



**VARIAÇÕES NAS PROPRIEDADES DA
MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus*
CULTIVADOS EM DIFERENTES
TOPOGRAFIAS E SUJEITOS A
TEMPESTADES**

VANETE MARIA DE MELO

2004

VANETE MARIA DE MELO

**VARIAÇÕES NAS PROPRIEDADES DA
MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus*
CULTIVADOS EM DIFERENTES
TOPOGRAFIAS E SUJEITOS A TEMPESTADES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Prof. José Tarcísio Lima

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos
Técnicos da Biblioteca Central da UFLA**

Melo, Vanete Maria de

Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades / Vanete Maria de Melo. -- Lavras : UFLA, 2004.

115 p. : il.

Orientador: José Tarcísio Lima.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. *Eucalyptus*. 2. Madeira. 3. Tensão de crescimento. 4. Flexão estática. 5. Compressão paralela às fibras. 6. Ângulo das microfibrilas. 7. Dimensão da fibra. 8. Tempestade. 9. Dano em árvore. 10. Topografia. 11. Lenho de tração. 12. Propriedades mecânica e física. 13. Característica anatômica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-634.97342

-674.1

VANETE MARIA DE MELO

**VARIAÇÕES NAS PROPRIEDADES DA
MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus*
CULTIVADOS EM DIFERENTES
TOPOGRAFIAS E SUJEITOS A TEMPESTADES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 26 de Fevereiro de 2004

Prof. Paulo Fernando Trugilho

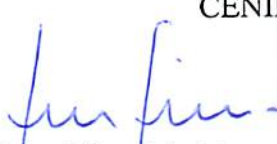
DCF / UFLA

Prof^a. Graciela Inez Bolzon de Muñiz

DCF / UFPR

Fernando Palha Leite

CENIBRA


Prof. José Tarcísio Lima
DCF / UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus, por tudo que consegui em toda a minha vida;

À minha mãe Aparecida pelo amor e carinho;

Ao Sr. Olímpio por ser um pai maravilhoso, que sempre me deu amor, carinho e exemplo de vida;

A D. Lúcia, por ser uma mãe maravilhosa durante todos esses anos, pelos ensinamentos, carinho e dedicação.

DEDICO

Ao Sr. Olímpio e à D. Lúcia

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais pela oportunidade de realização do curso de Graduação e Mestrado;

Ao Professor José Tarcísio Lima pela orientação, amizade, ensinamentos, oportunidade, apoio e pela imensa contribuição para a realização desse trabalho;

Aos Professores Paulo Fernando Trugilho e Lourival Marin Mendes pela co-orientação e amizade;

Ao Professor Natalino Calegário pela ajuda com as análises estatísticas;

Aos Professores Fábio Akira Mori e José Reinaldo M. Silva pela amizade;

Ao Professor José Roberto Scolforo pelos conselhos e aprendizado;

À Universidade Federal do Paraná por disponibilizar o Laboratório de Anatomia da Madeira para a realização de parte da coleta dos dados;

À Professora Graciela Inez Bolzon de Muñiz, da Universidade Federal do Paraná, pelo apoio, ajuda, amizade e carinho durante o tempo que passei em Curitiba e pela participação na banca de defesa;

À Empresa CENIBRA pela concessão do material utilizado na realização dessa pesquisa;

Ao Fernando Palha Leite pela disponibilidade em participar da banca de defesa e pela ajuda;

A todos os professores do Departamento de Ciências Florestais pelos ensinamentos;

À Coordenação do Programa de Pós-graduação da Engenharia Florestal pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado;

Ao órgão financiador CNPq pela concessão da bolsa de estudos;

Aos colaboradores Rodrigo, Fabrício, Paulo Hein, Adalberto, Renato, José Lopes, Alexandre, Gilson e Ernani, e em especial ao Clair Rogério pela amizade, ajuda e aprendizado;

A todos os funcionários do DCF, em especial a Gláucia e a Rose;

Aos amigos Cláudia, Celso, Murilo, Sérgio, Cíntia, Daniela Siqueira, Soraya, Yustane, Franciane, Auwdréia, Edmilson, Daniela Silva e Alysson;

Ao Warley pela amizade durante anos, por todo o apoio e conselhos;

Ao Antônio Américo (Juninho) pela amizade, pela ajuda e por “quebrar” tantos galhos;

A Graciane pela amizade incondicional, confiança, companheirismo, conselhos, ensinamentos, apoio em minhas decisões e por todos os momentos bons ou ruins por que passamos juntas;

Ao Igor e ao Edivandro pela amizade, apoio, carinho, pelos conselhos que sempre foram muito úteis e por tudo que passamos juntos;

A Marisa, Darc, Adriane, Heloísa, Maurílio, Cláudio e Edson pela amizade e confiança;

A todos que de alguma forma contribuíram e influenciaram nesse trabalho;

A todas as pessoas que por motivo de esquecimento deixei de citar;

Aos bons momentos que passei nessa Universidade e a todas as pessoas que aqui conheci;

Finalmente, minha gratidão aos meus pais, Aparecida, Lúcia e Olímpio, que sempre estiveram presentes, me aconselhando e orientando.

SUMÁRIO

| | Página |
|--|--------|
| RESUMO..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| CAPÍTULO 1: Adaptações das árvores de clones de <i>Eucalyptus</i> em seus lenhos para enfrentar adversidades ambientais..... | 1 |
| 1 Resumo..... | 1 |
| 2 Abstract..... | 2 |
| 3 Introdução Geral..... | 3 |
| 4 Referencial Teórico..... | 5 |
| 4.1 A formação da madeira..... | 5 |
| 4.1.1 Crescimento da árvore..... | 5 |
| 4.2 Formação de lenho de reação..... | 6 |
| 4.3 Tempestades..... | 8 |
| 4.3.1 Tipos de danos | 10 |
| 5 Metodologia geral..... | 11 |
| 5.1 Material genético..... | 11 |
| 5.2 Local de instalação do experimento..... | 13 |
| 5.3 Tolerância dos clones à ação do vento..... | 13 |
| 5.4 Cálculo do número de medições..... | 14 |
| 5.5 Análise estatística..... | 15 |
| 5.5.1 Análise de regressão..... | 16 |
| 6 Referências Bibliográficas..... | 17 |
| CAPÍTULO 2: Morfologia das fibras da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades..... | 19 |
| 1 Resumo..... | 19 |
| 2 Abstract..... | 20 |
| 3 Introdução..... | 21 |

| | |
|---|------------|
| cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades..... | 98 |
| 1 Resumo..... | 98 |
| 2 Abstract..... | 99 |
| 3 Introdução..... | 100 |
| 4 Referencial teórico..... | 101 |
| 5 Material e métodos..... | 104 |
| 5.1 Seleção do material..... | 104 |
| 5.2 Medição das deformações residuais longitudinais (DRLs)..... | 104 |
| 6 Resultados e discussão..... | 105 |
| 7 Conclusões..... | 110 |
| 8 Referências bibliográficas..... | 111 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 113 |

| | |
|--|-----------|
| 8 Referências bibliográficas..... | 60 |
| CAPÍTULO 4: Densidade e propriedades mecânicas da madeira de clones de <i>Eucalyptus</i> cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades..... | 63 |
| 1 Resumo..... | 63 |
| 2 Abstract..... | 64 |
| 3 Introdução..... | 65 |
| 4 Referencial teórico..... | 66 |
| 4.1 Densidade básica..... | 66 |
| 4.2 Propriedades mecânicas da madeira..... | 67 |
| 5 Material e métodos..... | 69 |
| 5.1 Seleção do material..... | 69 |
| 5.2 Preparação do material..... | 70 |
| 5.2.1 Densidade básica..... | 70 |
| 5.2.2 Propriedades mecânicas..... | 70 |
| 5.3 Determinação da densidade básica e propriedades mecânicas..... | 70 |
| 5.3.1 Densidade básica..... | 71 |
| 5.3.2 Propriedades mecânicas..... | 71 |
| 6 Resultados e discussão..... | 71 |
| 6.1 Densidade básica..... | 71 |
| 6.2 Compressão paralela às fibras..... | 77 |
| 6.3 Flexão estática..... | 83 |
| 6.4 Relação funcional entre a densidade e as propriedades mecânicas com a tolerância das árvores às tempestades..... | 90 |
| 7 Conclusões..... | 94 |
| 8 Referências bibliográficas..... | 95 |
| CAPÍTULO 5: Tensões de crescimento em clones de <i>Eucalyptus</i> | |

| | |
|---|------------|
| cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades..... | 98 |
| 1 Resumo..... | 98 |
| 2 Abstract..... | 99 |
| 3 Introdução..... | 100 |
| 4 Referencial teórico..... | 101 |
| 5 Material e métodos..... | 104 |
| 5.1 Seleção do material..... | 104 |
| 5.2 Medição das deformações residuais longitudinais (DRLs)..... | 104 |
| 6 Resultados e discussão..... | 105 |
| 7 Conclusões..... | 110 |
| 8 Referências bibliográficas..... | 111 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 113 |

RESUMO

MELO, Vanete Maria de. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades.** 2004. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras¹.

O conhecimento das características anatômicas, físicas e mecânicas da madeira é importante para entender o processo de formação desse material e para indicar seus usos finais. O conhecimento dessas características também pode contribuir para explicar o comportamento das árvores quando são sujeitas à ação de tempestades. Na região do Vale do Rio Doce, MG, plantações de *Eucalyptus* têm sido danificadas por tempestades. A tolerância das árvores às tempestades depende dos clones e da topografia onde são plantados. Assim, o objetivo deste trabalho foi comparar características de quatro clones de *Eucalyptus*, com dois anos de idade, plantados em duas posições topográficas diferentes (baixada e encosta) e sujeitos a tempestades. Foram selecionadas quatro árvores por clone e por posição topográfica. Foram avaliadas a morfologia e o ângulo microfibrilar das fibras; a densidade básica; as propriedades mecânicas da madeira e as tensões de crescimento das árvores. Os resultados obtidos permitiram constatar que existem diferenças estatísticas significativas das características estudadas entre os clones. Árvores plantadas em áreas de baixada, mais suscetíveis à ação das tempestades, normalmente produziram madeiras com maiores valores de comprimento, largura, diâmetro dos lumes e espessura da parede das fibras; menores ângulos das microfibrilas; menores valores de propriedades mecânicas; além de estarem associadas a menores tensões de crescimento. Análises de regressões revelaram que a tolerância dos clones às tempestades foi melhor estimada pela largura das fibras e pelas tensões de crescimento.

¹Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA e Lourival Marin Mendes – UFLA.

ABSTRACT

MELO, Vanete Maria de. **Variations of wood properties of *Eucalyptus* clones cultivated in different topographies and subjected to storms.** 2004. 104 p. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras².

The knowledge of the anatomical, physical and mechanical characteristics of wood is important to understand the process of formation of this material and to indicate its end-use. Additionally, the knowledge of these characteristics may contribute to explain the behaviour of the trees when under action of storms. At the region of the Vale do Rio Doce, Minas Gerais State, *Eucalyptus* plantations have been damaged by storms. The tolerance of the trees to the storms depends on both the clone and the topography where they are cultivated. Thus, the objective of this work was to compare characteristics of four two-years-old *Eucalyptus* clones, planted on two different topographies (slope and flat terrain) and subjected to storms. Four trees were selected per clone and per topography. The following characteristics were evaluated: the morphology and the angle of the microfibril of the fibres; the basic density and the mechanical properties of wood; the growth stresses of the trees. The obtained results have permitted to conclude that there are significant statistical differences of the studied characteristics amongst clones. Trees cultivated at the flat terrain, more susceptible to the action of storms, normally produced woods with higher values of fibre length, width, lumen diameter and wall thickness; small microfibril angles; small values of mechanical properties; beyond of presenting low growth stresses. Analyses of regression revealed that the tolerance of the clones to the storms was better estimated by the fibre width and by the growth stresses.

²Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Adviser) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA and Lourival Marin Mendes – UFLA.

ADAPTATION OF THE TREES OF *Eucalyptus* IN THEIR WOOD FACE TO ENVIRONMENTAL VARIATIONS

2 ABSTRACT

MELO, Vanete Maria de. **Adaptation of the trees of *Eucalyptus* in their wood face to environmental variations.** In: _____: Variations of wood properties of *Eucalyptus* clones cultivated in different topographies and subjected to storms. 2004. Cap. 1, p. 1-18. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras⁴.

