



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

RAFAEL LEITE BRAZ

**CARACTERIZAÇÃO DO LENHO DE ÁRVORES DE CLONES DE
Eucalyptus urophylla x *Eucalyptus grandis* EM ÁREAS SUJEITAS A
DANOS POR VENTOS**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
FEVEREIRO - 2011

RAFAEL LEITE BRAZ

**CARACTERIZAÇÃO DO LENHO DE ÁRVORES DE CLONES DE
Eucalyptus urophylla x *Eucalyptus grandis* EM ÁREAS SUJEITAS A
DANOS POR VENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, na Área de Concentração Ciências Florestais na Linha de Pesquisa Tecnologia de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

FEVEREIRO - 2011

Dissertação 0019

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

B823c Braz, Rafael Leite, 1984-
Caracterização do lenho de árvores de clones de *eucalyptus urophylla* x *eucalyptus grandis* em áreas sujeitas a danos por ventos / Rafael Leite Braz. – 2011.
81 f. : il.

Orientador: José Tarcísio da Silva Oliveira.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Eucalipto. 2. Ventos. 3. Madeira – Qualidade. 4. Madeira – Anatomia. 5. Madeira – Química. 6. Madeira – Propriedades mecânicas. I. Oliveira, José Tarcísio da Silva. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 630

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela existência, saúde, pela luz divina, fé e oportunidade para a concretização de mais uma etapa da vida.

À Universidade Federal do Espírito Santo, a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal e do Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFES pela minha formação e oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Programa de Apoio ao Plano de Reestruturação e Expansão das Universidades - REUNI pela concessão da bolsa de estudos.

À minha mãe, Maria Dilma, luz divina, ao meu amigo e pai Geraldo, minhas irmãs Raquel e Rossana, a toda minha Família o agradecimento eterno, pela vida, amor inacabável, sabedoria, aprendizado, apoio, compreensão e humildade.

Ao Professor José Tarcísio da Silva Oliveira, pela orientação, pela cumplicidade de idéias, ciência, paciência, conselhos, ensinamentos e amizade.

Aos Professores Juarez, Graziela e Mário Tomazello pela participação na banca examinadora, pelas sugestões e aconselhamento.

À empresa de Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA) e seus funcionários pela oportunidade, apoio logístico, pela disponibilidade do material de estudo. Ao Everton de Souza e, em especial, ao Antônio Marcos Rosado pela colaboração e participação na banca examinadora.

Aos técnicos do Laboratório de Ciências da Madeira José Geraldo e Gilson, ao marceneiro Elecy Palácio pela amizade, dedicação, aprendizado, sugestões e auxílio nas atividades laboratoriais.

Aos amigos e estagiários do Laboratório de Ciências da Madeira pelo apoio durante os trabalhos práticos, pelas discussões, conhecimentos compartilhados que contribuíram para a realização do trabalho, além dos momentos de descontração: Brunela, Ana Paula, Javan, Luciana, Rejane, Ana Carolina, Thaís, Lairó, Larissa e, também, ao Maziero pela assistência nos desenhos.

Aos grandes amigos que estiveram comigo nessa caminhada nos momentos de loucura, genialidades, alegrias, tristezas, brigas, pelas boas e divertidas conversas, discussões, descontrações, bagunças, conselhos, pelas grandes ideias, utopias e convivência, em especial aos companheiros: Negão, Malcon, Tatu, Pincel, Gu, George, Ronnie, Stela, Nanado, Thássia, Pemba, Edlayne, Carol, Ana Elisa, Iulo, Lorainy, Dina, Renatas, Barroso, Davi, Salim, Gabriel, Cabelo, Vinícius e a galera da turma de 2003 da Engenharia Florestal.

Ao povo brasileiro pela oportunidade, ademais a todos que de alguma forma colaboraram para a concretização de mais uma etapa...

Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

Rafael Leite Braz, filho de Geraldo de Castro Braz e Maria Dilma Leite Braz, nasceu na cidade de Ipatinga, Estado de Minas Gerais, aos 22 dias de maio do ano 1984.

Estudou em escolas públicas e particulares, cursando o segundo grau na Associação Educacional de Ipatinga – ASSEDIPA, em Ipatinga-MG, concluindo os estudos em 2002.

No mês de fevereiro de 2009, obteve o título de Engenheiro Florestal, pela Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, em Alegre-ES.

Em 2009, ingressou no curso de Mestrado em Ciências Florestais, desenvolvendo estudos na linha de pesquisa de Tecnologia de Produtos Florestais, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, em Alegre-ES.

Em fevereiro de 2011, concluiu os requisitos necessários para obtenção do título de mestre.

"Na vida, não vale tanto o
que temos, nem tanto importa
o que somos.
Vale o que realizamos com aquilo que
possuímos e, acima de tudo,
importa o que fazemos de nós!"

Chico Xavier

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabela 1. | Composição química média de madeiras de coníferas e folhosas | 17 |
| Tabela 2. | Registro no Ministério da Agricultura e localização dos dez clones sujeitos à ação dos ventos utilizados no presente estudo | 22 |
| Tabela 3. | Parâmetros químicos analisados com as respectivas metodologias | 33 |
| Tabela 4. | Valores médios das características dendrométricas para os dez clones do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> | 35 |
| Tabela 5. | Resistência máxima ajustada das árvores a quebra para os dez clones do híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> .. | 37 |
| Tabela 6. | Valores médios da densidade básica da madeira para os dez clones do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> | 43 |
| Tabela 7. | Valores médios do diâmetro tangencial e freqüência dos vasos para os dez clones do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> | 45 |
| Tabela 8. | Valores médios dos parâmetros das fibras para os dez clones do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> | 49 |
| Tabela 9. | Valores médios do módulo de elasticidade para os dez clones do híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> com a madeira nas condições verde e seca | 56 |
| Tabela 10. | Trabalho absorvido médio para os dez clones do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> com a madeira nas condições verde e seca | 63 |
| Tabela 11. | Valores médios dos teores de extrativos, lignina total e holocelulose para os dez clones do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> | 66 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1. | Danos causados por ventos em povoamentos florestais de eucalipto da CENIBRA em Minas Gerais em regiões de baixa e alta altitude. | 5 |
| Figura 2. | Efeitos do vento e da força de gravidade que atuam nas árvores e as consequência nos plantios florestais. | 6 |
| Figura 3. | Precipitação total e velocidade média dos ventos no período de junho de 2002 a dezembro de 2008. | 21 |
| Figura 4. | Velocidade média e máxima do vento na região próxima ao plantio florestal, para o período de 2005-2010. | 21 |
| Figura 5. | Esquema de amostragem dos discos nas árvores e localização dos corpos-de-prova para determinação dos parâmetros físicos, anatômicos e químicos. | 23 |
| Figura 6. | Esquema de amostragem e localização dos corpos-de-prova para determinação da DRL e da flexão estática da madeira. | 24 |
| Figura 7. | Vista por cima do sistema de avaliação de resistência da árvore à quebra. | 25 |
| Figura 8. | Avaliação do teste de resistência das árvores à quebra: A) Instalação do teste de resistência; B) Árvore curvada; C) Árvore tombada; D) Árvore quebrada. | 26 |
| Figura 9. | Diagrama de dispersão entre a força do teste de resistência à quebra e a altura de amarração. | 28 |
| Figura 10. | Aplicação do método de DRL: A) Fixação dos pinos a distância de 45 mm com o auxílio de um gabarito; B) Pinos fixados ao tronco; C) Ajuste do relógio digital apoiado nos pinos; D) Uso do arco de pua para liberar as tensões. | 29 |
| Figura 11. | Região de ruptura das árvores durante o teste de resistência à quebra. | 36 |
| Figura 12. | Danos causados por ventos em diferentes idades no período de julho de 2009 a março de 2010. | 38 |
| Figura 13. | Representação gráfica dos valores médios (mm), desvio padrão (mm) e coeficiente de variação (%) das deformações longitudinais residuais nas diferentes orientações no tronco para os dez clones do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> | 40 |
| Figura 14. | Representação gráfica dos valores médios da tensão de crescimento longitudinal (kgf/cm ²) para cada clone. | 41 |
| Figura 15. | Representação gráfica dos valores médios (µm) do diâmetro tangencial do vaso entre os discos I, II e III, para cada clone estudado. | 46 |
| Figura 16. | Representação gráfica dos valores médios (vasos/mm ²) da frequência dos vasos entre os discos I, II e III, para cada clone estudado. | 48 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 17. | Representação gráfica dos valores médios (μm) do comprimento das fibras entre os discos I, II e III, para cada clone estudado..... | 50 |
| Figura 18. | Representação gráfica dos valores médios (μm) da largura das fibras entre os discos I, II e III, para cada clone estudado. | 51 |
| Figura 19. | Representação gráfica dos valores médios (μm) do diâmetro do lume das fibras entre os discos I, II e III, para cada clone estudado. | 53 |
| Figura 20. | Representação gráfica dos valores médios (μm) da espessura da parede das fibras entre os discos I, II e III, para cada clone estudado. | 54 |
| Figura 21. | Representação gráfica dos valores médios (kgf/cm^2) do MOE entre as toras I, II e III, para cada clone estudado com a madeira na condição verde..... | 57 |
| Figura 22. | Representação gráfica dos valores médios (kgf/cm^2) do MOE entre as toras I, II e III, para cada clone estudado, com a madeira na condição seca. | 58 |
| Figura 23. | Representação gráfica dos valores médios (kgf/cm^2) do MOR entre as toras I, II e III, para cada clone estudado, com a madeira na condição verde..... | 60 |
| Figura 24. | Representação gráfica dos valores médios (kgf/cm^2) do MOR entre as toras I, II e III, para cada clone estudado, com a madeira na condição seca. | 61 |
| Figura 25. | Representação gráfica dos valores médios (J) do trabalho absorvido entre as toras I, II e III, para cada clone estudado com a madeira na condição verde..... | 64 |
| Figura 26. | Representação gráfica dos valores médios (J) do trabalho absorvido entre as toras I, II e III, para cada clone estudado, com a madeira na condição seca. | 65 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| RESUMO | xii |
| ABSTRACT | xiii |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. OBJETIVO GERAL | 3 |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. EFEITOS DO VENTO | 4 |
| 2.2. O GÊNERO EUCALYPTUS | 7 |
| 2.3. HÍBRIDO DO EUCALYPTUS UROPHYLLA X EUCALYPTUS GRANDIS | 9 |
| 2.4. QUALIDADE DA MADEIRA | 10 |
| 2.5. ANATOMIA DA MADEIRA | 11 |
| 2.6. DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA | 13 |
| 2.7. PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA | 14 |
| 2.8. PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA | 15 |
| 2.9. DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL E TENSÃO DE CRESCIMENTO LONGITUDINAL | 18 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 20 |
| 3.1. PROCEDÊNCIA DO MATERIAL E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO E AMOSTRAGEM | 20 |
| 3.3. CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DAS ÁRVORES | 24 |
| 3.4. TESTE DE RESISTÊNCIA DAS ÁRVORES EM PÉ A QUEBRA | 24 |
| 3.5. DETERMINAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL (DRL) E DA TENSÃO DE CRESCIMENTO | 28 |
| 3.6. DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA | 30 |
| 3.7. DESCRIÇÃO ANATÔMICA QUANTITATIVA DA MADEIRA | 30 |
| 3.8. FLEXÃO ESTÁTICA | 32 |
| 3.9. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA | 32 |
| 3.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA | 34 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 4.1. CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS E TESTE DE RESISTÊNCIA DAS ÁRVORES A QUEBRA | 35 |
| 4.2. DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL (DRL) E TENSÃO DE CRESCIMENTO LONGITUDINAL (TCL) | 39 |
| 4.3. DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA | 42 |
| 4.4. DESCRIÇÃO ANATÔMICA QUANTITATIVA | 44 |
| 4.4.1. Vasos | 45 |
| 4.4.2. Parâmetros das Fibras | 48 |
| 4.5. FLEXÃO ESTÁTICA | 55 |
| 4.5.1. Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) | 55 |
| 4.5.2. Trabalho Absorvido | 62 |
| 4.6. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA | 66 |
| 5. CONCLUSÕES | 70 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 71 |

RESUMO

BRAZ, Rafael Leite. **Caracterização do lenho de árvores de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em áreas sujeitas a danos por ventos.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira.

