

**LEONARDO CHAGAS DE SOUSA**

Caracterização da madeira de tração em  
*Eucalyptus grandis* e sua influência na  
produção de polpa celulósica

Tese apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Science*.

**VIÇOSA**  
**MINAS GERAIS – BRASIL**  
**2004**

**LEONARDO CHAGAS DE SOUSA**

Caracterização da madeira de tração em  
*Eucalyptus grandis* e sua influência na  
produção de polpa celulósica

Tese apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Science*.

Aprovada: 20 de Fevereiro de 2004.

---

Prof. José Tarcísio da Silva Oliveira  
(Conselheiro)

---

Prof. José Lívio Gomide  
(Conselheiro)

---

Prof. Benedito Rocha Vital

---

Pesq. Antônio da Silva Maciel

---

Prof. Ricardo Marius Della Lucia  
(Orientador)

À minha Mãe **CAROLINA RISSARDI DE SOUSA**  
À meu Pai **FRANCISCO CHAGAS DE SOUSA**  
À meu Irmão **HENRIQUE DOUGLAS DE SOUSA**  
À minha Noiva **LUCIANA BALDEZ DE ALMEIDA**

***Dedico!***

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Viçosa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro para a realização desse trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF/UFV), pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Ricardo Marius Della Lucia, pela paciência, pela dedicação e entusiasmo durante a realização desse e de outros trabalhos, mas acima de tudo pela amizade demonstrada durante essa maravilhosa convivência.

Ao Professor José Tarcísio da Silva Oliveira, pelos conselhos, ensinamentos, amizade, mas acima de tudo por mostrar que quem batalha com honestidade e afincado sempre atinge grandes vitórias.

Ao Professor José Lívio Gomide, pelos conselhos, pelos ensinamentos, e pelo auxílio na realização de parte das análises.

Ao Professor Benedito Rocha Vital pelas excelentes aulas e pelas sugestões no trabalho.

Ao Pesquisador Antônio da Silva Maciel, pela amizade, e pelos conselhos e questionamentos que sempre nos engrandece.

Ao estagiário Alessandro pelo enorme auxílio na realização das análises.

À minha noiva Luciana Baldez de Almeida pelo carinho, paciência e grande ajuda na realização desse trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira, Oswaldo e José Magalhães (*in memorian*) pelo auxílio na coleta de dados.

A empresa Cenibra S.A na pessoa do Engenheiro Florestal David Evandro Fernandes, pelo material cedido e pelo apoio financeiro.

## **BIOGRAFIA**

LEONARDO CHAGAS DE SOUSA, filho de Francisco Chagas de Sousa e Carolina Rissardi de Sousa, nasceu em São José do Rio Preto interior do estado de São Paulo, em 14 de Setembro de 1977. Concluiu o primeiro grau no Instituto São José Salesiano, na cidade de Resende, interior do estado do Rio de Janeiro, e o segundo grau no Colégio Estadual Padre Augusto Horta, na cidade de Paraopeba interior do estado de Minas Gerais.

Em 1998 ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em Setembro de 2002.

No mesmo mês ingressou no Programa de Mestrado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa tendo como área de concentração a Tecnologia e Qualidade da Madeira, concluindo-o em Fevereiro de 2004.

## CONTEÚDO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	IX
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	XI
<b>RESUMO</b> .....	XIII
<b>ABSTRACT</b> .....	XV
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
<b>2.1 O GÊNERO <i>Eucalyptus</i></b> .....	4
<b>2.2 ANATOMIA DA MADEIRA</b> .....	8
<b>2.3 MADEIRA DE TRAÇÃO</b> .....	13
2.3.1 Características anatômicas da madeira de tração.....	14
2.3.2 Composição química da madeira de tração.....	19
2.3.3 Características físicas da madeira de tração.....	21
2.3.4 Influência da madeira de tração nas propriedades mecânicas.....	24
2.3.5 Madeira de tração e suas relações com as tensões de crescimento.....	25
2.3.6 Causas que determinam a ocorrência de madeira de tração.....	27
2.3.7 Correlação entre as características da madeira e o seu uso final.....	27
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	30
<b>3.1 COLETA DAS ÁRVORES</b> .....	30

<b>3.2 RETIRADA DOS DISCOS PARA ANÁLISE</b> .....	31
<b>3.3 DENSIDADE BÁSICA E CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA</b> .....	32
<b>3.4 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA</b> .....	33
3.4.1 Preparo de macerado.....	33
3.4.2 Preparo de cortes histológicos .....	34
<b>3.5 ANÁLISE QUÍMICA</b> .....	35
3.5.1 Extrativos da madeira em álcool tolueno.....	36
3.5.2 Lignina Total.....	36
<b>3.6 POLPAÇÃO KRAFT</b> .....	36
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	38
<b>4.1 DENSIDADE BÁSICA</b> .....	38
<b>4.2 CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA</b> .....	47
<b>4.3 ANATOMIA DA MADEIRA</b> .....	51
4.3.1 Largura das fibras .....	51
4.3.2 Espessura da parede e diâmetro do lume das fibras. ....	53
4.3.3 Comprimento das fibras.....	55
4.3.4 Frequência de vasos.....	57
4.3.5 Diâmetro tangencial dos vasos. ....	59
<b>4.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA</b> .....	61
4.4.1 Lignina .....	62
4.4.2 Extrativos.....	63
<b>4.5 POLPAÇÃO KRAFT</b> .....	64
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	67
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	69



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Gráfico ilustrativo mostrando a tendência da variação do diâmetro dos vasos no sentido medula-casca, com base em informações de vários autores. .	10
<b>Figura 2:</b> Gráfico ilustrativo mostrando a tendência de variação da frequência dos vasos no sentido medula-casca, com base em informações de vários autores. .	11
<b>Figura 3:</b> Gráfico ilustrativo mostrando a variação no comprimento, largura e espessura da parede das fibras no sentido medula-casca.....	11
<b>Figura 4:</b> a) Evidência da presença de madeira de tração; b) Fibras gelatinosas em destaque; c) faixa com presença de madeira de tração; d) fibras gelatinosas agrupadas; e) fibras gelatinosas espalhadas.....	18
<b>Figura 5:</b> Fibras de madeira normal. ....	19
<b>Figura 6:</b> Fibras de madeira de tração .....	19
<b>Figura 7:</b> Talhão mostrando as árvores inclinadas pelo vento.....	31
<b>Figura 8:</b> Árvores amostradas para realização deste trabalho.....	31
<b>Figura 9:</b> Disco de madeira mostrando as coordenadas geográficas .....	32
<b>Figura 10:</b> Programa Image-Pro Plus em funcionamento para a medição da largura da fibra e diâmetro do lume. ....	34
<b>Figura 11:</b> Programa Image-Pro Plus em funcionamento para a medição do diâmetro e frequência dos vasos. ....	35

<b>Figura 12:</b> Digestor batch computadorizado com seus quatro reatores. ....	37
<b>Figura 13:</b> Parâmetros estatísticos de densidade básica por árvore .....	40
<b>Figura 14:</b> Variação da densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) no sentido medula casca. ....	41
<b>Figura 15:</b> Variação da densidade básica no sentido medula-casca por altura na árvore. ....	43
<b>Figura 16:</b> Variação da densidade básica por altura na árvore. ....	45
<b>Figura 17:</b> Correlação entre densidade básica e contração volumétrica. ....	48
<b>Figura 18:</b> Variação da contração volumétrica com a altura da árvore .....	49
<b>Figura 19:</b> Contração volumétrica (%) no sentido medula-casca. ....	50
<b>Figura 20:</b> Corte transversal mostrando a madeira normal e os vasos de diâmetros entre 120 e 150 ( $\mu\text{m}$ ), no aumento de 40 vezes. ....	60
<b>Figura 21:</b> Corte transversal mostrando a madeira de tração e os vasos de diâmetros entre 70 e 110 ( $\mu\text{m}$ ), no aumento de 40 vezes. ....	60

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Função realizada pelos diferentes elementos anatômicos.....	9
<b>Quadro 2:</b> Variação da frequência e diâmetro dos vasos em algumas espécies de Eucalyptus. ....	10
<b>Quadro 3:</b> Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) por árvore. ....	39
<b>Quadro 4:</b> Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) no sentido medula-casca. ....	41
<b>Quadro 5:</b> Comparação entre a densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) da madeira normal e da madeira de tração.....	44
<b>Quadro 6:</b> Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) por altura na árvore .....	45
<b>Quadro 7:</b> Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) por coordenada no disco .....	46
<b>Quadro 8:</b> Contração volumétrica (%) por árvore.....	47
<b>Quadro 9:</b> Comparação entre a contração volumétrica (%) da madeira normal e da madeira de tração.....	48
<b>Quadro 10:</b> Contração volumétrica (%) por coordenada no disco.....	51
<b>Quadro 11:</b> Largura das fibras ( $\mu\text{m}$ ) por árvore .....	52
<b>Quadro 12:</b> Comparação entre a largura das fibras ( $\mu\text{m}$ ) da madeira normal e da madeira de tração.....	52
<b>Quadro 13:</b> Espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ) por árvore .....	54

<b>Quadro 14:</b> Comparação entre a espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ) da madeira normal e da madeira de tração.....	54
<b>Quadro 15:</b> Comparação entre o diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ) da madeira normal e da madeira de tração.....	55
<b>Quadro 16:</b> Comprimento das fibras (mm) por árvore .....	56
<b>Quadro 17:</b> Comparação entre comprimento das fibras (mm) da madeira normal e da madeira de tração .....	57
<b>Quadro 18:</b> Frequência de vasos (poros/ $\text{mm}^2$ ) por árvore .....	58
<b>Quadro 19:</b> Comparação entre frequência de vasos (poros/ $\text{mm}^2$ ) da madeira normal e da madeira de tração.....	58
<b>Quadro 20:</b> Diâmetro tangencial dos vasos ( $\mu\text{m}$ ) por árvore.....	59
<b>Quadro 21:</b> Comparação entre o diâmetro dos vasos ( $\mu\text{m}$ ) da madeira normal e da madeira de tração.....	59
<b>Quadro 22:</b> Teor de lignina total (%) por árvore .....	62
<b>Quadro 23:</b> Comparação entre o teor de lignina (%) da madeira normal e da madeira de tração.....	62
<b>Quadro 24:</b> Teor de extrativos em álcool/tolueno (%) por árvore.....	63
<b>Quadro 25:</b> Comparação entre o teor de extrativos em álcool/tolueno (%) da madeira normal e da madeira de tração.....	64
<b>Quadro 26:</b> Parâmetros comparativos na produção de celulose com madeira normal e com madeira de tração .....	65

## RESUMO

SOUSA, Leonardo Chagas de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2004. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica.** Orientador: Ricardo Marius Della Lucia. Conselheiros: José Lívio Gomide e José Tarcísio da Silva Oliveira.

O lenho de reação nas folhosas, chamado de lenho de tração, forma-se ao longo do lado superior de caules e ramos, causando a sua reorientação gradual por contração longitudinal. É caracterizado pelo alto conteúdo de celulose e baixo de lignina, quando comparado ao lenho normal. As fibras do lenho de tração na maioria das vezes possuem uma espessa camada, conhecida como camada gelatinosa na parte interna à parede celular secundária. Como visto acima, pode-se afirmar que a madeira de tração por modificar as características da matéria prima deve ser encarada como um problema relevante na indústria de celulose e papel e também na indústria de produtos sólidos de madeira. Diante do exposto esse estudo teve como objetivo caracterizar a madeira de tração em árvores de *Eucalyptus grandis* e avaliar sua influência na polpa celulósica produzida a partir desse tipo de madeira. Para a realização desse estudo foram utilizadas três árvores inclinadas que foram abatidas e divididas em toretes de um metro de comprimento iniciando na base (primeira tora) até a altura onde houve desenvolvimento de um broto em função da perda da dominância apical. Como resultados pode-se destacar que a madeira de tração apresentou maior densidade

básica e maior contração volumétrica. Quanto à constituição química destaca-se o menor teor de lignina e também o menor teor de extrativos com conseqüente aumento no teor de holocelulose. Já quanto aos parâmetros anatômicos ressaltam-se a não alteração na largura das fibras, o aumento na espessura de suas paredes, explicado pela presença da camada gelatinosa, e o aumento no comprimento das mesmas. Os vasos encontrados na madeira de tração foram menores e menos freqüentes. Quanto aos resultados de cozimento pode-se destacar o menor consumo de produtos químicos para a obtenção de um mesmo número Kappa. Isso ocorre devido ao menor teor de lignina e de extrativos na madeira de tração. Pode-se destacar também, que a viscosidade encontrada tanto para a madeira normal quanto para a madeira de tração foi a mesma, e se considerarmos que no cozimento realizado com a madeira de tração a carga de reagentes foi menor, era de se esperar uma maior viscosidade nesse tipo de madeira. Dentre todos os resultados o mais interessante foi o maior rendimento em polpa celulósica obtido no cozimento da madeira de tração, devido principalmente à presença da camada gelatinosa rica em celulose. O rendimento total de polpa celulósica na madeira normal foi em torno de 49% e na madeira de tração em torno de 58%.

## ABSTRACT

SOUSA, Leonardo Chagas de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February, 2004. **Characterization of tension wood in *Eucalyptus grandis* and evaluation of its effect on Kraft pulp production.** Adviser: Ricardo Marius Della Lucia. Committee Members: José Lívio Gomide and José Tarcísio da Silva Oliveira.

The reaction wood in broadleaved trees, usually called tension wood, is found on the top side of stems and branches, causing them to reorient themselves by longitudinal shrinkage. It is characterized by a high proportion of cellulose and low of lignin, when compared to normal wood. The fibers usually show an abnormally thick wall, called gelatinous layer, on the inside of the secondary wall. Due to its effect on wood properties, reaction wood may be considered a serious problem in cellulose manufacture and also for the industry of solid wood products. This study had the objective of characterizing tension wood in *Eucalyptus grandis* and of evaluating its effect on cellulose production. Three inclined trees were chosen, harvested and cross-cut in 1.0 m long logs, from the bottom of the trees up to the first branch. Results showed that the tension wood in the trees had higher specific gravity and higher shrinkage values. The chemical composition also changed, with a smaller percentage of lignin and of extractives. Anatomically, it was found that the fiber width remained the same as that in normal wood, although its wall thickness increased due to the gelatinous layers. The fibers are also significantly longer. The vessels found in tension wood were

smaller and less frequent. As to pulping, it was found that tension wood required a smaller quantity of chemicals to reach a prescribed kappa number. This is due to the low lignin concentration. The viscosity of pulp from tension wood was the same as that of normal wood, this indicating that the degree of polymerization is lower in tension wood, seeing that less pulping chemicals were used. A very important finding was that the yield was significantly higher in pulping tension wood, mostly due to the presence of the gelatinous layer. The yield for normal wood was 49%, while that for tension wood reached about 58%.



# 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material heterogêneo que possui vários tipos de células, que são adaptadas a desempenharem uma função específica. Devido ao seu amplo espectro de utilização, a madeira acompanha a humanidade desde o seu surgimento, servindo como fonte de energia, de abrigo, de armas e também como meio de transporte.

Com o passar do tempo e o desenvolvimento de novas tecnologias, a madeira passou a ser utilizada de formas mais variadas e complexas. Hoje em dia, ela atingiu um elevado padrão tecnológico de utilização, sendo fonte de matéria prima para uma grande variedade de produtos tais como celulose e papel, painéis de partículas, chapas de fibras, compensados e madeira serrada, dentre outros.

Essas novas utilizações, além de permitirem um maior valor agregado à madeira, fizeram com que surgisse também uma crescente necessidade de novos estudos visando um maior conhecimento dos problemas, das qualidades e principalmente da sua adequação a determinados usos.

Nos dias atuais, além de uma tendência de aumento na demanda por madeira, um fato que chama a atenção é a substituição de madeiras nativas por madeiras provenientes de reflorestamento que, além de apresentarem um desenvolvimento mais rápido, apresentam também características adequadas aos novos usos.

Outro fator preponderante nessa nova tendência é a restrição imposta ao uso de madeiras provenientes de florestas tropicais nativas por estas já se apresentarem em fase de esgotamento em razão da intensa exploração.

No Brasil quando se pensa em espécies de rápido crescimento como alternativa na produção de madeira, o gênero *Eucalyptus* se apresenta com uma opção potencial das mais importantes, não somente por sua capacidade produtiva e adaptabilidade a diversos ambientes, mas, sobretudo, pela grande diversidade de espécies, tornando possível atender aos requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira (ASSIS, 1999).

Porém, no Brasil, apenas algumas espécies do gênero *Eucalyptus* são plantadas comercialmente nas indústrias de base florestal. Dentre essas poucas espécies pode-se destacar o *Eucalyptus grandis*, que é muito utilizado na indústria de celulose e papel, na indústria de painéis reconstituídos e, mais recentemente, na produção de madeira serrada visando utilizações mais nobres como construções de casas e produção de móveis.

Nos plantios comerciais das grandes empresas brasileiras são utilizados clones que, na maioria dos casos, sofreram um processo de melhoramento visando à indústria de celulose e papel. Esse melhoramento visa a obtenção de árvores com crescimento cada vez mais rápido, com uma densidade adequada à indústria e, se possível, com baixo teor de lignina para facilitar o processo de polpação da madeira reduzindo o consumo de reagentes químicos no mesmo.

Esses parâmetros utilizados no melhoramento fazem com que as árvores tenham a sua resistência mecânica diminuída principalmente nos primeiros anos de vida, e isso, associado a uma grande ocorrência de ventos nas áreas de algumas dessas empresas, acaba fazendo com que muitas árvores se inclinem. Essa inclinação induz a formação de uma madeira anormal conhecida como madeira de tensão ou madeira de tração.

Essa madeira, por ter suas características alteradas, pode influenciar tanto no processo de produção de celulose como também nas características do produto final, gerando um problema para as empresas, pois estas têm na padronização de seu produto um grande trunfo para manutenção e conquista de novos mercados.

Além dos problemas causados na indústria de celulose e papel como a diminuição da resistência da polpa causada pela presença da camada gelatinosa, a madeira de tração também causa sérios problemas na indústria que utiliza madeira serrada, pois a presença desse tipo de madeira implica em desenvolvimento de defeitos durante a secagem e em diminuição da sua resistência mecânica, o que freqüentemente faz com que ela seja imprópria para determinados usos.

Diante disso, este estudo foi conduzido com objetivo de investigar e caracterizar, alguns parâmetros físicos, químicos e anatômicos da madeira de tração em árvores de um híbrido natural de *Eucalyptus grandis* com quatro anos de idade, inclinadas por ação de ventos, dois anos após a ocorrência do sinistro, na região do Vale do Rio Doce, no leste de Minas Gerais, e avaliar sua influência no produto final, no caso a polpa celulósica.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O GÊNERO *Eucalyptus*

Segundo ROCHA (2000), citando RODERJAN (1999), as espécies do gênero *Eucalyptus* têm sua origem na Austrália, Tasmânia e ilhas da Oceania (Java, Filipinas, Papua, Timor etc), sendo geralmente árvores de grande porte e de rápido crescimento, aptas ao manejo pelo sistema de talhadia quando, após o corte raso, gemas dormentes dos cotilédones e primeiras folhas entram em atividade, permitindo a condução das rebrotas por mais duas rotações. De acordo com WAUGH e ROZSA (1991), as florestas australianas são dominadas por eucaliptos. Lá existem cerca de 720 espécies reconhecidas, das quais aproximadamente 100 são utilizadas em produtos de madeira. Essa abundância de espécies do gênero crescendo em florestas naturais, é a causa do grande desenvolvimento das indústrias de base florestal australianas. Os eucaliptos mostram-se bastante indiferentes às qualidades químicas do solo, sendo mais sensíveis às suas propriedades físicas. Eles crescem bem nos substratos profundos e permeáveis, inclusive arenosos (RIZZINI, 1978).

No Brasil, as espécies do gênero *Eucalyptus* foram introduzidas por volta de 1900, mas a sua utilização em plantios comerciais só teve grande impulso com a aprovação da lei dos incentivos fiscais, que permitia o investimento de parte do imposto de renda devido pelas empresas, em atividade de reflorestamento. Graças a esta lei, iniciada no ano de 1966, a área plantada com espécies desse

gênero chegou a aproximadamente 3,7 milhões de hectares em 1986, ano da sua extinção. Hoje em dia estima-se que o Brasil possua uma área plantada de cerca de 2 milhões de hectares em madeira de eucalipto (SILVA, 2002)

Os primeiros reflorestamentos incentivados foram feitos com o objetivo de produzir matéria-prima para a indústria siderúrgica via carvão vegetal, e para a indústria de celulose e papel, esta estimulada pelo fato de a polpa de fibras curtas de eucalipto ter ganho rapidamente grande espaço no mercado mundial, devido a características que favorecem a produção de polpa para papéis de imprimir e escrever e do tipo tissue, principalmente opacidade, maciez e volume específico.

Cabe destacar que em face da falta de conhecimento tecnológico que propiciasse a utilização de técnicas silviculturais corretas e a utilização de sementes adequadas, a produtividade das primeiras florestas incentivadas era muito baixa, na maioria das vezes em torno de 10-15 m<sup>3</sup>/ha/ano.