At the region of Vale do Rio Doce, Minas Gerais State, there are reports on the occurrence of storms causing damages in the *Eucalyptus* trees, jeopardizing in different forms the development of some clones. It is important to identify both the characteristics of trees and wood of various clones and associate them with the behaviour of the trees face to the storms. These characteristics will be approached in various chapters of this work. The objective of this chapter was to present the problem of damage caused by storms in trees and to discuss their relationship with features of the environment and of wood. The general methodology employed in this work is also presented in this chapter.

⁴Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Supervisor) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA and Lourival Marin Mendes – UFLA.

CAPÍTULO 1

ADAPTAÇÕES DAS ÁRVORES DE *Eucalyptus* EM SEUS LENHOS FRENTE A VARIAÇÕES AMBIENTAIS

1 RESUMO

MELO, Vanete Maria de. **Adaptações das árvores de *Eucalyptus* em seus lenhos frente a variações ambientais.** In: _____: Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades. 2004. Cap. 1, p. 1-18. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras³.

Na região do Vale do Rio Doce (MG) existem relatos sobre a ocorrência de tempestades que causam danos nas árvores de *Eucalyptus*, prejudicando de forma diferenciada o desenvolvimento de alguns clones. É importante identificar as características das árvores e de suas madeiras em vários clones e associá-las com o comportamento das árvores frente a tempestades. Essas características serão abordadas em vários capítulos deste trabalho. O objetivo deste capítulo foi apresentar o problema dos danos causados por tempestades em árvores e discutir suas inter-relações com aspectos do ambiente e da madeira. A metodologia geral empregada no trabalho também é apresentada neste capítulo.

³Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA e Lourival Marin Mendes – UFLA.

ADAPTATION OF THE TREES OF *Eucalyptus* IN THEIR WOOD FACE TO ENVIRONMENTAL VARIATIONS

2 ABSTRACT

MELO, Vanete Maria de. Adaptation of the trees of *Eucalyptus* in their wood face to environmental variations. In: _____: Variations of wood properties of *Eucalyptus* clones cultivated in different topographies and subjected to storms. 2004. Cap. 1, p. 1-18. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras⁴.

At the region of Vale do Rio Doce, Minas Gerais State, there are reports on the occurrence of storms causing damages in the *Eucalyptus* trees, jeopardizing in different forms the development of some clones. It is important to identify both the characteristics of trees and wood of various clones and associate them with the behaviour of the trees face to the storms. These characteristics will be approached in various chapters of this work. The objective of this chapter was to present the problem of damage caused by storms in trees and to discuss their relationship with features of the environment and of wood. The general methodology employed in this work is also presented in this chapter.

⁴Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Supervisor) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA and Lourival Marin Mendes – UFLA.

3 INTRODUÇÃO GERAL

A qualidade de um povoamento florestal é resultado da combinação do genótipo das árvores, do ambiente, incluindo formas de manejo, assim como da interação entre esses fatores. Do ponto de vista comercial, uma vez identificados os melhores genótipos é importante considerar que sua performance na plantação vai depender da ação do ambiente e de sua interação com este. Em alguns casos os resultados finais são de difícil previsão. Este é o caso representado pela constituição das árvores, o que envolve as dimensões alcançadas, as formas adquiridas, as capacidades de sobrevivência e a qualidade da madeira produzida.

Na região do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, ocorrem tempestades típicas de verão que, segundo relatos, causam danos como tombamento, arrancamento, encurvamento e quebra das árvores de *Eucalyptus*, prejudicando irremediavelmente o desenvolvimento da plantação nas áreas atingidas. Aspectos dessa ocorrência podem ser verificados na Figura 1.1. Esse fenômeno é causado pelas micro-explosões de ventos, que são caracterizadas por correntes de ar descendentes, que podem produzir ventos devastadores.

Existem registros de danos causados por tempestades em plantios de *Eucalyptus* em várias regiões do Brasil, como no oeste e norte de Minas Gerais, sul da Bahia, Espírito Santo, Vale do Paraíba e oeste de São Paulo, além do já mencionado Vale do Rio Doce. Na empresa CENIBRA, estabelecida nesta região, os danos ocorridos representaram perdas de 55 ha no ano de 1991, de 62 ha em 1992, de 224 ha em 1996, de 144 ha em 1997, de 125 ha em 1998, de 40 ha em 1999, de 300 ha em 2000, de 1100 ha no ano de 2001 e de 420 ha em 2003.



FIGURA 1.1 Aspectos de duas áreas de encosta com árvores danificadas pela ação de tempestades.

Também tem sido observado que existem diferenças na tolerância à ação de tempestades entre clones de mesma idade e que árvores do mesmo clone quando plantadas em áreas de baixada, são mais suscetíveis aos danos do que quando plantadas em encosta. Entretanto, não se tem informação mais detalhada sobre essas diferenças, nem sobre suas causas. Sabe-se que fatores como inclinação do terreno e ventos climatológicos podem influenciar o desenvolvimento da árvore, formando lenho de reação ou promovendo o desenvolvimento de tensões de crescimento no caule. Também é importante considerar que a própria arquitetura da árvore, relacionada com a forma e as dimensões da copa, pode ser fator preponderante no seu comportamento mecânico.

Para o conhecimento do problema e para a proposição de alguma forma para reduzi-lo é importante que se investiguem as características das árvores e das madeiras produzidas, em termos de lenho de reação e de ocorrência de tensões de crescimento.

com ele relacionados. A metodologia geral empregada no trabalho também é apresentada neste capítulo.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 A formação da madeira

4.1.1 Crescimento da árvore

Segundo Burger & Richter (1991) o crescimento das árvores é devido à presença de tecidos designados meristemas, capazes de produzir novas células. A árvore cresce em altura mediante atividades do meristema apical, o qual é de origem embrionária. Por isso, é também, denominado de meristema primordial (Paula & Alves, 1997). O meristema apical representa uma porção ínfima da árvore e localiza-se no ápice do tronco e de ramos. Por meio de sucessivas divisões celulares, novas células são acrescentadas para baixo, enquanto o tecido meristemático vai sendo deslocado para cima (Burger & Richter, 1991).

É conhecido que o meristema cambial é responsável pela atividade do crescimento em espessura em caules e raízes de dicotiledôneas e gimnospermas (Metcalfe & Chalk, 1989).

Os dois meristemas, apical e cambial, estão intimamente unidos em um sistema fisiológico (Burger & Richter, 1991). Nas espécies lenhosas o crescimento secundário, responsável pela formação das camadas de crescimento, é bem diferenciado e marcante, quando comparado com o crescimento

Plomion, 2003). Lenho de tração é um problema para indústrias de madeira sólida devido ao aumento longitudinal, radial e tangencial da contração durante o processo de secagem (Boyd, 1977, 1980; Archer, 1986; Kubler, 1987; Grzeskowiak *et al.*, 1996, citados por Plomion, 2003).

O lenho de tração em *Eucalyptus* apresenta uma coloração mais escura que a da madeira normal (Higuchi, 1997). Em *Eucalyptus camaldulensis* o lenho de tração foi caracterizado por pequenos ângulos microfibrilares, presença de fibras gelatinosas, comprimento de fibra longo e redução na frequência de vasos (Baba *et al.*, 1996).

4.3 Tempestades

Os ventos são deslocamentos de ar no sentido horizontal, originários de gradientes de pressão (Pereira *et al.*, 2002). Os ventos podem ser geostróficos, ventos de gradiente e ventos ciclostroficos (Vianello & Alves, 1991)

O vento é um elemento do clima que influi diretamente no microclima de uma área, interferindo no crescimento de culturas e animais (Pereira *et al.*, 2002). Tanto agrônômica como ecologicamente, o vento tem efeitos favoráveis e desfavoráveis, dependendo da circunstância de sua ocorrência (Pereira *et al.*, 2002).

Entre os efeitos favoráveis da ação do vento pode-se destacar o auxílio na polinização, remoção de vapor d'água próximo às plantas, entre outros fatores (Pereira *et al.*, 2002).

As tempestades são de grande importância para explicar alguns dos problemas que ocorrem nas florestas, como quebra de árvores, causando grandes prejuízos para os produtores de madeira localizados em regiões afetadas. Estes problemas são aumentados conforme a velocidade em que essas tempestades ocorrem. Ventos intensos e contínuos resultam em danos mecânicos, anatômicos

Em árvores inclinadas de folhosas o gravitropismo negativo age de forma diferente das coníferas (Mattheck & Kubler, 1995). Segundo esses autores o lenho de tração desenvolve-se no lado superior de tais árvores. Esse lenho contrai e atua como uma corda puxando a árvore inclinada para a sua posição ereta (Mattheck & Kubler, 1995). As células do lenho de tração, que são sujeitas a tensões de tração, não são tão ricas em lignina como as madeiras de compressão, mas contêm mais celulose do que fibras normais. Uma camada livre de lignina chamada de camada gelatinosa forma a parede celular interna (Mattheck & Kubler, 1995). De acordo com Bailleres *et al.* (1995) ao contrário de muitas madeiras duras, o lenho de tração de espécies de *Eucalyptus* não é caracterizado por fibras gelatinosas. Ele pode, porém, ser caracterizado pelas tensões de crescimento.

O lenho de tração é caracterizado por alto conteúdo de celulose e baixo conteúdo de lignina, quando comparado com o lenho normal. Há poucos vasos e estes são pequenos em diâmetro (Morey, 1980). O lenho de tração pode ser reconhecido anatomicamente pela presença de fibras especiais, conhecidas como fibras gelatinosas, que contêm um espessamento anormal da camada da parede interna da célula (Dadswell & Wardrop, 1955; Saiki & Ono, 1971; citados por Prodhan *et al.*, 1995). As paredes dessas fibras podem ter duas ou três camadas, a gelatinosa é sempre a mais interna (Esau, 1974). Porém, mais de um tipo de fibra no lenho de tração pode estar presente em uma simples árvore como o resultado da transição de um lenho normal para o lenho de tração (Araki *et al.*, 1983, citados por Prodhan *et al.*, 1995).

A alta proporção de lenho de reação é considerada como o maior problema para diversas aplicações industriais. Lenho de compressão constitui um dos maiores defeitos na qualidade da madeira causando contração longitudinal, e em produtos de fibra diminuindo o rendimento de polpa (Boyd, 1977, 1980; Archer, 1986; Kubler, 1987; Grzeskowiak *et al.*, 1996, citados por

Plomion, 2003). Lenho de tração é um problema para indústrias de madeira sólida devido ao aumento longitudinal, radial e tangencial da contração durante o processo de secagem (Boyd, 1977, 1980; Archer, 1986; Kubler, 1987; Grzeskowiak *et al.*, 1996, citados por Plomion, 2003).

O lenho de tração em *Eucalyptus* apresenta uma coloração mais escura que a da madeira normal (Higuchi, 1997). Em *Eucalyptus camaldulensis* o lenho de tração foi caracterizado por pequenos ângulos microfibrilares, presença de fibras gelatinosas, comprimento de fibra longo e redução na frequência de vasos (Baba *et al.*, 1996).

4.3 Tempestades

Os ventos são deslocamentos de ar no sentido horizontal, originários de gradientes de pressão (Pereira *et al.*, 2002). Os ventos podem ser geostróficos, ventos de gradiente e ventos ciclostróficos (Vianello & Alves, 1991)

O vento é um elemento do clima que influi diretamente no microclima de uma área, interferindo no crescimento de culturas e animais (Pereira *et al.*, 2002). Tanto agrônômica como ecologicamente, o vento tem efeitos favoráveis e desfavoráveis, dependendo da circunstância de sua ocorrência (Pereira *et al.*, 2002).

Entre os efeitos favoráveis da ação do vento pode-se destacar o auxílio na polinização, remoção de vapor d'água próximo às plantas, entre outros fatores (Pereira *et al.*, 2002).

As tempestades são de grande importância para explicar alguns dos problemas que ocorrem nas florestas, como quebra de árvores, causando grandes prejuízos para os produtores de madeira localizados em regiões afetadas. Estes problemas são aumentados conforme a velocidade em que essas tempestades ocorrem. Ventos intensos e contínuos resultam em danos mecânicos, anatômicos

e fisiológicos, pois causam: deformação de plantas; desfolha por efeito mecânico do vento, reduzindo a área foliar fotossintetizante; entre outros efeitos (Pereira *et al.*, 2002).