Plantios florestais na região do Vale do Rio Doce no Estado de Minas Gerais vêm sofrendo danos provocados devido a ação dos ventos, principalmente, nas regiões de baixadas e em povoamentos jovens. Estudos no sentido de identificar relações entre a susceptibilidade das árvores com as propriedades da madeira são de grande importância, possibilitando assim seleção de clones mais tolerantes à ação dos ventos. Assim, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar o lenho de árvores de dez clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com 30 e 35 meses de idades, quanto à resistência das árvores à quebra e às características anatômicas, físicas, mecânicas e químicas. O local de estudo foi nas regiões de baixada, onde as árvores são mais vulneráveis e sujeitas aos danos provocados por ventos, com altitude próxima a 250 m, com baixa intensidade dos ventos climatológicos e grande ocorrência de micro-explosões atmosféricas. Para isso, foram mensuradas e avaliadas as características dendrométricas das árvores. Realizaram-se os testes de resistência das mesmas à quebra, simulando o efeito do vento e um método não destrutivo para a determinação da deformação residual longitudinal. Em condições de laboratório, as amostras de madeira foram preparadas e, em seguida, analisados os parâmetros anatômicos quantitativos da madeira, relativos aos vasos e à morfologia das fibras, a densidade básica, a flexão estática, os teores de extrativos, lignina e holocelulose e calculado as tensões de crescimento. Pôde-se concluir que o clone CNB017 foi o que apresentou os melhores resultados, principalmente, no teste de resistência à quebra, para as características físicas e mecânicas avaliadas. Para a composição química, os clones apresentaram valores próximos para os teores de extrativo, lignina e holocelulose, servindo apenas como indicativo para a produção e rendimento de celulose. O teste de resistência e as características mecânicas e físicas se destacaram como os parâmetros mais adequados para a avaliação e classificação dos clones susceptíveis à ação dos ventos, visto que os clones que apresentaram os melhores resultados foram comuns. Entretanto, há necessidade de ampliar a base de informações a respeito da susceptibilidade das árvores ao vento.

Palavras-chave: ação do vento, lenho das árvores, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

ABSTRACT

BRAZ, Rafael Leite. **Wood characterization of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* clones in areas subject to damage by winds.** 2011. Dissertation (Master's degree on Forest Science) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Advisor: Prof. Dr. José Tarcisio da Silva Oliveira.

Forest plantations in the Vale do Rio Doce in Minas Gerais have suffered damage caused by the action of wind, especially in areas of lowlands and in young stands. Studies to identify relationships between the susceptibility of trees of the wood properties are of great importance, allowing selection of clones more tolerant to wind action. Thus, the purpose of this study was to characterize the wood of trees of ten clones of the hybrid *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, 30 and 35 months of age, on the strength of the tree to fall and the anatomical, physical, mechanical and chemical characteristics of trees. The study site was in lowland regions, where trees are more vulnerable and prone to damage from winds with altitude near 250 m and with low intensity of the climatological winds and frequent occurrence of micro-atmospheric explosions. For this, the dendrometric characteristics of the trees were measured and evaluated and strength tests of the tree to fall were done, simulating the effect of wind and a non-destructive method for the determination of longitudinal residual strain. In the laboratory sample of wood were prepared and then analyzed the quantitative anatomical parameters of wood, for the vessels and the morphology of the fibers, the density, the bending, the concentrations of extractives, lignin and holocellulose and calculated the growth stress. The conclusion is that the clone CNB017 showed the best results, especially in the testing of breaking strength, the physical and mechanical properties evaluated. For the chemical composition, the clones showed close values for the levels of extractive, lignin and holocellulose, serving only as indicative for the production and yield of cellulose. The endurance test and the mechanical and physical characteristics stood out as the most suitable parameters for the assessment and classification of clones susceptible to wind action, whereas the clones that showed the best results were common. However there is need to broaden the base information regarding the susceptibility of trees to wind.

Keywords: action of wind, tree wood, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* possui extensas plantações com grande número de espécies em várias regiões do mundo, o que explica sua adaptabilidade e elevada produtividade florestal em diferentes ambientes. Compreende espécies com madeira com elevado potencial para diversos usos, principalmente para energia, celulose e papel, painéis e produtos sólidos. A qualidade do lenho das árvores varia em função de seu material genético e manejo naquele ambiente.

O Brasil possui características edafoclimáticas favoráveis a plantios florestais com espécies do gênero *Eucalyptus* como fonte de matéria prima. A elevada produtividade, homogeneidade e potencialidade de uso múltiplos das florestas de eucalipto fazem com que haja crescimento do mercado consumidor de suprimento desta matéria prima. Destaca pela sua importância, o setor de celulose e papel, uma vez que o país é um dos maiores produtores de celulose, com tecnologias avançadas e com necessidades constantes de ampliação da área plantada com florestas de eucalipto.

O setor de produção de polpa celulósica se caracteriza também pelo alto e constante desenvolvimento e investimentos em programas de melhoramento genético e silviculturais, para uma melhor adequação do material ao seu uso, buscando em suas florestas árvores com formas eretas, com baixa quantidade de galhos, rápido crescimento e qualidade. Tais exigências da matéria-prima se devem às pressões econômicas e à necessidade de obtenção de resultados imediatos, em função da competitividade mercadológica.

Como resultado dos programas de melhoramento, o rápido crescimento das árvores, a fim de obter elevada produtividade, vem contribuindo para a formação de povoamentos cada vez mais jovens, influenciando na formação das árvores, bem como nas características anatômicas, química, físicas e mecânicas da madeira. Portanto, a qualidade do plantio florestal se deve ao efeito da combinação da genética do material, dos tratamentos silviculturais e do ambiente.

Diversos povoamentos florestais para a obtenção de madeira para a produção de celulose, principalmente, aqueles formados por árvores jovens,

em função da sua constituição, estão susceptíveis a ação dos ventos, afetando consideravelmente os plantios em diversas regiões do país.

Na região do Vale do Rio Doce, no Estado de Minas gerais, são evidentes os efeitos da ação dos ventos nos povoamentos, devido à ocorrência de dois fatores que associado contribuem significativamente para os danos às florestas nesta região. O primeiro é a baixa intensidade dos ventos climatológicos (vento médios diários) que conferem resistência às árvores. O segundo fator é a grande ocorrência de micro-explosões atmosféricas de ventos, caracterizadas pela inversão de massa de ar, tendo como consequência ventos devastadores durante o período chuvoso, que são suficientemente fortes para danificar as árvores que já estão mais vulneráveis, devido à ausência de um estímulo ambiental suficiente para conferir-lhes resistência. Os danos vão desde o tombamento até a quebra das mesmas.

A ocorrência e intensidade destes ventos afetam o desenvolvimento dos plantios e as características da madeira, interferindo significativamente em suas propriedades e no produto final, bem como em questões econômicas e no desenvolvimento de atividades em campo, acarretando preocupações a empresas do setor florestal por devastar extensas áreas de plantios.

As informações da ocorrência de danos apontam para a classificação de materiais com maior ou menor resistência aos fenômenos de ventos, direcionando árvores mais tolerantes para as áreas susceptíveis à ocorrência de ventos intensos. Portanto, é importante que se tenha o conhecimento edafoclimáticos, das características dendroméricas e das propriedades anatômicas, químicas, físicas e mecânicas da madeira, para que compreenda sua formação e se faça uma avaliação das características da mesma, o que também contribui para explicar a reação das árvores de eucalipto quando sujeitas à ação dos ventos e identificar materiais genéticos mais tolerantes.

Dessa forma, é necessário determinar estratégias de gerenciamento que reduzam estas perdas, obtendo o conhecimento do problema e investigando medidas mitigadoras. O estudo do fenômeno vento e, principalmente, das características dos parâmetros dos plantios florestais podem explicar a resistência das árvores à ação dos ventos. Sendo assim, propõe-se uma avaliação dessas características específicas em diferentes

clones, identificando o que melhor explica à tolerância do plantio a ações dos ventos, fornecendo subsídios para o melhoramento e seleção de materiais genéticos resistentes.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização do lenho de árvores de dez clones do híbrido natural de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* quanto aos parâmetros dendrométricos, anatômicos, físicos, mecânicos e químicos, referente à resistência da madeira à quebra pela ação do vento.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (i) Caracterizar dendrometricamente as árvores;
- (ii) Determinar a força das árvores à quebra; a deformação residual longitudinal e a tensão de crescimento da madeira;
- (iii) Estudar as propriedades anatômicas e químicas da madeira; e
- (iv) Determinar a densidade básica e flexão estática da madeira (Módulo de Elasticidade, Módulo de Ruptura, Trabalho Absorvido).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. EFEITOS DO VENTO

Ao deslocamento do ar na atmosfera se dá o nome de vento, provocado por fenômenos naturais, tendo os fatores como altitude, latitude, radiação solar, umidade, evaporação influenciando em sua caracterização. O vento, que é o ar em movimento, se desloca de áreas de maior pressão (mais frias) para áreas de menor pressão (mais quentes) e quanto maior a diferença entre as pressões dessas áreas, maior será a velocidade de deslocamento (MENDES, 2009). Para Tubelis e Nascimento (1984), os ventos, partindo de zonas de maior para as de menor pressão, sofrem influências também do movimento de rotação da terra, da força centrífuga ao seu movimento, bem como da topografia e conseqüente atrito com a superfície terrestre. Para Munhoz e Garcia (2008), em relação às plantas, sabe-se que o vento afeta o crescimento destas de três maneiras: transpiração, absorção de CO₂ e efeito mecânico sobre as folhas e ramos, sendo que o resultado desta interação depende da espécie.

O vento tem efeitos favoráveis e desfavoráveis, dependendo da circunstância de sua ocorrência, sendo agrônômica ou ecológica (PEREIRA et al., 2002). As florestas sofrem constantemente a ação de forças naturais, entre elas o vento, que podem danificar extensas áreas, o que causa grandes perdas econômicas, principalmente, em florestas plantadas. Kellomäki (2003) relatou que, em 1990, milhões de metros cúbicos de florestas foram derrubados em uma única tempestade na Europa.

Relatórios da CENIBRA (2009) indicam que as florestas plantadas de eucalipto sofrem anualmente, durante a estação chuvosa, danos provocados por ventos que ocorrem associados a fortes tempestades, sendo estes expressivos nas regiões que margeiam o rio Doce, próximas às cidades de Santa Bárbara e Guanhães, em Minas Gerais, devastando imensas áreas (Figura 1).

Segundo Rosado (2006) os danos florestais provocados pela ação do vento vão desde o desfolhamento e quebra de galhos até a queda ou arranque das árvores, influenciando na qualidade da madeira e na produtividade,

elevando os custos da colheita, deterioração da qualidade visual e contribuindo com o aumento de erosão causado pelo solo descoberto.

De acordo com Caruzzo et al. (2004), avaliar o comportamento médio da atmosfera e estudar parâmetros relacionados ao clima de uma determinada região são elementos essenciais para o entendimento dos impactos ambientais gerados pelas atividades antrópicas.