Cabe também ressaltar que como reflexo da falta de planejamento inicial, a produção de madeira de qualidade para utilizações mais exigentes, como os propósitos de serraria, era muito rara. Apesar dos erros cometidos no início da implantação das florestas de eucalipto na década de 60, algumas empresas, desde aquela época, investiram maciçamente em pesquisa, melhoramento genético e seleção de material, e hoje já despontam como principais líderes na oferta de madeira de eucalipto de qualidade e de produtos provenientes das mesmas para o mercado interno e externo.

Quanto às características gerais do gênero *Eucalyptus*, destaca-se o alburno delgado, com menos de três centímetros e de coloração clara. O cerne, segundo ALFONSO (1987), apresenta cor variando desde amarelado, até vários tons pardo-avermelhados e vermelhos. A madeira apresenta pouco brilho, grã de direita a reversa e textura de fina a média; pode ser macia, mas também moderadamente dura ao corte, com cheiro e gosto indistintos. Quanto à densidade aparente, as madeiras variam desde leves, até médias e aquelas bastante pesadas, ou seja, como publicado por ALBUQUERQUE (1991), valores variando de aproximadamente 0,4 a 1,2 g/cm<sup>3</sup>. O gênero se caracteriza por uma

constituição anatômica muito homogênea entre as espécies, sendo, portanto de difícil identificação.

Segundo ALFONSO (1987), o xilema secundário na maioria das vezes apresenta poros solitários, existindo, porém, exceções como, por exemplo, as espécies de *Corymbia maculata* e *Corymbia citriodora*, que já pertenceram ao gênero *Eucalyptus*, em que eles variam de solitários a múltiplos de dois e quatro. O parênquima axial do gênero se caracteriza pela relativa abundância na maioria das espécies, com tipos variados do difuso esparso, sub-agregado, vasicêntrico ou confluyente. Quanto ao parênquima radial, o gênero possui raios relativamente finos e baixos, com predomínio dos unisseriados, localmente bisseriados e bisseriados. Quanto às fibras, há um predomínio dos fibrotraqueídeos, de paredes espessas a muito espessas, como naquelas espécies com madeiras mais densas, por exemplo, *Eucalyptus microcorys*, *Corymbia maculata*, *Eucalyptus propinqua*, *Eucalyptus paniculata*, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus punctata*, entre outras. Também algumas espécies apresentam cristais rombóides em séries cristalíferas nas células do parênquima axial, ou ainda no raio como as espécies de *Corymbia maculata*, *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus sideropholia*. Outra característica importante, em algumas espécies como *Corymbia maculata* e *Corymbia citriodora*, é a presença de canais traumáticos, que ocorrem principalmente devido a algum “stress” sofrido pela árvore durante o período de formação.

Quanto à estrutura anatômica da madeira de eucalipto, devem ser destacadas ainda a formação de tiloses nos vasos de boa parte das espécies, que às vezes podem levar à sua completa obstrução, bem como o pequeno diâmetro das pontoações aureoladas que fazem a conexão entre os fibrotraqueídeos, ou entre estes e os elementos vasculares. Estas características estão diretamente associadas com a impermeabilidade do cerne da madeira de eucalipto. As pontoações de diâmetros diminutos, associadas à presença de tiloses, são responsáveis em grande parte pela dificuldade de secagem e a praticamente inexistente tratabilidade de tais lenhos.

Segundo SILVA (2002), por apresentar uma constituição anatômica relativamente simples e homogênea quanto à morfologia dos elementos anatômicos, a madeira de eucalipto caracteriza-se por uma trabalhabilidade relativamente fácil, podendo-se conseguir cortes e superfícies de qualidade sem maiores dificuldades.

Um aspecto positivo em relação à madeira de eucalipto, é o grande espectro de propriedades em função das diferentes espécies que são facilmente cultivadas no País. Assim, tem-se desde madeiras leves e com baixa durabilidade, até aquelas aptas às utilizações estruturais e de relativa durabilidade, mesmo sem serem preservadas. Hoje em dia algumas empresas optaram pelo desenvolvimento de clones, provenientes de matrizes selecionadas e melhoradas para usos específicos, como, por exemplo, destinados a produção de madeira para serraria de excelentes qualidades.

Mesmo com toda a evolução tecnológica na produção de madeira do gênero *Eucalyptus* para os mais diversos fins, alguns problemas relacionados ao seu uso ainda persistem fazendo com que estudos para se caracterizar e tentar solucionar tais problemas sejam de suma importância para a indústria de base florestal brasileira. Um dos problemas que o gênero *Eucalyptus* apresenta é a formação de uma madeira com características físicas, químicas e anatômicas alteradas, formada em árvores jovens, na maioria das vezes após sofrerem certa inclinação devido à força dos ventos. Essa madeira anormal conhecida como madeira de tensão ou de tração, faz com que a madeira e o produto final, por exemplo, a polpa celulósica, sofram alterações significativas nas suas propriedades, muitas vezes diminuindo o seu valor. Em função de sua localização geográfica, florestas de eucalipto de algumas empresas brasileiras sofrem mais com esse problema, pois estão sujeitas à ocorrência de vendavais associados a tempestades, que causam tombamento e quebra de árvores principalmente as de pouca idade, com conseqüente perda de produção, devido à necessidade de se realizar o corte das árvores para promover a regeneração. Por esta razão, um novo parâmetro de seleção necessita ser utilizado nos programas de melhoramento genético, ou seja, a tolerância dos materiais genéticos a ventos.

## 2.2 ANATOMIA DA MADEIRA

Segundo BURGER e RICHTER (1991), anatomia (do grego *anatomé*: incisão, dissecação, com sufixo latino *ia*), é o estudo dos diversos tipos de células que constituem o lenho (xilema secundário), suas funções, organização e peculiaridades estruturais, com os objetivos de: conhecer a madeira visando um emprego correto, identificar espécies, distinguir madeiras aparentemente idênticas, predizer utilizações adequadas de acordo com as características anatômicas da madeira, prever e compreender o comportamento da madeira no que diz respeito a sua utilização.

Segundo SILVA (2002), os estudos anatômicos possibilitam muitas vezes a identificação das espécies, e mais do que isso, informações sobre a estrutura do lenho, permitindo correlacionar as características das células formadoras do mesmo e seu arranjo, com as características gerais da madeira, principalmente nos aspectos referentes à resistência mecânica, permeabilidade, resistência natural e trabalhabilidade.

Do ponto de vista tecnológico, a composição anatômica pode ser considerada um dos parâmetros de qualidade da madeira (BAMBER, 1985). Trabalhos específicos têm sido realizados, relacionando as características anatômicas com o fluxo interno de fluidos na madeira (SIAU, 1984). Para que se faça uma recomendação quanto ao uso potencial de determinada madeira, mesmo que não se trate de um uso estrutural, há necessidade de estudos de sua constituição anatômica. Como exemplo, ALMEIDA e SILVA (1997), ressaltam um dos usos potenciais de parâmetros anatômicos na seleção de clones de eucalipto para produção de celulose.

A proporção de fibras e o seu comprimento, segundo MOREIRA (1999) citado em SILVA (2002), são as características de maior interesse tecnológico.

Apesar de tantas evidências da importância da associação de parâmetros anatômicos com aplicações práticas, BURLEY (1982), avaliando o efeito de variações genéticas nas propriedades da madeira, considera que pouco uso tem sido feito na comparação de variações de características anatômicas entre



diferentes procedências e mesmo entre progênies.

A madeira é formada pela união e arranjo de diversos elementos anatômicos (células e tecidos) que desempenham funções fisiológicas distintas como podemos observar no Quadro 1:

**Quadro 1:** Função realizada pelos diferentes elementos anatômicos

<b>Elementos Anatômicos</b>	<b>Função desempenhada no tronco</b>
Vasos	Transporte de seiva natural
Fibras	Sustentação do tronco
Parênquima radial (raio)	Transporte e armazenamento de seiva
Parênquima longitudinal	Armazenamento de carboidratos

Os elementos anatômicos que formam a madeira de *Eucalyptus* se apresentam em diferentes proporções de acordo com a espécie em questão, esses apresentam também variações nas características das células, sendo essas variações muitas vezes marcantes a tal ponto de possibilitar a identificação de uma espécie ou até mesmo a previsão de seu comportamento em um determinado uso. As características dos diferentes tipos de células estão descritas abaixo:

**Vasos:** Os vasos são células curtas e largas, com parede fina e aberta em suas extremidades. Os vasos ao se conectarem pelas extremidades constituem as linhas vasculares, que se dispõem ao longo do tronco desde as raízes até as copas das árvores, através das quais a seiva mineral é transportada no sentido ascendente pelo xilema funcional (alburno). No xilema não funcional (cerne), em função do processo de envelhecimento das árvores, os vasos são obstruídos pelas tiloses e extrativos, que afetam significativamente o fluxo de seiva mineral e, posteriormente, a tratabilidade e outras propriedades da madeira. Existem significativas variações da porcentagem de vasos no lenho das árvores das diferentes espécies de *Eucalyptus*, em relação aos demais elementos. Essas variações ocorrem também para a frequência (poros/mm<sup>2</sup>) e diâmetro tangencial (µm), como é demonstrado no Quadro 2.

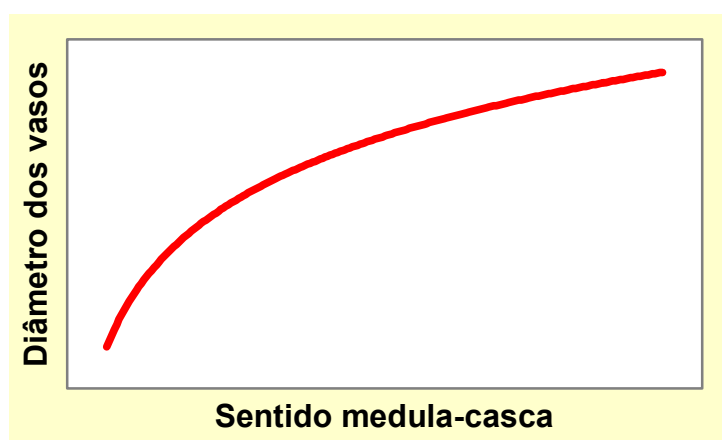
**Quadro 2:** Variação da freqüência e diâmetro dos vasos em algumas espécies de *Eucalyptus*.

<b>Espécies</b>	<b>Observações</b>	<b>Freqüência (poros/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Diâmetro tangencial (µm)</b>
<i>C. citriodora</i>	200	<b>12</b> (4-31)	<b>119,6</b> (53,1-171,9)
<i>E. grandis</i>	200	<b>13</b> (7-24)	<b>126,6</b> (59,4-215,6)
<i>E. tereticornis</i>	200	<b>18</b> (8-36)	<b>105,6</b> (46,9-181,2)
<i>E. cloeziana</i>	200	<b>34</b> (25-43)	<b>82,6</b> (31,2-131,2)
<i>E. urophylla</i>	200	<b>17</b> (10-24)	<b>116,7</b> (46,9-171,9)
<i>E. paniculata</i>	200	<b>15</b> (7-28)	<b>101,9</b> (40,6-140,6)
<i>E. pilularis</i>	200	<b>20</b> (11-33)	<b>93</b> (40,6-153,1)

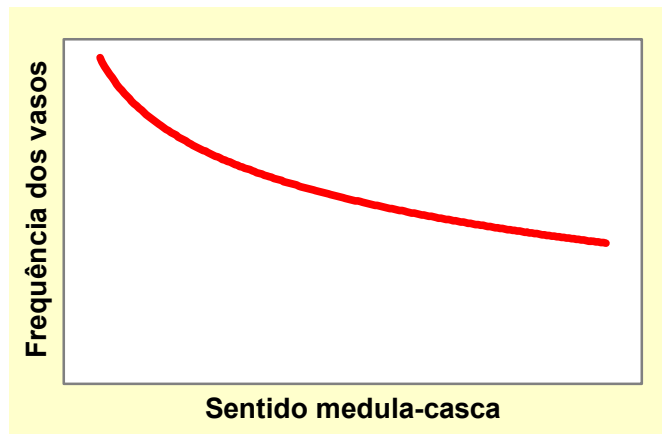
Os valores em negrito representam as médias, e os valores entre parênteses representam os valores mínimos e máximos respectivamente.

**Fonte:** OLIVEIRA (1997)

Dentro de uma mesma árvore de espécies do gênero *Eucalyptus* há significativas variações no tamanho e freqüência de seus elementos anatômicos no sentido medula-casca. Segundo SILVA (2002), essas variações correm devido a diferenças no crescimento da madeira de acordo com as épocas do ano e com a idade da mesma. Dentre essas diferenças podemos destacar o aumento no diâmetro tangencial dos vasos e redução na freqüência dos mesmos como podemos observar nas Figuras 1 e 2, utilizadas para descrever a tendência na maioria das espécies sem o intuito de colocar valores que poderiam servir para apenas algumas espécies.



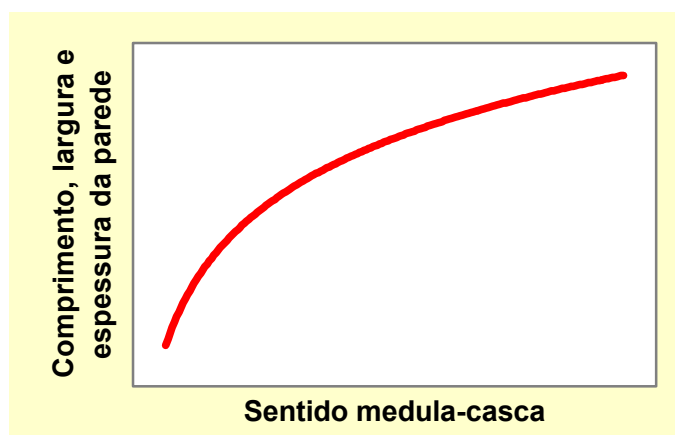
**Figura 1:** Gráfico ilustrativo mostrando a tendência de variação do diâmetro dos vasos no sentido medula-casca, com base em informações de vários autores.



**Figura 2:** Gráfico ilustrativo mostrando a tendência de variação da frequência dos vasos no sentido medula-casca, com base em informações de vários autores.

Essas variações tendem a diminuir na madeira adulta com a estabilização das características de seus elementos anatômicos. As dimensões dos vasos interferem na impregnação, secagem, colagem, acabamento, corte e outros processos de transformação e utilização da madeira de *Eucalyptus*.

**Fibras (Fibrotraqueídeos):** São células longas e estreitas, com paredes espessas e fechadas nas extremidades. As fibras ao se interligarem pela lamela média (rica em lignina) resultam em feixes lenhosos que conferem sustentação e resistência mecânica ao tronco e a copa das árvores de *Eucalyptus*, com variações entre espécies. O comprimento, o diâmetro e a espessura da parede das fibras aumentam com a idade da árvore ou no sentido medula-casca, como podemos ver na Figura 3.



**Figura 3:** Gráfico ilustrativo mostrando a variação no comprimento, largura e espessura da parede das fibras no sentido medula-casca.

As dimensões das fibras variam também em um anel anual de crescimento, com as fibras mais curtas formadas nos períodos de maiores taxas de crescimento das árvores. As diferenças no comprimento das fibras, no sentido medula-casca, de uma mesma árvore são maiores que as observadas entre árvores de diferentes espécies de *Eucalyptus*. Em um tronco, à distância da medula geralmente tem maior influência no comprimento das fibras do que a variação na sua altura.

Um aumento significativo no crescimento das árvores de *Eucalyptus* em resposta à fertilização pode resultar em redução do comprimento das fibras (e da densidade da madeira). Diferenças no comprimento das fibras podem ser encontradas em clones de uma mesma espécie, verificando-se também que este parâmetro é mais herdável do que a densidade da madeira. As fibras em *Eucalyptus* podem estar dispostas em posição verticais ou inclinadas (grã-espiralada, entrecruzada) em relação ao tronco, afetando as propriedades e a utilização da madeira. As fibras estão relacionadas com dureza, tratabilidade, densidade, resistência mecânica, propriedades da celulose e do papel, etc...

**Parênquima (longitudinal e radial):** O parênquima longitudinal pode variar de abundante a escasso na madeira de diferentes espécies de *Eucalyptus*, podendo atingir valores de 6-10% em *Eucalyptus grandis*. O parênquima radial (raios), da mesma forma, apresenta variações na madeira das diferentes espécies, em relação à porcentagem, frequência, altura e largura dos raios. O parênquima tem relação com a dureza, densidade e durabilidade natural da madeira de *Eucalyptus*.

Além destas estruturas descritas, existem nas angiospermas dicotiledôneas vestígios da evolução ocorrida no reino vegetal. São eles os *traqueídeos vasculares* e os *traqueídeos vasicêntricos*. Ocorrem associados aos vasos, aos quais se assemelham transversalmente. Ambos os elementos descritos desempenham no tronco a função de condução.

Outro fator muito importante no que diz respeito às propriedades tecnológicas das madeiras é a proporção em que os elementos anatômicos estão

presentes nas diferentes espécies. Essa proporção pode determinar se certa espécie é mais adequada a determinado uso.

Portanto, pode-se destacar que o estudo anatômico é de fundamental importância na tecnologia da madeira em geral, mas principalmente na tecnologia da madeira de *Eucalyptus*, já que não se têm muitos estudos correlacionando as características anatômicas dessas madeiras, com as necessidades dos novos usos a que ela tem sido destinada.

### **2.3 MADEIRA DE TRAÇÃO**

O lenho de reação nas folhosas, chamado de lenho de tração, forma-se ao longo do lado superior da inclinação de caules e ramos e causa reorientação gradual por contração longitudinal. É caracterizado pelo alto conteúdo de celulose e baixo de lignina, quando comparado ao lenho normal.

Embora na maioria dos casos a madeira de tração seja formada na parte superior de troncos inclinados, umas poucas árvores formam madeira de tração no lado inferior ou ainda de maneira esparsa ao longo do tronco.

As seções transversais dos troncos inclinados são quase sempre excêntricas na forma, com o raio maior na parte de cima da inclinação e com o crescimento suprimido na parte inferior. A madeira de tração geralmente ocorre na região de crescimento mais rápido nesses troncos ou ramos excêntricos. Entretanto, a localização da madeira de tração nem sempre ocorre na região de crescimento mais rápido. Pode ocorrer no lado suprimido, como em galhos de madeira de *Sassafras albidum* e em troncos de *Tilia americana*. Em muitas espécies, a madeira de tração pode ser formada com pouca evidência de excentricidade no tronco maduro, portanto a irregularidade da seção transversal não é uma indicação constante da presença desse tipo de madeira. Este fato é particularmente evidente em alguns gêneros, como *Pawlonia* e *Catalpa*, e em raízes que mostram madeira de tração sem nenhuma orientação evidente em relação ao eixo gravitacional (KOLLMANN e CÔTÉ, 1968; TIMELL, 1986; PANSIN e DE ZEEUW, 1980).

A madeira de tração, como salientado anteriormente, é um mecanismo para corrigir curvaturas e inclinações em troncos e, provavelmente, também tem uma função da manutenção do ângulo do ramo. Entretanto, em espécies tropicais há evidências de que a madeira de tração possa se formar em árvores não inclinadas, como um meio de se movimentar no espaço para obter luz suficiente em florestas densas (TIMELL, 1986). As causas da ocorrência desse fenômeno ainda não estão totalmente elucidadas.

Normalmente, a madeira de tração apresenta-se mais clara (coloração branca a prateada) e brilhante, porém tal característica só é reconhecível em madeiras recém cortadas. Em geral, o método de detecção mais confiável é através de microscopia. A superfície da madeira de tração varia de sedosa até lanosa (GROSSER, 1980).

A madeira de tração ocorre com muito mais frequência do que se pensava no passado, em geral pela dificuldade de se reconhecer esse tipo de tecido e também pela sua variabilidade de localização no tronco.

Historicamente, as tensões de crescimento que em muitos casos causam os mesmos problemas que a presença de madeira de tração, foram estudadas sem levar em conta a presença desse tipo de madeira, devido muitas vezes à dificuldade de detecção dessa presença. Com isso, muitos autores associaram defeitos causados pela presença de madeira de tração apenas à presença de tensões de crescimento.

Diferenças anatômicas entre madeira de tração e madeira normal são consideráveis, embora o grau de diferença varie entre gêneros. WARDROP (1965) informou que madeira de tração é particularmente comum do gênero *Eucalyptus*.

### **2.3.1 Características anatômicas da madeira de tração**

As principais diferenças anatômicas associadas à madeira de tração estão relacionadas com as fibras. Anatomicamente, a madeira de tração contém uma quantidade menor de vasos que a madeira normal e esses vasos são de menor

diâmetro, porém não apresentam mudanças morfológicas em relação aos encontrados na madeira normal. A tendência dos vasos de serem em menor quantidade e menores no tamanho pode não ser sempre evidente: por exemplo, ALIPON e MARUZZO (1992) não acharam diferenças quanto ao tamanho ou frequência dos vasos entre madeira normal e madeira de tração em árvores de *Eucalyptus deglupta*.

As células de parênquima são encontradas de maneira espaçada além de estarem em menor número e os raios em madeira de tração são menores em tamanho, pelo menos em *Populus* e *Alnus* (PANSWIN e DE ZEEUW, 1980). Fibras de madeira de tração e fibras normais quando seccionadas normalmente apresentam formas semelhantes, embora haja diferenças em algumas espécies, como por exemplo, em *Populus alba* (WARDROP, 1964).