O vento afeta o crescimento das plantas sob três aspectos: transpiração, absorção de CO₂ e o efeito mecânico sobre as folhas e ramos (Mota, 1989).

A árvore quando se curva na direção do vento ou perde seus galhos ou parte das folhas, o faz para reduzir a “área da vela”. A perda de galhos durante uma tempestade pode ser considerada como uma “válvula de segurança”, um mecanismo de proteção de ruptura do caule (Mattheck & Kubler, 1995). Normalmente as árvores sobrevivem desde que o caule não se quebre, diferentemente dos ramos, que para sua sobrevivência, podem ser perdidos. Por isso, de acordo com esses autores o fator de segurança (relação entre a carga de ruptura e a carga de serviço) de galhos está em torno de 4,0, enquanto o de caules está em torno de 4,5. Segundo Mattheck & Kubler (1995), maiores discrepâncias permitiriam que qualquer brisa privasse o tronco de seus ramos vitais.

Outra adaptação das árvores aos ventos ocorre através da formação da grã espiralada que reduz permanentemente o efeito de braço de alavanca, representado pelos galhos (Mattheck & Kubler, 1995).

Os ventos fortes podem se originar de pequenas micro-explosões de vento, que são caracterizadas por correntes de ar descendentes, quando os ventos estendem-se somente a quatro quilômetros ou menos (Micro-explosões..., 2003).

Apesar de ser bem pequena, uma micro-explosão intensa pode induzir ventos devastadores que atingem até 270 km/h. Micro-explosões são capazes de arrancar árvores e danificar severamente estruturas fracas (Micro-explosões..., 2003).

4.3.1 Tipos de danos em árvores causados por tempestades

Os tipos de danos às árvores mais freqüentes causados por tempestades, como encurvamentos, tombamentos, quebras e arrancamentos de árvores, respectivamente, podem ser observados na Figura 1.2.

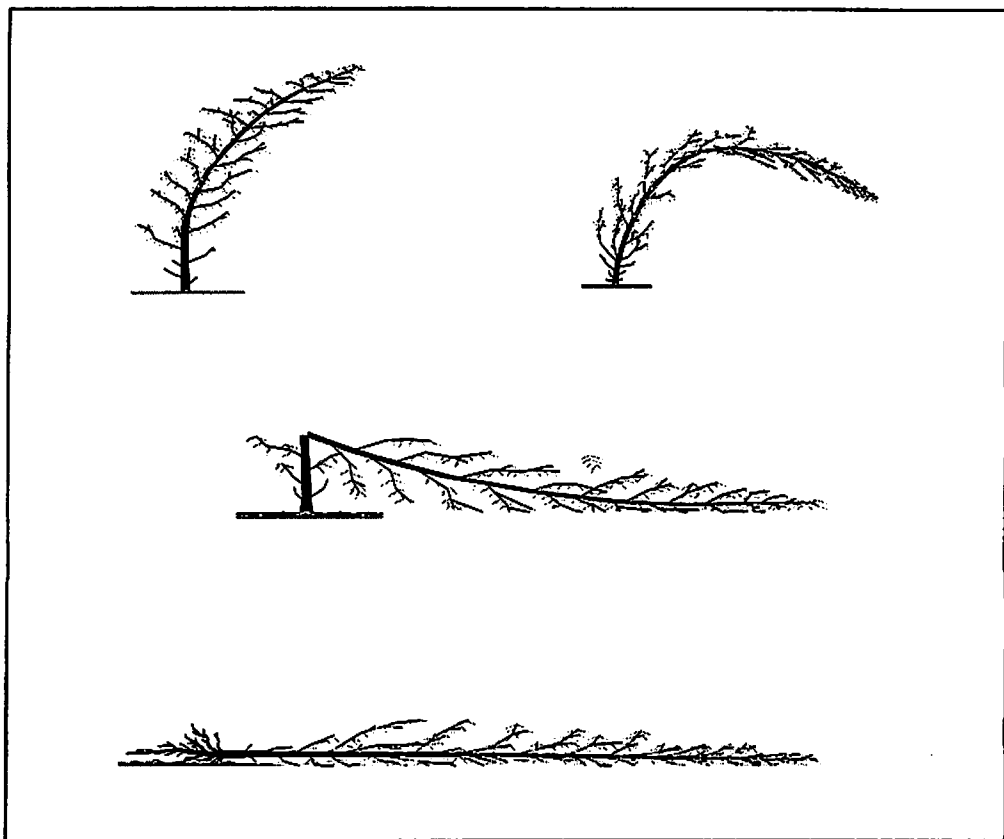


FIGURA 1.2 Tipos de danos às árvores causados por tempestades.

Fonte: CENIBRA (2002)

5 METODOLOGIA GERAL

5.1 Material genético

Neste trabalho foram utilizados quatro clones (os clones 57, 68, 111 que são híbridos de Rio Claro e o clone 1213, que é um híbrido urograndis) de *Eucalyptus*, com idade de 24 meses, plantados em locais de baixada e de encosta em espaçamento de 3,0 x 3,33 m. As alturas totais e os diâmetros médios das árvores utilizadas neste trabalho estão apresentados na Tabela 1.1.

TABELA 1.1 Altura total e diâmetro médio das árvores de *Eucalyptus* plantadas em baixada e em encosta.

| Clone | Topografia | Altura total (m) | Diâmetro (cm) |
|-------|------------|------------------|---------------|
| 57 | Baixada | 16,19 | 11,60 |
| 57 | Encosta | 16,91 | 11,05 |
| 68 | Baixada | 17,10 | 12,57 |
| 68 | Encosta | 15,56 | 10,13 |
| 111 | Baixada | 17,10 | 11,44 |
| 111 | Encosta | 15,01 | 9,94 |
| 1213 | Baixada | 16,36 | 11,53 |
| 1213 | Encosta | 17,33 | 9,95 |

Foram amostradas quatro árvores por clone e por local de plantio. As árvores foram selecionadas, entre aquelas eretas, sadias, sem bifurcação e fora de bordadura.

Nas árvores selecionadas foram medidas as deformações residuais longitudinais associadas às tensões de crescimento. O detalhamento sobre essa metodologia está apresentado no Capítulo 5. Depois de derrubadas, as árvores foram desgalhadas e tiveram suas alturas totais medidas. De cada árvore foi

removida uma tora contendo dez metros de comprimento a partir da base. A amostragem para o estudo das características da madeira dentro das árvores foi feita a cada metro, como pode ser observado na Figura 1.3.

Em cada torete de 1,0 m foram produzidas amostras para determinação da morfologia das fibras, da densidade básica e das propriedades mecânicas. As amostras foram extraídas nas posições norte, sul, leste e oeste ao redor do torete. Devido aos pequenos diâmetros dos toretes, não foi feita amostragem de madeira no sentido medula-casca. Mesmo assim, observou-se que as amostras eram cortadas preferencialmente em posição radial distante da medula. As metodologias para a determinação dessas características estão detalhadamente descritas nos Capítulos 2 e 4, respectivamente. Do segundo torete, representando a porção do caule entre 1,0 e 2,0 metros de altura foram retiradas amostras para medição do ângulo das microfibrilas, conforme metodologia descrita no Capítulo 3.

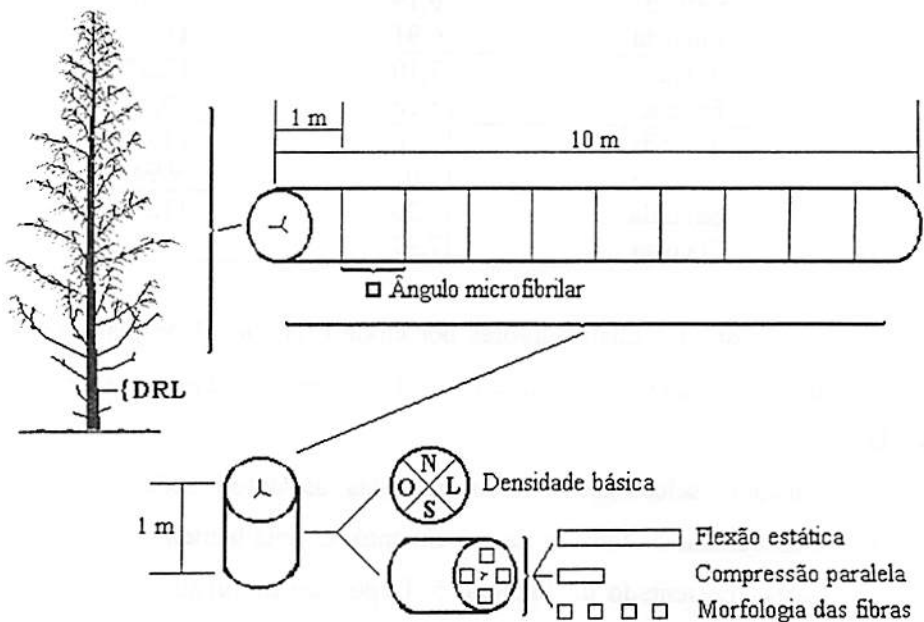


FIGURA 1.3 Amostragem para medição das características da madeira.

5.2 Local de instalação do experimento

O experimento foi instalado na Empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A. - CENIBRA, em locais de baixada e de encosta na região Vale do Rio Doce (MG), próxima ao município de Belo Oriente. A altitude nos locais de plantio varia de 230 a 500 m, a latitude é de 19°17' e a longitude é de 42°23'. O tipo de clima, de acordo com a classificação de Köppen é Aw, Tropical Chuvoso de Savana, com precipitação média anual de 1205 mm. A temperatura média é em torno de 25° C e a umidade relativa média anual é de 67,3%.

As baixadas são áreas de solos aluviais com alta fertilidade natural, que ocorrem ao longo dos cursos d'água, e também áreas de fundos de vales, que são aqueles solos de origem colúvio-aluvial. Estes locais geralmente apresentam uma declividade menor que 4%. Nas áreas de encosta os solos predominantes são Latossolos ou Cambissolos, com baixa fertilidade e possuem uma declividade maior que 10%.

5.3 Tolerância dos clones à ação de tempestades

Os danos nos clones causados pelas tempestades ocorrem predominantemente aos dois anos de idade, onde grandes áreas são afetadas. Neste estudo não foi determinada a velocidade do vento ou a época exata de ocorrência dos danos, embora genericamente pode-se afirmar que sejam mais frequentes nos meses compreendidos entre novembro e janeiro.

Para a caracterização do nível de tolerância das árvores aos danos causados pelas tempestades, cinco técnicos da CENIBRA S.A. avaliaram visualmente o comportamento dos clones, conferindo-lhes notas referentes aos seus comportamentos. Nessa avaliação a nota 100 refere-se à maior tolerância e a nota 50 à menor tolerância dos clones aos danos causados pelas tempestades.

O resultado dessa avaliação está apresentado na Tabela 1.2. O clone 129, listado nesta tabela não foi usado neste trabalho, mas como seu comportamento à ação das tempestades é bem conhecido, serviu como referência de alta tolerância.

TABELA 1.2 Níveis de tolerância dos clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta aos danos causados por tempestades.

| Clone | Topografia | Técnico 1 | Técnico 2 | Técnico 3 | Técnico 4 | Técnico 5 | Média |
|-------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 129 | Encosta | 98 | 90 | 100 | 95 | 90 | 95 |
| 129 | Baixada | 96 | 90 | 90 | 90 | 80 | 89 |
| 1213 | Encosta | 80 | 70 | 90 | 85 | 70 | 79 |
| 1213 | Baixada | 75 | 80 | 80 | 80 | 60 | 75 |
| 111 | Encosta | 80 | 90 | 90 | 95 | 70 | 85 |
| 111 | Baixada | 73 | 80 | 90 | 90 | 60 | 79 |
| 57 | Encosta | 68 | 60 | 80 | 70 | 70 | 70 |
| 57 | Baixada | 60 | 70 | 60 | 65 | 60 | 63 |
| 68 | Encosta | 60 | 60 | 60 | 55 | 50 | 57 |
| 68 | Baixada | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |

5.4 Cálculo do número de medições

A definição sobre o número de medições a serem efetuadas em cada uma das características anatômicas (dimensões das fibras) e ângulo das microfibrilas foi feita através de uma amostragem piloto e utilização da fórmula de intensidade amostral indicada para populações infinitas de acordo com Freese (1970), mostrada a seguir:

$$n = \frac{t^2 \times S^2}{d^2}$$

Sendo:

S^2 = variância da pré-amostra;

t = valor de tabela de distribuição “t”, de Student, tomado com n-1 graus de liberdade; ao nível de probabilidade pré fixado;

d = erro tolerável, expresso em % da média;

n = tamanho da amostra em uma população infinita.