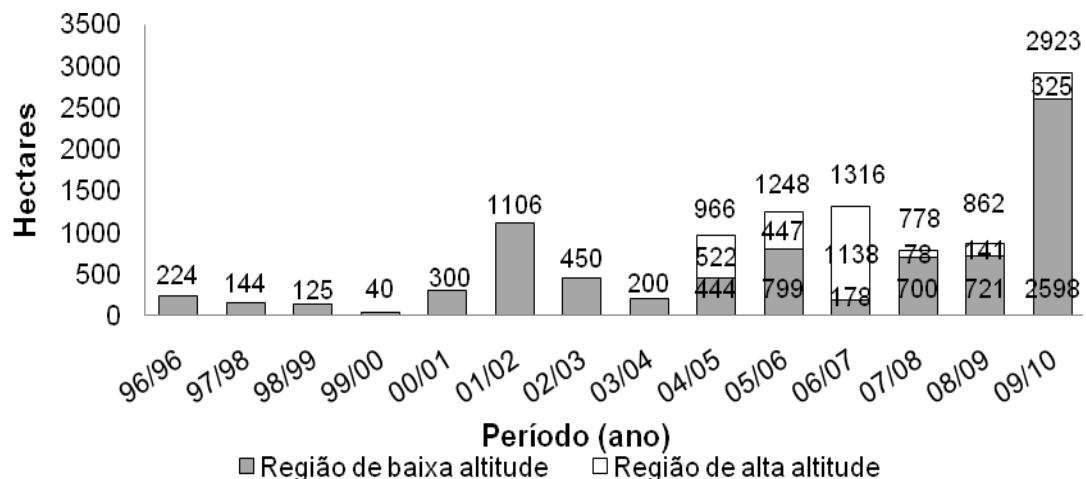


Figura 1. Danos causados por ventos em povoamentos florestais de eucalipto da CENIBRA em Minas Gerais em regiões de baixa e alta altitude. (Fonte: CENIBRA, 2010)

Os danos provocados por ventos de uma micro-explosão são maiores que os danos de um tornado, por ter maior frequência e alcance espacial. A velocidade do vento associado a uma micro-explosão com maior intensidade já registrada foi nos Estados Unidos, em 01 de agosto de 1983, e atingiu 240,9 km/h (FUJITA, 1990). As micro-explosões mais comuns em regiões úmidas e tropicais são acompanhadas de chuvas fortes (ATKINS e WAKIMOTO, 1991).

Uma força gravitacional é exercida pela ação dos ventos sobre a parte exposta das árvores, gerando uma combinação de torques por torção e flexão na sua base, o que, quando superior a resistência do sistema de enraizamento da árvore, provoca o arrancamento da mesma ou a quebra do tronco (Figura 2). Outros danos ainda ocorrem, tais como a inclinação da árvore, a quebra de galhos e o desfolhamento da árvore (ROSADO, 2006).

Caruzzo et al. (2004) relatam que o tipo e a extensão dos danos dependem tanto de fatores meteorológicos, tais como a intensidade e duração

do vento, como também de fatores intrínsecos à floresta, citando-se a densidade da distribuição, a arquitetura das árvores, a idade, o tipo de solo, a topografia e a resistência mecânica dos troncos.

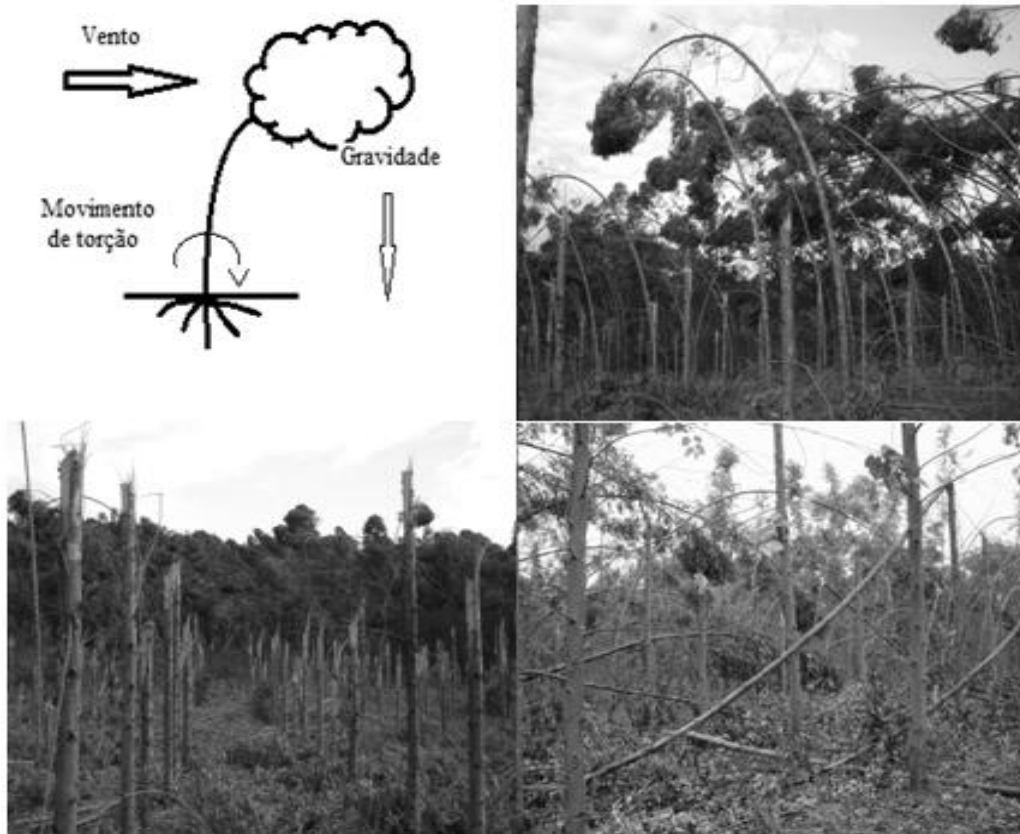


Figura 2. Efeitos do vento e da força de gravidade que atuam nas árvores e as conseqüência nos plantios florestais. (Fonte: Adaptado de STATHERS et al., 1994; CENIBRA, 2010)

Para Metcalfe e Chalk (1989), além dos fatores genéticos, as influências ambientais também são decisivas para a resposta das características ligadas à resistência aos ventos.

De acordo com Oliveira et al. (2010), onde o vento climatológico for mais intenso, maior será a resistência das árvores, pela adaptação a um esforço constante. Os autores acrescentam que em virtude da ação dos ventos, as árvores desenvolvem formas naturais de resistência, sendo tais alterações relacionadas à constituição do lenho e às estruturas anatômicas e químicas.

A ocorrência de danos provocados por ventos nos plantios florestais de eucaliptos no município de Belo Oriente, no Estado de Minas Gerais, por

exemplo, tem como causa um fenômeno natural que ocorre sobre as florestas, na qual nenhuma área está imune (CARUZZO et al., 2004). Ainda de acordo com os autores, por causa das características inerentes de exposição e circulação atmosférica, existem áreas que ficam mais sujeitas a este tipo de ocorrência. Os mecanismos de circulação atmosférica relacionados às micro e macro-explosões estão, portanto, fortemente associados às perdas nas plantações por ventos fortes

2.2. O GÊNERO *EUCALYPTUS*

O gênero *Eucalyptus* apresenta um grande número de espécies com diferentes características, sendo, dessa forma, utilizado em diversas aplicações no setor florestal, principalmente, para a produção de celulose e cultivados em diversas regiões do mundo. Segundo Lamprecht (1990) este gênero pertence à família Myrtaceae, com mais de 600 espécies de diversas variedades e híbridos, provenientes da Austrália, na Oceania.

A madeira de eucalipto é considerada estratégica para o setor industrial brasileiro, utilizada como matéria-prima para a maioria dos produtos de origem madeireira, tais como celulose e papel, carvão vegetal, lenha, chapa de fibras e partículas painéis, postes, dormentes, mourões, serrados, embalagens, entre outros (SILVA e XAVIER, 2006).

Além dos usos tradicionais, há uma importante tendência em destinar a madeira de eucalipto para usos mais nobres, como fabricação de casas, móveis e estruturas, principalmente nas regiões Sul e Sudeste (PEREIRA et al., 2000).

Mangieri e Dimitri (1971) citado por Berger (2000) relatam que este é o gênero que adquiriu a maior importância nos plantios comerciais na América do Sul, por causa da variedade de espécies e adequação em países de clima temperado, tropical e subtropical. De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantas – ABRAF (2010), a área total de florestas plantadas de eucalipto e pinus no Brasil correspondem a 6.310.450 ha e os Estado da Bahia, seguido por São Paulo, Maranhão, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais apresentaram o maior crescimento das áreas com florestas de eucalipto, os quais, em conjunto, totalizaram 143 mil hectares.

Queiroz e Barrichelo (2007) relatam que aproximadamente 3.500.000 ha de eucalipto no Brasil são utilizados principalmente para a produção de polpa celulósica e carvão vegetal. Valera e Kageiama (1988) verificaram que, no Brasil, mais especificamente na Região Centro-Sul do país, o gênero *Eucalyptus* é utilizado como fonte de matéria-prima para a indústria de celulose e papel desde meados do século passado, por apresentar ampla capacidade de adaptação, rápido crescimento, alta produtividade e qualidade no produto final.

Em se tratando de espécies de rápido crescimento como alternativa, o gênero *Eucalyptus* é uma opção com um enorme potencial e importância por sua capacidade produtiva, adaptabilidade a diversos ambientes e pela grande diversidade de espécies, tornando possível atender aos requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção madeireira. A escolha de espécies do gênero é preferencial para o estabelecimento de florestas plantadas no país. Para atender a tais demandas, é feita uma seleção de espécies, a partir de programas de melhoramento genético, com as características desejáveis de ordem silvicultural, bem como, de algumas propriedades da madeira, como densidade, dimensões de fibras, teores de casca e composição química (EUCALIPTO, 2001).

A diversidade de espécies de eucalipto contribui para os diferentes parâmetros anatômicos, químicos, físicos e mecânicos da madeira, cada uma com suas especificidades, o que leva muitas empresas do ramo florestal a optarem pelo desenvolvimento de clones. Desta forma, criam-se materiais genéticos com características pré-determinadas, a fim de obter uma produção com qualidade.

Apesar desses procedimentos, Souza (2004) relata que problemas relacionados a madeira ainda persistem, tornando-se imprescindíveis pesquisas para solucionar tais problemas. Ainda de acordo com o mesmo autor, um dos problemas que o gênero *Eucalyptus* apresenta é a formação de uma madeira com suas estruturas físicas, químicas e anatômicas alteradas, em árvores jovens que sofrem com a força dos ventos associados a tempestades, que irá, por sua vez, influenciar o produto final. Para Souza

Os parâmetros anatômicos relacionados às fibras, aos vasos e ao parênquima são os mais utilizados na avaliação da qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose e papel e estão relacionados à qualidade da polpa, às propriedades físico-mecânicas e às características superficiais e ópticas do papel produzido (CARVALHO et al., 1998).

Madeiras juvenis, em função do rápido crescimento, acarretam problemas ligados à qualidade da madeira, conferindo à mesma, valores baixos de densidade e resistência mecânica (LATORRACA e ALBURQUERQUE, 2000).

2.5. ANATOMIA DA MADEIRA

A madeira de folhosas apresenta estrutura anatômica mais complexa que de coníferas. A formação estrutural anatômica das madeiras é de grande importância para analisar outras propriedades, pois a partir do estudo anatômico se classifica a madeira quanto à resistência mecânica, composição química, entre outros parâmetros.