Os resultados encontrados na maioria dos estudos apontam que as fibras da madeira de tração apresentam maior comprimento que as fibras da madeira normal. Alguns poucos estudos sugerem, no entanto, que fibras de madeira de tração apresentam o mesmo comprimento ou, às vezes, sejam até menores que as fibras presentes em madeira normal (SCURFIELD e WARDROP, 1962). Por exemplo, DADSWELL e WARDROP (1949) e WARDROP e DADSWELL (1955), estudando o comprimento das fibras em algumas espécies que não pertenciam ao gênero *Eucalyptus*, concluíram que as fibras da madeira de tração apresentavam comprimento às vezes maior, outras vezes, menor, que as fibras de madeira normal presentes na vizinhança. Estudos mais recentes encontraram fibras de madeira de tração com comprimento maior que fibras de madeira normal, por exemplo, em *Eucalyptus camaldulensis*. BABA et al. (1996) encontraram fibras de maior comprimento na madeira de tração, embora naquele estudo foram avaliadas apenas 50 fibras e a posição das mesmas dentro do anel de crescimento não foi declarada. ALIPON e MARUZZO (1992) encontraram fibras mais longas em madeira de tração de *Eucalyptus deglupta*.

Além do comprimento das fibras, diferenças mais fundamentais são evidentes na organização da parede celular das células. Estas diferenças causam

influências consideráveis nas propriedades físicas, químicas, morfológicas e mecânicas da madeira.

A estrutura das fibras de madeira de tração foi assunto de pesquisa durante muitos anos. WARDROP e DADSWELL (1948) apontaram a presença de uma camada não lignificada compondo parte da parede celular. Essa camada foi denominada “camada gelatinosa” por causa de suas propriedades ópticas incomuns quando comparada ao restante da parede da célula. A camada gelatinosa é compacta e contínua, localiza-se no lado interno da célula voltada para o lume, podendo ser depositada de diferentes maneiras. Ela está localizada imediatamente abaixo da camada S1. Em alguns gêneros como, *Fraxinus*, *Lagunaria* ou *Tilia*, as fibras gelatinosas são raras ou nunca são formadas. Tipicamente, a camada gelatinosa consiste somente de celulose. O uso da luz polarizada, raios X e microscopia eletrônica, têm mostrado que as microfibrilas de celulose da camada gelatinosa são altamente cristalinas e axialmente orientadas paralelamente as fibras (TIMELL, 1969).

Segundo PANSHIN e DE ZEEUW (1980), há três tipos de organização de parede em fibras gelatinosas.

- a) Uma camada gelatinosa pode estar presente em fibras de madeira de tração, em adição às três camadas da parede celular secundária lignificada normalmente.
- b) A camada gelatinosa pode substituir a camada S3 em fibras de madeira de tração, com as regiões S1 e S2 da parede secundária normal permanecendo inalteradas.
- c) As camadas de parede podem ser reduzidas a uma espessa camada gelatinosa e à zona que corresponde à camada S1 de fibras normais.

A presença de uma camada gelatinosa, em qualquer uma dessas formas, resulta numa parede celular que é quase sempre mais espessa que a normal, que freqüentemente se mostra frouxa e arqueada sob o microscópio e que não evidencia nenhuma indicação de lignina por corantes químicos ao microscópio por contraste de fase.



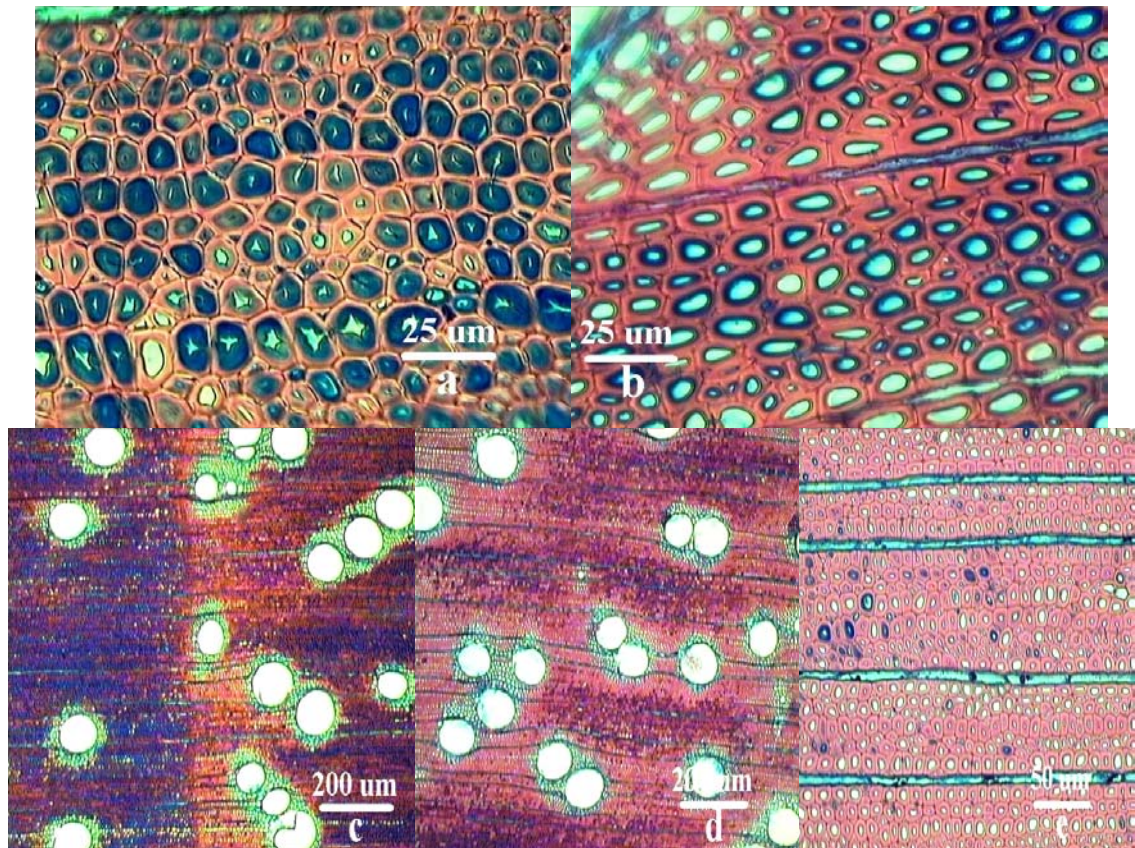
Madeiras que contêm fibras gelatinosas apresentam problemas que podem diminuir o seu valor comercial. Um exemplo apontado é o aumento de defeitos durante a secagem como consequência da forte tendência ao colapso e também à elevada contração desse tipo de madeira (WARDROP e DADSWELL, 1948).

Pode haver algumas exceções à falta de lignina na camada gelatinosa. HUGHES (1965) mostra alguns casos onde a camada gelatinosa não contém menos lignina que a parede celular de madeira normal.

A maioria dos pesquisadores considera que a madeira de tração é caracterizada pela presença da camada gelatinosa (WARDROP e DADSWELL, 1948; DADSWELL e WARDROP, 1949; ONAKA, 1949; OKUYAMA, 1997; HUGHES, 1965), porém, algumas exceções podem acontecer. WARDROP e DADSWELL (1955) notaram isso descrevendo que há possivelmente vários graus de intensidade da presença de madeira de tração, e estes podem incluir fibras com níveis reduzidos de lignina na parede secundária e sem desenvolvimento da camada gelatinosa. Alguns estudos se referiram a troncos como tendo madeira de tração sem fibras gelatinosas. Por exemplo, GÉRARD et al. (1995) e BAILLÈRES et al. (1995) descreveram a madeira de tração em clones de *Eucalyptus grandis* que não continham fibras com a presença de camada gelatinosa. Nessas árvores, a presença de madeira de tração foi definida por altas tensões de crescimento, baixo ângulo microfibrilar e baixo teor de lignina. SCURFIELD (1964) encontrou isso em experiências que buscavam induzir a formação de madeira de tração em *Lagunaria pattersoni*, porém as árvores não produziram a camada gelatinosa, apesar de apresentar outras características de madeira de tração. BAREFOOT (1963) sugeriu que descoberta de madeira de tração com fibras gelatinosas pode depender da intensidade de sua presença.

WASHUSEN (2001) mostrou por intermédio de estudos histoquímicos que a espessura da parede da madeira de tração aumenta significativamente em relação à espessura da parede da madeira normal devido à presença da camada gelatinosa. Esse aumento de espessura se reflete nas demais propriedades da madeira, pois segundo DU POOL (1980) e VASCONCELOS e SILVA (1985),

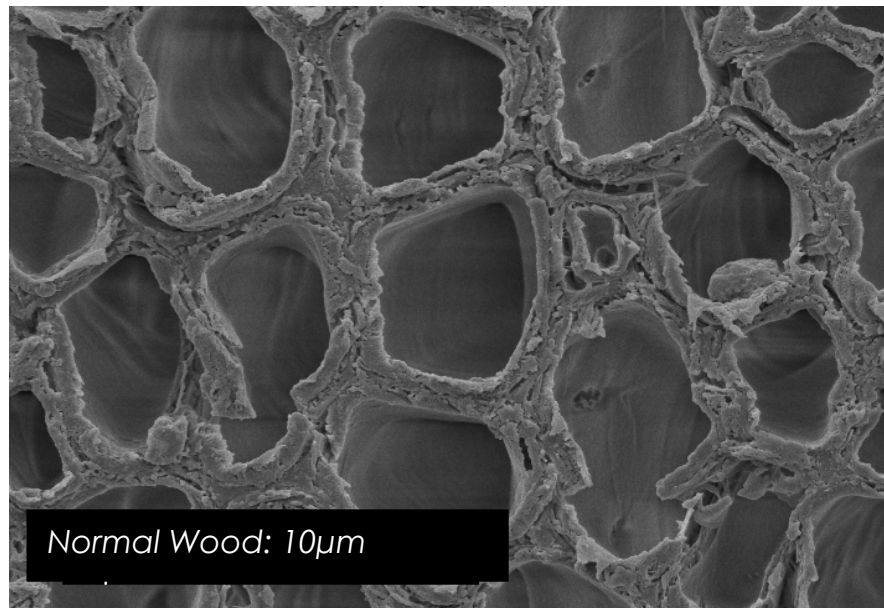
há uma aparente correlação entre as propriedades das fibras, dentre essas se destacando a espessura das paredes, com a densidade básica. A Figura 4 apresenta cortes com presença de madeira de tração em *Eucalyptus grandis*, corados através de técnicas histoquímicas de dupla coloração para evidenciar a presença de desse tipo de madeira.



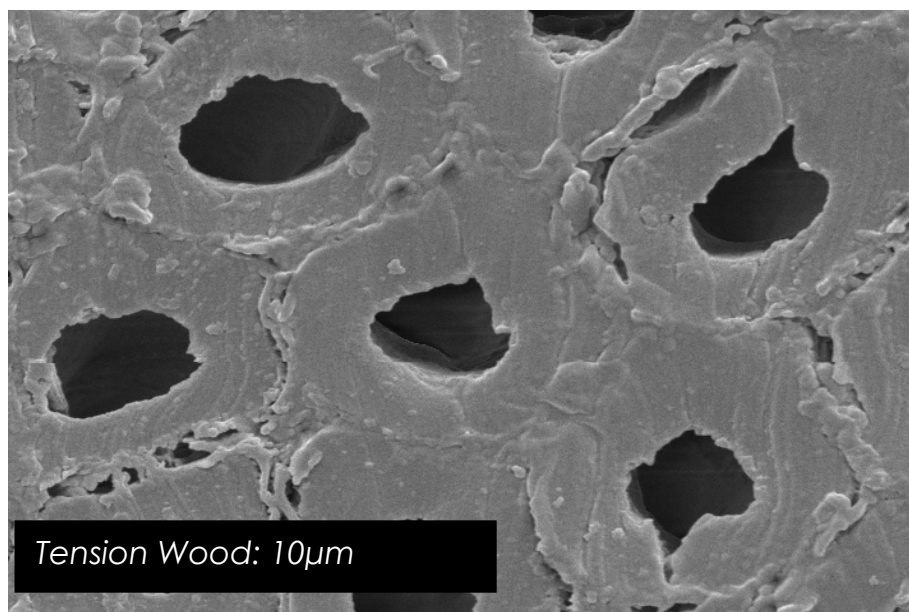
**Figura 4:** a) Evidência da presença de madeira de tração; b) Fibras gelatinosas em destaque; c) faixa com presença de madeira de tração; d) fibras gelatinosas agrupadas; e) fibras gelatinosas espalhadas.

**Fonte:** WASHUSEN (2001).

A Figura 5 mostra a diferença entre a madeira normal e a madeira de tração através de microscopia de alta resolução. Essa técnica de microscopia é muito empregada para evidenciar a presença de madeira de tração através das características da parede celular desse tipo de madeira. Entre as principais diferenças podemos notar que as fibras da madeira de tração são mais arredondadas, apresentam a parede celular mais espessa devido a presença da camada gelatinosa, e possuem menos espaços intercelulares.



**Figura 5:** Fibras de madeira normal.  
**Fonte:** Adaptada de WASHUSEN (2001).



**Figura 6:** Fibras de madeira de tração  
**Fonte:** Adaptada de WASHUSEN (2001).

### 2.3.2 Composição química da madeira de tração

A diferença química mais notável na madeira de tração é o baixo teor de lignina Klason (insolúvel), com um conseqüente aumento no teor de holocelulose nesse tipo de madeira. Quando o teor de lignina é determinado como massa por unidade de volume de madeira, em lugar de porcentagem, o conteúdo de lignina

na madeira de tração pode ser semelhante ao da madeira normal. Deste modo, WARDROP e DADSWELL (1948) e TIMELL (1969) sugeriram que o conteúdo de lignina na parede secundária era semelhante em fibras normais e fibras gelatinosas. Com essas informações esses autores foram além, e concluíram que esta era a evidência que o desenvolvimento da parede secundária em uma fibra acontece antes da adição da camada gelatinosa largamente composta de celulose no lado interno da parede secundária, evidenciando assim que a camada gelatinosa é formada para a correção de algum problema que a árvore possa ter sofrido nos primeiros anos de vida.

Segundo HUGHES (1965), a severidade da presença de madeira de tração aumenta paralelamente com a quantidade de celulose. SUGIYAMA et al. (1993) encontraram uma relação positiva entre tensão de crescimento e madeira de tração, com alto teor de celulose.

BOYD (1977) encontrou uma relação negativa entre tensão de crescimento e teor de lignina Klason, particularmente onde a madeira de tração apresentava uma camada gelatinosa mais acentuada.

Análises químicas mostraram, em fibras de madeira de tração, a presença de 98,5% de celulose e 1,5% de xilose, o que comprova que a camada gelatinosa se consiste inteiramente de celulose. Os testes de pectina são negativos (TIMELL, 1969).

A madeira de tração teria, portanto, mais celulose e cinzas, e menos lignina e frações de hemiceluloses. O baixo teor de hemiceluloses, combinado ao menor grau de hidrólise na madeira de tração, indica que a celulose nesse tipo de madeira é mais cristalina do que na madeira normal (TIMELL, 1969).

A distribuição de lignina dentro da parede celular de fibras de madeiras de tração foi estudada por meio de corantes indicadores com o uso de microscopia de contraste de fase. Usando essas técnicas, pode-se concluir que a lignina está ausente na camada gelatinosa e que ela pode ser menor ou ausente em uma ou mais das outras camadas da parede secundária das fibras de madeira de tração. Essa deficiência geral de lignina nas paredes secundárias de fibras é a

característica principal do desenvolvimento de madeira de tração em todos os tipos de folhosas (PANSHIN e DE ZEEUW, 1980).

O amido e os açúcares armazenados no tecido da madeira de tração, estão presentes em quantidades menores do que no lado oposto da mesma seção transversal, na área de crescimento suprimido. Tal comportamento poderia afetar a extensão de ataques biológicos por organismos que dependem dessas substâncias para o seu desenvolvimento e sobrevivência (PANSHIN e DE ZEEUW, 1980).

Testes de polpação mostraram que rendimentos de polpa química são maiores quando provenientes de madeira de tração do que de madeira normal, e que a madeira de tração pode ser mecanicamente desfibrada com mais facilidade que a madeira normal (PANSHIN e DE ZEEUW, 1980).

### **2.3.3 Características físicas da madeira de tração**

Aumento na densidade básica, colapso severo e elevada contração longitudinal são as características físicas mais marcantes da madeira de tração (WARDROP e DADSWELL, 1948; KAUMAN, 1964; BOYD, 1977; PILLOW, 1950).

WARDROP e DADSWELL (1955) encontraram várias explicações a respeito da alta contração em madeira de tração. Primeiramente, contração pode ser resultado de fissuras desenvolvidas nos espaços intercelulares e que podem ser atribuídas à presença da camada gelatinosa que é frouxa, aumentando assim esses espaços. Essa contração foi também atribuída à natureza higroscópica da camada gelatinosa, que sofre grandes mudanças dimensionais ao secar. KAUMAN (1964) notou que o baixo teor de lignina deve ser um fator que contribui para o aumento da contração. MANWILLER (1967) aprofundou esse pensamento ao propor que a falta de lignina na envoltura que cerca as microfibrilas causa menos obstrução para as moléculas de celulose se contraírem. Também, no caso da substituição da camada S3 (que tem uma orientação microfibrilar lateral,

helicoidal) pela camada gelatinosa (que tem uma orientação axial), causará menor restrição a contrações na parede celular.

A contração também pode variar com o grau de formação de madeira de tração. No estudo desenvolvido por WARDROP e DADSWELL (1955), foi demonstrado que a presença de fibras gelatinosas entre as fibras normais resulta numa melhor coesão entre as células do que quando a madeira de tração forma faixas com alta concentração de fibras gelatinosas, e essa melhor coesão resulta em menor contração.

Embora a contração longitudinal seja baixa em comparação a contração radial e tangencial, mesmo em madeira de tração, ela é mais elevada do que na madeira normal o que conduz a defeitos na madeira serrada (WARDROP e DADSWELL, 1955). PILLOW (1950) encontrou contração longitudinal de 0,34 a 0,56% na madeira de tração, e de 0,14 a 0,15% na madeira normal e uma correlação positiva significativa entre a severidade da presença de madeira de tração e a contração longitudinal. MANWILLER (1967) encontrou contração longitudinal de 0,1% em madeira normal e de até 1,6% em madeira de tração de *Acer saccharinum*. BOYD (1977) informou que a contração longitudinal aumenta com a presença de tensão de crescimento, e que a contração longitudinal em madeira de tração é muito alta, mas a presença de fibras lignificadas diminui esse problema. WAHLGREN (1957) encontrou uma correlação significativa entre contração longitudinal e concentração de madeira de tração em *Populus deltoides*. HUGHES (1965) revisou vários estudos que relacionaram o aumento da contração longitudinal com o aumento da severidade de madeira de tração.

A causa da alta contração longitudinal em madeira de tração não está bem estabelecida e é difícil de explicar. Uma razão para a dificuldade é a diferença no comportamento de contração longitudinal entre a madeira e células isoladas (WARDROP e DADSWELL, 1948). Esses estudos encontraram contrações longitudinais mais altas em madeira de tração do que na madeira normal de *Eucalyptus regnans*, porém, quando fibras normais e fibras gelatinosas estavam isoladas, elas exibiram mudanças dimensionais semelhantes durante a secagem.

Foram levantadas várias sugestões para explicar as razões para a alta contração longitudinal na madeira de tração. A revisão feita por WARDROP e DADSWELL (1948) discute as várias possíveis características da camada gelatinosa que podem ser correlacionadas com a contração longitudinal. Uma dessas características é o menor teor de lignina nas fibras que pode causar tensões e permitir maiores movimentos dos constituintes durante a secagem. Por outro lado, BOYD (1977) sugeriu que a camada gelatinosa não contribui significativamente para o aumento da contração longitudinal, mas sim a camada S1 por causa do seu elevado ângulo microfibrilar, neste caso, provavelmente a camada S1 não é restringida por uma camada S2 altamente lignificada. Esta sugestão, porém não responde pelo caso onde a estrutura de parede é S1 + S2 + S3 + G ou S1 + S2 + G, sendo G a camada gelatinosa.

Segundo HUGHES (1965) e ONAKA (1949), ocorre um aumento da contração tangencial na madeira de tração em relação à madeira normal. ARGANBRIGHT (1970) encontrou em madeiras de *Acer saccharinum*, um aumento na contração tangencial relacionado com um aumento no número de fibras gelatinosas.

Alta contração volumétrica que pode indicar a presença de madeira de tração, também já foi relacionada apenas com as tensões de crescimento. Por exemplo, POLGE (1981), citado em KUBLER (1987), encontrou maior contração volumétrica em madeiras de *Fagus sylvatica* que apresentavam maiores tensões de crescimento. BOYD (1980), NICHOLSON et al. (1972, 1975) e BOYD (1977) demonstraram que a contração volumétrica aumenta com o aumento das tensões de crescimento em *Eucalyptus regnans* e *Eucalyptus obliqua*. Um estudo feito por NICHOLSON e DITCHBURNE (1973), com mais de 120 amostras de *Eucalyptus regnans*, concluiu que a contração volumétrica apresentada depois da secagem e acondicionamento das amostras apresentava alta correlação com as tensões de crescimento. NICHOLSON et al. (1975) demonstraram que a contração volumétrica na madeira normal foi relacionada com altas taxas de crescimento, porém essa contração não foi tão grande quanto a



contração encontrada em faixas onde foi detectada a presença de madeira de tração.