Com um erro tolerável em torno da média e 90% de probabilidade, foram obtidas as intensidades amostrais para comprimento das fibras, largura das fibras, diâmetro do lume das fibras e ângulo das microfibrilas.

5.5 Análise estatística

As análises foram processadas pelo programa estatístico SAS® (Statistical Analysis System), empregando o procedimento GLM (Generalized Linear Model), de acordo com Dean & Voss (1999).

Neste caso, as variáveis respostas e os erros apresentam distribuição normal.

A análise foi feita com base no modelo estatístico descrito a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + C_{ij} + T_{ik} + (CT)_{ijk} + E_{ijk}$$

Onde:

Y_{ijk} : representa a variável resposta da i-ésima observação do j-ésimo clone e da k-ésima posição topográfica;

μ : representa a média geral;

C_{ij} : representa o efeito clone da i-ésima observação do j-ésimo clone, efeito fixo;

T_{ik} : representa o efeito posição topográfica da i-ésima observação na k-ésima posição topográfica, efeito fixo;

$(CT)_{ijk}$: representa a interação do efeito clone e do efeito posição topográfica da i -ésima observação do j -ésimo clone e na k -ésima posição topográfica, efeito fixo;

E_{ijk} : representa o erro experimental.

5.5.1 Análise de regressão

A análise de regressão foi realizada para verificar a relação funcional existente entre as dimensões das fibras (Capítulo 2), do ângulo das microfibrilas (Capítulo 3), da densidade básica e das propriedades mecânicas (Capítulo 4) e das tensões de crescimento (Capítulo 5) da madeira dos clones de *Eucalyptus* e a tolerância das árvores à ação das tempestades.

A análise de regressão foi feita utilizando o pacote estatístico MINITAB, versão 11.11, Minitab Inc. Minitab for Windows (1996).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BAILLERES, H.; CHANSON, B.; FOURNIER, M.; TOLLIER, M. T.; MONTIES, B. Wood structure, chemical-composition and growth strains in *Eucalyptus* clones. **Annales Des Sciences Forestieres**, v. 52, n. 2, p. 157-172, 1995.

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

DEAN, A.; VOSS, D. **Design and analysis of experiments**. New York: Springer-Verlag. 1999. 740 p.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. Tradução de Berta Lange de Morretes. São Paulo, Edgard Blücher, 1974. 293p.

FREESE, F. **Metodos estadisticos elementales para tecnicos forestales**. Servicio Forestal – Departamento de Agricultura de los EE. UU. de A. – Manual de Agricultura(nº 317). México: Publicidad Artística Litográfica, 1970. 102 p.

HIGUCHI, T. **Biochemistry and molecular biology of wood**. New York: Springer – Verlag, 1997. 362 p.

MATTHECK, C.; KUBLER, H. **Wood – The internal optimization of trees**. Springer, Berlin, 1995. 129 p.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: Wood Structure and conclusion of the general introduction**. 2. ed. V. 2. New York: Oxford, 1989. 297 p.

MICRO-EXPLOSÕES. Disponível em:
<http://www.brasgreco.com/weather/trovoadas/t_micro-explosoes.html>.
Acesso em 1 set. 2003.

MINITAB. Minitab for windows – release 11.11. Minitab Inc. 1996.

MOREY, P. R. **O crescimento das árvores.** Tradução de Maria de Fátima Domingos Aleixo Pereira. São Paulo: EPU/USP, 1980. 72p. (Temas de Biologia, v.19).

MOTA, F. S. da. **Meteorologia agrícola.** São Paulo: Nobel, 1989. 376 p.

PAULA, J. L. de; ALVES, J. L. de H. **Madeiras nativas: Anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso.** Brasília: Fundação Mokiti Okada, 1997. 543p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002, 478p.

PLOMION, C.; PIONNEAU, C.; BAILLÈRES, H. Analysis of protein expression along the normal to tension wood gradient in *Eucalyptus gunnii*. **Holzforschung.** Berlin, v.57, n.4, p. 353-358, 2003.

PRODHAN, A. K. M. A.; OHTANI, J.; FUNADA, R.; ABE, H.; FUKAZAWA, K. Ultrastructural investigation of tension wood fibre in *Fraxinus mandshurica* Rupr. Var. japonica Maxim. **Annals of Botany.** v. 75, p. 311-317, 1995.

PROHASKA, T.; STADLBAUER, C.; WIMMER, R.; STINGEDER, G.; LATKOCZY, Ch.; HOFFMANN, E.; STEPHANOWITZ, H. Investigation of element variability in tree rings of young Norway spruce by laser-ablation-ICPMS. **The Science of the Total Environment.** v. 219, p. 29-39, 1998.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa: Imprensa Universitária, 1991. 449 p.

CAPÍTULO 2

MORFOLOGIA DAS FIBRAS DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus* CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS E SUJEITOS A TEMPESTADES

1 RESUMO

MELO, Vanete Maria de. Morfologia das fibras da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades. In: _____. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades.** 2004. Cap. 2, p. 19-42. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.⁵

A morfologia das fibras da madeira é fator importante, pois está relacionada com as características físicas e os comportamentos mecânicos tanto da madeira como da árvore e pode auxiliar na identificação de possíveis usos finais desse material. Em árvores que quebram com a ação de tempestades o conhecimento sobre a morfologia das fibras pode auxiliar no entendimento desse evento. Assim, o objetivo deste capítulo foi avaliar as diferenças na morfologia das fibras de quatro clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta, de forma a contribuir para o entendimento do comportamento das árvores frente a tempestades. Foram produzidos macerados para a determinação do comprimento das fibras, da largura das fibras, do diâmetro do lume e da espessura da parede das fibras. Os resultados permitiram concluir que existe diferença nas dimensões das fibras produzidas pelos diferentes clones. De modo geral, o clone 68, o menos tolerante às tempestades, apresentou os maiores comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras. A suscetibilidade a danos provocados pelas tempestades parece estar associada a fibras mais largas e ocas.

⁵Comitê de Orientação: José Tarcisio Lima (Orientador) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA e Lourival Marin Mendes – UFLA.

MORPHOLOGY OF THE FIBRES OF WOOD OF *Eucalyptus* CLONES CULTIVATED ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES AND SUBJECTED TO STORMS

2 ABSTRACT

MELO, Vanete Maria de. Morphology of the fibres of wood of *Eucalyptus* clones cultivated on different topographies and subjected to storms. In: _____. **Variations of wood properties of *Eucalyptus* clones cultivated in different topographies and subjected to storms.** 2004. Chap. 2, p. 19-42. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.⁶

The morphology of the wood fibres is important feature, since it is related to the physical characteristics and mechanical behaviours both of wood and tree and also it can assist in the identification of possible end uses of this material. In trees that are broken under the action of storms the knowledge on the morphology of the fibres of wood can help to understand this event. Thus, the objective of this chapter was to evaluate the differences of the morphology of the fibres of four clones of *Eucalyptus* cultivated in slope and in flat terrain, in such way to contribute for the understanding of the behaviour of the trees face to storms. Macerated material were produced for determination of the fibre length, fibre width, lumen diameter and fibre wall thickness. The results allowed to conclude that difference exists in the dimensions of the fibres produced by the different clones. In general, clone 68, the less tolerant to the storms, presented the highest values of length, width, lumens diameter and fibre wall thickness. The susceptibility to damages caused by storms seems to be associated to more wide and hollow fibres.

⁶Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Adviser) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA and Lourival Marin Mendes – UFLA.

3 INTRODUÇÃO

As madeiras possuem em sua formação anatômica caracteres denominados fibras, os quais são importantes para a sustentação mecânica das folhosas.

O conhecimento sobre a morfologia das fibras é importante pois auxilia na interpretação do comportamento físico e mecânico da madeira, podendo ainda contribuir para a definição de seu uso final. Por exemplo, madeira com fibras mais espessas possui maior densidade básica e, conseqüentemente maior, resistência mecânica. A fibra, na produção de pasta e papel, também representa o tipo de célula mais importante, pois afeta suas propriedades (Koga, 1988).

As dimensões das fibras variam entre espécies, entre árvores e dentro de uma mesma árvore. Essas dimensões, tais como o comprimento da fibra, são controladas tanto geneticamente como pelas influências ambientais, a exemplo das geográficas ou topográficas (Metcalf & Chalk, 1989). Trabalho realizado com clones de *Eucalyptus* revelou que existe diferença significativa entre comprimento e espessura da parede celular das fibras entre clones, entre locais de plantio e entre posições radiais de amostragem dentro do tronco (Lima, 1999).

As árvores que crescem inclinadas, em terrenos inclinados ou com incidência de ventos dominantes formam um tipo especial de lenho, denominado lenho de reação. Existem evidências de diferenças nas dimensões das fibras entre lenho normal e lenho de reação (Panshin et al., 1964).

Panshin et al. (1964) relatam que entre os elementos anatômicos, as fibras são os que apresentam as principais diferenças estruturais entre lenho normal e de tração, embora sejam quase semelhantes nas dimensões totais. De acordo com esses autores, os comprimentos das fibras de lenho de tração variam

de levemente curtos a levemente longos em diferentes tipos de madeira. As seções transversais das fibras de lenho de tração não são diferentes no diâmetro daquelas em madeira normal adjacente, mas parecem com contornos levemente mais arredondados.

O objetivo deste capítulo foi avaliar as possíveis diferenças na morfologia das fibras entre quatro clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta, de forma a contribuir para o entendimento do comportamento das árvores frente à ação de tempestades.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Dimensões das fibras

As madeiras comerciais consistem praticamente de xilema secundário. Os tipos principais das células do xilema secundário são: traqueídeos, elementos de vaso, fibrotraqueídeos, fibras libriformes e células de parênquima (Esau, 1974).

Os elementos traqueais são as células mais especializadas do xilema e se relacionam com a condução da água e das substâncias nela dissolvidas (Esau, 1974). Têm paredes lignificadas com espessamento secundário e variedade de pontuações (Esau, 1974). Os traqueídeos e os elementos de vaso diferem entre si pelo fato de o traqueídeo ser uma célula não perfurada, ao passo que os elementos de vaso apresentam uma ou mais perfurações em cada extremidade (Esau, 1974).

As madeiras de coníferas consistem de 95% de traqueídeos que executam, algumas vezes, a função de condução de água e sustentação mecânica da árvore (Lichtenegger et al., 1999).

Em folhosas, o suporte mecânico é promovido por células chamadas de fibras, similares aos traqueídeos (Kopac & Sali, 2003). Sua proporção no volume total e a espessura de suas paredes influem na densidade, na intensidade de alteração volumétrica e nas propriedades mecânicas da madeira.

As fibras são células alongadas com paredes secundárias geralmente lignificadas. As paredes das fibras variam em espessura, mas são comumente mais espessas que as dos traqueídeos (Esau, 1974).

As fibras de folhosas são de dois tipos: fibrotraqueídeos e fibras libriformes. Os dois tipos são facilmente distinguíveis, porém as fibras libriformes possuem pontuações simples que são usualmente menores que as pontuações areoladas dos fibrotraqueídeos (Browning, 1963). Segundo o mesmo autor, as fibras libriformes geralmente têm um diâmetro menor e lume mais estreito.

Zobel & Jett (1995) relatam que existem numerosas propriedades da madeira com controle genético. Algumas destas, como o comprimento da célula, têm sido intensamente investigadas, inclusive para madeira de *Eucalyptus* (Brasil & Ferreira, 1979; Tomazello Filho, 1985; Shimoyama, 1990; Malan & Verryn, 1996; Trugilho et al., 1996; Lima, 1999).

As fibras de folhosas são curtas em relação aos traqueídeos, tornando-as úteis para certos produtos e indesejáveis para outros. O comprimento da fibra, por exemplo, é considerado como a característica mais importante (junto com a espessura da parede) para a alta qualidade da polpa mecânica em eucalipto (Campinhos & Cláudio da Silva, 1990, citados por Zobel & Jett, 1995). O comprimento das fibras está relacionado com a resistência mecânica da madeira

e também com a resistência do papel, onde fibras mais longas resultam em papel com maiores índices de resistência (Tomazello Filho, 1985).