De acordo com Burger e Richter (1991), a anatomia refere-se ao estudo dos diversos tipos de células que formam o lenho, bem como suas funções, organização e estrutura, a fim de conhecer a madeira e atribuí-la uso adequado, assim como o conhecimento de seu comportamento.

Para Thomaz (1995), a madeira é um material heterogêneo com diferentes tipos de células adaptadas a determinadas funções. As composições dos parâmetros químicos, físicos e anatômicos variam entre as espécies e até mesmo dentro da própria espécie, em função de idade e dos fatores genéticos e ambientais.

A variação da madeira dentro do indivíduo ocorre nos sentidos base-topo e medula-casca. Segundo Tomazello Filho (2002), o conhecimento das células e tecidos que compõem o lenho arbóreo é básico para a caracterização da estrutura anatômica das madeiras. As dimensões e disposição dos elementos anatômicos também contribuem para o estudo das madeiras, estabelecendo informações relacionadas aos parâmetros físicos e mecânico. O estudo das características anatômicas dos eucaliptos pode ser realizado para a

mecânica e a estabilidade dimensional da madeira (ARGANBRIGHT, 1971). Melo (2004) afirma que árvores mais tolerantes à ação de tempestade apresentaram maiores densidade, flexibilidade e resistência mecânica.

2.7. PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Os diversos usos da madeira levam ao estudo da sua caracterização quanto às propriedades mecânicas que evidenciam o seu comportamento quando submetida a diferentes esforços.

De acordo com Benjamim (2006), as propriedades mecânicas avaliam a capacidade da madeira em suportar solicitações mecânicas. Ainda para o mesmo autor, a resistência se refere à capacidade em suportar solicitações mecânicas propriamente ditas e a rigidez reporta à proporcionalidade existente entre tensões e respectivas deformações específicas na fase de comportamento elástico-linear da madeira. Rocha et al. (1988) descrevem que a deformação é proporcional ao carregamento aplicado até chegar a um limite de proporcionalidade, no qual um pequeno incremento de carga provoca a deformação irreversível (deformação plástica) chegando até a ruptura.

Entre estes esforços está a ação dos ventos nos lenhos das árvores nos povoamentos florestais, devastando imensas áreas plantadas. Faz-se necessária a verificação da resistência mecânica deste material, a fim de contribuir para a melhoria do mesmo, a partir de diferentes ensaios mecânicos aplicados à madeira.

Rosado (2006) descreve que as propriedades mecânicas estão relacionadas à aplicação de forças externas e correlacionadas às propriedades físicas, anatômicas e químicas da madeira. Ainda o mesmo autor relata que árvores que sofrem a ação de tempestade são dependentes dos parâmetros mecânicos da madeira para que sejam capazes de suportar as forças externas impostas pela ação dos ventos.

De acordo com Oliveira (2007), em se tratando de madeira para construção civil, o ensaio de flexão é um dos mais importantes, obtendo-se valores a respeito do módulo de elasticidade e módulo de ruptura. Rodrigues (2002) afirma que a aplicação da madeira na Engenharia Civil exige

informações adquiridas de ensaios de compressão, flexão, tração e cisalhamento.

Segundo Scanavaca Junior (2001), as propriedades mecânicas se dividem em dois grupos, um de resistência e o outro de elasticidade, em que o módulo de elasticidade a flexão estática determina a rigidez da madeira. Scanavaca Junior e Garcia (2004) afirmam que os módulos da ruptura e de elasticidade determinados em testes de flexão estática estimam a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça.

Kollmann e Côté Júnior (1968) relatam que os parâmetros mecânicos da madeira são influenciados pela idade da árvore, ângulo da grã, teor de umidade, temperatura, constituintes químicos, fadiga, apodrecimento, massa específica, constituição anatômica, duração da carga e da deformação, radiação nuclear, falhas na madeira, presença de nós e outros defeitos.

A dimensão das fibras e os raios explicam parcialmente a variação da rigidez entre as madeiras, apresentando uma relação entre as características anatômicas com as propriedades mecânicas (MOREIRA, 1999).

2.8. PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA

Foekel (1977) enfatiza a necessidade do conhecimento da composição química da madeira, uma vez que empresas produtoras de celulose e papel utilizam processos que envolvem as reações físico-químicas dos componentes da madeira. De acordo com Milagres (2009), a composição química da madeira é caracterizada pela presença de polissacarídeos, celulose e hemiceluloses, e, também, lignina, extrativos e inorgânicos.

Segundo Rowell (2005), quimicamente, define-se a madeira como um biopolímero tridimensional composto por celulose, hemicelulose e lignina, apresentando também baixa quantidade de extrativos e materiais inorgânicos.

A celulose é a matéria-prima mais abundante e importante economicamente, uma vez que é o material de interesse na produção de papel. É um polissacarídeo formado por unidades do monossacarídeo β -D-glucose, unidas por ligações glicosídicas do tipo β 1-4 (MOKFIENSKI, 2004).

Klock et al. (2005) descrevem a celulose como um polissacarídeo que se apresenta como um polímero linear, altamente insolúvel em solução aquosa, composto por aproximadamente 1.000 a 15.000 unidades de D-glicose.

As hemiceluloses são polímeros ramificados e de cadeia com menor grau de polimerização, formada por distintos açúcares. As hexoses como glucoses, manose e galactose; e as pentoses como xilose e arabinose são os principais constituintes das hemiceluloses, podendo conter ainda grupamentos acetila e cadeias laterais de ácidos urônicos (COLODETTE, 2001).

De acordo com Hillis (1962) citado por Mokfienski (2004), os extrativos incluem um elevado número de compostos solúveis em água quente, álcool, benzeno e outros solventes. Pertencem a diferentes grupos químicos, como as resinas, os açúcares, os taninos, os ácidos graxos, entre outros. A presença de alguns desses compostos influenciam nas características da madeira como a resistência a organismos xilófagos.

Conforme Mokfienski (2004), a lignina é um composto amorfo, tridimensional e bastante complexo, que se constitui de unidades de fenilpropano, tendo uma cadeia altamente ramificada. É um constituinte mais hidrofóbico da madeira, com função adesiva entre fibras, o que confere dureza e rigidez à parede celular.

Oliveira (2007) relata que o conhecimento da natureza química da madeira permite ao usuário entender o seu comportamento como matéria-prima para diversos usos. De acordo com Silva (2002), a madeira é um material orgânico e os seus constituintes químicos estão diretamente relacionados a suas propriedades.

Nas indústrias de base florestal que têm como objetivo a produção de celulose, as propriedades químicas são de grande importância, uma vez que estão relacionadas com qualidade do produto final, definindo a viabilidade do material genético para tal produção, principalmente, quanto se trata do branqueamento da pasta celulósica.

A constituição química da madeira é formada por celulose, poliose, lignina e extrativo (Tabela 1).

que as limitações à utilização da madeira de eucalipto por causa da presença de tensões são mais notáveis em florestas jovens que em adultas, como consequência de diversos fatores, entre eles a proporção de lenho juvenil.

Baena (1982) relata que a intensidade de tensões de crescimento tende a ser mais elevada em indivíduos mais jovens, reduzindo consideravelmente à medida que a árvore envelhece. Para Hillis e Brown (1978), os níveis de tensões de crescimento são maiores em épocas mais chuvosas que em seca. Melo (2004), ao trabalhar com intensidade de quebra de árvores decorrentes a ação de vento, constatou que os maiores níveis de tolerância das árvores às tempestades estão relacionados com as maiores tensões de crescimento.

O papel principal destas tensões é fornecer suporte à árvore por meio da sua ativação, pois a árvore regula a posição de sua copa em resposta às condições ambientais a que estão sujeitas. Como as árvores estão imóveis, a ação das tensões em um de seus lados permite que ela se curve (KUBLER, 1987).

A seleção de material com menores níveis de tensões de crescimento e com melhor distribuição na circunferência do tronco deve ser priorizada nos programas de melhoramento genético florestal. Para isso existe a necessidade da avaliação dos níveis de tensões de crescimento na circunferência no tronco das árvores ainda vivas (TRUGILHO et al., 2006).

Tabela 2. Registro no Ministério da Agricultura e localização dos dez clones sujeitos à ação dos ventos utilizados no presente estudo

| Registro do Clone | Nº do Registro | Idade (meses) | Talhão | Localização (UTM) | |
|-------------------|----------------|---------------|--------|-------------------|----------|
| | | | | X (W) | Y (N) |
| CNB017 | 23597 | 30 | 438 | 771.300 | 7859.400 |
| CNB008 | 23582 | 30 | 438 | 771.300 | 7859.400 |
| CNB014 | 23593 | 30 | 438 | 771.300 | 7859.400 |
| CNB001 | 23540 | 30 | 439 | 770.700 | 7859.800 |
| CNB010 | 23569 | 30 | 432 | 768.800 | 7857.300 |
| CNB005 | 23544 | 35 | 009 | 776.800 | 7863.400 |
| CNB006 | 23545 | 35 | 062 | 774.500 | 7863.100 |
| CNB012 | 23589 | 30 | 032 | 773.800 | 7857.800 |
| CNB1206 | Não Registrado | 30 | 042 | 774.050 | 7860.100 |
| CNB007 | 23546 | 30 | 056 | 775.800 | 7856.900 |

As árvores foram selecionadas a partir de parcelas de 5 x 6 árvores, totalizando 30 árvores por clone. A partir do diâmetro médio na altura de 1,30 m, selecionou-se quinze árvores com os respectivos diâmetros iguais ou próximos da média entre as trinta árvores. Optou-se por árvores eretas, com boas condições fitossanitárias, sem bifurcação e fora da área de bordadura.

Das 15 árvores selecionadas, cinco foram utilizadas para a realização do teste de resistência da árvore à quebra totalizando 50 árvores. Em seguida, foram coletados três discos por árvore para as análises dos parâmetros físicos, anatômicos e químicos, conforme a Figura 5. O disco I foi retirado na altura do DAP, o disco II na parte inferior e o disco III na parte superior do ponto onde ocorreu a quebra das árvores, evitando partes do tronco que foram danificadas durante a quebra.

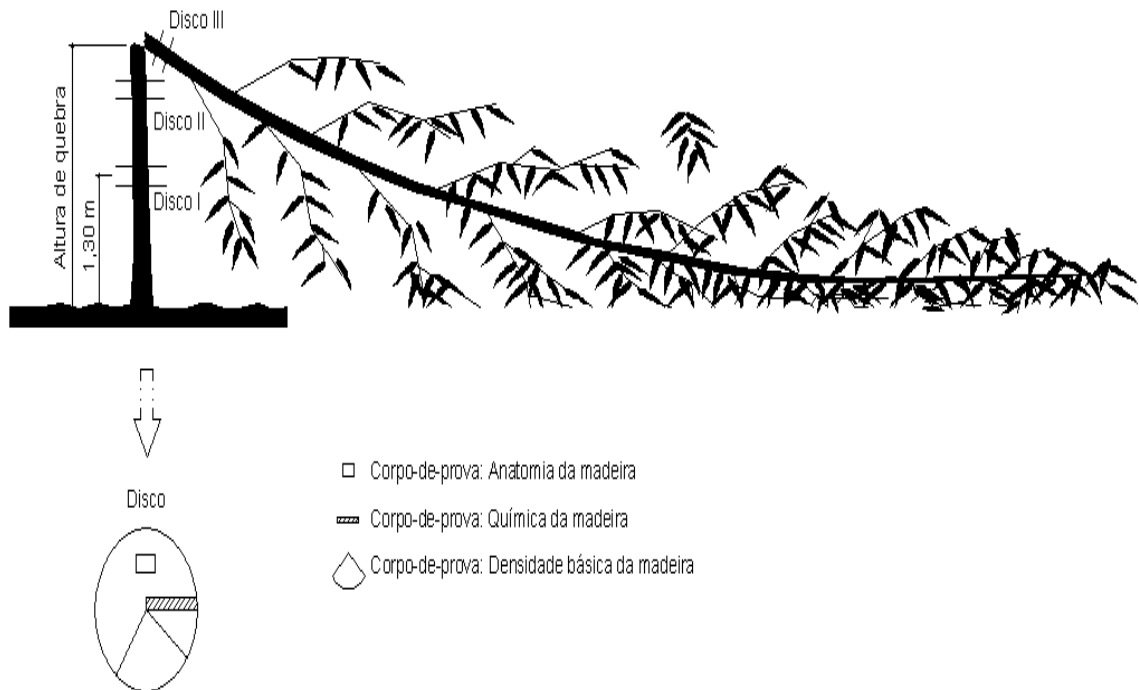


Figura 5. Esquema de amostragem dos discos nas árvores e localização dos corpos-de-prova para determinação dos parâmetros físicos, anatômicos e químicos.