Enquanto alguns métodos macroscópicos de detecção da presença de madeira de tração ainda não tenham sido totalmente desenvolvidos, a alta contração desse tipo de madeira pode ser utilizada como um indicador da sua presença. O uso da contração para detecção da presença de madeira de tração foi sugerido previamente por KUBLER (1987) e DADSWELL e WARDROP (1949), porém nenhum estudo posterior utilizou apenas essa técnica para estudar ocorrência de madeira de tração.

Quanto à densidade, estudos demonstram que esta é maior em madeira de tração (HUGHES, 1965; ALIPON e MARUZZO, 1992). DADSWELL e WARDROP (1949) comprovaram que a densidade básica da madeira de tração é maior na proporção de 4:3 em relação à da madeira normal. MALAN e GERISCHER (1987) também encontraram densidade básica mais alta em madeira de tração de *Eucalyptus grandis*. Porém, a densidade da madeira de tração nem sempre é maior. WAHLGREN (1957) encontrou uma densidade mais baixa na madeira de tração proveniente de troncos inclinados de *Populus deltoides*.

#### **2.3.4 Influência da madeira de tração nas propriedades mecânicas**

Devido às alterações químicas, físicas e anatômicas presentes na madeira de tração é de se esperar que as propriedades mecânicas da mesma também sejam alteradas. Segundo PANSHIN e DE ZEEUW (1980), na madeira de tração a resistência à compressão paralela a grã é menor em todos os teores de umidade, se comparada à resistência a compressão da madeira normal correspondente. A mesma afirmação pode ser feita para a compressão perpendicular a grã, o módulo de ruptura em flexão estática, o cisalhamento longitudinal e o módulo de elasticidade em flexão. As evidências disponíveis sobre tração paralela a grã indicam que para algumas espécies esse valor aumenta na madeira de tração em relação à madeira normal, e que em outras espécies ocorre exatamente o



contrário, esses dados variam também de acordo com o teor de umidade que a amostra apresenta no momento do teste, isso porque na madeira mais úmida a camada gelatinosa presente não está bem ligada ao resto da parede secundária, não contribuindo assim para a resistência a tração paralela, fazendo com que esses valores sejam menores que os da madeira normal correspondente.

As relações gerais de resistência mostradas por madeiras de tração, em comparação a madeira normal, podem ser explicadas qualitativamente com base na alteração da relação celulose lignina nesse tipo de madeira. Uma diminuição no teor de lignina na madeira de tração indica que há um decréscimo no apoio lateral entre as microfibrilas de celulose na parede celular. Como resultado, as microfibrilas e as lamelas na madeira de tração agem como longas colunas sem apoio sobre compressão paralela a grã e flambam sob cargas menores do que ocorre com a madeira normal que contém mais lignina. O incremento na resistência a tração paralela na madeira de tração seca está relacionado com o aumento no teor de celulose em relação à madeira normal (PANSKIN e DE ZEEUW, 1980; KOLLMAN e COTE, 1968).

### **2.3.5 Madeira de tração e suas relações com as tensões de crescimento**

Nas folhosas, a distribuição e as origens das tensões de crescimento nos troncos foram assunto de vários estudos durante muitos anos. Embora haja alguma discordância sobre as causas das tensões de crescimento estas parecem ter origem na contração longitudinal de células recém formadas. Esta contração produz tensões de crescimento na madeira nos sentidos longitudinal, radial e tangencial. As tensões longitudinais são de maior importância porque elas produzem contrações que podem ser associadas com formação de madeira de tração. Tensões de crescimento longitudinais são maiores na periferia dos troncos, havendo um alívio progressivo de tensões em madeira formada mais cedo. Isto produz um gradiente de forças de tração com um máximo na periferia do tronco.

Hoje em dia são aceitas duas hipóteses para o desenvolvimento de tensões de crescimento e ambas afirmam que estas tensões têm origem na maturação das

células. A primeira é a hipótese de que a lignina presente entre as moléculas de celulose se expande, gerando contrações longitudinais e a conseqüente formação de tensões de crescimento. A segunda hipótese aponta a cristalização das moléculas de celulose como geradores de contrações que virão a desenvolver as tensões de crescimento (BAMBER, 1978).

Estudos realizados posteriormente mostraram a validade de ambas hipóteses. De importância particular é o trabalho de OKUYAMA et al. (1990) que demonstrou o vínculo entre a área onde estão presentes as fibras gelatinosas, com a magnitude das tensões de crescimento longitudinais. YAMAMOTO et al. (1993) demonstraram que as microfibrilas de celulose geram forças de tração altas durante a formação da célula. ARCHER (1989) demonstrou que o baixo ângulo microfibrilar associado com a adição de uma camada gelatinosa tende a causar maiores contrações dentro da parede das células. SUGIYAMA et al. (1993) investigaram as tensões de crescimento, correlacionando-as com características químicas da madeira normal e da madeira de tração, encontrando altos valores de tensão com o aumento do teor de celulose e da sua cristalinidade, concluindo que as microfibrilas de celulose se contraem durante a maturação das células criando tensões de crescimento longitudinais tanto na madeira normal como na madeira de tração.

NICHOLSON et al. (1975) também mostraram uma relação entre a estrutura da fibra e as tensões de crescimento na periferia dos troncos. Esses autores estabeleceram que em *Eucalyptus regnans* as tensões de crescimento se acentuam com o aumento da densidade da parede das células, particularmente se esse aumento de densidade estiver relacionado à presença de fibras com camada gelatinosa. BOYD (1977), por outro lado, demonstrou que a proporção de fibras normais com a parede mais espessa aumentou com o aumento das tensões de crescimento mesmo que fibras com camada gelatinosa não estivessem presentes, concluindo que as fibras normais respondem por boa parte das tensões de crescimento YAMAMOTO et al. (1998) demonstraram que baixo ângulo microfibrilar e alto conteúdo de celulose na camada S2, são dois dos fatores mais importantes que controlam a magnitude das tensões de crescimento.

### **2.3.6 Causas que determinam a ocorrência de madeira de tração**

Estudos apresentam várias teorias para se explicar o desenvolvimento da madeira de tração, estas teorias incluem o efeito do geotropismo e também a manutenção da direção de crescimento, mantendo a dominância apical. Fatores externos como a gravidade e a incidência de ventos também podem acarretar na formação de madeira de tração. OKUYAMA (1997) e KUBLER (1988) também apóiam a teoria de que a madeira de tração é formada para equilibrar a ação de forças externas.

Existem muitos estudos apontando a relação entre troncos inclinados e a formação de madeira de tração, porém, como já foi mencionado anteriormente também existem relatos da presença de madeira de tração em árvores retas. Na maioria dos casos, a causa sugerida para esse fenômeno é a falta de luz em florestas densas, que faz com que as árvores se movimentem no espaço para uma melhor captação da radiação. Outra possível causa para a formação de madeira de tração em árvores retas é o desfolhamento produzido por algum agente externo. BAREFOOT (1963) encontrou madeira de tração em árvores de *Liriodendron tulipifera* que apresentava desfolha e tronco reto.

A distribuição da madeira de tração nos troncos ocorre em faixas quando esses se apresentam inclinados, porém em árvores retas essa distribuição não segue um padrão, podendo ocorrer pequenas faixas de madeira de tração, sendo mais comum o aparecimento de células isoladas apresentando as características desse tipo de madeira.

### **2.3.7 Correlação entre as características da madeira e o seu uso final**

Segundo BUSNARDO et al. (1983), o estudo de inter-relações entre as características da madeira que definem a sua qualidade e as propriedades da celulose e papel resultante tornou-se bastante popular nos últimos anos. Inúmeros trabalhos, tanto de revisão bibliográfica como de pesquisas aplicadas, surgiram para mostrar como determinadas propriedades podiam ser alteradas para a produção de celulose de características diferentes. De acordo com isto, enfoques

sobre a caracterização da madeira são muito importantes do ponto de vista do seu uso final. É por intermédio de correlações existentes entre os parâmetros analisados que podem ser formuladas várias hipóteses sobre o comportamento do material sob diferentes condições de processamento industrial e qualidade final do produto.

Desde que estabelecida uma qualidade para a madeira, sua variação exige mudanças operacionais na fábrica de celulose, que também leva a uma maior dificuldade no controle da qualidade do produto final. Os próprios parâmetros de qualidade ficam mais difíceis de serem controlados, o que resulta em produtos de qualidade variável, o que é pouco desejável pelos consumidores (FOELKEL, 1978).

Conforme relata GOMIDE (1986), para a produção de celulose e papel de alta qualidade, é indispensável que a madeira utilizada apresente características químicas, físicas e anatômicas compatíveis com o produto final a ser confeccionado. Essas características dependem tanto da espécie como das práticas silviculturais e do manejo dos povoamentos florestais. BUSNARDO et al. (1983) comentaram que a qualidade da madeira pode ser estabelecida pela adequação da matéria-prima para determinada utilização final.

Dentre as propriedades da madeira que podem ser correlacionadas com o seu uso final, sem dúvida a de maior importância é a densidade ou massa específica, pois além de ser uma propriedade de fácil mensuração, ela está altamente correlacionada com as demais propriedades físicas e mecânicas da madeira. A densidade também é utilizada como parâmetro na seleção de árvores para melhoramento e plantios clonais.

Segundo TOMAZELLO FILHO (1994), a densidade da madeira é uma característica complexa, considerando-se que é resultado da interação entre diversos tipos de células que, por sua vez, variam em tamanho e também na sua constituição. Segundo FOELKEL et al. (1990), a densidade básica é um índice importante para a avaliação da qualidade da madeira de espécies do gênero *Eucalyptus*, porém esse é um parâmetro que não deve ser analisado de forma isolada.

Do ponto de vista tecnológico, tão importante quanto o estudo da variabilidade da densidade entre indivíduos é o diagnóstico dessa variabilidade dentro da árvore, tanto no sentido medula-casca como na altura (GARCIA, 1995).

Além da densidade, os constituintes químicos e suas proporções, além da estrutura anatômica, também afetam de maneira significativa as propriedades da madeira e conseqüentemente seu uso final. QUEIROZ (2002), citando WEHR e BARRICHELO (1992), afirmou que a composição química da madeira é de grande importância para os resultados da polpação, pois existe uma alta correlação entre a proporção dos constituintes químicos com o gasto de reagentes e também com o rendimento da polpação. Estudos realizados com arvores de *Eucalyptus grandis* concluíram que as características anatômicas e químicas têm grande influência nas propriedades da polpa e do papel produzido com esse tipo de madeira.

Como visto acima, pode-se afirmar que a madeira de tração, por modificar as características físicas, químicas e anatômicas da matéria prima, deve ser encarada como um problema importante não só na indústria de celulose e papel, como também na área de produtos sólidos de madeira.

No Brasil pode-se notar que a necessidade de estudos para caracterizar esse tipo de madeira vem do fato de que não se sabe ainda qual a extensão da presença de madeira de tração em árvores de *Eucalyptus* que estejam inclinadas ou mesmo retas, e nem sua influência no produto final, já que este tipo de madeira causa alterações na matéria-prima, gerando também a necessidade de alterações no processo de fabricação da celulose, o que definitivamente não é benéfico para as empresas desse setor.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 COLETA DAS ÁRVORES**

Neste trabalho, foi utilizada madeira de um híbrido natural de *Eucalyptus grandis* (Rio Claro), plantado em dezembro de 1996, no projeto florestal denominado Goiabal, de propriedade da empresa Celulose Nipo-Brasileira SA - CENIBRA, localizado no município de Belo Oriente, região do Vale do Rio Doce. As árvores foram atingidas e curvadas por vento, no verão de 1998, isto é, aos dois anos de idade.

A colheita das amostras foi realizada em outubro de 2001, dois anos e meio após terem sido inclinadas de forma irreversível pela ação do vento. O critério utilizado para a escolha das árvores levou em conta a sua posição no talhão atingido pelo vento e seu grau de inclinação, ou seja, as árvores foram retiradas de maneira a obtermos o máximo de representação possível do ocorrido. Três árvores inclinadas foram abatidas e numeradas como árvore 1, árvore 2 e árvore 3 respectivamente, e em seguida foram divididas em toretes de um metro de comprimento a partir da base (primeira tora) altura 1, até a altura onde houve desenvolvimento de um broto em função da perda da dominância apical. Antes da divisão das árvores, ocorreu a marcação da parte inclinada onde era mais provável a ocorrência de madeira de tração para facilitar o estabelecimento das coordenadas utilizadas nesse estudo.

A Figura 7 mostra o talhão atingido por ventos onde as árvores utilizadas nesse estudo foram coletadas, nota-se que a taxa de inclinação foi muito severa atingindo praticamente todas as árvores. Já a Figura 8 mostra duas das árvores utilizadas nesse estudo com destaque para a sua inclinação.



**Figura 7:** Talhão mostrando as árvores inclinadas pelo vento.



**Figura 8:** Árvores amostradas para realização deste trabalho.

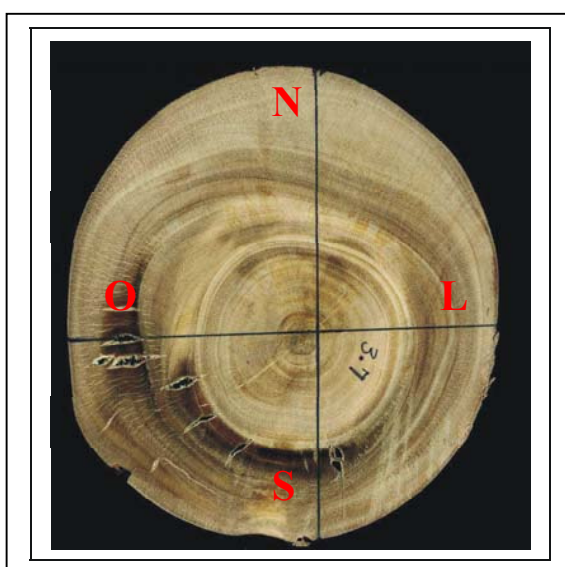
### 3.2 RETIRADA DOS DISCOS PARA ANÁLISE

Foram retirados três discos de cada tora que representavam as diferentes alturas nas árvores, com aproximadamente três centímetros de espessura, sendo um colocado em água para manter-se saturado e, posteriormente, utilizado na determinação da densidade básica e da contração volumétrica. O segundo disco de cada tora, após secagem ao ar, foi lixado em uma face e, logo em seguida, fotografado digitalmente, com o objetivo de detectar visualmente a presença de madeira de tração. Desse disco que foi lixado foram retiradas também as amostras para a confecção das lâminas para a avaliação dos parâmetros anatômicos. O terceiro disco foi utilizado para a determinação

dos teores dos constituintes químicos presentes na madeira. Esses discos foram numerados de acordo com sua altura na árvore.

### 3.3 DENSIDADE BÁSICA E CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA

As amostras para a determinação densidade básica e da contração volumétrica foram retiradas nas quatro coordenadas geográficas do disco, sempre tomando como “norte” o lado de maior raio e onde é mais provável a ocorrência de madeira de tração, como mostrado na Figura 9.



**Figura 9:** Disco de madeira mostrando as coordenadas geográficas

Essas amostras foram retiradas em intervalos de 1,0 centímetro a partir da medula até 5 milímetros da periferia do tronco. Os últimos 5 milímetros de madeira periférica foram descartados por entender ser este material ainda em formação, e, portanto de propriedades ainda não estabilizadas. Foram coletadas um total de 608 amostras, com dimensões de aproximadamente 1x3x3 centímetros nas direções radial, tangencial e longitudinal respectivamente.

Para o ensaio de densidade básica, e contração volumétrica determinou-se o volume saturado através do método da balança hidrostática substituindo a água por mercúrio. A partir de então as amostras foram acondicionadas ao ar livre, alcançando um teor de umidade de equilíbrio de aproximadamente 16%. Nesta condição de equilíbrio, fez-se novamente a tomada do volume para cálculo da



contração volumétrica da mesma forma anteriormente citada. Então, as amostras foram secas em estufa, onde a temperatura foi sendo progressivamente aumentada até um máximo de 105°C, a fim de se evitar uma secagem drástica das amostras e pesadas novamente. De posse dos dados efetuou-se os cálculos para a determinação da densidade básica e da contração volumétrica.

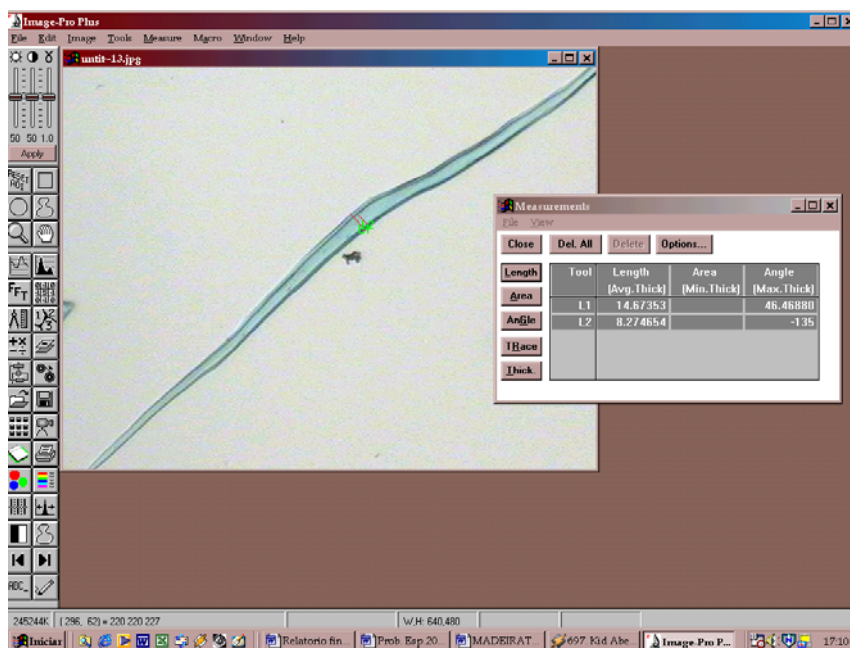
### **3.4 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA**

#### **3.4.1 Preparo de macerado**

Para a caracterização anatômica, primeiro retiraram-se amostras no centímetro final de cada uma das coordenadas descritas com exceção dos discos 1-6 (árvore 1, sexto metro de altura), 2-3 e 3-4, selecionados em função da não ocorrência de defeitos, como nós e rachaduras em seus lenhos, e dos quais foram retiradas amostras na direção medula-casca no sentido do diâmetro maior (Norte Sul), a intervalos de 1,0 centímetro a partir da medula para o raio maior (N) – de provável ocorrência de madeira de tração e para o raio menor (S) – de provável formação de madeira normal. Isso foi feito para uma avaliação anatômica da presença da madeira de tração em partes mais internas dos discos. Também para o estudo anatômico, foram desprezados os últimos 5 milímetros de lenho periférico.

Em seguida, para a mensuração das fibras, as amostras foram transformadas em palitos que foram transferidos para tubo de ensaio, juntamente com solução nitro-acética 1:5 (uma parte de ácido nítrico concentrado para 5 partes de ácido acético concentrado), diluída em água na proporção de 1:3 e em quantidade suficiente para cobrir a amostra. A mistura foi aquecida em banho-maria a 90°C, por uma hora, até que os palitos adquirissem coloração branca. Após essa maceração, a mistura foi filtrada em cadinho com porosidade média e o macerado foi lavado com excesso de água à temperatura ambiente. Em seguida, as fibras foram transferidas para um frasco de plástico sendo imersas em água destilada e coradas com azul de astra. Lâminas de vidro contendo pequena porção do macerado foram analisadas em microscópio ótico e em lupa, o

microscópio para a medição de largura da fibra e de espessura da parede e a lupa, para a medição de comprimento. O aumento utilizado no microscópio foi de 400 vezes e o da lupa, de 100 vezes. As imagens foram coletadas utilizando uma câmera para captura de imagens e, depois, as variáveis foram mensuradas utilizando o programa Image-Pro Plus versão 3.2 como mostra a Figura 10. Foram medidas 50 fibras e as variáveis mensuradas foram: largura das fibras, diâmetro do lume das fibras, e o comprimento das fibras. A espessura da parede das fibras foi determinada de forma indireta.