A relação entre o comprimento da fibra e a resistência não é muito bem entendida, porém, sabe-se que o comprimento da célula é importante na determinação da resistência; ao contrário tem sido mostrado que um comprimento mínimo da célula é necessário para assegurar uma sobreposição da célula, acima e abaixo dela, para transferir a tensão de uma célula para a próxima (Desch & Dinwoodie, 1993).

Jorge et al. (2000), estudando a variabilidade do comprimento da fibra em madeira de *Eucalyptus globulus*, encontraram comprimentos médios das fibras na madeira de 0,97 mm. O comprimento da fibra em madeira aumenta significativamente da medula para a casca em todos os níveis de altura.

Hamza (1999), estudando algumas propriedades anatômicas de *Eucalyptus* plantados em Ruvu (Tanzânia), aos 17 anos de idade, encontrou que o comprimento da fibra foi de 0,96, 0,94 e 1,09 mm para *E. camaldulensis*, *E. citriodora* e *E. paniculata*, respectivamente.

A espessura da parede das fibras está intimamente relacionada com a densidade da madeira e as variações na espessura da parede entre e dentro das árvores são similares ao padrão de variação da densidade (Malan, 1995).

Em *Eucalyptus*, aspectos da morfologia da fibra, como diâmetro da fibra, afetam o processamento da madeira para fabricação de papel (Amidon, 1981) para produtos compostos e para produtos de madeira preservada (Hudson et al., 1998).

Em geral a resistência da madeira está relacionada com a porcentagem de fibras presentes, entretanto a proporção da parede celular em fibras individuais pode exercer influência mais significativa sobre aquela característica (Metcalf & Chalk, 1989).

O diâmetro das células pode desempenhar um importante papel na qualidade da madeira, como mostrado para carvalho por Zhang & Zhong (1992), citados por Zobel & Jett (1995). Os autores relataram que tanto a contração radial quanto a tangencial em carvalho foram relacionadas com diâmetro das fibras. A espessura da parede das fibras e seu efeito sobre a polpa e papel de eucalipto foram discutidos por Campinhos & Cláudio-da-Silva (1990), citados por Zobel & Jett (1995). Como é bem conhecido, as fibras de madeiras de alta densidade com paredes espessas têm uma baixa flexibilidade e são mais resistentes ao acomodamento durante a fabricação do papel. Muitos fabricantes de papel consideram que a propriedade da madeira mais importante é o número de fibras por grama, essencialmente um reflexo do diâmetro da célula, o qual, entretanto, muda devido a variações no comprimento da mesma (Zobel & Jett, 1995).

A espessura da parede da fibra encontrada por Hamza (1999), estudando algumas propriedades anatômicas da madeira de *Eucalyptus*, plantados em Ruvu (Tanzânia), aos 17 anos de idade, foi de 4,93, 4,80 e 5,88 μm , e o diâmetro do lume da fibra foi de 5,58, 5,39 e 4,47 μm para *E. camaldulensis*, *E. citriodora* e *E. paniculata*, respectivamente.

O diâmetro do lume indica o tamanho das cavidades das fibras. Uma inferência direta e óbvia é que quanto maior o diâmetro do lume, menor será a densidade da madeira (Lima, 1999). Ainda segundo este autor, a espessura da parede e o diâmetro da fibra são as características que freqüentemente têm mais relação com a densidade e com as propriedades mecânicas da madeira.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Seleção do material

Foram selecionados quatro clones plantados em área de baixada e de encosta, sendo amostradas quatro árvores por clone e por local de plantio. Os caules das árvores foram cortados em comprimento de 10 metros e divididos em toretes de um metro cada.

5.2 Preparação do material

Em cada posição longitudinal foram cortados quatro blocos de 1cm^3 , nas posições norte, sul, leste e oeste. Devido aos pequenos diâmetros dos toretes, não foi feita amostragem de madeira no sentido medula-casca. Mesmo assim, observou-se que as amostras eram cortadas preferencialmente em posição radial distante da medula. Dos blocos foram cortados pequenos palitos de 3 cm de comprimento, os quais formaram uma amostra composta para cada posição longitudinal. Esse material foi macerado da seguinte forma: os palitinhos foram colocados em tubo de ensaio com solução de ácido nítrico p.a. (64-66%) e ácido acético glacial, na proporção de 1: 2, em quantidade necessária para cobrir todo o material. O tubo de ensaio foi aquecido em banho-maria a $90-95\text{ }^{\circ}\text{C}$, deixando o material reagir até que os palitinhos fossem branqueados e dissociados em fibras individuais quando levemente agitados. O tempo necessário para a maceração foi em torno de 60 minutos. Após a maceração as fibras foram lavadas com água corrente para a remoção dos produtos químicos e montagem das lâminas para medição das dimensões das fibras.

5.3 Medição das dimensões das fibras

Foram medidos os comprimentos das fibras (CF), a largura das fibras (LF) e o diâmetro do lume (DL). A espessura da parede das fibras (EP) foi determinada pela fórmula a seguir:

$$EP = \frac{(LF - DL)}{2}$$

As dimensões das fibras foram medidas utilizando-se lâminas provisórias, no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, com o auxílio de um sistema de análise de imagem.

A definição sobre o número de medições a serem efetuadas em cada uma das características anatômicas foi feita através da metodologia de Freese (1970) descrita no Capítulo 1.

Como resultado dessa análise, para cada posição longitudinal do caule de 10 m foram feitas 10 medições para comprimento de fibra e 30 medições para largura das fibras e diâmetro do lume, para posterior cálculo da espessura da parede. Dessa forma, para o cálculo da dimensão média por árvore foram feitas 100 medições de comprimento de fibra, 300 medições de largura das fibras e 300 medições de diâmetro do lume das fibras.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2.1 os comprimentos das fibras, as larguras das fibras, os diâmetros dos lumes e as espessuras das paredes das fibras da madeira de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta são apresentados por clone. As médias entre as dimensões das fibras da madeira das árvores plantadas em baixada e em encosta também são apresentadas nesta tabela.

TABELA 2.1 Valores médios do comprimento das fibras (CF, mm), largura das fibras (LF, μm), diâmetro do lume das fibras (DL, μm), espessura da parede das fibras (EP, μm) e médias (M) das dimensões das fibras da madeira das árvores plantadas em baixada (B) e em encosta (E) dos clones de *Eucalyptus*.

| Clone | CF | | | LF | | | DL | | | EP | | |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | B | E | M | B | E | M | B | E | M | B | E | M |
| 57 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 16,22 | 17,17 | 16,70 | 8,32 | 9,34 | 8,83 | 3,95 | 3,92 | 3,94 |
| 68 | 1,10 | 1,07 | 1,09 | 19,85 | 18,69 | 19,27 | 11,6 | 10,68 | 11,16 | 4,11 | 4,00 | 4,06 |
| 111 | 1,07 | 1,03 | 1,05 | 16,13 | 15,82 | 15,97 | 9,12 | 7,98 | 8,55 | 3,54 | 3,92 | 3,73 |
| 1213 | 1,07 | 1,05 | 1,06 | 15,80 | 16,49 | 16,14 | 7,26 | 8,81 | 8,03 | 4,25 | 3,80 | 4,02 |
| Média | 1,06 | 1,04 | 1,05 | 17,00 | 17,04 | 17,02 | 9,08 | 9,20 | 9,14 | 3,96 | 3,91 | 3,94 |
| CV | 4,46 | 2,88 | 3,56 | 11,23 | 7,21 | 9,0 | 20,36 | 12,31 | 15,15 | 7,75 | 2,11 | 3, |

CV: Coeficiente de variação (%)

As dimensões médias das fibras encontradas neste trabalho foram semelhantes às encontradas por vários autores (Tomazello Filho, 1985; Lima, 1999; Silva, 2002 e Mori, 2003), porém nenhum deles trabalhou com madeira de *Eucalyptus* com dois anos de idade. Se os resultados aqui encontrados forem comparados com os obtidos por Lima (1999) na região interna da tora, quando a madeira foi formada por árvores jovens, os valores de dimensões das fibras são mais semelhantes. Apenas as dimensões das fibras medidas por Silva (2002) foram nitidamente maiores do que as dimensões encontradas neste trabalho para *Eucalyptus*, porém a idade era bem inferior.

Os comprimentos médios das fibras variaram de 1,00 mm a 1,09 mm (Tabela 2.1). Tomazello Filho (1985), pesquisando *Eucalyptus grandis* com idade de 10 anos, no sentido radial, obteve comprimento das fibras com uma variação de 0,68 (medula) a 1,32 mm (casca), maior que a aqui encontrada. O comprimento das fibras apresentado por Lima (1999) estudando a região interna

da tora de 11 clones de *Eucalyptus* com oito anos de idade variou de 0,91 a 0,98 mm, porém obteve-se uma amplitude menor (0,07). Para *Eucalyptus grandis* com idade de 24 anos e 3 meses, Silva (2002) obteve comprimentos médios de 1,13 mm; com clones de *Eucalyptus* com idades de 7,5 a 13,5 anos, Mori (2003) encontrou valores entre 0,88 e 1,09 mm.

O clone 68 apresentou maior comprimento das fibras nas árvores plantadas em baixada do que nas plantadas em encosta, sendo que este é o clone mais suscetível aos danos causados pelas tempestades (Tabela 2.1). O menor comprimento das fibras apresentado pelo clone 1213 para as árvores plantadas em encosta pode estar contribuindo para uma maior resistência à ação das tempestades (Tabela 2.1).

A largura média das fibras variou de 15,97 a 19,27 μm (Tabela 2.1). A largura encontrada por Tomazello Filho (1985) variou de 19,3 a 24,1 μm , sendo, portanto, maior que a deste trabalho, possivelmente devido à idade da árvore e também ao sistema de amostragem ao longo do tronco. As larguras das fibras apresentadas por Lima (1999) variaram de 16,68 a 19,28 μm , enquanto a largura média encontrada por Silva (2002) foi 18,73 μm e a largura das fibras obtida por Mori (2003) variou de 14,1 a 19,6 μm . Os valores da Tabela 2.1 foram próximos aos dos autores citados.

O diâmetro médio do lume das fibras variou de 8,03 a 11,16 μm (Tabela 2.1). O diâmetro apresentado por Tomazello Filho (1985) variou de 10,0 a 12,0 μm . Os valores obtidos por Lima (1999) variaram de 9,8 a 12,4 μm . A média obtida por Silva (2002) foi de 10,37 μm e Mori (2003) encontrou diâmetros variando de 7,9 a 10,2 μm .

A espessura média da parede apresentada na Tabela 2.1 variou de 3,73 a 4,06 μm . Tomazello Filho (1985) observou fibras mais espessas, variando de 4,6 a 6,0 μm . Os valores para espessura da parede encontrados por Lima (1999)

variaram de 3,2 a 3,5 μm . A espessura média encontrada por Silva (2002) foi de 4,2 μm . Os valores obtidos por Mori (2003) variaram de 3,3 a 5,1 μm . A variação em espessura da parede foi menor que a de outros autores, exceto Lima (1999).

Analisando-se a Tabela 2.1, pode-se observar que o clone 68 apresentou maiores comprimentos das fibras, largura das fibras, diâmetro do lume e espessura da parede, sendo este um clone muito suscetível a danos pela ação de tempestades. Estes valores podem estar contribuindo para uma menor resistência mecânica das árvores, facilitando a ocorrência de danos causados por tempestades. É possível que o ganho em resistência proporcionado por fibras mais longas e espessas seja superado pela redução dessa resistência causada por maiores diâmetros do lume e larguras das fibras.

De acordo com Lima (1999), a resistência à compressão aumenta significativamente com o aumento da espessura da parede e diminui com o aumento do diâmetro do lume.

Com base em relatos sobre tolerância das árvores à ação de tempestades, analisando a Tabela 2.1 pôde-se observar que o comprimento das fibras da madeira dos clones plantados na encosta tende a diminuir à medida que diminui a tolerância das árvores à ação das tempestades, exceto o clone 68, o qual apresentou os maiores valores de comprimento das fibras. A largura das fibras e o diâmetro do lume em geral são maiores nas árvores mais suscetíveis aos danos causados pelas tempestades, diminuindo à medida que aumenta o nível de tolerância.

O resumo da análise de variância entre os clones e entre as topografias para as características anatômicas da madeira de clones de *Eucalyptus* é apresentado na Tabela 2.2.

