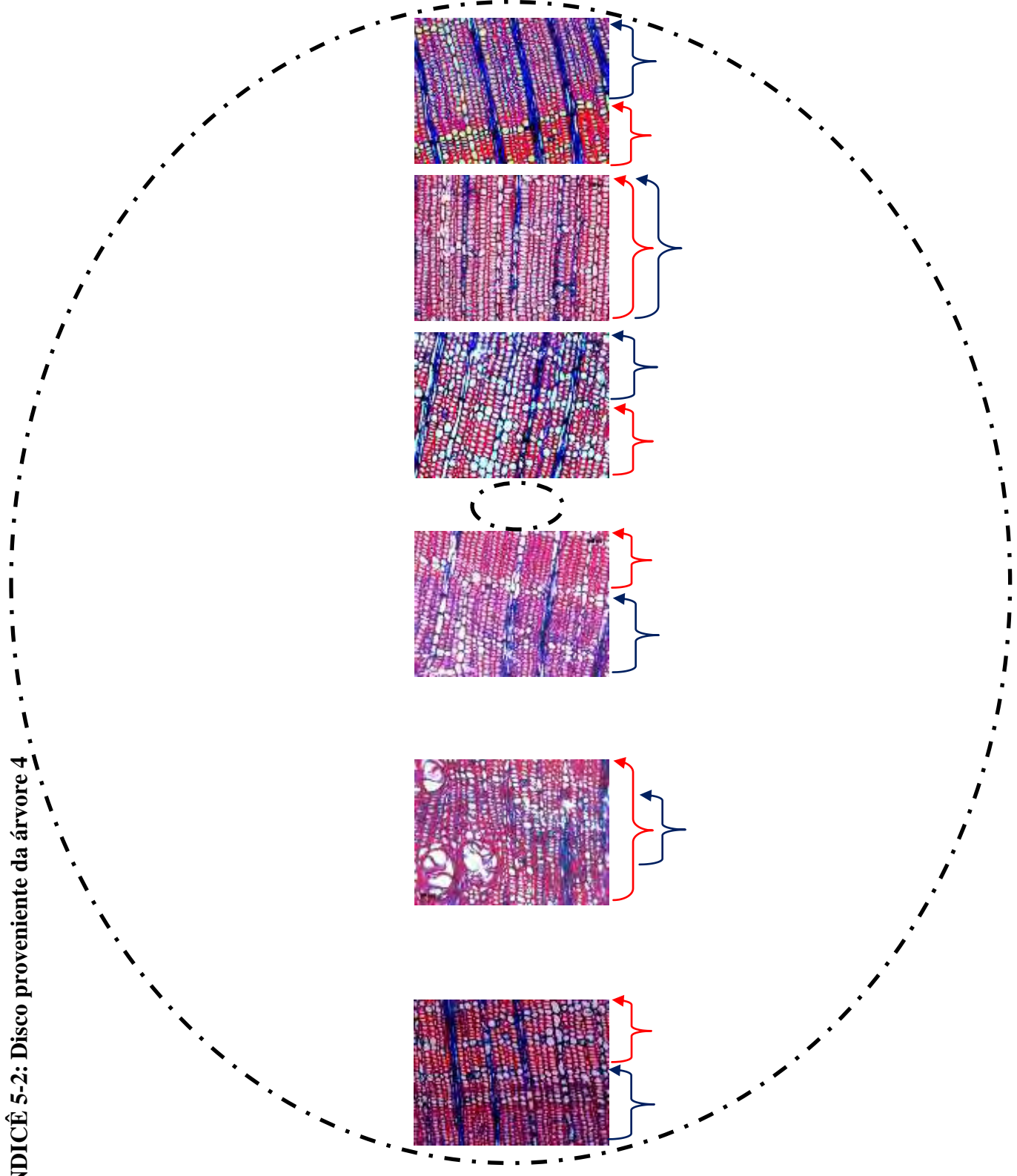
Madeira normal 

Madeira de reação (tração) 