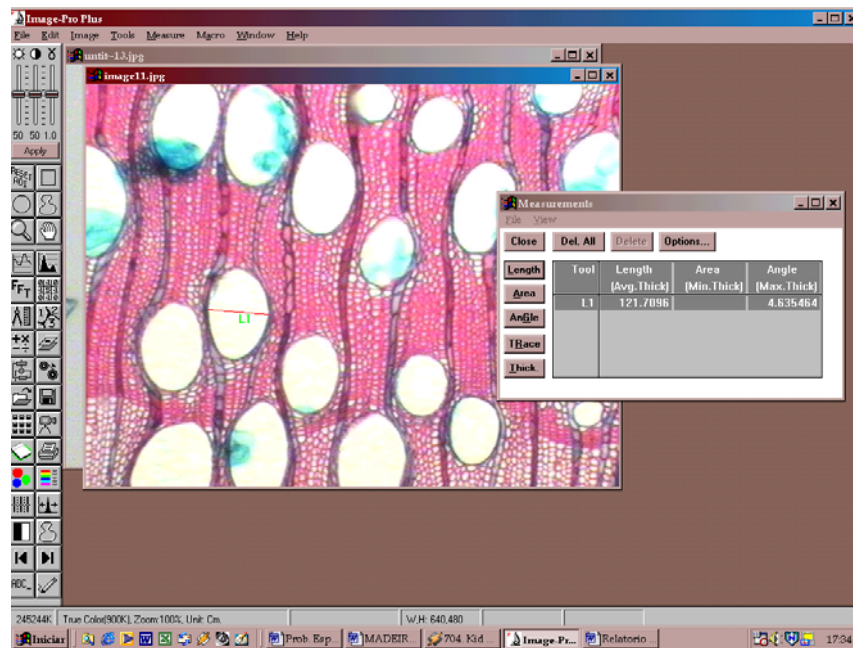


**Figura 10:** Programa Image-Pro Plus em funcionamento para a medição da largura da fibra e diâmetro do lume da mesma.

### 3.4.2 Preparo de cortes histológicos

Para a confecção de lâminas foram usadas as mesmas amostras de madeira utilizadas no processo via macerado, sendo confeccionadas lâminas histológicas de cortes transversais obtidas das amostras previamente amolecidas; esses cortes feitos com micrótomo de deslize. Com o objetivo de visualizar a madeira de tração os cortes foram corados através da técnica de coloração dupla, onde se cora inicialmente com um corante específico para lignina (safranina) e, após isso, com corante específico para carboidratos (azul de astra). Por se caracterizar por ausência ou quantidades menores de lignina, a madeira de tração é destacada pelo

corante específico para carboidrato (azul de astra). As lâminas foram fotografadas utilizando uma câmera para captura de imagens, e depois as variáveis foram mensuradas utilizando o programa Image-Pro Plus versão 3.2 como mostra a Figura 11, sendo que para cada amostra foram mensurados 20 vasos e a frequência foi obtida através de uma média das 20 imagens fotografadas.



**Figura 11:** Programa Image-Pro Plus em funcionamento para a medição do diâmetro e frequência dos vasos.

### 3.5 ANÁLISE QUÍMICA

Para análise química, as amostras utilizadas foram coletadas nos mesmos pontos das amostradas para a análise anatômica, sendo transformadas em serragem utilizando-se moinho de laboratório do tipo Wiley. A serragem de madeira, utilizada foi a que passou por uma peneira de 40 mesh e ficou retida numa peneira de 60 mesh, sendo em seguida acondicionada em sala com umidade relativa e temperatura constante, (50% e 23°C, respectivamente) e, posteriormente, armazenadas em frascos hermeticamente fechados para a realização das análises.

### **3.5.1 Extrativos da madeira em álcool tolueno**

Os teores de extrativos na madeira foram determinados em duplicatas, de acordo com a norma TAPPI 264 om-88 (Preparation of wood for chemical analysis), apenas alterando o etanol/benzeno, pelo etanol/tolueno, por ser aquele perigoso para os seres humanos.

### **3.5.2 Lignina Total**

A lignina insolúvel foi determinada em duplicata pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por GOMIDE e DEMUNER (1986), derivado da norma TAPPI T 222 om-88 (Acid-insoluble lignin in wood and pulp). Já a lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme GOLDSCHIMID (1971), e foi considerado teor de lignina a soma dos dois valores.

## **3.6 POLPAÇÃO KRAFT**

O processo de polpação utilizado foi o Kraft convencional descontínuo (“batch”) empregando-se a técnica proposta por GOMIDE et al. (2003) para determinação das características de polpação ao nível de número kappa 18. Os cozimentos foram realizados em digestor rotativo, com quatro reatores individuais de 2 litros cada um, aquecidos eletricamente e dotados de termômetro e manômetro, possibilitando a realização numa única batelada, de quatro cozimentos simultaneamente. O tempo e a temperatura de cozimento foram monitorados por meio de controlador eletrônico acoplado a um computador, conforme descrito por (GOMIDE et al, 2003). O sensor de temperatura do sistema foi um PT100, em contato direto com os cavacos e o licor de cozimento. O digestor utilizado é mostrado na figura 12. Foram realizados, simultaneamente, quatro cozimentos, aplicando-se em cada reator cargas diferentes de álcali ativo (15% a 21% na madeira normal e 14% a 17% na madeira de tração) expressas como NaOH, para estabelecer a curva de deslignificação de cada madeira. As cargas de álcali foram selecionadas após realização de cozimentos exploratórios,

objetivando obtenção de número kappa próximo a 18 na parte mediana da curva de deslignificação. Os outros parâmetros utilizados para a polpação Kraft batch foram os seguintes, mantidos constantes para todos os cozimentos: cavacos = 250 gramas a.s., sulfidez = 30%, relação licor/madeira = 4/1, temperatura máxima = 170°C, tempo até temperatura máxima = 90 minutos, tempo à temperatura máxima = 90 minutos. As operações de lavagem, individualização das fibras dos cavacos cozidos e depuração das polpas celulósicas foram realizadas conforme descrito por (GOMIDE, et al, 2003). Após o cozimento, os cavacos foram descarregados dos reatores e lavados exaustivamente com água à temperatura ambiente, utilizando tela de aço inox de 150 mesh. A individualização das fibras foi realizada em “hidrapulper” laboratorial de 25 litros de capacidade, numa consistência de aproximadamente 0,6%. A depuração da celulose foi realizada em depurador laboratorial Voith dotado de placa com fendas de 0,2 mm. Foram determinados o número kappa de acordo com a norma TAPPI T236 om-85, a viscosidade das polpas celulósicas de acordo com a norma TAPPI T230 om-94, e as concentrações dos licores residuais de acordo com (GRACE, 1989).



**Figura 12:** Digestor batch computadorizado com seus quatro reatores.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DENSIDADE BÁSICA

A densidade básica da madeira é o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes internos. Segundo SILVA (2002), a densidade básica é uma propriedade muito importante e fornece inúmeras informações sobre as características da madeira, devido a sua íntima relação com várias outras propriedades, tornando-se um parâmetro muito utilizado para qualificar a madeira, nos diversos segmentos da atividade industrial. Segundo QUEIROZ (2002) citando CARPIN e BARRICHELO (1983) e BUSNARDO et al (1983), a determinação da densidade básica da madeira constitui um dos principais ensaios tecnológicos realizados em madeira de *Eucalyptus*, sendo reconhecida como um dos mais importantes parâmetros para a avaliação da qualidade da madeira, além de ser um importante índice para a análise econômica de florestas, podendo, para fins práticos, determinar o uso final da madeira. Segundo PANSWIN e DE ZEEUW (1980), a densidade pode variar entre gêneros, espécies do mesmo gênero, árvores da mesma espécie e, até mesmo, entre diferentes partes da mesma árvore. HILLIS e BROWN (1978) afirmaram que podem ocorrer variações extremas de tal propriedade entre árvores da mesma espécie, citando, como exemplo, a madeira de *Eucalyptus pilularis*, na Austrália, com variações de 0,59 até 0,81g/cm<sup>3</sup>. HILLIS (2000) afirmou que tais limites para o gênero

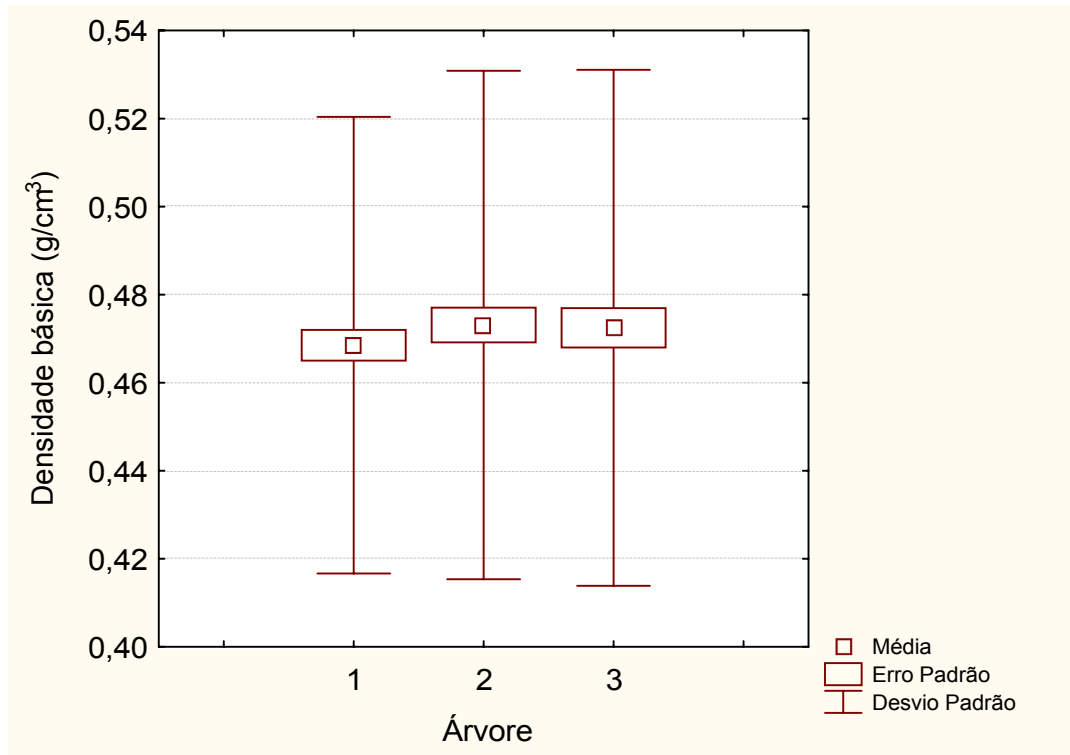
*Eucalyptus* ficam entre 0,60 e 0,90 g/cm<sup>3</sup>, para as madeiras maduras, e entre 0,40 e 0,80 g/cm<sup>3</sup>, para as madeiras mais jovens. Segundo KOLLMANN e CÔTÉ (1968), as variações na densidade se devem às diferenças na estrutura anatômica da madeira e na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume, em função, principalmente, da idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratos silviculturais. A estrutura da madeira a que se referem os autores está relacionada à espessura da parede celular e ao tamanho e à quantidade proporcional de diferentes tipos de células (fibras, traqueídeos, vasos, dutos de resina e parênquima). Nas madeiras da mesma espécie, as variações são decorrentes, principalmente, de alterações nos componentes estruturais e químicos. VITAL et al (1986) afirmaram que os efeitos, em geral, são interativos e difíceis de serem avaliados isoladamente e não se consegue modificar uma propriedade sem que as demais sejam alteradas. Segundo TSOUMIS (1991), a densidade é uma medida da quantidade de material na parede celular, presente em certo volume e é, também, uma indicadora do volume de espaços vazios na madeira.

Nesse trabalho, em primeiro lugar, foi comparada a densidade básica nas três árvores em estudo e, como os resultados encontrados não diferiram estatisticamente entre si quando submetidos a uma análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, pôde-se concluir que as árvores em questão poderiam ser utilizadas como repetições nos demais estudos. Esses resultados de densidade por árvore foram muito importantes para comprovar a eficiência da amostragem realizada. Os resultados de densidade básica por árvore estão demonstrados no Quadro 3.

**Quadro 3:** Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>) por árvore.

Árvore	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão
	Média	
1	0,468	0,051
2	0,473	0,057
3	0,472	0,058

A Figura 13 mostra graficamente os resultados obtidos comparando a densidade básica nas três árvores do estudo. Nessa figura podemos reparar de maneira mais clara que tanto a média, como o desvio, e o erro padrão se aprestaram bastante uniformes, mais uma vez comprovando a eficiência da amostragem utilizada para a utilização das árvores como repetições.



**Figura 13:** Parâmetros estatísticos de densidade básica por árvore

Como a densidade básica é considerada um dos parâmetros mais importantes no que diz respeito à qualidade da madeira esse estudo procurou evidenciar a densidade das árvores, a densidade por altura nas árvores e também no sentido medula-casca.

As variações da densidade básica no sentido medula-casca, podem ser um grande indicativo da presença de madeira de tração na periferia dos discos, pois como descrito anteriormente a madeira de tração na maioria das vezes tem sua densidade básica aumentada. Porém para que esse tipo de conclusão possa ser tirada, é necessário que esse aumento ocorra de maneira muito significativa, pois existe uma tendência natural de aumento da densidade básica no sentido medula-



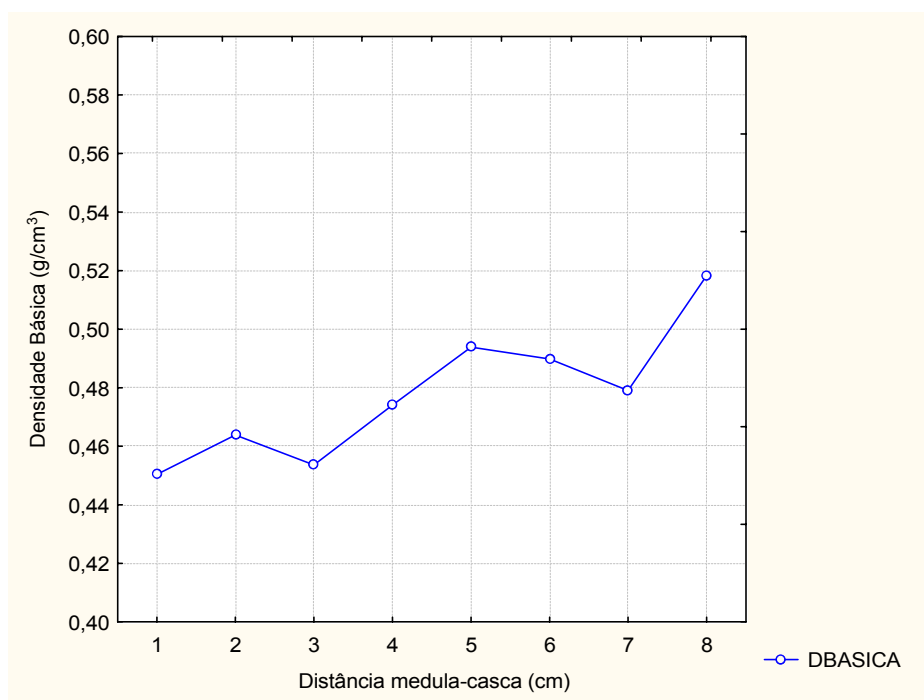
casca na maioria das espécies, o que poderia mascarar os resultados e conseqüentemente as conclusões.

Os resultados de densidade básica no sentido medula-casca estão demonstrados no Quadro 4.

**Quadro 4:** Densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) no sentido medula-casca.

Distância em cm medula-casca	Densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) Média	Desvio Padrão
1	0,45	0,04
2	0,46	0,04
3	0,45	0,04
4	0,47	0,05
5	0,49	0,07
6	0,49	0,07
7	0,49	0,06
8	0,52	0,07

A Figura 14 mostra graficamente e de maneira mais clara a variação da densidade no sentido medula-casca.



**Figura 14:** Variação da densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) no sentido medula-casca.

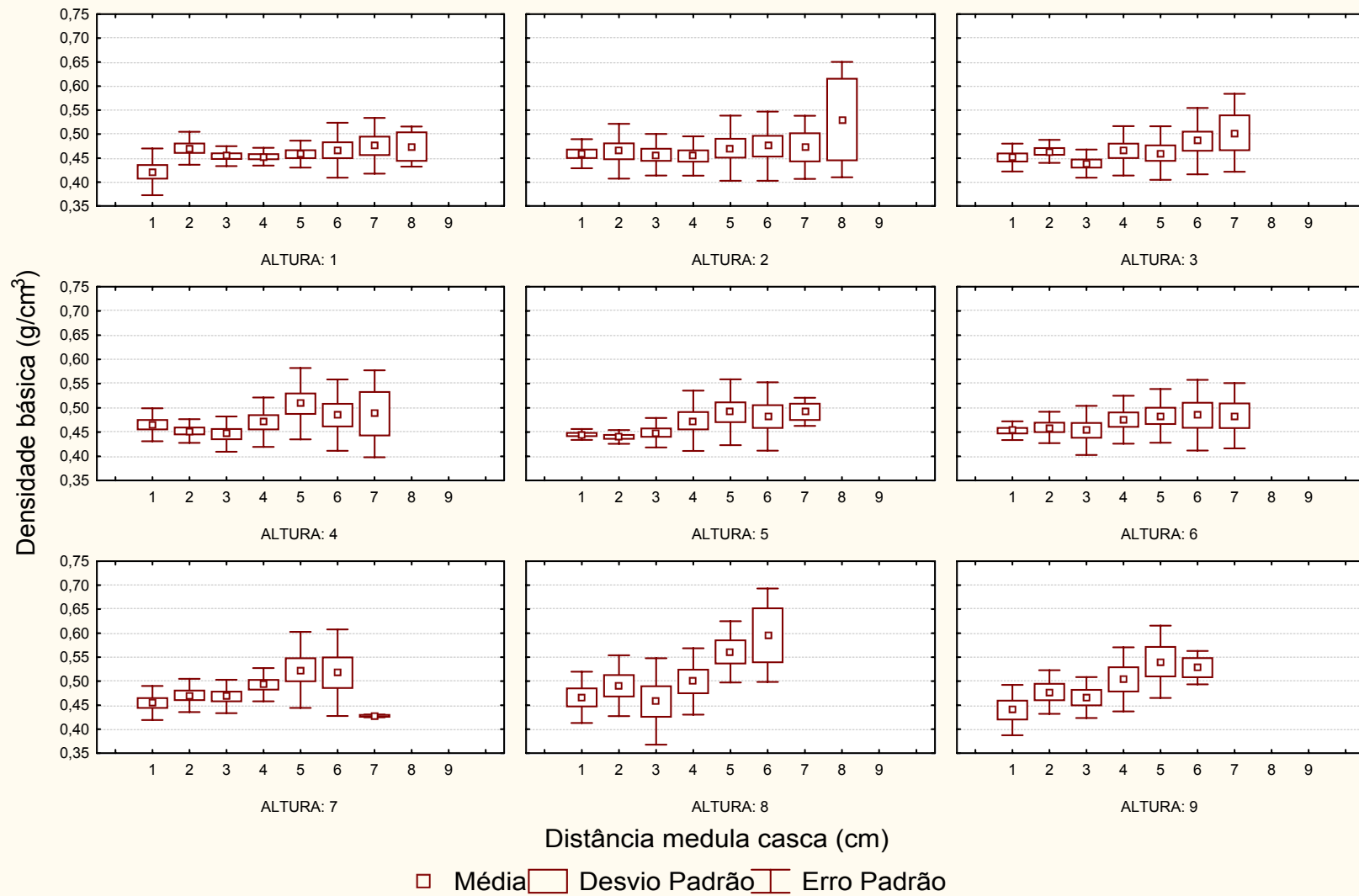
Como se observa na Figura 14, a densidade básica apresentou uma tendência de aumento no sentido medula-casca. Esse padrão é comprovado em diversos trabalhos como, por exemplo, em OLIVEIRA (1997) que encontrou aumento da densidade básica no sentido medula-casca para árvores de 7 espécies do gênero *Eucalyptus*.

Porém esse aumento que foi de  $0,45 \text{ g/cm}^3$  na região da medula, para  $0,52 \text{ g/cm}^3$  na região da casca, não foi um aumento tão significativo a ponto de se concluir que esse, ocorreu tão somente devido à presença de madeira de tração.

A utilização de parâmetros anatômicos, químicos e físicos, pode trazer um grande auxílio na associação do aumento nos valores de densidade básica no sentido medula-casca, com a presença de madeira de tração, pois, como dito anteriormente, esses métodos são mais precisos.

O aumento da densidade básica, associado à presença da madeira de tração, como já descrito anteriormente ocorre provavelmente nas maiores alturas das árvores, pois são as regiões de maiores inclinações das mesmas.

Para esse estudo, como se espera que a madeira de tração esteja presente na parte mais externa dos discos esse aumento de densidade, além de ser um comportamento característico da espécie, pode indicar a presença desse tipo de madeira sendo que para uma maior investigação do fenômeno, foi estudada a densidade no sentido medula-casca, por altura na árvore, com o objetivo de correlacionar a possibilidade de presença de tração em uma determinada altura e numa determinada distância da medula, e os resultados estão demonstrados na Figura 15.



**Figura 15:** Variação da densidade básica no sentido medula-casca por altura na árvore.

Na Figura 15 observa-se que na altura 8 a densidade básica aumenta bastante no ultimo centímetro perto da casca indicando um local de possível presença de madeira de tração o que é comprovado nos cortes histológicos.

Outro ponto de grande interesse nesse estudo é a diferença entre a densidade básica da madeira normal e da madeira de tração, pois, como discutido anteriormente, a madeira de tração tende a apresentar uma densidade básica maior devido à adição da camada gelatinosa, o que está comprovado nos dados do Quadro 5.

**Quadro 5:** Comparação entre a densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) da madeira normal e da madeira de tração

Tipo de madeira	Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ )	Desvio padrão
	Média	
Madeira Normal	0,463	0,049
Madeira de Tração	0,560	0,055

Os resultados acima apresentaram diferença significativa quando submetidos a um teste  $t$  para dados não pareados ao nível de 5 % de probabilidade, o que já era esperado, pois a madeira de tração tem a densidade básica aumentada por possuir menos espaços intracelulares (lume menor). Segundo WASHUSEN e ILIC (2001), um dos parâmetros mais fáceis para identificar a presença de madeira de tração é o aumento da densidade básica, porém esse parâmetro nunca deve ser utilizado de maneira isolada para a detecção da presença desse tipo de madeira.

Como a densidade básica está correlacionada com as demais propriedades da madeira e também com sua adequação a determinados usos, os resultados acima indicam a importância de estudos detalhados sobre as características da madeira de tração, pois como se pode notar a variação na densidade foi bastante alta. A partir desses resultados pode-se supor que a madeira de tração apresentará diferenças em várias outras propriedades, o que pode diminuir seu valor comercial ou até mesmo inviabilizar o seu uso em alguns casos.