TABELA 2.2 Resumo dos resultados da análise de variância do comprimento das fibras (CF), largura das (LF), diâmetro do lume das fibras (DL) e espessura da parede das fibras (EP) entre clones e entre topografias da madeira de *Eucalyptus*. [g.l. clone = 3; g.l. topografia = 1; g.l. clone x topografia = 3].

| Dimensões das fibras | Probabilidade | | |
|----------------------|---------------|------------|--------------------|
| | Clone | Topografia | Clone x Topografia |
| CF | *** | *** | *** |
| LF | *** | ns | *** |
| DL | *** | ns | *** |
| EP | *** | *** | *** |

Onde: *** - significância a 1% de probabilidade; ns – não significativo.

Através da significância pode-se observar que as dimensões das fibras variam significativamente entre clones (Tabela 2.2).

A comparação das características anatômicas através da análise de variância entre os clones é apresentada na Tabela 2.3. A comparação do comprimento das fibras, da largura das fibras, do diâmetro do lume e da espessura da parede das fibras da madeira de um clone com qualquer um dos outros foi estatisticamente diferente a 1% de probabilidade (Tabela 2.3). Comparando-se o comprimento das fibras dos clones 111 e 1213, eles não diferem a 1% de probabilidade. Para largura das fibras não houve diferença significativa entre os clones a 1% de probabilidade. Analisando a espessura da parede dos clones 68 e 1213, pode-se constatar que eles não apresentam diferença estatística significativa entre si (Tabela 2.3).

Como o resultado da análise da interação clone x topografia apresentado na Tabela 2.2 foi significativo, optou-se por avaliar o efeito de clone em baixada e em encosta (Tabelas 2.4 e 2.5).

TABELA 2.3 Comparação entre clones de *Eucalyptus* do comprimento das fibras, largura das fibras, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras.

| Comprimento das fibras | | | | |
|-------------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|
| Clones | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | <0,0001 | | 0,0824 |
| Largura das fibras | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | <0,0001 | | 0,0331 |
| Diâmetro do lume | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | 0,0005 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | 0,0005 | <0,0001 | | <0,0001 |
| Espessura da parede | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | 0,0005 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | 0,2264 |
| 111 | <0,0001 | <0,0001 | | <0,0001 |

Analisando a interação clone x topografia (Tabela 2.4) para os clones plantados em baixada pode-se observar que apenas os clones 111 e 1213, quando comparados, não possuem diferença significativa no comprimento das fibras. Os demais clones apresentaram diferença significativa a 1% de probabilidade. Os clones 57 e 111, quando comparados, não apresentaram diferença significativa na largura das fibras. Os demais clones apresentaram diferença significativa a 1% de probabilidade.



TABELA 2.4 Comparação das características dimensionais das fibras entre os clones de *Eucalyptus* plantados em baixada.

| Comprimento das fibras | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Clones | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | 0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | <0,0001 | | 0,9200 |
| Largura das fibras | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | 0,3948 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | 0,3948 | <0,0001 | | 0,0030 |
| Diâmetro do lume | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | <0,0001 | | <0,0001 |
| Espessura da parede | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | <0,0001 | | <0,0001 |

Através da Tabela 2.4 pode-se observar que o diâmetro do lume e a espessura da parede das fibras dos clones plantados em baixada apresentaram diferença significativa entre os clones a 1% de probabilidade. A semelhança estatística observada entre os comprimentos de fibras dos clones 111 e 1213, quando plantados em baixada, é também observada pela semelhança nos níveis de tolerância desses dois clones à ação das tempestades (Tabela 1.2). Apesar de os clones 111 e 1213, plantados em baixada, apresentarem diferença significativa na largura das fibras, no diâmetro do lume e na espessura da parede, essa diferença não foi acompanhada pelo ranqueamento das tolerâncias

desses clones à ação das tempestades (Tabela 1.2). Entretanto, semelhanças observadas para largura das fibras entre os clones 57 e 111 (Tabela 2.4) não foram acompanhadas por semelhanças nos níveis de tolerância desses clones às tempestades. As diferenças significativas apresentadas pelos demais clones e pelas outras características podem ser associadas às diferenças que resultaram no ranqueamento das tolerâncias dos clones às tempestades (Tabela 1.2).

Analisando a interação clone x topografia (Tabela 2.5) para os clones plantados em encosta pode-se observar que o clone 1213, quando comparado com o 68 e com o 111, não apresentou diferença significativa no comprimento das fibras a 1 % de probabilidade. Os demais clones, quando comparados entre si, apresentaram diferença significativa a 1% de probabilidade. Através da mesma tabela pode-se observar que a largura das fibras e o diâmetro do lume das fibras dos clones plantados em encosta apresentaram diferença significativa entre os clones a 1% de probabilidade (Tabela 2.5). Os clones 57 e 111, quando comparados com o clone 68, não apresentaram diferença significativa na espessura da parede das fibras a 1% de probabilidade. Não houve diferença significativa na espessura da parede das fibras dos clones 57 e 111 plantados em encosta. As demais combinações de clones foram diferentes a 1% de probabilidade. Apesar de os clones 111 e 1213, plantados em encosta, apresentarem diferença significativa para todas as características, essa diferença não foi acompanhada pelo ranqueamento das tolerâncias desses clones à ação das tempestades (Tabela 1.2). Para as árvores plantadas em encosta a semelhança estatística existente entre as espessuras das paredes das fibras dos clones 57 e 111 não foi acompanhada pelo ranqueamento das tolerâncias desses clones aos danos causados por tempestades (Tabela 1.2).

As diferenças significativas apresentadas pelos demais clones e pelas outras características correspondem ao ranqueamento das tolerâncias dos clones

às tempestades (Tabela 1.2). Entretanto não foi feita análise estatística para verificar as diferenças entre as tolerâncias dos clones.

TABELA 2.5 Comparação das características dimensionais das fibras entre os clones de *Eucalyptus* plantados em encosta.

| Comprimento das fibras | | | | |
|-------------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|
| Clones | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | 0,0038 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | 0,0291 |
| 111 | 0,0038 | <0,0001 | | 0,0196 |
| Largura das fibras | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | <0,0001 | | <0,0001 |
| Diâmetro do lume | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | <0,0001 | | <0,0001 |
| Espessura da parede | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | 0,0219 | 0,8277 | 0,0018 |
| 68 | 0,0219 | | 0,0239 | <0,0001 |
| 111 | 0,8277 | 0,0239 | | 0,0003 |

Na Tabela 2.6 a significância do comprimento das fibras, a largura das fibras, o diâmetro do lume e a espessura da parede entre os clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta são apresentados.

TABELA 2.6 Significância do comprimento das fibras (CF), largura das fibras (LF), diâmetro do lume das fibras (DL) e espessura da parede das fibras (EP) entre os clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta. [g.l. posição topográfica= 1; g.l. CF= 2981; g.l. = 8962; g.l. DL= 8962; g.l. EP= 8962].

| Clone | CF | LF | DL | EP |
|-------|-----|-----|-----|-----|
| 57 | ns | *** | *** | ns |
| 68 | *** | *** | *** | *** |
| 111 | *** | *** | *** | *** |
| 1213 | ** | *** | *** | *** |

Em que: *** - significância a 1% de probabilidade; ** - significância a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

Uma análise da Tabela 2.6 permite constatar que o clone 57 não apresentou diferença significativa entre o comprimento das fibras das madeiras produzidas em baixada e em encosta. O comprimento das fibras difere significativamente entre os clones plantados em baixada e em encosta para os clones 68 e 111, a 1% de probabilidade. Para o clone 1213 esta significância foi a 5% de probabilidade. A largura das fibras e o diâmetro do lume diferem significativamente entre as árvores plantadas em baixada e em encosta para todos os clones a 1% de probabilidade. O clone 57 não apresentou diferença significativa na espessura da parede das fibras da madeira das árvores plantadas em baixada daquelas plantadas em encosta. Para os demais clones a espessura da parede difere significativamente nas árvores plantadas em baixada e em encosta a 1% de probabilidade.

6.1 Relação funcional entre as dimensões das fibras e a tolerância das árvores às tempestades

A Tabela 2.7 apresenta as equações ajustadas entre as dimensões das fibras em função da tolerância dos clones à ação das tempestades, além dos coeficientes de determinação (r^2), significância da regressão e o erro padrão.

TABELA 2.7 Equações ajustadas, coeficientes de determinação, significância da regressão e erro padrão.

| Equação | r^2 | F | $S_{y,x}$ |
|-------------------------------------|-------|-----------|-----------|
| $T = 159,0197 - 85,2217 \text{ CF}$ | 7,2 | 0,46 ns | 12,6213 |
| $T = 169,9756 - 25,4622 \text{ EP}$ | 19,5 | 1,45 ns | 11,7557 |
| $T = 130,2005 - 6,61474 \text{ DL}$ | 60,0 | 9,01 ** | 8,2812 |
| $T = 190,3912 - 7,08768 \text{ LF}$ | 75,4 | 18,44 *** | 6,4907 |

Onde: T: tolerância às tempestades; r^2 : coeficiente de determinação (%); $S_{y,x}$: erro padrão; ns: não significativo estatisticamente; **: significativo estatisticamente a 5% de probabilidade; ***: significativo estatisticamente a 1% de probabilidade; CF: comprimento das fibras; EP: espessura da parede das fibras; DL: diâmetro do lume; LF: largura das fibras.

As Figuras 2.1 e 2.2 apresentam a análise de regressão do nível de tolerância dos clones à ação das tempestades em função do diâmetro do lume (μm) e da largura das fibras (μm).

Não foi possível encontrar uma relação linear significativa entre os valores de comprimento das fibras e espessura da parede das fibras da madeira dos clones e seus níveis de tolerância à ação das tempestades.

A relação existente entre a tolerância das árvores (T) com o diâmetro do lume (DL) e com a largura das fibras (LF) pode ser explicada por equações lineares (Figuras 2.1 e 2.2). Observa-se, nessas figuras, que a tolerância diminui à medida que o diâmetro do lume e a largura das fibras aumentam.

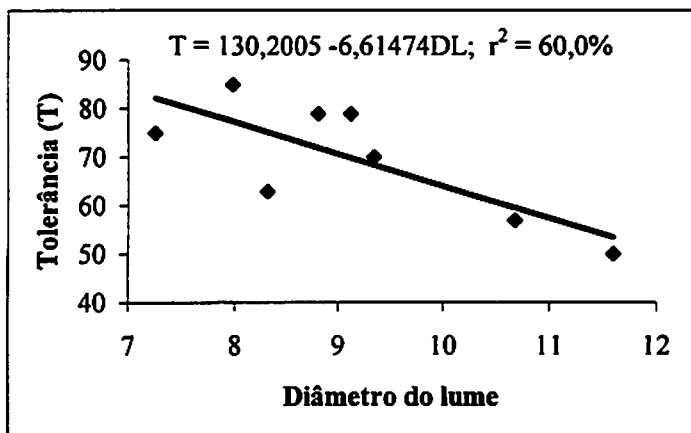


FIGURA 2.1 Análise de regressão do nível de tolerância aos danos causados pelas tempestades em função do diâmetro do lume das fibras.

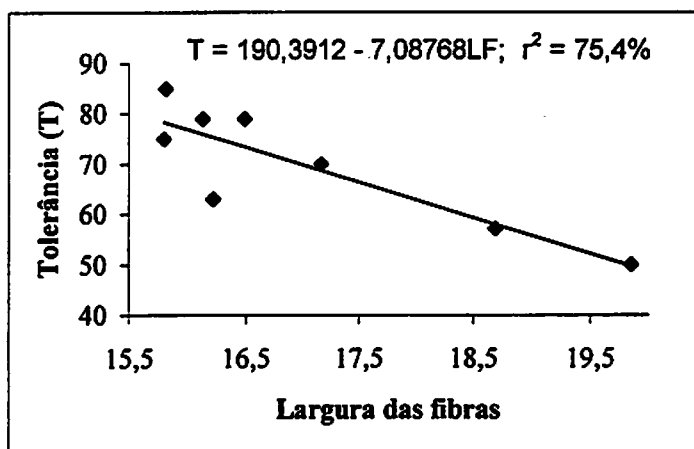


FIGURA 2.2 Análise de regressão do nível de tolerância aos danos causados pelas tempestades em função da largura das fibras.