As outras dez árvores foram destinadas à medição da deformação residual longitudinal (DRL). Em seguida, foram abatidas três árvores e coletadas três toras por árvores até a altura de 6 m do fuste comercial, cada uma delas com 2 m de comprimentos.

As toras foram transportadas para o Laboratório de Ciência da Madeira (LCM) do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no município de Jerônimo Monteiro, e confeccionados corpos-de-prova para a determinação dos parâmetros mecânicos. O esquema de amostragem da toras nas árvores, bem como a localização dos corpos-de-prova são ilustrados na Figura 6.

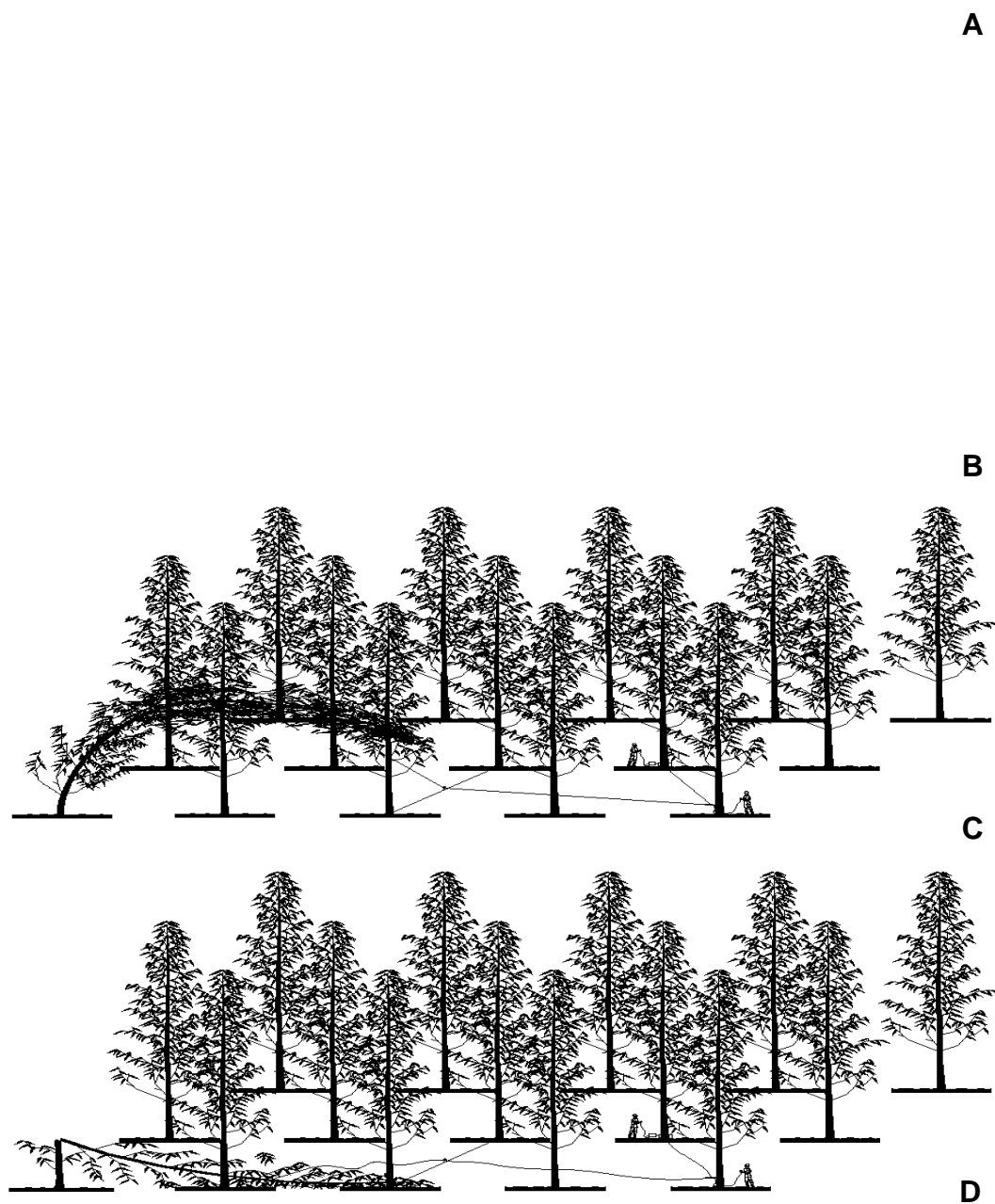


Figura 8. Avaliação do teste de resistência das árvores à quebra: A) Instalação do teste de resistência; B) Árvore curvada; C) Árvore tombada; D) Árvore quebrada.

Os passos do desenvolvimento da metodologia, que compreende de dez etapas, são descritos a seguir:

- (i) Selecionar as árvores para realização do teste e, posteriormente, puxá-las em diferentes direções (norte, sul, leste, oeste, nordeste, sudoeste, noroeste e sudoeste) ou em relação à declividade (esquerda e direita, porém, “nunca morro abaixo ou acima”). O lado para a queda das árvores foi escolhido visualmente, de acordo com a direção na qual havia a maior quantidade de árvores já quebradas no local;
- (ii) Determinar para cada árvore a posição na copa onde deverá ser amarrada, correspondente a 85% da altura total, com auxílio de uma régua milimetrada;
- (iii) Com auxílio de um estilingue, arremessar, na altura encontrada referente aos 85% da altura total da árvore, uma esfera de chumbo preso a uma linha de *nylon*;
- (iv) Amarrar na extremidade da linha de *nylon*, uma corda de polipropileno de 5 mm de espessura com aproximadamente 30 m de comprimento e transpor o mesmo galho com auxílio da linha de *nylon*. Para fixar bem o *nylon* à corda, utilizar uma fita isolante, e aproveitar o tamanho da corda para identificar a altura de amarração (altura do local amarrado na copa);
- (v) Ancorar na base de duas árvores para garantir um ângulo de 45°, com auxílio de uma corda de quatro metros e uma roldana. Esta roldana deve apresentar uma distância equivalente a do pé da árvore ao ponto de amarração na copa;
- (vi) Ancorar em uma árvore, com auxílio de uma corda de dois metros, um dinamômetro conectado a uma roldana a uma distância mínima de três metros a mais que o comprimento total da árvore;
- (vii) Amarrar em uma árvore, com auxílio de uma corda de dois metros, um guincho elétrico já com um cabo de aço, deixando-o mais próximo possível do nível do dinamômetro, para facilitar a puxada;
- (viii) Passar a corda amarrada na copa às roldanas e conectar ao o cabo de aço;

Como material para a descrição anatômica para a mensuração dos vasos, foram retiradas amostras do cerne periférico de cada disco com dimensões aproximadamente 1,0 x 1,5 x 2,0 cm, nas direções radiais, tangenciais e longitudinais, respectivamente.

Os corpos-de-prova foram amolecidos em água à ebulição e, posteriormente, fixados em um micrótomo de deslize para a confecção de cortes histológicos do plano transversal, com uma espessura variando de 18 a 20µm.

Para a realização das mensurações dos vasos, foram obtidas fotomicrografias das lâminas histológicas preparadas pelo uso de uma câmera digital acoplada ao microscópio óptico. As mensurações foram realizadas no *software* Axiovision 4.5, específico para as análises das imagens. Para cada disco obtido de cada árvore, dentro de cada clone, efetuaram-se 40 repetições para frequência de vasos por mm² e 40 repetições para o diâmetro tangencial dos vasos.

Para a mensuração das fibras, as amostras também foram retiradas do cerne periférico, tomando finos palitos do lenho no plano na direção radial das amostras, sendo assim submetidos ao processo de maceração. Os palitos foram transferidos para um vidro de 25 mL contendo solução macerante de ácido acético/peróxido de hidrogênio em proporção de 1:1. Posteriormente, foram lacrados e transferidos para estufa à temperatura de 60° C durante 48 horas, de acordo com a metodologia proposta por Nicholls e Dadswel, descrita por Ramalho (1987).

Em seguida, a suspensão das células foi lavada com água destilada, procedendo-se, após, a coloração do material com safranina alcoólica a 1%. Lâminas temporárias foram montadas em glicerina e água na proporção de 1:1.

As mensurações de comprimento, largura e diâmetro do lume das fibras foram efetuadas a partir de fotomicrografias das lâminas temporárias obtidas com o uso de câmera digital acoplada ao microscópio óptico e suas imagens foram analisadas por meio do *software* Axiovision 4.5.

As mensurações das fibras foram realizadas segundo os procedimentos da Comissão Panamericana de Normas Técnicas - COPANT (1974), considerando 20 repetições correspondentes aos discos I, II e III

(Figura 5). A espessura da parede celular das fibras foi determinada de forma indireta a partir da diferença entre a largura da parede e o diâmetro do lume dividida por dois.

3.8. FLEXÃO ESTÁTICA

A madeira para a avaliação da flexão estática foi proveniente das toras I, II e III, referentes as três árvores selecionadas (Figura 6) após o teste de DRL.

Os corpos-de-prova foram avaliados nas diferentes direções correspondentes a avaliação da DRL. A flexão estática foi a propriedade mecânica escolhida para ser avaliada, uma vez que determina o módulos elasticidade (MOE), o módulo de ruptura (MOR) e o trabalho absorvido, que estão relacionados com a resistência e rigidez da madeira. A confecção dos corpos-de-prova e o ensaio mecânico obedeceram ao MB-26, da ABNT (1940).

Em parte do material confeccionaram-se corpos-de-prova que foram ensaiados com a madeira em condições verde, cujo teor de umidade era de 100%. O restante do material foi colocado para secar à sombra, com a umidade sendo controlada até que atingissem a umidade de equilíbrio com o ambiente, com o intuito de também realizar o ensaio com a madeira nas condições seca. Os corpos-de-prova foram condicionados em uma câmara acimatizadora, com total controle da umidade relativa até que obtivessem teor de umidade correspondente a 15%. Posteriormente, procedeu-se o ensaio de flexão estática.

Os testes mecânicos foram executados em uma máquina universal de ensaios com sistema de aquisição de dados automatizado.

3.9. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

Para a análise química da madeira, as amostras foram retiradas dos discos II e III (Figura 5) . Na análise química, foram determinados os teores de lignina, de extrativos e, por diferença, o teor de holocelulose. Para a determinação desses parâmetros foram utilizadas as normas presentes na Tabela 3.