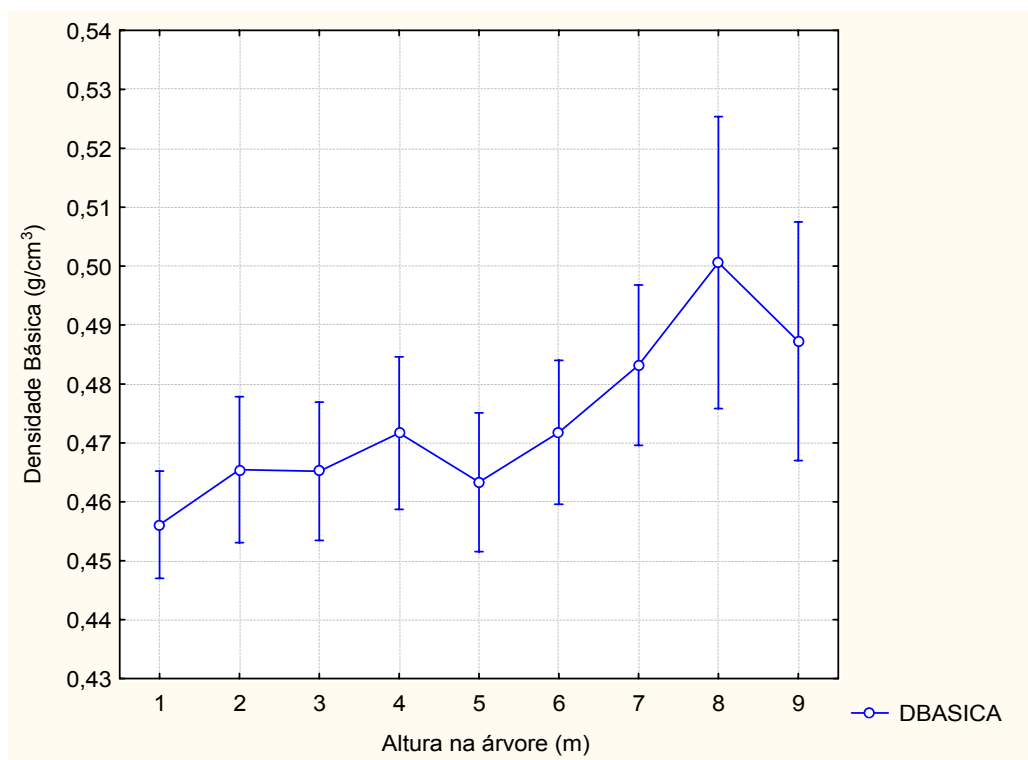
Além dos resultados por árvore, no sentido medula casca e do tipo de madeira, este estudo procurou também analisar a variação da densidade básica

com a altura da árvore, procurando evidenciar se em alguma dessas alturas a densidade aumentou significativamente indicando assim uma possível presença de madeira de tração. Os resultados estão demonstrados no Quadro 6.

**Quadro 6:** Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) por altura na árvore

Altura (metros)	Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ )	Desvio padrão
	Média	
1	0,456	0,041
2	0,465	0,054
3	0,465	0,052
4	0,471	0,055
5	0,463	0,049
6	0,471	0,051
7	0,483	0,057
8	0,500	0,079
9	0,487	0,062

Na figura 16, fica mais fácil a visualização da tendência de aumento na densidade básica da madeira, com o aumento da altura da árvore.



**Figura 16:** Variação da densidade básica por altura na árvore.

O aumento da densidade básica com a altura da árvore foi encontrado em alguns estudos como, por exemplo, em OLIVEIRA (1997), mas esse mesmo autor afirma que nem sempre a densidade básica segue um padrão de aumento com a altura, podendo então os resultados aqui encontrados serem apenas características de tais indivíduos.

Esses resultados também podem dar uma indicação de que a madeira de tração estaria concentrada na parte mais alta das árvores, o que parece fazer sentido, já que a curvatura é maior nesses locais.

Outros resultados obtidos sobre a densidade básica apontaram uma peculiaridade encontrada nos dados deste trabalho, no que diz respeito a seus valores nas diferentes coordenadas (Norte, Sul, Leste e Oeste) estudadas.

Os resultados mostrados no Quadro 7 não diferiram estatisticamente entre si quando submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, o que indica que a presença de madeira de tração não ocorreu apenas no lado Norte dos discos como esperado, mas também em todos os outros lados, fato que foi comprovado nos cortes histológicos.

**Quadro 7:** Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) por coordenada no disco

Coordenada	Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ )	Desvio padrão
	Média	
Norte	0,473	0,053
Sul	0,472	0,056
Leste	0,469	0,051
Oeste	0,471	0,063

Esses resultados encontrados indicam a presença da madeira de tração de maneira esparsa na árvore, mesmo essas estando inclinadas. Isso vem de encontro com as dúvidas encontradas sobre o mecanismo de formação desse tipo de madeira.

WASHUSEN (2001) estudando árvores de *Eucalyptus globulus* encontrou madeira de tração de maneira esparsa tanto em árvores retas quando inclinadas e reafirmou a dificuldade de entendimento do mecanismo de formação desse tipo

de madeira, pois na maioria dos casos principalmente em árvores inclinadas, a madeira mais densa que é um indício da presença de madeira de tração, tende a se concentrar no lado de maior crescimento.

## 4.2 CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA

A madeira é um material orgânico de estrutura complexa e heterogênea, que tem as suas dimensões aumentadas ou diminuídas de acordo com a umidade do ambiente. Como, com a presença de madeira de tração essa instabilidade dimensional aumenta, e sendo esse parâmetro de fácil obtenção, ele pode ser utilizado juntamente com a densidade para uma detecção mais fácil da presença de madeira de tração em determinadas árvores.

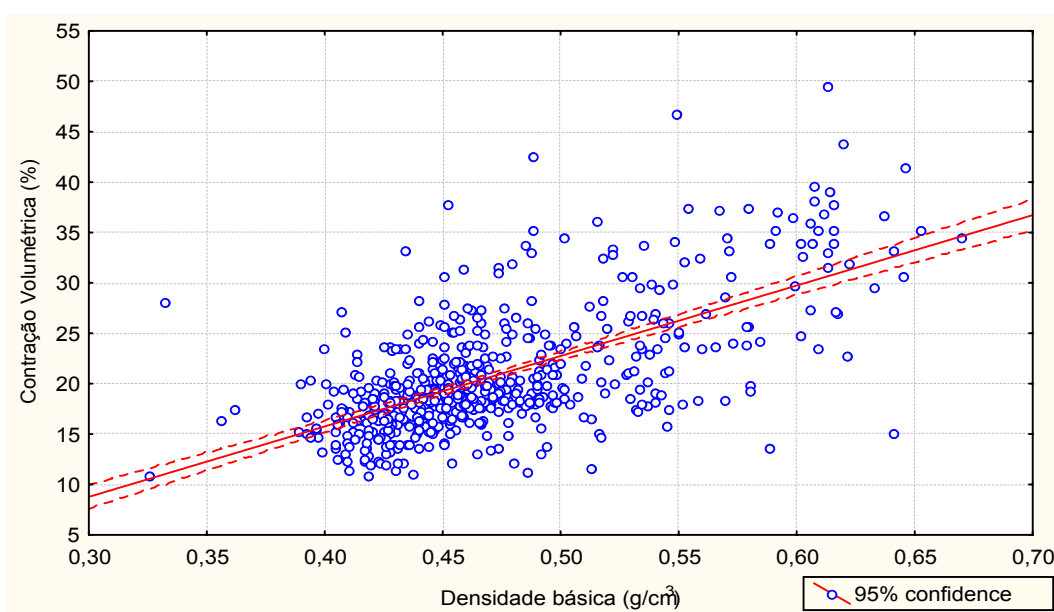
Segundo VITAL e TRUGILHO (1997), as variações dimensionais, provocadas pela contração e inchamento da madeira, ocorrem quando há flutuações na sua umidade, a um ponto abaixo da umidade de saturação das fibras, correspondendo às alterações na quantidade de água de impregnação; acima desse ponto, as alterações se resumem, tão somente, a pequenas oscilações de peso, sem alterações nas dimensões. Segundo os mesmos autores, as variações dimensionais se devem ao ligamento ou desprendimento de moléculas de água das microfibrilas da parede celular. A contração volumétrica nesse estudo foi caracterizada nas diferentes árvores, alturas, e na madeira normal e de tração. O Quadro 8 mostra a variação da contração volumétrica por árvore.

**Quadro 8:** Contração volumétrica (%) por árvore

Árvore	Contração volumétrica Média (%)	Desvio padrão
1	21,02	7,59
2	20,99	6,44
3	20,91	7,05

Os resultados acima não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si quando submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade e, como no caso da densidade básica, esses valores indicam que as

árvores em questão podem ser utilizadas como repetições nestes estudos. Como se pode observar na Figura 17, a correlação entre a densidade básica e a contração volumétrica foi significativa ao nível de 5% de probabilidade  $R^2=0,75$  o que indica que esses parâmetros podem ser utilizados de maneira associada para a detecção da presença de madeira de tração, podendo assim em alguns casos onde a ocorrência desse tipo de madeira é mais severa e evidente, evitar necessidade da confecção de lâminas, o que sem dúvida torna o trabalho mais rápido e menos oneroso.



**Figura 17:** Correlação entre densidade básica e contração volumétrica.

Resultados semelhantes aos da densidade básica também foram encontrados quando se comparou a contração volumétrica na madeira de tração e a na madeira normal, o que está demonstrado no Quadro 9.

**Quadro 9:** Comparação entre a contração volumétrica (%) da madeira normal e da madeira de tração.

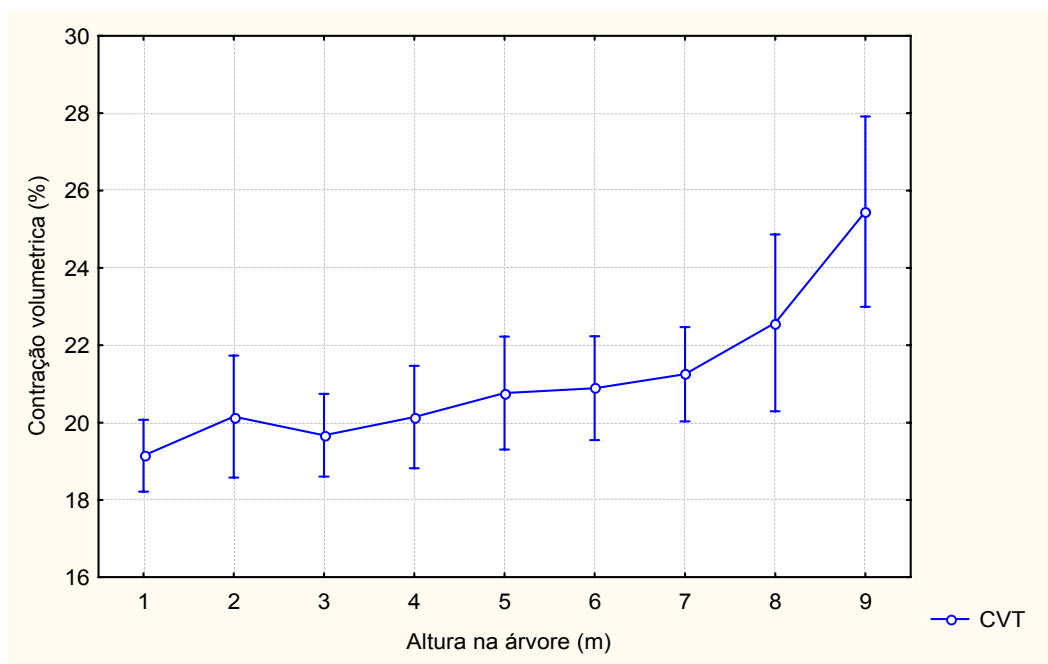
<b>Tipo de madeira</b>	<b>Contração volumétrica Média (%)</b>	<b>Desvio padrão</b>
Madeira Normal	19,99	5,18
Madeira de Tração	29,04	7,99



Os resultados acima diferiram estaticamente entre si, quando submetidos a um teste  $t$  para dados não pareados ao nível de 5% de probabilidade, indicando a maior contração volumétrica na madeira de tração.

Esse aumento na contração volumétrica, como já discutido anteriormente, assim como o aumento na densidade básica tem íntima correlação com a presença da camada gelatinosa que, por se apresentar frouxa na parede das fibras, facilita a entrada de água nas células, aumentando assim sua contração e acarretando uma série de problemas principalmente na indústria de produtos sólidos. Esses problemas muitas vezes podem ser minimizados ao se aplicar um programa de secagem adequado, evidenciando então a necessidade de estudos para o desenvolvimento de programas para madeiras que apresentem uma grande quantidade de madeira de tração.

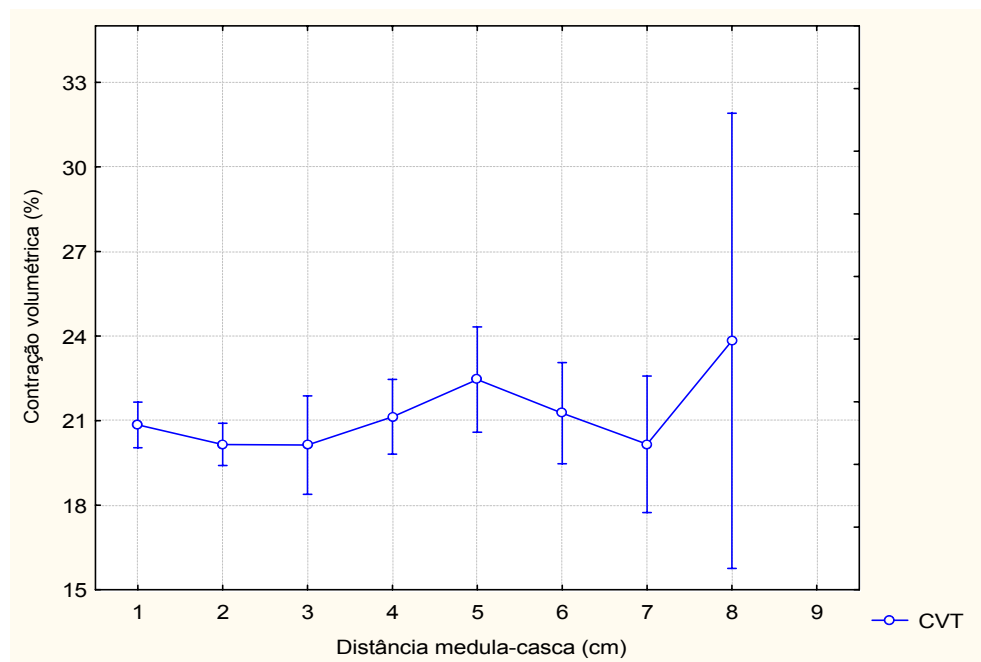
Esse trabalho analisou também a contração volumétrica por altura na árvore e como já foi observada uma alta correlação entre contração volumétrica e a densidade básica, essa análise teve como objetivo comprovar a eficácia da utilização da combinação desses dois parâmetros para a detecção da presença de madeira de tração em árvores de *Eucalyptus grandis*. Os resultados de contração volumétrica nas diferentes alturas estão demonstrados nas Figura 18.



**Figura 18:** Variação da contração volumétrica com a altura da árvore

Como se pode observar, a contração volumétrica aumenta com a altura da árvore, seguindo um padrão semelhante ao da densidade básica, mais uma vez indicando que a utilização conjunta desses parâmetros pode levar a uma melhor compreensão das características de uma determinada madeira.

Nesse trabalho foi avaliada também a contração volumétrica no sentido medula-casca e os resultados estão demonstrados na Figura 19.



**Figura 19:** Contração volumétrica (%) no sentido medula-casca.

Os resultados de contração volumétrica no sentido medula-casca, não apresentaram diferenças estatísticas entre si quando submetidos a análise de variância ao nível de 5% de probabilidade apesar de notarmos na figura uma tendência de aumento até o quinto centímetro a partir da medula, uma queda até o sétimo centímetro, e novamente um aumento no oitavo centímetro.

Os resultados encontrados então de acordo com estudo realizado por OLIVEIRA (1997), porém KOLLMANN e COTÊ (1968) afirmam que a madeira tem sua contração volumétrica aumentada no sentido medula-casca.

Como no caso da densidade básica, os dados de contração volumétrica por coordenada também não diferiram estatisticamente entre si quando submetidos a análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, como mostra o Quadro 10,

indicando mais uma vez que a madeira de tração presente nas árvores desse estudo não se encontra apenas na coordenada Norte, como se imaginava antes deste estudo.

**Quadro 10:** Contração volumétrica (%) por coordenada no disco.

<b>Coordenada</b>	<b>Contração volumétrica média (%)</b>	<b>Desvio padrão</b>
Norte	21,49	6,42
Sul	20,03	5,57
Leste	21,15	9,34
Oeste	21,38	6,48

### **4.3 ANATOMIA DA MADEIRA**

Esse estudo procurou caracterizar anatomicamente a madeira normal e a madeira de tração presente nas três árvores, e utilizar esses valores para correlacioná-los com os outros parâmetros também estudados, como constituintes químicos, densidade básica, contração volumétrica e produção de celulose. Foram obtidos os seguintes parâmetros: largura das fibras, espessura da parede das fibras, diâmetro do lume das fibras, diâmetro tangencial dos vasos e frequência dos vasos.

#### **4.3.1 Largura das fibras**

Segundo SILVA (2002), citando SHIMOYAMA (1990), a largura das fibras está relacionada a fatores genéticos e ambientais, além do crescimento sazonal. Na primavera e verão, por exemplo, a árvore produz maior quantidade de hormônios, acarretando maiores aumentos na largura das células. Hormônios específicos agem no arranjo das fibrilas, ora afrouxando-as, através de um aumento do ângulo fibrilar e aumento do diâmetro da fibra, ora concentrando-as, através da diminuição do ângulo fibrilar, acarretando uma diminuição da largura das fibras. Segundo a mesma autora, a largura das fibras é influenciada pela idade cambial e tende a aumentar no sentido medula-casca. A mesma autora,

citando outros pesquisadores que trabalharam com diversas espécies de *Eucalyptus*, afirmou que, quanto maior a largura das fibras, menor a densidade.

A largura das fibras é um importante parâmetro tecnológico tanto para a produção de celulose, chapas de fibras e outros produtos reconstituídos, quanto para a madeira sólida, pois suas dimensões interferem na densidade, nas propriedades mecânicas e na impregnação dentre outros aspectos. Os resultados de largura das fibras estão demonstrados no Quadro 11.

**Quadro 11:** Largura das fibras ( $\mu\text{m}$ ) por árvore

<b>Árvore</b>	<b>Largura das fibras Média (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Desvio padrão</b>
1	14,24	1,72
2	14,39	1,87
3	14,44	1,48

Como observado no Quadro 11, os valores de largura das fibras não diferiram estatisticamente entre si quando submetidos a análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, o mesmo comportamento encontrado nos parâmetros anteriores descritos, indicando mais uma vez a uniformidade do material utilizado para o estudo. O Quadro 12 mostra a largura das fibras quando são separadas as amostras em madeira de tração e madeira normal.

**Quadro 12:** Comparação entre a largura das fibras ( $\mu\text{m}$ ) da madeira normal e da madeira de tração.

<b>Tipo de madeira</b>	<b>Largura das fibras Média (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Desvio padrão</b>
Madeira Normal	14,40	1,63
Madeira de Tração	13,96	1,59

Os resultados de largura das fibras em relação ao tipo de madeira não diferiram estatisticamente entre si quando submetidos ao teste *t* para dados não pareados ao nível de 5% de probabilidade, o que comprova que a presença de madeira de tração não interfere na largura das fibras da madeira estudada, ou

seja, para esse caso a largura das fibras quando utilizada de maneira isolada, não é um bom parâmetro de caracterização da presença de madeira de tração.

Esses valores estão de acordo com trabalhos realizados anteriormente, que apontam diferenças entre largura das fibras da madeira normal para as fibras de madeira de tração em algumas espécies, porém em outras não. Provavelmente a largura das fibras da madeira de tração, não segue um comportamento padrão seja de aumento de tamanho ou não.

#### **4.3.2 Espessura da parede e diâmetro do lume das fibras.**

SHIMOYAMA (1990) e MOREIRA (1999), citando vários autores, afirmaram que a espessura da parede das fibras está muito relacionada a fatores genéticos e ambientais, bem como à idade da árvore. Segundo PANSIN e DE ZEEUW (1980), a espessura da parede das fibras de folhosas tende a aumentar no sentido medula-casca, situação também observada por (TOMAZELLO FILHO, 1985b). PANSIN e DE ZEEUW (1980) afirmaram que a fibra adulta é formada por duas paredes, a primária e a secundária. Durante o crescimento em comprimento, a fibra apresenta apenas a parede primária. Sua espessura não chega a 0,1  $\mu\text{m}$ , representando apenas 2% do total da parede celular. A parede secundária, geralmente, aparece após ter cessado o aumento em comprimento. Segundo os mesmos autores, a parede secundária é dividida em três camadas: a primeira camada, denominada S1, com espessura de 0,2  $\mu\text{m}$ , representando 16% da espessura total da parede; a segunda camada, denominada S2 e considerada a mais importante, com espessura que varia de 2 a 5  $\mu\text{m}$ , representa 74% da espessura total da parede, e a terceira camada, denominada S3, com espessura de 0,1  $\mu\text{m}$ , representa 8% da parede celular. Segundo SHIMOYAMA (1990) e RUY (1998), os carboidratos que são depositados na parede da fibra possuem alto grau de polimerização e alto peso molecular, podendo tornar a madeira mais densa. A mesma autora, citou inúmeros pesquisadores que encontraram relações positivas entre a densidade e a espessura da parede das fibras, chegando, mesmo, a concluir que a densidade pode dar indicações da espessura da parede da fibra. HILLIS e BROWN (1978) afirmaram que a parede celular da fibra pode variar

entre espécies, entre lenho inicial e tardio, bem como entre madeira normal e de tração. Segundo o mesmo autor, tal parâmetro está muito relacionado com a resistência da madeira e com as propriedades de usinagem.