7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pôde-se concluir que:

- o comprimento médio das fibras variou de 1,00 mm a 1,09 mm; a largura média das fibras variou de 15,97 a 19,27 μm ; o diâmetro médio do lume das fibras variou de 8,03 a 11,16 μm e a espessura média da parede variou de 3,73 a 4,06 μm ;
- as dimensões das fibras (comprimento das fibras, largura das fibras, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras) variam significativamente, a 1% de probabilidade, entre clones pela Análise de Variância;
- o comprimento das fibras (exceto para o clone 57) e a espessura da parede celular (exceto para o clone 111) foram maiores nas madeiras produzidas em baixada do que nas madeiras produzidas em encosta;
- em geral, árvores consideradas mais tolerantes à ação das tempestades produzem fibras mais longas, mais finas e com lumes mais estreitos. Entretanto, apenas a largura das fibras e o diâmetro do lume das fibras se correlacionaram significativamente com a tolerância das árvores.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMIDON, T. E. Effect of the wood properties of hardwoods on kraft paper properties. **TAPPI**, Atlanta, v. 64, n. 2, p. 123-126, Feb. 1981.
- BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Características das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill (ex-Maiden), aos 3 anos de idade. **IPEF**, Piracicaba, v. 19, p. 80-97, 1979.
- BROWNING, B. L. (Ed.) **The chemistry of wood**. Malabar: John Wiley, 1963. 689 p.
- DESCH, H. E.; DINWOODIE, J. M. **Timber its structure, properties and utilization**. 6. ed. London: Mc Millan, 1993. 410 p.
- ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. Tradução de Berta Lange de Morretes. São Paulo: Edgard Blücher, 1974. 293 p.
- FREESE, F. **Metodos estadisticos elementales para tecnicos forestales**. Servicio Forestal – Departamento de Agricultura de los EE. UU. de A. – Manual de Agricultura (nº 317). México: Publicidad Artística Litográfica, 1970. 102 p.
- HAMZA, K. F. S. Basic density and some anatomical properties of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhr., *E. citriodora* Hook, and *E. paniculata* Sm grown at Ruvu, Tanzania. **Annals of Forestry**, v. 7, n. 2, p. 221-226, 1999.
- HUDOSN, I.; WILSON, L.; VAN BEVEREN, K. Vessel and fibre property variaion in *Eucalyptus globules* and *Eucalyptus nitens*: some preliminary results. **IAWA Journal**, Leiden, v. 19, n. 2, p. 111-130, 1998.
- JORGE, F.; QUILHO, T.; PEREIRA, H. Variability of fibre length in wood and bark in *Eucalyptus globulos*. **IAWA Journal**, Leiden, v. 21, n. 1, p. 41-48, 2000.
- KOGA, M. E. T. Matérias primas fibrosas. In: D'ALMEIDA, M. L. O. (Coord.) **Celulose e papel**. IPT, 1988. v. 1, cap. 2, p. 15-44.
- KOPAC, J.; SALI, S. Wood: an important material in manufacturing technology. **Journal of Materials Processing Technology**, Lausanne, v. 133, n. 1/2, p. 134-142, Feb. 2003.

LICHTENEGGER, H.; REITERER, A.; STANZL-TSCHEGG, S. E.; FRATZL, P. variation of cellulose microfibril angles in softwoods and hardwoods – a possible strategy of mechanical optimization. **Journal of Structural Biology**, San Diego, v. 128, n. 3, p. 257-269, Dec. 1999.

LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. 1999. 276 p. Dissertação (Doutorado) - University of Wales, Bangor.

MALAN, F. A. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT, 1995. p. 1-19.

MALAN, F. S.; VERRYIN, S. D. Effect of genotype-by-environment interaction on the wood properties and qualities of four-year-old *Eucalyptus grandis* and *E. grandis* hybrids. **Southern African Forestry Journal**, Pretoria, v. 176, p. 47-53, 1996.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: wood structure and conclusion of the general introduction**. 2. ed. New York: Oxford, 1989. v. 2, 297 p.

MORI, C. L. S. de O. **Variabilidade de cores em madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp.** 2003. 64 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C.; BROWN, H. P. **Textbook of wood technology**. 2. ed. [S. l.: S. n.], 1964. v. 1, 643 p.

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

SILVA, J. R. M da. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden.** 2002. 179 p. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

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, abr. 1985.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Cerne*, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. *Genetics of wood production*. New York: Springer-Verlag, 1995. 337 p.

CAPÍTULO 3

ÂNGULO MICROFIBRILAR DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus* CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS E SUJEITOS A TEMPESTADES

MELO, Vanete Maria de. Ângulo microfibrilar da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades. In: _____. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades.** 2004. Cap. 3 p. 43-62. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.⁷

1 RESUMO

O ângulo das microfibrilas é uma característica importante para a definição de várias propriedades da madeira. Existem evidências de que madeiras formadas em terrenos inclinados desenvolvem ângulos microfibrilares diferentes daqueles formados por árvores que crescem em terrenos planos. Assim, o objetivo deste capítulo foi avaliar o ângulo microfibrilar da parede celular de fibras de madeiras de quatro clones de *Eucalyptus* plantados em baixadas e em encostas, de forma a contribuir para o entendimento do comportamento das árvores frente a tempestades. Foram produzidos cortes tangenciais da madeira no micrótomo para a posterior medição dos ângulos em microscópio de luz polarizada. Os resultados obtidos permitiram concluir que existe diferença estatística nos ângulos das microfibrilas das madeiras produzidas pelos diferentes clones; em geral, os ângulos das microfibrilas foram maiores nas madeiras produzidas em baixada do que na encosta. Esta pode ser uma evidência da ocorrência de lenho de tração.

⁷Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA e Lourival Marin Mendes – UFLA.

MICROFIBRIL ANGLE OF *Eucalyptus* CLONES WOOD CULTIVATED ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES AND SUBJECTED TO STORMS

2 ABSTRACT

MELO, Vanete Maria de. Microfibril angle of *Eucalyptus* clones wood cultivated on different topographies and subjected to storms. In: _____. **Variations of wood properties of *Eucalyptus* clones cultivated in different topographies and subjected to storms.** 2004. 2004. Chap. 3, p. 44-63. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.⁸

The microfibril angle is an important characteristic for the explanation of several wood properties. There are evidences that trees that grow in sloping topographies develop microfibrils angles different from those of trees growing on plane lands. Thus, the objective of this chapter was to evaluate the microfibril angle of the wood fibre cellular wall of four clones of *Eucalyptus* planted on slopes and on flat terrain, in such way to contribute for the understanding of the behaviour of the trees face to storms. Tangential wood sections were produced in the microtome for the subsequent measurement of the angles under polarized light microscopy. The obtained results have permitted to conclude that statistical difference exists in the microfibrils angles of wood produced by the different clones; in general, the microfibrils angles were larger in wood produced on slope than on flat terrain. This can be an evidence of the occurrence of tension wood.

⁸Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Adviser) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA and Lourival Marin Mendes – UFLA.

3 INTRODUÇÃO

As microfibrilas constituem as unidades fundamentais da parede celular dos elementos anatômicos das plantas. Na camada S_2 da parede secundária das fibras do lenho de árvores, elas formam ângulos com o eixo das fibras. Essa inclinação é importante na definição de várias propriedades da madeira, como sua instabilidade dimensional, rigidez e resistência mecânica (Zobel & Van Buijtenen, 1989). Como conseqüência, o comportamento da madeira em serviço também pode ser afetado.

Geralmente, a orientação das microfibrilas na camada S_2 de coníferas varia de 10° a 30° , enquanto em folhosas (que inclui o gênero *Eucalyptus*) a variação é de cerca de 5° a 20° (Boyd, 1980).

Apesar de pouco estudado, pode-se dizer que o ângulo das microfibrilas varia entre materiais genéticos, entre árvores e dentro da própria árvore.

Em árvores que crescem em terrenos inclinados, formando lenho de tração, existem relatos de que os ângulos microfibrilares são menores do que os ângulos microfibrilares das árvores que formam lenho normal (Yamamoto et al., 1992; 1993 a, citados por Yamamoto et al., 1997).

É possível que árvores com madeiras de menores ângulos microfibrilares, formados em caules que crescem em terrenos inclinados, sejam mais tolerantes à ação de tempestades.

O objetivo deste capítulo foi avaliar as diferenças do ângulo microfibrilar da parede celular de quatro clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas de baixada e de encosta, de forma a contribuir para o entendimento do comportamento das árvores frente à ação de tempestades.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Organização da parede celular

A parede celular forma-se imediatamente após o término da divisão mitótica da célula, culminando com a formação da membrana plasmática e da lamela média (Paula & Alves, 1997).

Cutter (1986) cita que as paredes da célula vegetal são de considerável importância ao homem. As paredes celulares constituem madeira e também são usadas diretamente como fibras, algodão; materiais delas extraídos servem como cola, alimentos e aditivos alimentares.

Segundo Morey (1980), a organização física da parede celular vegetal é baseada na celulose. Moléculas de celulose, em número de até 2000, são alinhadas em fileiras paralelas em linhas conhecidas como microfibrilas. A celulose é o componente mais abundante da parede celular das plantas. Ela existe na parede celular como fibras longas (microfibrilas). As microfibrilas de celulose em células de madeira madura estão embebidas em uma matriz composta principalmente de hemiceluloses e lignina (Lewin & Goldstein, 1991).

Observações em microscopia eletrônica revelam que as paredes celulares da madeira são compostas por uma camada intercelular, a parede primária, e uma parede secundária (Higuchi, 1997). A parede primária é a camada produzida pela divisão celular e o subsequente crescimento das células mãe do xilema, enquanto a parede secundária é uma camada espessa depositada no interior da parede primária. A parede secundária consiste de três camadas, sendo uma mais externa (S_1), uma camada intermediária (S_2) e uma camada interna (S_3), cada uma com uma orientação diferente das microfibrilas de celulose (Harada & Cote, 1985, citados por Higuchi, 1997).

Uma longa série de investigações químicas, físicas e microscópicas tem fornecido algumas informações sobre o tamanho e forma da microfibrila, o arranjo da molécula de celulose na microfibrila e os processos de biogênese envolvidos durante a formação da célula na planta (Lewin & Goldstein, 1991).

De acordo com Lewin & Goldstein (1991), os estudos iniciais completados em 1950-1960 sobre as dimensões das microfibrilas indicaram que os diâmetros variam dependendo da fonte de celulose e da posição da microfibrila dentro da parede da célula. Em alga, a microfibrila varia de 8,3-38 nm; em madeira, de 5,0-10,0 nm; em rami, segundo Lewin & Goldstein (1991), os valores variam de 17-20 nm.

Desde esses estudos iniciais tem havido muito progresso no poder de resolução do microscópio eletrônico, nos métodos de preparação de amostra de materiais celulósicos e no desenvolvimento de outros métodos físicos de medição das dimensões da microfibrila. Muitos dos mais recentes estudos com microscopia eletrônica têm indicado que as microfibrilas originais observadas são feitas de agregados ou mesmo de unidades menores, que são chamadas fibrilas elementares. Estudos por difração de raios-X e observações no microscópio eletrônico indicam que as microfibrilas são muito menores do que o relatado originalmente (Lewin & Goldstein, 1991).

4.2 Organização da microfibrila na camada S₁

A camada externa da parede secundária (S₁) tem entre 0,1-0,3 µm de espessura, com microfibrilas orientadas com um ângulo médio de 50-70° em relação ao eixo das fibras (Lewin & Goldstein, 1991).

4.3 Organização da microfibrila na camada S₂

De acordo com Panshin et al. (1964) a orientação das microfibrilas na camada S_2 com o eixo da célula é entre 10^0 a 30^0 . A camada S_2 é a mais espessa das três camadas da parede secundária e constitui o maior volume da parede celular.

A orientação fibrilar da camada S_2 determina, em grande parte, tanto as propriedades mecânicas das fibras individuais como as propriedades da madeira como sólidos (Kellogg et al., 1975, citados por Zobel & Jett, 1995; Zobel & Van Buijtenen, 1989; Sahlberg et al., 1997; Wimmer et al., 2002). Neste caso, propriedades de resistência, de rigidez, de elasticidade e de retratibilidade são frequentemente citadas como influenciadas pelo ângulo microfibrilar da camada S_2 .