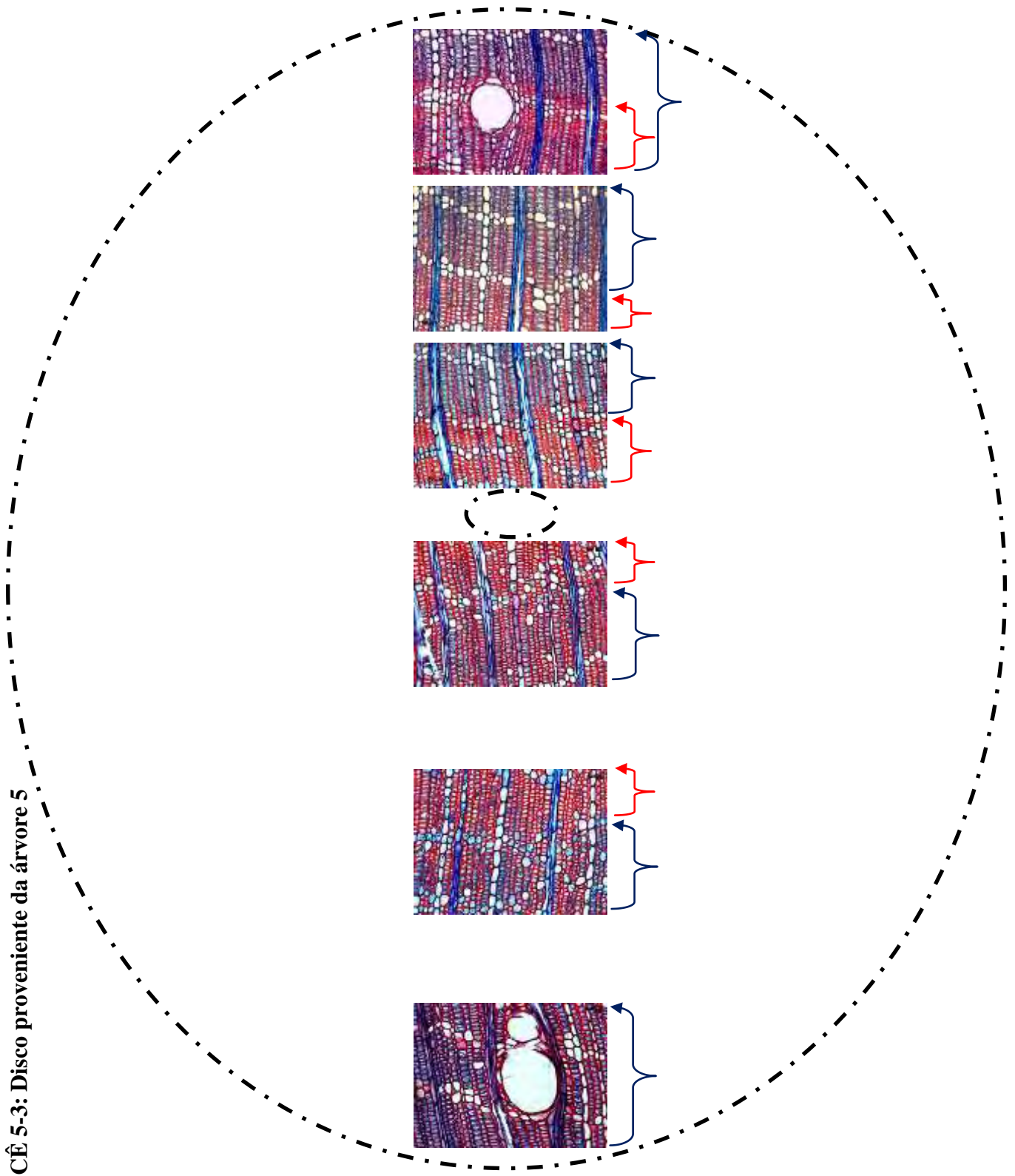
APENDICÊ 5-1: Disco proveniente da árvore 3