A altura média entre os clones foi de 17,81 m, tendo o clone CNB012 apresentando a maior altura (20,10 m) e a menor sendo observada no clone CNB008 (15,78 m).

Quanto à altura de amarração, a média geral foi de 14,36 m, tendo o clone CNB012 a maior altura (16,58 m) e o clone CNB001 a menor (12,10 m). A altura da quebra das árvores ocorreu, na maioria dos clones na tora II, com exceção do clone CNB005 (tora I), referente às regiões de coleta de material para a análise mecânica.

Em geral, a altura média onde ocorreu a ruptura das árvores (Figura 11) foi de 2,99 m, com o maior valor para o clone CNB1206 (3,79 m) e o menor, para o clone CNB005 (1,46 m). Ferreira (2010), ao estudar quatro clones de *Eucalyptus*, com dois anos de idade em diferentes topografias, encontrou uma altura média de quebra de 2,5 m, variando 1,9 a 3,1 m. Portanto, pode-se observar que a altura média da quebra das árvores está próximo ao encontrado na literatura, confirmando a de elevada fragilidade de quebra nesta região, quando as árvores são submetidas a esforços causados pela ação dos ventos.

Figura 11. Região de ruptura das árvores durante o teste de resistência à quebra.

A altura média geral da copa foi de 4,96 m, o clone CNB010 foi o que apresentou a maior altura (5,65 m) e o clone CNB012 a menor (4,40 m). O peso médio geral da copa foi de 8,09 kg, tendo o clone CNB006 o maior peso

CNB005 diferenciou dos demais, apresentando uma maior força de resistência das árvores à quebra, portanto este clone seria o indicado na seleção de material com maior resistência para os plantios em regiões susceptíveis a ação dos ventos.

4.2. Deformação residual longitudinal (DRL) e tensão de crescimento longitudinal (TCL)

Os valores médios gerais e para cada direção (norte, sul, leste e oeste ou nordeste, sudoeste, noroeste e sudeste) das deformações residuais longitudinais (mm) para cada clone estudado estão apresentados na Figura 13.

Os resultados da deformação residual longitudinal evidenciam a existência de diferença estatística entre alguns clones. A DRL média nas árvores, decorrente das tensões de crescimento, apresentou um valor médio de 0,086 mm. A partir dos resultados da DRL, em consequência das quatro medições feita no tronco das árvores de acordo com as direções, verifica-se que o clone CNB001 foi o que apresentou o maior valor (0,116 mm), indicando uma maior deformação, enquanto os clones CNB017 e CNB005 apresentaram os menores valores (0,060 mm). Nota-se também os elevados coeficientes de variação entre os clones, o que resulta em materiais mais heterogêneos.

Os coeficientes de variação para o DRL entre os dez clones variaram de 34,14 a 129,87%, demonstrando uma alta dispersão, podendo considerar o material heterogêneo.

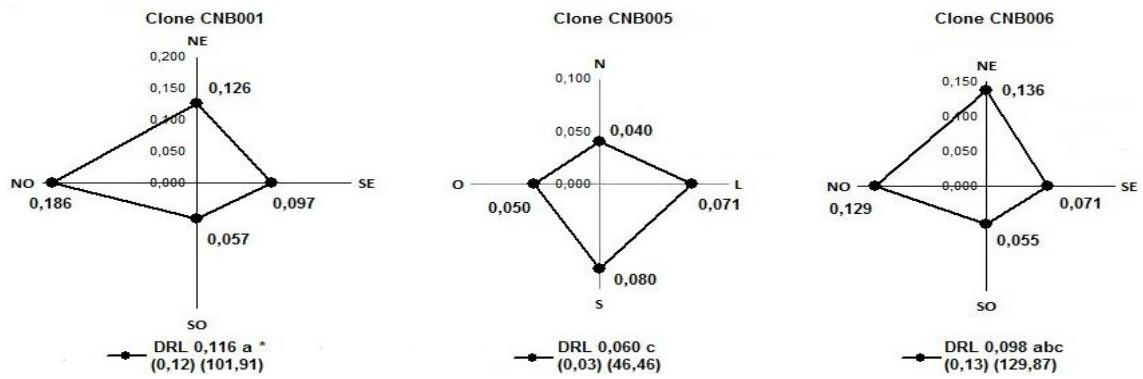


Figura 13. Representação gráfica dos valores médios (mm), valores entre parêntesis correspondem ao desvio padrão (mm) e coeficiente de variação (%) das deformações longitudinais residuais nas diferentes orientações no tronco para os dez clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

* Valores médios seguidos de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si (Tukey, $p > 0,05$)

g/cm³, para o clone CNB012. Em relação ao disco III, variou de 0,349 a 0,433 g/cm³, para os clones CNB007 e CNB017, respectivamente.

Ferreira et al. (1979) verificaram, para o *Eucalyptus grandis* aos dois e três anos de idade, densidade básica média de 0,384 e 0,433 g/cm³, respectivamente. Ao analisar clones de *Eucalyptus saligna* aos 24 meses de idade, Lima (1995) observou densidade entre 0,433 a 0,443 g/cm³.

Lima et al. (2001) encontraram, para clones de *Eucalyptus grandis*, com idade variando de 6 meses a 7,5 anos, uma densidade de 0,347 a 0,579 g/cm³. Em clones com 2,5 anos de idade, a densidade básica da madeira encontrada variou entre 0,446 a 0,511 g/cm³. Melo (2004), ao estudar clones de *Eucalyptus* aos dois anos de idade encontrou uma densidade variando de 0,412 a 0,472 g/cm³. Mauri (2010) observou, em clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com aproximadamente seis anos de idade, uma densidade básica média variável de 0,47 a 0,48 g/cm³.

De modo geral, os valores da densidade básica da madeira foram menores que aqueles encontrados por outros autores, mas, em alguns casos, em clones com idades semelhantes, os valores foram mais próximos, o que pode ser explicado pelo material genético.

Ressalta-se que a maior tolerância a ventos se deve às árvores com maior densidade, em virtude da espessura maior das paredes das fibras, o que oferece maior resistência à madeira. Visto isso, os clones CNB017, CNB014 e o CNB012 seriam os indicados para o plantio em áreas susceptíveis à ação de ventos por apresentarem maior densidade.

Os coeficientes de variação para a densidade básica da madeira entre os dez clones, de modo geral, foram baixos, demonstrando baixa dispersão, podendo os clones serem considerados homogêneos para este parâmetro.

4.4. DESCRIÇÃO ANATÔMICA QUANTITATIVA

A partir das mensurações dos elementos anatômicos, compreendem-se a formação e estrutura das células, bem como a resistência mecânica relacionada à anatomia da madeira. Observou-se variação significativa nas dimensões dos elementos anatômicos para os dez clones avaliados no presente estudo.

As características dimensionais quantitativamente mensuradas foram o diâmetro e a frequência de vasos, o comprimento, a largura, o diâmetro do lume e a espessura da parede das fibras.

4.4.1. Vasos

Os valores médios, os desvios padrões e os coeficientes de variação, para o diâmetro tangencial e frequência dos vasos para os dez clones da madeira, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Valores médios do diâmetro tangencial e frequência dos vasos para os dez clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

| Clone | Vaso | |
|--------------------|--|------------------------------------|
| | Diâmetro (μm) | Frequência (vasos/ mm^2) |
| CNB017 | 102,04 de* (21,21) (20,78)** | 12,56 bc (2,95) (23,52) |
| CNB008 | 107,84 c (24,04) (22,29) | 10,76 gh (2,66) (24,76) |
| CNB014 | 107,61 c (22,97) (21,34) | 11,90 de (3,08) (25,86) |
| CNB001 | 102,69 d (20,60) (20,06) | 11,15 fg (2,25) (20,13) |
| CNB006 | 118,72 a (23,59) (19,87) | 12,80 b (2,71) (21,17) |
| CNB005 | 97,93 ef (21,72) (22,18) | 13,52 a (2,58) (19,09) |
| CNB010 | 105,82 cd (24,60) (23,25) | 10,39 h (2,19) (21,11) |
| CNB007 | 97,48 f (28,71) (29,45) | 11,39 ef (4,15) (36,44) |
| CNB012 | 103,87 cd (25,12) (24,18) | 12,21 cd (2,88) (23,59) |
| CNB1206 | 113,07 b (20,84) (18,43) | 11,49 ef (2,37) (20,63) |
| Média Geral | 105,71 | 11,82 |

* Valores médios seguidos de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si (*Tukey*, $p > 0,05$)

**Valores entre parêntesis correspondem ao desvio-padrão (μm) e coeficiente de variação (%), respectivamente

O valor médio geral para o diâmetro tangencial dos vasos foi de 105,71 μm , os limites foram de 97,48 μm para o clone CNB007 e 118,72 μm para o clone CNB006. Estatisticamente, o clone CNB006 apresentou o maior valor diferenciando-se dos demais.

Alzate (2004) avaliou a anatomia da madeira de clones de *Eucalyptus grandis*, com oito anos e encontrou um valor de 106,00 μm para o diâmetro

tangencial dos vasos. Veenin et al. (2005) encontraram, em clones de *Eucalyptus camaldulensis* com cinco anos de idade para o diâmetro de vaso, um valor médio de 98 μm . Oliveira (2009) analisou dois clones de *Eucalyptus grandis* em diferentes regiões, com aproximadamente 69 meses, encontrando média para os diâmetros de vaso de 99,21 e 129,56 μm . Mauri (2010) estudou dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com aproximadamente seis anos de idade e encontrou valor médio de 111,27 e 118,31 μm , para os diâmetros dos vasos. Os valores encontrados no presente estudo estão em concordância com a literatura.

Ao comparar os valores do diâmetro dos vasos entre os discos I, II e III (Figura 5) para cada clone, a maioria dos clones, com exceção dos clones CNB010, CNB007 e o CNB1206, apresentaram o mesmo comportamento, sendo os valores para os discos I e III superiores ao disco II. Os maiores diâmetros dos vasos foram observados no disco III. Estatisticamente, apenas o clone CNB006 não apresentou diferença entre os discos I, II e III, encontrando-se também os maiores valores para os discos I e III. O clone CNB1206 foi o que apresentou, para o disco II, o maior diâmetro de vaso (Figura 15).

Figura 15. Representação gráfica dos valores médios (μm) do diâmetro tangencial do vaso entre os discos I, II e III, para cada clone estudado.