A espessura da parede das fibras é um parâmetro muito importante para a caracterização da presença de madeira de tração em uma amostra, pois como já descrito anteriormente, a presença da camada gelatinosa nesse tipo de madeira faz aumentar significativamente a espessura de sua parede. O Quadro 13 mostra a espessura da parede das fibras por árvore nesse estudo.

**Quadro 13:** Espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ) por árvore

<b>Árvore</b>	<b>Espessura da parede das fibras Média (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Desvio padrão</b>
1	3,65	0,56
2	3,51	0,75
3	3,50	0,46

Como observado no Quadro 13, os valores de espessura da parede das fibras não diferiram estatisticamente entre si quando submetidos a uma análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, mesmo comportamento encontrado nos parâmetros anteriores descritos, indicando mais uma vez a uniformidade do material utilizado para o estudo. A comprovação do aumento da espessura da parede das fibras na madeira de tração devido à presença da camada gelatinosa está descrita no Quadro 14.

**Quadro 14:** Comparação entre a espessura da parede das fibras ( $\mu\text{m}$ ) da madeira normal e da madeira de tração

<b>Tipo de madeira</b>	<b>Espessura da parede das fibras Média (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Desvio padrão</b>
Madeira Normal	3,35	0,51
Madeira de Tração	3,76	0,68

Os resultados de espessura da parede das fibras por tipo de madeira apresentaram diferenças estatísticas entre si, quando submetidos ao teste  $t$  para dados não pareados ao nível de 5% de probabilidade, o que comprova que a

presença de madeira de tração, com a conseqüente formação da camada gelatinosa, aumenta a espessura da parede de maneira significativa.

Com o aumento da espessura da parede e considerando que, como descrito anteriormente, a largura das fibras se manteve constante, ocorreu também um decréscimo no diâmetro do lume das fibras da madeira de tração. Esse decréscimo pode causar problemas na secagem, na impregnação dos cavacos e também na aplicação de substâncias preservantes. Tal comportamento de diminuição do diâmetro do lume está descrito no Quadro 15.

**Quadro 15:** Comparação entre o diâmetro do lume das fibras ( $\mu\text{m}$ ) da madeira normal e da madeira de tração

Tipo de madeira	Diâmetro do lume das fibras	
	Média ( $\mu\text{m}$ )	Desvio padrão
Madeira Normal	7,71	0,97
Madeira de Tração	6,45	1,05

Os resultados de diâmetro do lume das fibras por tipo de madeira apresentaram diferenças estatísticas entre si quando submetidos a teste  $t$  para dados não pareados, ao nível de 5% de probabilidade, mais uma vez comprovando que a presença de madeira de tração, com a conseqüente formação da camada gelatinosa, aumenta a espessura da parede de maneira significativa e conseqüentemente diminui o diâmetro do lume das células.

#### 4.3.3 Comprimento das fibras

Segundo OLIVEIRA (1997), o comprimento das fibras parece influenciar pouco na densidade da madeira e conseqüentemente nas suas propriedades na forma sólida, porém, na produção de painéis reconstituídos e na produção de papel esse parâmetro é de fundamental importância no entrelaçamento das fibras que confere maior resistência ao produto final. Segundo SILVA (2002) citando TOMAZELO FILHO (1985a), ANDRADE (1987) e WILKES (1988), as células cambiais passam a produzir, durante um certo tempo, elementos com maiores

dimensões, até atingir a sua estabilização, em idades mais avançadas, ao longo do raio. Em função disso, há um aumento no comprimento das fibras no sentido medula-casca, com o aumento da idade. Assim, as fibras localizadas nas camadas de crescimento, mais próximas da medula e a um dado nível do tronco, apresentam menores dimensões do que àquelas localizadas nas camadas finais de crescimento, mais próximas à casca. Tal fato foi constatado por DADSWELL (1972), KNIGGE e KOLTZENBURG (1965), GONZAGA et al. (1982), CAMARGO et al. (1987), TOMAZELLO FILHO (1985b), TOMAZELLO FILHO (1988), WILKES (1988), BHAT et al. (1990), SHIMOYAMA (1990), TRUGILHO (1996), OLIVEIRA (1997), ao estudarem madeiras de eucalipto.

Segundo PANSIN e de ZEEUW (1980), o comprimento das fibras aumenta na madeira de tração, sendo esse um bom parâmetro para a caracterização e identificação da presença desse tipo de madeira. Porém WASHUSEN (2001) estudando a madeira de tração em *Eucalyptus globulus* não encontrou diferenças significativas entre o comprimento das fibras na madeira normal e na madeira de tração. O Quadro 16 mostra o comprimento das fibras nas árvores desse estudo.

**Quadro 16:** Comprimento das fibras (mm) por árvore

Árvore	Comprimento das fibras Média (mm)	Desvio padrão
1	0,83	0,077
2	0,83	0,087
3	0,84	0,070

Os resultados de comprimento das fibras por árvore não diferiram estatisticamente entre si quando submetidos a análise de variância ao nível de 5% de probabilidade. O Quadro 17 mostra o comprimento das fibras nos diferentes tipos de madeira.



**Quadro 17:** Comparação entre comprimento das fibras (mm) da madeira normal e da madeira de tração

<b>Tipo de madeira</b>	<b>Comprimento das fibras Média (mm)</b>	<b>Desvio padrão</b>
Madeira Normal	0,80	0,05
Madeira de Tração	0,86	0,07

Os resultados de comprimento das fibras por tipo de madeira apresentaram diferenças estatísticas entre si quando submetidos ao teste *t* para dados não pareados ao nível de 5% de probabilidade, comprovando que na madeira de tração as fibras são maiores, esses valores podem interferir nas características tecnológicas da madeira e dos produtos produzidos através desta, já que como dito anteriormente o comprimento das fibras afeta o entrelaçamento das mesmas melhorando ou piorando as propriedades dos painéis de partículas e dos papéis produzidos com esse tipo de madeira.

#### **4.3.4 Freqüência de vasos**

Os vasos desempenham a função de condução de líquidos e variam quanto à freqüência, diâmetro, forma e arranjo dentro da árvore. Em espécies de porosidade difusa, como o eucalipto, HILLIS (1978) verificou que os vasos são de pequeno tamanho em diâmetro e são do mesmo tamanho em relação ao tempo de formação. PANSIN e DE ZEEUW (1980) afirmaram que, no sentido medula-casca, ocorre um aumento do diâmetro dos elementos de vasos e uma redução da sua freqüência ao longo dos anéis sucessivos de crescimento, tendendo à estabilização dos seus valores na madeira adulta. Tal fato foi confirmado por TOMAZELLO FILHO (1985a), utilizando madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, e WILKES (1988), estudando várias espécies de eucalipto. Estudando a madeira de *Eucalyptus grandis*, TOMAZELLO FILHO (1985a) verificou que os vasos eram pouco numerosos, com grande número de vasos isolados, dispostos em cadeias oblíquas, envolvidos parcial ou totalmente pelo parênquima paratraqueal vasicêntrico e aliforme.

Segundo PANSHIN e DE ZEEUW (1980), os vasos em zona de madeira de tração são encontrados com menor frequência do que os encontrados em madeira normal, mas não têm suas características alteradas. A frequência dos vasos é um importante parâmetro tecnológico das madeiras visto que ela afeta a densidade e principalmente a permeabilidade da madeira. O Quadro 18 mostra a frequência de vasos nas árvores do estudo.

**Quadro 18:** Frequência de vasos (poros/mm<sup>2</sup>) por árvore

<b>Árvore</b>	<b>Frequência dos vasos Média (poros/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Desvio padrão</b>
1	13,75	2,98
2	13,17	4,21
3	12,82	4,04

Os resultados de frequência de vasos por árvores não apresentaram diferenças estatísticas significativas quando submetidos a análise de variância ao nível de 5% de probabilidade. O Quadro 19 mostra a frequência de vasos nos diferentes tipos de madeira do estudo.

**Quadro 19:** Comparação entre frequência de vasos (poros/mm<sup>2</sup>) da madeira normal e da madeira de tração

<b>Tipo de madeira</b>	<b>Frequência dos vasos Média (poros/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Desvio padrão</b>
Madeira Normal	15,07	3,97
Madeira de Tração	11,28	3,29

Os resultados de frequência de vasos por tipo de madeira diferiram estatisticamente entre si quando submetidos ao teste de *t* para dados não pareados ao nível de 5% de probabilidade o que já foi encontrado por outros autores como WASHUSEN (2001), indicando assim a menor permeabilidade da madeira de tração, o que causa dificuldade no processo de secagem, na impregnação dos cavacos para a produção de celulose e também na aplicação de substâncias preservativas. O motivo da diminuição da frequência dos vasos ainda não está totalmente elucidado, mas uma hipótese aceita é que os vasos diminuem devido à

necessidade do aumento da quantidade de fibras para que a madeira ganhe em resistência e possa responder melhor aos ventos e a outros fatores que venham a contribuir para a formação desse tipo de madeira.

#### 4.3.5 Diâmetro tangencial dos vasos.

O diâmetro tangencial dos vasos assim como a sua frequência influencia na densidade da madeira, na sua permeabilidade e conseqüentemente em outras propriedades. Os dados de diâmetro tangencial dos vasos estão descritos no Quadro 20.

**Quadro 20:** Diâmetro tangencial dos vasos ( $\mu\text{m}$ ) por árvore.

Árvore	Diâmetro tangencial dos vasos Média ( $\mu\text{m}$ )	Desvio padrão
1	119,57	14,08
2	121,43	16,53
3	120,74	14,68

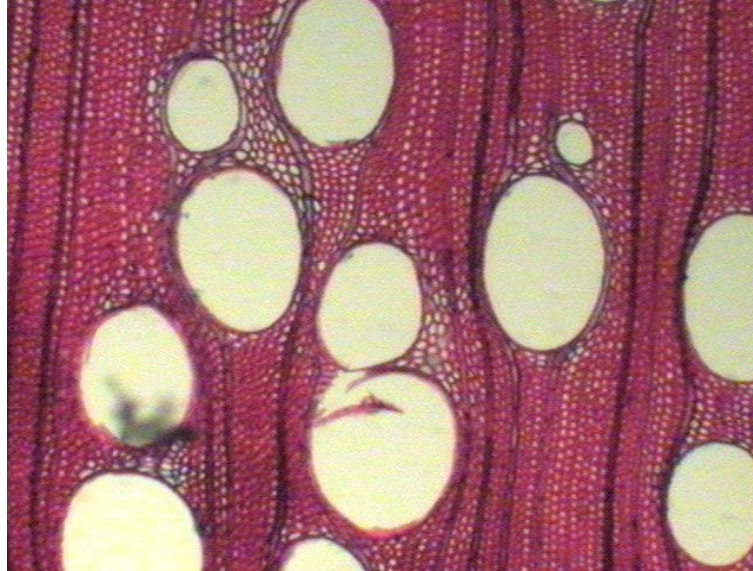
Os resultados de diâmetro tangencial dos vasos por árvore não apresentaram diferenças estatísticas significativas quando submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade. Outro parâmetro importante diz respeito a variação do diâmetro tangencial dos vasos na madeira normal e na madeira de tração. O Quadro 21 mostra o diâmetro dos vasos nos diferentes tipos de madeira.

**Quadro 21:** Comparação entre o diâmetro dos vasos ( $\mu\text{m}$ ) da madeira normal e da madeira de tração

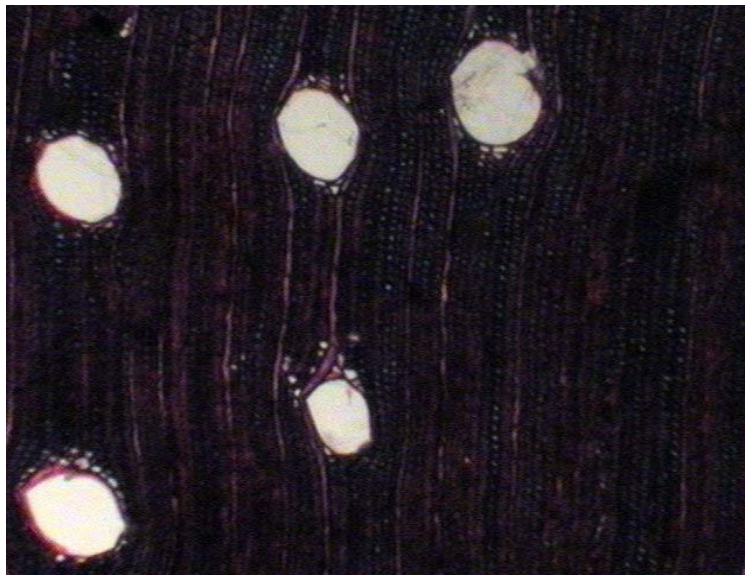
Tipo de madeira	Diâmetro tangencial dos vasos Média ( $\mu\text{m}$ )	Desvio padrão
Madeira Normal	122,92	15,31
Madeira de Tração	115,77	13,47

Os resultados de diâmetro tangencial dos vasos por tipo de madeira diferiram estatisticamente entre si quando submetidos ao teste  $t$  para dados não pareados ao nível de 5% de probabilidade, o que já foi encontrado por outros

autores, ou seja, o menor diâmetro dos vasos na madeira de tração. Um detalhe importante é que quando a lâmina preparada contém apenas madeira de tração o diâmetro tangencial dos vasos é ainda menor, como mostram as Figuras 20 e 21.



**Figura 20:** Corte transversal mostrando a madeira normal e os vasos de diâmetros entre 120 e 150 ( $\mu\text{m}$ ), no aumento de 40 vezes.



**Figura 21:** Corte transversal mostrando a madeira de tração e os vasos de diâmetros entre 70 e 110 ( $\mu\text{m}$ ), no aumento de 40 vezes.

Como se pode observar, na madeira de tração os vasos são bem menores e bem menos freqüentes, o que está de acordo com a literatura citada, mas deve-se destacar que em muitas lâminas confeccionadas não ocorria a presença de

madeira de tração na sua totalidade o que fez com que a diferença de diâmetro dos vasos entre a madeira normal e a madeira de tração fosse diminuída. Alguns autores como, por exemplo, WASHUSEN (2001), não encontraram diferenças significativas entre o diâmetro dos vasos na madeira normal e na madeira de tração. Esse autor diz que uma das possíveis causas para que ele não tenha encontrado diferenças é que seu trabalho foi desenvolvido com árvores mais velhas, porém essa teoria ainda não foi comprovada e ainda não se sabe o porque da variabilidade dos resultados.

#### **4.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA**

O conhecimento da natureza química da madeira possibilita ao usuário o entendimento de seu comportamento como matéria-prima para diversos usos (OLIVEIRA, 1997). Segundo SILVA (2002), a madeira é um material orgânico e os seus constituintes químicos estão diretamente relacionados com as suas propriedades.

A composição química da madeira é caracterizada por apresentar componentes definidos como fundamentais, que são a celulose, hemicelulose e a lignina e os acidentais que são os extrativos e os minerais dentre outros (TOMAZELLO FILHO, 1994).

Segundo SHIMOYAMA (1990), GARCIA (1995) e FLORSHEIM (1992), a composição química das madeiras é um fator de menor importância para explicar a densidade básica se comparado aos elementos anatômicos.

WINANDY e ROWEL (1984) afirmaram que a celulose é responsável pela resistência da fibra, devido ao alto grau de polimerização e orientação linear da cadeia.

Segundo SHIMOYAMA (1990), a celulose é altamente resistente à tração, devido às ligações covalentes dentro do anel piranosídico e entre as unidades individuais. Nesse trabalho procurou-se caracterizar quimicamente as árvores da madeira normal e da madeira de tração, pois os parâmetros químicos podem indicar possíveis diferenças nas propriedades do produto final, no caso a celulose.

#### 4.4.1 Lignina

O teor de lignina é muito importante na madeira, pois tem influência direta no consumo de reagentes químicos no processo de produção de celulose e também no rendimento desse processo, pois este é inversamente proporcional ao teor de holocelulose. Os teores de lignina das árvores aqui estudadas estão mostrados no Quadro 22.

**Quadro 22:** Teor de lignina total (%) por árvore

Árvore	Teor de lignina Média (%)	Desvio padrão
1	27,11	4,86
2	26,08	5,83
3	26,34	4,63

Os teores de lignina por árvore não apresentaram diferenças estatísticas significativas quando submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade indicando a uniformidade das árvores utilizadas nesse estudo. O Quadro 23 mostra o teor de lignina nos diferentes tipos de madeira.

**Quadro 23:** Comparação entre o teor de lignina (%) da madeira normal e da madeira de tração

Tipo de madeira	Teor médio de lignina Média (%)	Desvio padrão
Madeira Normal	29,72	3,29
Madeira de Tração	23,85	4,67

Os teores de lignina por tipo de madeira diferiram estatisticamente entre si quando submetidos ao teste *t* para dados não pareados ao nível de 5% de probabilidade, o que já foi encontrado por outros autores, ou seja, na madeira de tração o teor de lignina cai de maneira acentuada, o que, conseqüentemente, aumenta o teor de holocelulose, aumentando assim o rendimento na produção da polpa. O menor teor de lignina encontrado na madeira de tração implica também num menor gasto de reagentes químicos durante o processo de polpação. Em estudo realizado por BABA et al (1996), o teor de lignina para a madeira de

tração de *Eucalyptus camaldulensis* foi de 6,5% enquanto na madeira normal esse teor foi de 21,1% mostrando a grande queda no teor de lignina para a madeira de tração. Nesse mesmo trabalho os autores não encontraram diferenças significativas na relação siringil/guaiacil.

#### 4.4.2 Extrativos

Um dos principais problemas que os extrativos apresentam na produção de celulose é o gasto de reagentes químicos para a sua remoção, (VASCONCELOS e SILVA, 1985; WEHR e BARRICHELO, 1992). Os extrativos também são responsáveis pela formação de pitch, que são “manchas”, tanto na polpa celulósica quanto no papel produzido a partir desta.

SILVA (2002) citando HIGGINS (1978), HILLIS e BROWN (1978); PANSIN e DE ZEEW (1980), diz ser o teor de extrativos um dos mais importantes indicadores de conformidade da madeira, para diversos usos industriais. TAYLOR (1973), KRAMER e KOSLOWSKY (1979), JANKOWSKY (1979), ZOBEL e JETT (1984), GONÇALEZ (1993), CHAFE (1994) afirmaram que, durante a formação do cerne, uma ampla variedade de substâncias extrativas, incluindo taninos, corantes, óleos, gomas, resinas e sais de ácidos orgânicos, se acumulam nos lumes das células e paredes celulares, resultando na coloração mais escura da madeira, além de um aumento da massa específica e da durabilidade. Os resultados do teor de extrativos por árvore estão mostrados no Quadro 24.

**Quadro 24:** Teor de extrativos em álcool/tolueno (%) por árvore

Árvore	Teor de extrativos Média (%)	Desvio padrão
1	1,40	0,48
2	1,40	0,50
3	1,50	0,44

Os teores de extrativos por árvore não apresentaram diferenças estatísticas significativas quando submetidos à análise de variância ao nível de 5% de

probabilidade, indicando a uniformidade das árvores utilizadas nesse estudo. O Quadro 25 mostra o teor de extrativos nos diferentes tipos de madeira.

**Quadro 25:** Comparação entre o teor de extrativos em álcool/tolueno (%) da madeira normal e da madeira de tração

<b>Tipo de madeira</b>	<b>Teor de extrativos Média (%)</b>	<b>Desvio padrão</b>
Madeira Normal	1,69	0,41
Madeira de Tração	1,22	0,42

Os teores de extrativos por tipo de madeira diferiram estatisticamente entre si quando submetidos ao teste *t* para dados não pareados, ao nível de 5% de probabilidade, o que já foi encontrado por outros autores como BABA et al (1996) e WASHUSEN (2001), ou seja, na madeira de tração o teor de extrativos é menor o que pode ser benéfico na produção de celulose já que os extrativos por consumirem parte dos reagentes químicos utilizados no processo tendem a encarecer o mesmo, porém muito provavelmente essa diminuição do teor de extrativos ocorre devido ao aumento da densidade da madeira e não a uma diminuição da presença desses compostos.

#### **4.5 POLPAÇÃO KRAFT**

O objetivo da realização da polpação Kraft nesse trabalho foi correlacionar os resultados obtidos com as características da madeira estudada, já que essa madeira é proveniente de uma empresa onde sua principal atividade é a produção de celulose branqueada. Estudos anteriores apontam para um grande aumento no rendimento de polpa celulósica para madeira de folhosas quando estas apresentam presença de madeira de tração. Para nível de comparação foram realizados cozimentos exploratórios nos dois tipos de madeira com o objetivo de determinar o álcali ativo necessário para a obtenção de um número Kappa entre 17 e 18. Os resultados obtidos no cozimento estão descritos no Quadro 26.