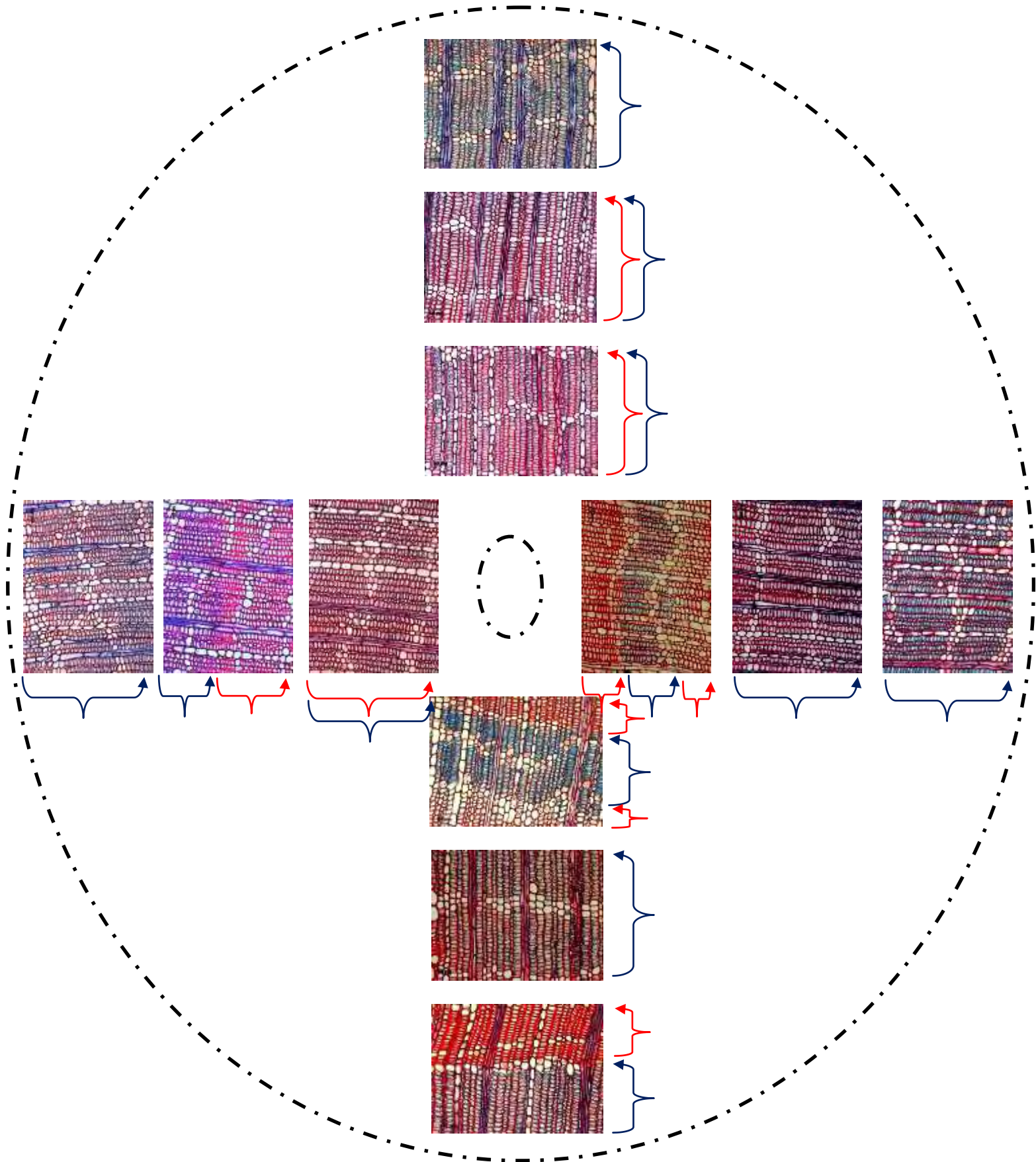
APENDICÊ 5-2: Disco proveniente da árvore 4



APENDICÊ 5-3: Disco proveniente da árvore 5



APENDICÊ 5-4: Disco proveniente da árvore 8



APENDICÊ 5-5: Disco proveniente da árvore 15