Para o disco I, os diâmetros dos vasos variaram de 94,66 a 110,37 μm , para os clones CNB010 e CNB1206, respectivamente. Em relação ao disco II,

espessura de parede das fibras para os dez clones da madeira de eucalipto são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios dos parâmetros das fibras para os dez clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

| Clone | Fibras | | | |
|----------------|--|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| | Comprimento (µm) | Largura (µm) | Diâmetro do lume (µm) | Espessura da parede (µm) |
| CNB017 | 1021,89 bc* (127,79) (12,51)** | 18,62 b (2,99) (16,04) | 10,45 ef (2,69) (25,72) | 4,08 a (0,91) (22,27) |
| CNB008 | 907,15 e (129,17) (14,24) | 18,32 bc (3,09) (16,84) | 10,62 cdef (3,06) (28,83) | 3,85 bcd (0,92) (23,83) |
| CNB014 | 946,05 d (138,98) (14,69) | 18,16 bc (2,96) (16,28) | 10,05 f (2,81) (27,93) | 4,05 ab (0,80) (19,73) |
| CNB001 | 943,71 d (123,47) (13,08) | 19,87 a (3,42) (17,23) | 12,06 ab (3,19) (26,45) | 3,91 abc (0,86) (21,94) |
| CNB006 | 953,81 d (122,16) (12,81) | 17,68 c (3,18) (17,97) | 10,36 ef (3,03) (29,22) | 3,66 def (0,84) (22,88) |
| CNB005 | 1009,14 c (139,23) (13,80) | 18,95 b (3,56) (18,76) | 11,30 bc (3,26) (28,87) | 3,83 cd (0,86) (22,48) |
| CNB010 | 1011,17 c (104,68) (10,35) | 18,18 bc (2,94) (16,19) | 11,26 cd (2,91) (25,83) | 3,46 f (0,82) (23,79) |
| CNB007 | 1044,69 b (113,33) (10,85) | 19,84 a (3,19) (16,06) | 12,66 a (3,26) (25,72) | 3,59 ef (0,82) (22,95) |
| CNB012 | 1015,00 bc (102,55) (10,10) | 18,31 bc (2,88) (15,75) | 10,52 def (3,05) (29,04) | 3,90 abc (0,94) (24,09) |
| CNB1206 | 1097,77 a (112,21) (10,22) | 18,69 b (3,00) (16,04) | 11,09 cde (2,85) (25,69) | 3,80 cde (0,78) (20,41) |

* Valores médios seguidos de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si (*Tukey*, $p > 0,05$)

** Valores entre parêntesis correspondem ao desvio-padrão (µm) e coeficiente de variação (%), respectivamente

Os valores para o comprimento da fibra variaram entre 907,15 a 1097,77 vasos/mm² para os clones CNB008 e CNB1206, respectivamente. Estatisticamente, o clone CNB1206 apresentou o maior comprimento de fibra, diferenciando-se dos demais (Tabela 9).

Os coeficientes de variação para o comprimento das fibras foram baixos, demonstrando uma baixa dispersão, podendo-se considerar os clones homogêneos para este parâmetro.

Quando são comparados os discos I, II e III (Figura 5), para cada clone, os clones CNB008 e CNB1206 foram os únicos que não apresentaram diferença estatística entre os discos. Já os clones CNB014, CNB001 e CNB005 foram os que apresentaram a maior diferença (Figura 17).

encontrados na literatura, apesar do material avaliado apresentar uma idade inferior.

Fibras com maiores comprimento, mais finas e com os lumes mais estreitos conferem à madeira maior resistência e flexibilidade. Melo (2004), ao estudar quatro clones de *Eucalyptus* com 24 meses de idade, verificou que árvores que produzem fibras mais longas são consideradas mais tolerantes à ação dos ventos. Deste modo, em relação ao comprimento das fibras, estatisticamente, o clone CNB1206 foi o que apresentou o maior valor e deve ser o indicado para os plantios florestais nas áreas expostas a ação do vento.

Verifica-se na Tabela 8, para a largura das fibras, os valores médios entre os clones variando de 17,68 μm para o clone CNB001 a 19,84 μm para o clone CNB007. Estatisticamente, o clone CNB001 apresentou a maior largura para as fibras, diferenciando-se dos demais.

Os coeficientes de variação para a largura das fibras variaram de 16,04 a 17,23%, demonstrando baixa a média dispersão, podendo-se considerar pouco homogêneos, para este parâmetro, os clones.

Conforme pode ser observado na Figura 18, quando comparado os discos I, II e III (Figura 5), para cada clone, os clones CNB008 e CNB007 foram os únicos que não apresentaram diferença estatística entre os discos.

Figura 18. Representação gráfica dos valores médios (μm) da largura das fibras entre os discos I, II e III, para cada clone estudado.

clones CNB014 e CNB012 apresentaram a maior espessura de parede das fibras.

Os coeficientes de variação para a espessura de parede das fibras variaram de 19,73 a 24,09%, demonstrando média dispersão, podendo-se considerar pouco homogêneos os clones para este parâmetro.

Conforme pode ser observado na Figura 20, ao comparar os discos I, II e III (Figura 5), para cada clone, o clone CNB010 foi o único que não apresentou diferença estatística entre o disco. Já o clone CNB007, foi que apresentou maior diferença estatística.

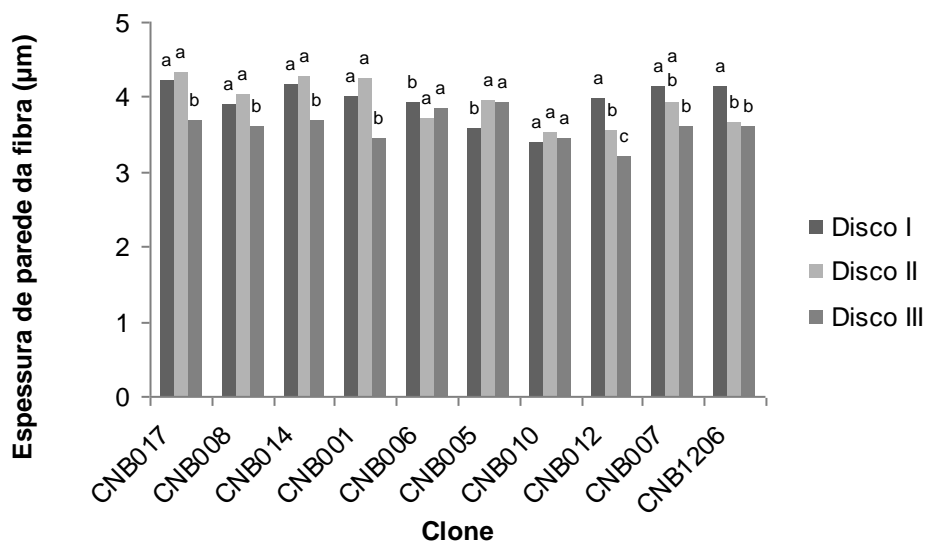


Figura 20. Representação gráfica dos valores médios (μm) da espessura da parede das fibras entre os discos I, II e III, para cada clone estudado.

No disco I, a espessura da parede das fibras, variou de 3,39 a 4,23 μm para os clones CNB010 e CNB017, respectivamente. No disco II, variou de 3,54 μm para o clone CNB010 a 4,34 μm para o clone CNB017. No disco III, constatou-se variação de 3,22 a 3,84 μm , para os clones CNB007 e CNB006, respectivamente.

A espessura média encontrada por Barrichelo e Brito (1976), que avaliaram a madeira de diversas espécies do gênero *Eucalyptus*, variou de 2,5 a 6,0 μm . O valor médio obtidos por Silva (2002), que estudou o *Eucalyptus grandis* com diferentes idades foi de 3,76 μm . Melo (2004) que avaliou quatro

clones de *Eucalyptus* com 24 meses de idade, encontrou valores variando de 3,2 a 3,5 μm para a espessura de parede.

Oliveira (2009) que analisou dois clones de *Eucalyptus* obteve valores médios para espessura de parede de 3,58 e 4,37 μm . Mauri (2010), que estudou dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com aproximadamente seis anos de idade, encontrou valores médios de 3,11 e 2,95 μm , respectivamente. Os valores encontrados para a espessura de parede das fibras são similares aos encontrados na literatura

De forma geral, quanto maior a espessura de parede, maior a densidade básica da madeira, conseqüentemente o material terá maior rigidez e resistência mecânica. Assim os clones CNB017, CNB014 e CNB012 são os indicados para os plantios florestais em regiões expostas à ação dos ventos fortes.

4.5. FLEXÃO ESTÁTICA

4.5.1. Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR)

Para os dez clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, determinaram-se os valores médios, os desvios padrões e os coeficientes de variação das características mecânicas do ensaio de flexão estática da madeira, para as toras I, II e III (Figura 6) para determinação do módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e do trabalho absorvido para madeira verde e seca com os teores de umidade de 100 e 15%, respectivamente.

O módulo de elasticidade (MOE) expressa a capacidade que a madeira tem em voltar a sua condição original, sem alterar suas propriedades, após ser submetida a uma força. Assim sendo, verificou-se o comportamento do módulo de elasticidade em árvores sujeitas à ação de vento.

Os valores médios e o respectivos desvios padrões e os coeficientes de variação, obtidos para o módulo de elasticidade, módulo de ruptura para os dez clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* com madeiras ensaiadas nas condições verde (100% umidade) e seca (15% de umidade), estão apresentados na Tabela 9.

Na tora I, os valores do MOR variaram de 454 a 600 Kgf/cm² para os clones CNB008 e CNB017, respectivamente. Na tora II, os valores variaram de 478 kgf/cm² para o clone CNB010 a 658 kgf/cm² para o clone CNB017. Para a tora III, os valores variaram de 468 a 642 kgf/cm², para os clones CNB010 e CNB017, respectivamente.

A figura 24 apresenta os valores do MOR para a madeira na condição seca, quando comparado as toras I, II e III para cada clone. Conforme apresentado, houve diferença estatística entre as toras apenas para o clone CNB005.

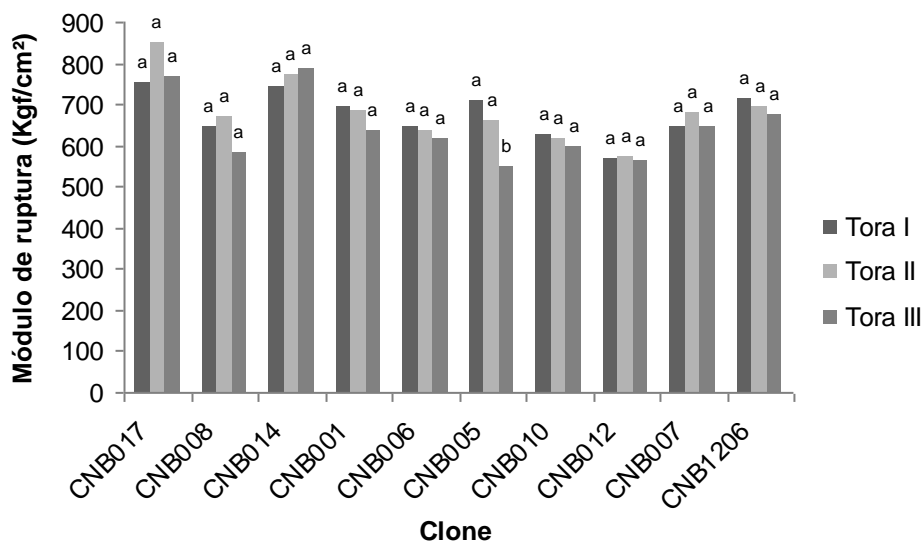


Figura 24. Representação gráfica dos valores médios (kgf/cm²) do MOR entre as toras I, II e III, para cada clone estudado, com a madeira na condição seca.

Na tora I, os valores do MOR variaram de 569 a 744 Kgf/cm², para os clones CNB007 e CNB014, respectivamente. Na tora II, os valores variaram de 575 kgf/cm² para o clone CNB007 a 774 kgf/cm² para o clone CNB014. Para a tora III, os valores variaram de 549 a 790 kgf/cm², para os clones CNB005 e CNB014, respectivamente.