**Quadro 26:** Parâmetros comparativos na produção de celulose com madeira normal e com madeira de tração

<b>Amostra</b>	<b>Álcali Ativo (%)</b>	<b>Número Kappa</b>	<b>Viscosidade (cP)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Madeira Normal	19,8	17,4	37,1	49,0
Madeira de Tração	14,7	17,5	38,0	58,2

Como se pode observar, o álcali ativo necessário para a obtenção de um Kappa entre 17 e 18 foi muito menor na madeira de tração, isso ocorreu devido ao menor teor de lignina e de extrativos presente nesse tipo de madeira. Um teor de álcali menor, além de representar um cozimento mais brando, implica também em uma menor carga para a caldeira de recuperação, o que é muito benéfico para a indústria de celulose e papel. Quanto à viscosidade, os resultados não apresentaram diferenças estatísticas entre si quando submetidos ao teste de *t* para dados não pareados ao nível de 5% de probabilidade. Dentre os resultados que foram obtidos nos cozimentos, sem dúvida o que chama mais a atenção é o aumento no rendimento encontrado na madeira de tração. Esse aumento de rendimento é explicado tanto pela presença de fibras com a camada gelatinosa que é composta quase que exclusivamente por celulose, como também pode ser explicado pela queda no teor de lignina, que possibilitou a utilização de uma carga de álcali menor resultando assim em um cozimento mais brando.

Com os resultados obtidos nesses cozimentos poder-se-ia afirmar que a madeira de tração é excelente para a indústria de celulose e papel. Entretanto, o papel produzido com fibras de madeira de tração tem uma resistência menor do que o feito com fibras de madeira normal (WASHUSEN, 2001). A madeira de tração é mais adequada para polpas solúveis, uma vez que a produção é de alto rendimento e a resistência da fibra original não é importante nesses tipos de polpas (PANSHIN e DE ZEEUW, 1980).

Estudos anteriores afirmaram que a qualidade da celulose produzida com madeira de tração cai significativamente. No caso da madeira de *Eucalyptus grandis* das indústrias brasileiras ainda é cedo para apontar se essa queda na qualidade da celulose ocorre realmente, ficando clara então a necessidade de

estudos que visem analisar a qualidade da celulose produzida com madeira de tração encontrada nas florestas das indústrias brasileiras.

## 5. CONCLUSÕES

A madeira de tração é uma madeira formada na maioria das vezes em árvores inclinadas, apesar de em alguns casos ela também poder ser encontrada em árvores retas. Como tem suas características químicas, físicas e anatômicas alteradas, esse tipo de madeira altera as características dos produtos feitos a partir dela.

Esse trabalho buscou caracterizar esse tipo de madeira, devido à falta de estudos sobre esse problema nas florestas de *Eucalyptus* do Brasil. A partir dessa caracterização fica mais fácil entender o comportamento desse tipo de madeira, quando utilizada para a produção de celulose e para obtenção de produtos sólidos.

Com os resultados obtidos pode-se, neste estudo, tirar as seguintes conclusões:

- ✓ A madeira de tração está localizada de forma aleatória na árvore, pois nem sempre esse tipo de madeira foi encontrada na coordenada Norte do disco, ou seja, na região de maior raio como era de se esperar.
- ✓ A madeira de tração tem sua densidade e sua contração volumétrica aumentada, a largura de suas fibras não foi alterada, mas a espessura da parede, sim, o que também alterou o diâmetro do lume

das mesmas. O comprimento das fibras também foi maior. Os vasos são menores e menos freqüentes e ocorre queda no teor de lignina e de extrativos, com conseqüente aumento no teor de celulose.

- ✓ A madeira de tração apresenta menor quantidade de lignina e maior quantidade de celulose em razão da presença nela de uma camada conhecida como camada gelatinosa, que é composta basicamente por celulose.
- ✓ A celulose produzida com a madeira de tração apresentou a necessidade de uma menor carga de reagentes no processo de polpação, para a obtenção de um mesmo número kappa, devido à menor quantidade de lignina presente na parede das células.
- ✓ A viscosidade da polpa celulósica feita com madeira de tração foi a mesma da polpa feita com madeira normal.
- ✓ O rendimento de celulose produzida a partir da madeira de tração foi em torno de 9% mais alto que o rendimento da celulose produzida a partir da madeira normal. Isso ocorre basicamente devido a presença da camada gelatinosa na madeira de tração e o conseqüente aumento no teor de celulose nesse tipo de madeira.
- ✓ Esse aumento no rendimento mostra a necessidade de aprofundamento nos estudos principalmente no que diz respeito à qualidade da celulose produzida com esse tipo de madeira, já que um ganho dessa magnitude em rendimento pode fazer com que esse tipo de madeira seja encarado como uma alternativa na produção de celulose, apesar de estudos indicarem queda na qualidade da celulose produzida com esse tipo de madeira de algumas espécies.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M.C.J. **Indicação para o emprego de dezesseis espécies de eucalipto na construção civil**. São Carlos:USP, 1991. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Escola de Engenharia de São Carlos) Universidade de São Paulo, 1991.

ALFONSO, V.A. **Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Hérit cultivados no Brasil**, São Paulo: USP, 1987. 188p. Tese (Doutorado, Instituto de Biociências) Universidade de São Paulo, 1987.

ALIPON, M.A.; MARUZZO, M.M. Tension wood and its effects on end-use properties of wood. **FPRDI Journal**. p.43-55, 1992.

ALMEIDA, J.M., SILVA, D.J. Inclusão de um novo e importante parâmetro potencial de seleção de eucalipto para produção de polpa kraft. In: CONFERENCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTO, 24 - 29 de agosto, 1997, Salvador. **Anais...** IUFRO, 1997. v.3, p.228-313.

ANDRADE, M.C.D. **Variação das características das fibras em função da densidade básica de cavacos de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**. Botucatu: UNESP, 1987, 43p. Dissertação (Mestrado – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita) Universidade Estadual Paulista, 1987.

ARCHER, R. R. The origin of growth stresses in trees. Part 2: Stresses generated in the tissue of developing cells. **Wood Science and Technology** n.23 p.311-322, 1989.

ARGANBRIGHT, D.G. Influence of gelatinous fibres on the shrinkage of silver maple. **Wood Science** n.3 v.2 p.83-89, 1970.

ASSIS, T. F. Aspectos do melhoramento de *Eucalyptus* para a obtenção de produtos sólidos da madeira. In: WORKSHOP SOBRE TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1999, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1999, p.61-72.

BABA, K.; ONA, T.; TAKABE, K.; ITOH, T.; ITO, K. Chemical and anatomical characteristics of the tension wood of *Eucalyptus camaldulensis* L. **Mokuzai Gakkaishi**. n.42 v.8 p.795-798, 1996.

BAILLÈRES, H.; CHANSON, B.; FOURNIER, M.; TOLLIER, M.T.; MONTIES, B. Wood structure, chemical composition and growth strains in eucalyptus clones. **Annales des Sciences Forestieres**. 52 (2): p.157-172 (In French), 1995.

BAMBER, R.K. The origins of growth stresses. In: **IUFRO Conference, Wood Quality and Utilisation of Tropical Species**. Laguna, Phillipines, 1978. Reprint No. 715 WT. Forests Commission of NSW, 1978.

BAMBER, R.K. The wood anatomy of eucalypts and papermaking. **Appita**. v.38. n.3, p.210-216, 1985.

BAREFOOT, A.C. Abnormal wood in yellow-poplar *Liriodendron tulipifera* L. **Forest Products Journal** n.13 p.16-22, 1963.

BHAT, K. M. et al. – Wood density and fiber length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 22, n. 1, p. 54-61. 1990.

BOYD, J.D. Relationship between fibre morphology and shrinkage of wood. **Wood Science Technology** v.11 p.3-22, 1977.

BOYD, J.D. Relationship between fibre morphology, growth strains and physical properties of wood. **Australian Forest Research**. n.10 v.4 p.337-360, 1980.

BURGER, L.M., RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

BURLEY, J. Genetic variation in wood properties. **New perspectives in wood anatomy**. p.151-169, 1982.

BUSNARDO, C.A., GONZAGA, J.V., FOELKEL, C.E.B. et al. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose: II. Inter-relações entre propriedades das árvores e de suas madeiras. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABCP, 1983. v.1, p.31-47.

CAMARGO, F. R. A . et al. Caracterização tecnológica da madeira de povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. In: CONGRESSO ANUAL DE PAPEL CELULOSE. **Anais....** São Paulo: ABCP, 1987. p. 1-15.

CARPIN, M.A.; BARRICHELO, L.G. Variabilidade da densidade de madeira de *Eucalyptus spp.* In: INTERNATIONAL NON-CHLORINE BLEANCHING CONFERENCE, 1996, Orland. **Anais...** Orlando: TAPPI, 1996 p.1-20.

CHAFE, S. C. Relationships between shrinkage and specific gravity in the wood of *Eucalyptus*. **Australian Forestry**, Melbourne. v. 57, p. 59-61. 1994.

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalypt wood. Melbourne, **Forest Products Laboratory**, CSIRO, n. 66, p. 1-28. 1972.

DADSWELL, H.E.; WARDROP, A.B. What is reaction wood? **Australian Forestry** v. 13, p.22-33, 1949.

DU POOL. A. B. J. The relationship between wood and pulp properties of *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden) grow in South Africa. **Appita**, v. 33, n.4, p.257-264, 1980.

FLORSHEIM, S.M.B. **Variações na estrutura anatômica e densidade básica da madeira de arvore de aroeira *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M. F. Allemão (ANACARDIACEAE)**. Piracicaba: USP, 1992. 252 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”) Universidade de São Paulo, 1992.

FOELKEL, C.E.; MOURA, E.; MENOCELLI, S.; Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **Anais...** Congresso Florestal Brasileiro, 6, Campos do Jordão – São Paulo – São Paulo, 1990, p. 719-728.

FOELKEL, C.E.B. Madeiras de eucalipto: da floresta ao digestor. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 11, 1978, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Celulose e Papel, 1978. P.E1-E25.

GARCIA, C. B. **Anatomia, composição e propriedades de cinco madeiras paraguaias**. Viçosa: UFV, 1995, 126p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal – Departamento de Engenharia Florestal). Universidade federal de Viçosa. Viçosa MG, 1995.

GÉRARD, J., BAILLÈRES, H., FOURNIER, M. AND THIBAUT, B. Wood quality of plantation Eucalypts. **Bois et Forêts des Tropiques**. n.245 p.101-117, 1995.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C. H. (Ed.) **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-266

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado. **O papel**, v.47, n.8, p. 36-38, 1986.

GOMIDE, J.L.; FANTUZZI NETO, H.; LEITE, H.G. Técnica para estabelecimento da qualidade tecnológica de madeira de Eucalipto visando a produção de celulose Kraft. COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE CELULOSE KRAFT DE EUCALIPTO, 4-5 Setembro 2003. **Anais...** Universidade Federal de Viçosa.

GONÇALEZ, J. C. **Caracterization technologique de quatre especes peu connues de la Foret Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mecaniques.** Nancy, 1993. 444p. Tese (Doctorat Ecole Nationale du Gene Rural des Eaux et des Forets (ENGREF), 1993

GONZAGA, J. V. et al. Caracterização da qualidade da madeira de procedências de *Eucalyptus grandis* introduzidas na região de Guaíba – RS. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABCP, 1982, p. 103-124.

GRACE *et alii*, Ed. Kraft liquors. In: **Pulp and paper manufacture** – Vol. 5: Alkaline pulping. Atlanta, Tappi, 1989. p. 15-22.

GROSSER, D. **Defeitos de Madeira.** Curitiba: Fupef (Série técnica, 2), 1980. 62p.

HIGGINS, H. G. Pulp and paper. In: Eucalyptus for Wood Production, Melbourne, **CSIRO** p. 290-316, 1978.

HILLIS, W. E. Wood quality and growing to meet market requirements. In: The Future of Eucalypts for Wood Products. 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, p. 256 – 264.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. Eucalyptus for wood production. Melbourne: **CSIRO**, 1978, 434p.

HUGHES, J.F. Tension wood a literature review. I. Occurrence and development of tension wood. II. The properties and use characteristics of tension wood. **Forestry Abstracts.** n.26(1) p.1-9, n.26(2) p.179-186, 1965

JANKOWSKY, I. P. **Influência da densidade básica e do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira.** Piracicaba: USP, 1979. 87p. Dissertação (Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”) Universidade de São Paulo, 1979.

KAUMAN, W.G. Cell collapse in wood. **Holz als Roh-und Werkstoff.** 22(5) p.183-196, 22(12) p.465-472, 1964.

KNIGGE, W.; KOLTZENBURG, C. The influence of timber qualities and ecological conditions on the cell sizes and the proportions of types of cell in hardwoods in the temperate zones. **Proceedings...** IUFRO, 1965. n. 2, p. 1-24.



KOLLMANN, F.F.P., CÔTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology**: I. Solid Wood. New York: Springer-Verlag, 1968. 592 p.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of woody plants**. New York: Academic Press, 1979, 745p.

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

KUBLER, H. Silvicultural control of mechanical stresses in trees. **Canadian Journal Forestry Research** n.18 v.10 p.1215-1225, 1988.

MALAN, F.S. AND GERISCHER, G.F.R. Wood property differences in South African grown *Eucalyptus grandis* trees of different growth stress intensity. **Holzforschung**. n.41 p. 331-335, 1987.

MANWILLER, F.G. Tension wood anatomy of silver maple. **Forest Products Journal** n.17 v.1 p. 43-48, 1967.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. Viçosa: UFV, 1999, 107p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, 1999.

NICHOLSON, J.B., HILLIS, W.E.; DITCHBURNE, N. Some tree growth-wood property relationships of eucalypts. **Canadian Journal of Forest Research** n.5 p.424-432, 1975.

NICHOLSON, J.E. AND DITCHBURNE, N. Shrinkage prediction based on analysis of three wood properties. **Wood Science** n.6 v.2 p.188-189, 1973.

NICHOLSON, J.E.; CAMPBELL, G.S.; BLAND, D.E. Association between wood characteristics and growth stress level: A preliminary study. **Wood Science** n.2 p.109-112, 1972.

OKUYAMA, T. **Assessment of growth stresses and peripheral strain in standing trees**. In, Volume III: Silviculture, productivity and utilisation of eucalypt, IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts, Salvador, Brasil, Ago. 1997. p.1-14, 1997.

OKUYAMA, T., YAMAMOTO, H., IGUCHI, M. AND YOSHIDA, M. Generation process of growth stress in cell walls II. Growth stresses in tension wood. **Mokuzai Gakkaishi**. n.36 v.10 p.797-803, 1990.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo: USP, 1997. 2v., 429p. Tese (Doutorado em construção civil, Escola Politécnica) Universidade de São Paulo, 1997.

ONAKA, F. Studies on compression and tension wood. **Wood Research**. n.1 p.1-88, 1949.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4 a ed. New York, McGraw Hill, 1980, 722p.

PILLOW, M.Y. **Presence of tension wood in mahogany in relation to longitudinal shrinkage**. Report n. D1763, United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison 5, Wisconsin, 1950.

POLGE, H. Influence of the thinning regime on growth stresses in beech. **Annales des Sciences Forestieres**. n,38 v.4 p.407-423, 1981.

QUEIROZ, S.C.S. **Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira e na qualidade da polpa de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *urophylla***. Viçosa: UFV, 2002. 74p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais – Programa de Pós graduação em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, 2002.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil – manual de dendrologia brasileira**. Edgard Blücher, 2ª Ed. São Paulo, 1978, 304p.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias**. Curitiba: UFPR, 2000. 157p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias) Universidade Federal do Paraná, 2000.

RODERJAN, C. V. O gênero *Eucalyptus* L’Herit (1788) – Myrtaceae. Notas de aula. Departamento de Silvicultura e Manejo – Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná. 1999, 1p.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia** Piracicaba: USP, 1998. 69p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz) Universidade de São Paulo, 1998.

SCURFIELD, G. The nature of reaction wood. IX. Anomalous cases of reaction wood. **Australian Journal of Botanic**, n.12 p.173-184, 1964.

SCURFIELD, G.; WARDROP, A.B. The nature of reaction wood. VI. The reaction anatomy of seedlings of woody perennials. **Australian Journal of Botanic**, n.10 p.93-105, 1962.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** Piracicaba: USP, 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”) Universidade de São Paulo, 1990.

SIAU, J.F. **Transport processes in wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 245p.

SILVA, J.C., **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades visando a sua utilização na indústria moveleira.** Curitiba: UFPR, 2002. 160 p. Tese (Doutorado – Pós graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, 2002

SUGIYAMA, K., OKUYAMA, T., YAMAMOTO, H. AND YOSHIDA, M. Generation process of growth stresses in cell walls: Relation between longitudinal released strain and chemical composition. **Wood Science Technology**. n.27 p.257-262, 1993.

TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY Tappi test methods: 1992-1993. Atlanta.

TAYLOR, F. W. Variations in the anatomical properties of South African grown *Eucalyptus grandis*, **Appita**, p. 171-178. 1973.

TIMELL, T.E. **Compression wood in gymnosperms.** New York: Springer-Verlag, v.1, , 1986. 706p.

TIMELL, T.E. **The chemical composition of tension wood.** New York: p173-181, 1969.

TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 25-36. (1985 a)

TOMAZELLO FILHO, M. **Formação e caracterização da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus*.** Curso processamento mecânico e secagem da madeira de *Eucalyptus* IPEF, Piracicaba, 1994

TOMAZELLO FILHO, M. **Formação e variação da estrutura de madeira de *Eucalyptus*.** Piracicaba: ESALQ/DCF, 1988. 30p.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v.29, p.37-45, (1985 b)

TRUGILHO, P. F. Influência da idade e das características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **CERNE**, Lavras (MG) v. 2, n. 1, p. 94- 111, 1996.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: Structure, properties and utilization.** New York,: Van Nostrand Reinold, 1991, 494p.

VASCONCELOS, R. L. D.; SILVA C.Jr, E. A influência da densidade básica da madeira de híbrido de *Eucalyptus grandis* em suas características químicas, e propriedades de polpação e do papel. In. CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 18, 1985, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1985. p.31-56.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 2 p. 151-60. 1986.

VITAL, B. R.; TRUGILHO, P. F. Variação dimensional e uso da madeira de *Eucalyptus*. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 57-61. 1997.

WAHLGREN, H.E. Effect of tension wood in a leaning eastern cottonwood. **Forestry Products Journal** n.7 p.214-219, 1957.

WARDROP, A.B. **The formation and function of reaction wood**. In Cellular ultrastructure of Woody Plants, Proceedings of the advanced science seminar, Pinebrook Conference Centre, Upper Saranac Lake, New York, September 1964. Côté, W.A. Ed. Syracuse University Press. p.371-391, 1965.

WARDROP, A.B. The reaction anatomy of arborescent angiosperms. **The Formation of Wood in Forest Trees**. p. 405-456, 1964.

WARDROP, A.B.; DADSWELL, H.E. The nature of reaction wood. I. The structure and properties of tension wood fibres. **Australian Journal of Science Research**. B 1:3, 1948.

WARDROP, A.B.; DADSWELL, H.E. The nature of reaction wood. IV. Variation in cell wall organisation of tension wood fibres. **Australian Journal of Botanic** n.3 p.177-189, 1955.

WASHUSEN, R K. **The occurrence and characteristics of tension wood and associated wood properties in *Eucalyptus globulus* Labill.**, Tese de Mestrado, Melbourne 2001.

WASHUSEN, R. K.; ILIC, J. Relationships between Density, Shrinkage, Extractives Content and Microfibril Angle in Tension Wood from Three Provenances of 10-Year-Old *Eucalyptus globules* Labill. **Holzforschung**, v.55, p.176-182, 2001.

WAUGH, G.; ROZSA, A.N. Sawn products from regrowth *Eucalyptus regnans*. **The Young Eucalypt Report**. n. 1 p.178-209, 1991.

WEHR, T.R.; BARRICHELO, L.E.G. Cozimentos kraft com madeira de *Eucalyptus grandis* de diferentes densidades básicas e dimensões de cavaco. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 25, São Paulo, 1992. **Anais...** São Paulo, ABTCP, 1992, p.161-177.

WILKES, J. Variations in wood anatomy within trees of *Eucalyptus*. Australia. **IAWA Bulletin**, v. 9, n. 1, p. 13-23. 1988.

WINANDY, J. E.; ROWEL, R. M. The chemistry of wood strength. In: ROWEL, R. M. **The chemistry of solid wood**. Washington. American Chemical Society, n.5, p .211-256, 1984.

YAMAMOTO, H., OKUYAMA, T.; YOSHIDA, M. Growth stress generation and microfibril angle in reaction wood. In: MICROFIBRIL ANGLE IN WOOD, BUTTERFIELD, B.G. (ed.). **The Proceedings of the IAWA/IUFRO International**, 1998.

YAMAMOTO. H., OKUYAMA, T.; YOSHIDA, M. Method of determining the mean microfibril angle of wood over a wide range by the improved Cave's method. **Mokuzai Gakkaishi**. n.39 v.4 p.:375-381, 1993.

ZOBEL, B. J. & JETT, J. B. **Genetic of wood production**. Berlin:Spring-Verlag, 1984.