Haselein et al. (2002) encontraram valores referentes ao módulo de ruptura de 525 kgf/cm² para madeira verde e 736 525 kgf/cm² para madeira a 12% de umidade (seca). Ferreira et al. (2010), ao avaliarem quatro clones de *Eucalyptus*, três híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* e um do *Eucalyptus*

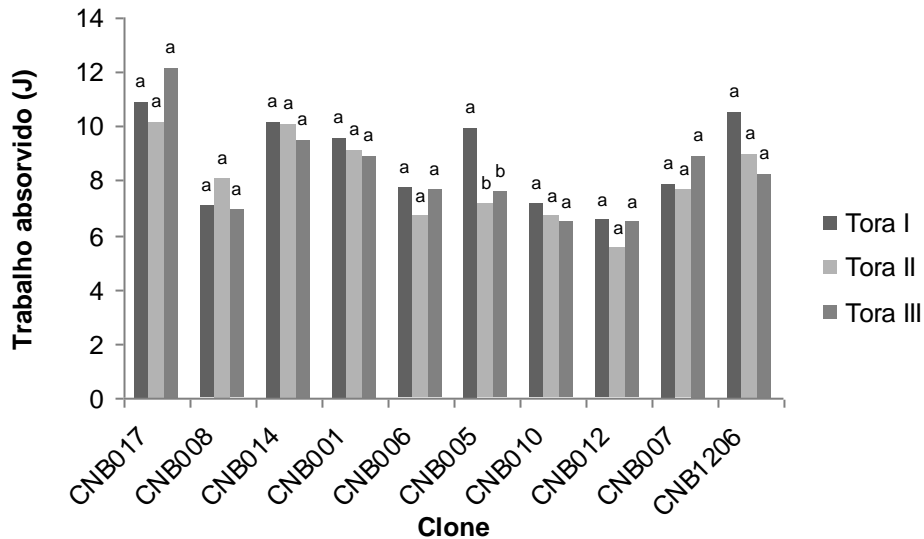


Figura 26. Representação gráfica dos valores médios (J) do trabalho absorvido entre as toras I, II e III, para cada clone estudado, com a madeira na condição seca.

Para a tora I, os valores do trabalho absorvido variaram de 7 a 11J, para os clones CNB007 e CNB017, respectivamente. Na tora II, os valores variaram de 6 J para o clone CNB007 a 10J para o clone CNB017. Para a tora III, os valores variaram de 7 a 12 J, para os clones CNB010 e CNB017, respectivamente.

Embora os valores do trabalho absorvido na resistência a flexão estática na tora II sejam os mais elevados em relação às toras I e III para a maioria dos clones, tanto para a madeira na condição verde quanto para a seca, foi na região da tora II, onde ocorreu grande parte da quebra das árvores durante o teste de resistência, com uma altura média de quebra de aproximadamente de 3,0 m.

Para a seleção de clone susceptível a vento, os clones CNB017 e CNB005, são os indicados para os plantios florestais nessas regiões, uma vez que apresentaram os maiores valores para o trabalho absorvido, indicando que a madeira é mais tenaz, absorvendo uma maior quantidade de energia antes da ruptura e, conseqüentemente, com maiores condições de suportar os esforços causados pelos ventos.

4.6. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

Os valores médios, os desvios padrões e os coeficientes de variação obtidos para os teores de extrativos, lignina total e holocelulose para os dez clones da madeira do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Valores médios dos teores de extrativos, lignina total e holocelulose para os dez clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

| Clone | Teores (%) | | |
|--------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Extrativos | Lignina total | Holocelulose |
| CNB017 | 1,06 a* (0,37) (34,82) ** | 32,86 a (0,71) (2,15) | 66,08 b (0,54) (0,82) |
| CNB008 | 0,79 a (0,14) (18,25) | 31,45 ab (1,91) (6,09) | 67,76 ab (1,94) (2,86) |
| CNB014 | 0,99 a (0,29) (29,43) | 32,87 a (0,67) (2,02) | 66,14 b (0,55) (0,84) |
| CNB001 | 0,70 a (0,16) (23,10) | 33,21 a (0,54) (1,63) | 66,09 b (0,69) (1,05) |
| CNB006 | 0,84 a (0,23) (27,23) | 30,05 b (0,82) (2,72) | 69,11 a (0,65) (0,95) |
| CNB005 | 0,97 a (0,27) (27,40) | 30,47 b (0,86) (2,81) | 68,57 a (0,71) (1,03) |
| CNB010 | 1,07 a (0,46) (42,82) | 31,38 ab (1,55) (4,95) | 67,55 ab (1,77) (2,63) |
| CNB007 | 0,88 a (0,18) (20,29) | 30,94 ab (1,43) (4,62) | 68,18 ab (1,50) (2,21) |
| CNB012 | 0,88 a (0,19) (21,57) | 29,89 b (0,94) (3,13) | 69,23 a (0,86) (1,24) |
| CNB1206 | 0,89 a (0,26) (29,42) | 30,20 b (0,37) (1,23) | 68,91 a (0,51) (0,74) |
| Média geral | 0,91 (0,12) (12,92) | 31,33 (1,25) (4,00) | 67,76 (1,27) (1,87) |

* Valores médios seguidos de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si (Tukey, $p > 0,05$)

** Valores entre parêntesis correspondem ao desvio-padrão (%) e coeficiente de variação (%), respectivamente

A média geral para o teor de extrativo entre os clone foi de 0,91%, tendo o clone CNB010 apresentado o maior valor (1,07%) e o clone CNB001 o menor valor (0,70%). Os teores de extrativos entre os clones não apresentaram diferenças estatísticas significativas quando submetidos à análise de variância a 5% de significância, indicando uniformidade no material utilizado no presente estudo.

. Os coeficientes de variação para o teor de extrativo demonstraram média dispersão, podendo-se considerar os clones pouco homogêneos para este parâmetro. Já para os teores de lignina e de holocelulose, os valores para o coeficiente de variação foram baixos, demonstrando baixa dispersão, podendo-se considerar os clones homogêneos para estes parâmetros avaliados

O conhecimento das características dos componentes químicos da madeira contribui para a utilização mais adequada e, principalmente, na seleção de materiais genéticos com maior qualidade para a produção de celulose e papel.

CARVALHO, H. G.; OLIVEIRA, R.C.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L. Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose Kraft branqueada de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 31.,1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1998. p.367-381.

CENIBRA. Avaliação dos danos por vento. Pesquisa e Desenvolvimento Florestal. **Relatório Técnico**: Belo Oriente, 2007.

CENIBRA. Avaliação dos danos por vento. Pesquisa e Desenvolvimento Florestal. **Relatório Técnico**: Belo Oriente, 2009.

CENIBRA. Avaliação dos danos por vento. Pesquisa e Desenvolvimento Florestal. **Relatório Técnico**: Belo Oriente, 2010.

COLODETTE, J. L. Tecnologia de Celulose e Papel. Viçosa, 2001. (Apostila)

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Método para la descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas**. Santiago. v.30, p. 1-19, 1974.

CRUZ, C.R.; LIMA, J.T.; MUNIZ, G.I.B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-47, 2003.

D'Almeida, M.L. O. **Celulose e papel**: Tecnologia de fabricação de pasta celulósica. São Paulo: SENAI-IPT, 1981, 492p.

DEL MENEZZI, C. H. **Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden e *E.cloesiana* F. Muell.** 1999. 77f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

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

EUCALIPTO, a madeira do futuro. **Revista da Madeira**, n.59, p.114, set. 2001. Edição especial. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=25&subject=Qualidade&title=Qualidade%20da%20Madeira%20de%20Eucalipto>. Acesso em: 20 nov. 2010.

EUCALIPTO, pesquisa amplia usos. **Revista da Madeira**, n.75, p.138, ago. 2003. Edição especial. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=403&subject=Melhoramento%20Gen%20E9tico&title=Melhoramento%20gen%20E9tico%20para%20a%20qualidade%20da%20madeira>. Acesso em: 20 nov. 2010.

LELIS, A.; SILVA, D. J. Análise comparativa entre três métodos de determinação de densidade básica da madeira: medição direta de volume, medição indireta de volume - balança hidrostática e máximo teor de umidade. **Relatório Técnico**: Viçosa, 1993, 20p.

LIMA, J.T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Assessment of wood density of seven clones of *Eucalyptus grandis*. **Southern African Forestry Journal**, Pretoria, n. 191, p.21-27, 2001.

LIMA, J.T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. Z.; CRUZ, C.R. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tenções de crescimento em *Eucalyptus* e suas associação com outras propriedades. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.

LIMA, T. G. **Variações no sentido radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm.** 1995. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

LOBÃO, M. S.; DELLA LÚCIA, R. M.; MOREIRA, M.S.S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 889-894, 2004.

MALAN, F. S. Eucalyptus improvements for lumber production. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria, 1.,1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 1995. p. 1-19.

MAURI, R. **Anatomia e densidade do lenho de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com variação de altitude e de topografia, no Estado de Minas Gerais.** 2010.117f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

MELO, V.M. **Variação nas produtividades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitas a tempestade.** 2004. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

MENDES, R. **Agrometeorologia.** Brasília: FTB, 2009. 102f.

MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para a produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR.** 2009. 142f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus* spp. No rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa Kraft.** 2004. 153f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: *Embrapa Florestas*, 2000. 113p.
- PETTERSEN, C. The chemical Wood composition. In: Rowell, R. **The chemistry of solid wood**. Madison: 1984. p. 57-126.
- PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2 ed. São Paulo: IPT, 1988. 964 p.
- QUEIROZ, L. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. **O eucalipto: um século no Brasil**. São Paulo: Antônio Bellini Editora & Cultura, 2007. 127p.
- RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa: UFV, 1987. 4p.
- RECH, C.; SILVA, J. C. Melhoramento genético para a qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, (Edição Especial), São Paulo, p.48-54, 2001a.
- RECH, C.; SILVA, J. C. Características intrínsecas da madeira. **Revista da Madeira**, (Edição Especial), São Paulo, p. 60-65, 2001b.
- ROCHA, S. J.; PAULA, E. V. C. M. de. ; SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras livres de defeitos. **Acta Amazônica**. Manaus, v. 18, n.1/2, p. 147-162, 1988.
- RODRIGUES, R.A.D. **Variabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para a construção civil**. 2002. 84f Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ROSADO, A. M. **Avaliação da tolerância de árvores de eucalipto a quebra por vento**. 2006. 43f. Monografia (Pós graduação em Tecnologia de Celulose e Papel) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. M. (Ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC, 2005. p. 35-74.
- RUY, O.R; FERREIRA, M.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação da qualidade da madeira entre grupos fenotípicos de clones de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, n. 60, p. 21-27, 2001.
- RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 1998. 69f. Dissertação

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; PÁDUA, F. A.; SORAGI, L. C.; ANDRADE, C.R. Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n.3, p. 279-286, 2006.

TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de *Eucalyptus dunnii* maiden e propriedades da sua madeira.** 167p. Tese (Pós Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características do eucalipto. **Revista de Madeira**, Curitiba, n.92, p.82-88, 2005.

TSOUMIS, G. **Science and Technology of Wood:** structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494p.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. C. I. **Meteorologia descritiva:** fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1984. 374p.

VALERA, F.P., KAGEYAMA, P.Y. Interação genótipo x espaçamento em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, Piracicaba, v.39, p.5-16, 1988.

VAN WYK, J.L., Hardwood sawmilling can have a bright future in South Africa. **Southern African Forestry Journal**, Pretoria, n.109, p. 47-53, 1978.

VASCONCELOS, R. L. D.; SILVA JUNIOR C., 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, 1985. p.31-56.

VEENIN, T.; FUJITA, M.; NOBUCHI, T.; SIRIPATANADILOK, S. Radial variations of anatomical characteristics and specific gravity in *Eucalyptus camaldulensis* clones. **Iawa Journal**, Leiden, v. 26, n. 3, p. 353-361, 2005.

WALLIS, A.; WERNE, R.; WRIGHT, P. Chemical analysis of polysaccharides in plantation eucalypt woods and pulps. **Appita Journal**, Carton, v.49, p.427-432, 1996.

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., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1992. 161p

ZOBEL, B.J., VAN BUIJTENEN, J.P. **Wood variation:** its causes and control. New York: Springer-Verlag, 1989. 363p.