Modificações no ângulo em madeira de reação são bem conhecidas. Por exemplo, Dinwoodie (1981) e Yoshida et al. (1992) citam que os ângulos microfibrilares em galhos de *Eucalyptus rubida* são menores onde tensões de crescimento de tração são maiores. É conhecido que galhos de folhosas desenvolvem lenho de tração em seu lado superior.

A variação do ângulo das microfibrilas entre árvores e dentro das árvores na camada S_2 da parede secundária tem atraído a atenção de alguns pesquisadores. Donaldson (1992) encontrou que a inclinação das microfibrilas em *Pinus radiata* mostrou uma redução curvilínea da medula para a casca, sendo mais pronunciada na base do que no topo do caule. O ângulo também decresceu rapidamente com a altura dentro da árvore, representando valores mais ou menos constantes em alturas acima de 7 metros, seguido por um pequeno aumento na madeira central do topo das toras. Esses resultados sugeriram aos autores que o ângulo das microfibrilas da camada S_2 poderia ser controlado geneticamente.

Os ângulos microfibrilares em madeira juvenil são maiores, ao passo que ângulos em madeira madura são menores (Bendtsen & Senft, 1986, Donaldson, 1992, citados por Wimmer et al., 2002). Similarmente, o lenho inicial é

caracterizado por altos valores de ângulo microfibrilar, ao passo que valores baixos de ângulos microfibrilares são encontrados em lenho tardio (Necesy, 1961, McMillin, 1973, citados por Wimmer et al., 2002).

4.4 Organização da microfibrila na camada S₃

Segundo Boyd (1985), com relação ao controle de orientação da microfibrila durante a formação da camada S₃, nenhuma evidência direta está disponível. No entanto, existem claras indicações de que a mudança de orientação para S₂ surge no envolvimento de fatores biofísicos.

A camada S₃, que possui 0,1 µm de largura, é composta de várias lamelas (Higuchi, 1997). Investigações indicam que a orientação microfibrilar nesta camada é predominantemente uma hélice bem plana que se deita em um ângulo de 60 a 90° com o eixo da célula (Panshin et al., 1964).

4.5 Ângulo microfibrilar em espécies de *Eucalyptus*

A importância de estudos do ângulo da microfibrila sobre as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus* tem sido relatada por alguns pesquisadores, mas tais estudos são relativamente raros na literatura.

No gênero *Eucalyptus*, o efeito dos ângulos das microfibrilas em outras propriedades da madeira, além das mecânicas, é raramente relatado na literatura. Uma exceção é o trabalho de Boyd (1977), que descreve o relacionamento entre o ângulo microfibrilar e a contração da madeira de árvores inclinadas de *Eucalyptus regnans* e *Eucalyptus siebiri*, juntamente com *Pinus radiata*. Seus dados indicaram que a contração longitudinal aumenta progressivamente quando a morfologia da fibra varia de uma média representativa da madeira normal e

aproxima-se daquela de lenho de reação, com sua ausência de uma espessa camada S_2 lignificada e um grande ângulo da microfibrila na camada S_1 .

Mais recentemente, Lima (1999), trabalhando com 11 clones de *Eucalyptus* com 8 anos de idade, encontrou que em poucos casos as correlações foram significativas entre o ângulo da microfibrila e as dimensões das fibras encontradas. As correlações do ângulo da microfibrila com o comprimento da fibra foram predominantemente negativas, assim como o foram para diâmetro da fibra e do lume. Em geral o ângulo da microfibrila resultou em uma maior correlação com comprimento da fibra que com outras de suas dimensões.

Stuart & Evans (1995), utilizando difração de raios-X para estimar a variação do ângulo microfibrilar em madeira de *Eucalyptus nitens*, obtiveram resultados similares em amostras radiais e tangenciais retiradas da seção transversal de um disco, que foram usadas para a medição dos parâmetros relacionados com o ângulo da microfibrila. O ângulo da microfibrila teve uma variação de 10-20⁰, diminuindo da medula para a casca de forma constante, sendo menor no lenho tardio que no lenho inicial.

Evans et al. (2000), citados por Wimmer et al. (2002), estudando *Eucalyptus nitens* Deane e Maiden com 15 anos de idade, encontraram que o ângulo da microfibrila diminui com a altura do caule até cerca de 30-50% da altura da árvore. Eles relataram que o ângulo microfibrilar foi 20 a 30⁰ perto da medula para todas as alturas, com um decréscimo geral em direção à casca.

Wimmer et al. (2002), estudando *E. nitens*, observaram que a velocidade do vento influenciou diretamente o ângulo das microfibrilas quando as árvores eram irrigadas, provavelmente devido às tensões flexoras aplicadas pela força dos ventos. As árvores irrigadas exibiram uma resposta mais acentuada aos ventos do que a outros tratamentos (temperatura, pressão de vapor, déficit hídrico), uma vez que suas copas mais densas e a maior massa de folhas

fizeram-nas mais suscetíveis ao balançado das árvores. Segundo os autores, esse resultado indica o controle ambiental sobre o ângulo das microfibrilas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Seleção do material

Foram selecionados quatro clones plantados tanto em baixada como em encosta, dos quais foram amostradas quatro árvores por clone e por local de plantio. Os caules das árvores foram amostrados à altura de dois metros para retirar blocos de 1 x 1 cm, na posição intermediária ao longo dos raios dos toretes. Esses blocos foram utilizados na produção de seções para medição dos ângulos microfibrilares.

5.2 Preparação do material

Os blocos foram saturados em água e depois cortados tangencialmente em seções finas ($< 10 \mu\text{m}$ de espessura) no micrótomo. Com estes cortes foram preparadas lâminas provisórias para medição dos ângulos das microfibrilas (AMF).

5.3 Medição dos ângulos das microfibrilas

Os ângulos microfibrilares foram determinados sobre as seções tangenciais usando-se a técnica de microscopia de luz polarizada em microscópio dotado de uma mesa giratória graduada de 0° a 360° . Medições

preliminares foram efetuadas utilizando-se fibras individualizadas, conforme procedimento de Leney (1981), adaptado por Lima et al. (2004). Uma vez que os resultados encontrados foram semelhantes àqueles obtidos utilizando a seção inteira, optou-se em usar este último, devido à facilidade experimental.

A lâmina com a seção é colocada sobre essa mesa, fazendo com que as fibras fiquem na posição vertical. Em seguida gira-se a mesa até que a amostra atinja a máxima posição de extinção, ou seja, a cor do fundo da fibra torna-se mais escura. A diferença dos ângulos dessas duas posições descreve o ângulo das microfibrilas. Foram feitas 25 medições do ângulo das microfibrilas para cada árvore, sendo esse número definido mediante procedimento de Freese (1970), apresentado no Capítulo 1.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3.1 estão apresentados os valores dos ângulos das microfibrilas (AMF) das madeiras dos clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta. As médias entre os valores de baixada e de encosta também são apresentadas nesta tabela por clone.

A média geral dos AMF foi igual a 26° (Tabela 3.1). De modo geral a variação dos ângulos entre clones foi pequena: 2° entre o maior e o menor. Mesmo assim, a diferença dos AMF entre clones foi significativa, conforme revela o resultado da ANAVA apresentado resumidamente na Tabela 3.2. Também pequena foi a diferença entre os AMF dos clones plantados em baixada e em encosta (Tabela 3.1), variando de 24,3° a 27,2.

TABELA 3.1 Valores médios do ângulo das microfibrilas, em graus, da madeira de clones de *Eucalyptus* plantados em baixada (B) e em encosta (E).

| Clone | Ângulo das microfibrilas | | |
|-------|--------------------------|---------|-------|
| | Baixada | Encosta | Média |
| 57 | 26,9 | 26,6 | 26,8 |
| 68 | 24,8 | 25,6 | 25,2 |
| 111 | 25,4 | 24,3 | 24,9 |
| 1213 | 27,2 | 26,5 | 26,9 |
| Média | 26,1 | 25,8 | 26,0 |
| CV | 4,44 | 4,14 | 4,04 |

CV: coeficiente de variação (%)

Esses valores foram semelhantes àqueles obtidos por vários autores. Para *Eucalyptus rubida*, Yoshida et al. (1992) observaram ângulos variando de 10° a 30°. Stuart & Evans (1995), estudando *E. nitens*, obtiveram ângulos decrescendo da medula para a casca, com uma variação de 10° a 20°, e os ângulos foram consideravelmente menores para lenho tardio do que para lenho inicial. Os ângulos microfibrilares para híbridos de *Eucalyptus* variaram de 0° a 27° (média de 9,5°) em pesquisa realizada por Bailleres et al. (1995). Em estudo realizado por Baba et al. (1996), os ângulos foram de 3,5° para madeira de tração e de 22,5° para madeira normal. Lima et al. (2004), investigando 11 clones de *Eucalyptus*, encontraram ângulos relativamente menores, variando de 8,6° a 11,2°.

O resumo da análise de variância dos AMF em função dos quatro clones de *Eucalyptus* e das duas topografias estudadas é apresentado na Tabela 3.2.

TABELA 3.5 Comparação do ângulo microfibrilar entre os clones de *Eucalyptus* plantados em encosta.

| | | Clones | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|--|
| | 57 | 68 | 111 | 1213 | |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | 0,4932 | |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 | |
| 111 | <0,0001 | <0,0001 | | <0,0001 | |

A diferença estatística observada entre os ângulos das microfibrilas dos clones 111 e 1213, plantados em baixada e em encosta, não foi acompanhada pelo ranqueamento das tolerâncias desses clones às tempestades. Por outro lado, as diferenças estatísticas observadas pelos demais clones, plantados em baixada e encosta, podem estar associadas às diferenças que resultaram no ranqueamento das tolerâncias dos clones às tempestades (Tabela 1.2); entretanto que não foi feita análise estatística para verificar as diferenças entre as tolerâncias dos clones.

Na Tabela 3.6 é apresentada a significância dos AMF de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta. Quando a comparação dos AMF é feita para cada clone (Tabela 3.6), nota-se que nos clones 68, 111 e 1213 os AMF são diferentes.

O clone 111 apresenta o menor AMF, o que resultará em fibras mais resistentes à tração, com possíveis conseqüências na polpa produzida. O clone 68 tem o AMF próximo ao do clone 111, o que possivelmente produzirá o mesmo efeito sobre a qualidade da polpa. Já os clones 57 e 1213, que têm os AMF estatisticamente semelhantes conforme comparação apresentada na Tabela 3.3, tenderão a apresentar comportamentos inferiores aos apresentados pelos clones 111 e 68.

TABELA 3.6 Significância do ângulo das microfibrilas de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta. [g.l. posição topográfica=1; g.l. AMF=792].

| Clone | Ângulo das microfibrilas |
|-------|--------------------------|
| 57 | ns |
| 68 | *** |
| 111 | *** |
| 1213 | *** |

Em que: *** - significância a 1%; ns – não significativo.

O clone 68, que é o menos tolerante aos danos causados por tempestades, apresentou AMF próximo ao do clone 111, que é um dos clones mais tolerantes à ação de tempestades. Diante dessa constatação, parece que o AMF na amplitude encontrada para os clones aqui estudados não define a tolerância dos clones à ação de tempestades.

Exceto pelo clone 68, que é muito suscetível à ação de tempestades tanto em árvores plantadas em encosta como em árvores plantadas em baixada, nos outros clones o AMF foi maior em baixada do que em encosta. Árvores de encosta são mais tolerantes aos danos causados por tempestades. É possível que árvores de encosta, ao formarem lenho de tração, alinhem longitudinalmente suas microfibrilas de forma a conferir às madeiras dos caules maior resistência à tração paralela às fibras. A inclinação do terreno propicia a formação de lenho de reação e madeiras com este tipo de lenho são caracterizadas por pequenos AMF, assim como encontrado por Baba et al. (1996).

A análise de regressão não foi significativa, indicando a ausência de relação funcional linear entre os valores dos ângulos das microfibrilas dos clones e os níveis de tolerância (T) à ação das tempestades.

O modelo estatístico ajustado foi $T = 61,87335 + 0,303971 \text{ AMF}$ com $r^2 = 0,07\%$. O baixo valor do coeficiente de determinação indica a falta de associação existente entre as variáveis.

7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pôde-se concluir que:

- o ângulo das microfibrilas médio variou de 24,9° a 26,9°;
- o ângulo das microfibrilas variou significativamente em função dos clones, da topografia e da interação clone x topografia; apenas os clones 57 e 1213 foram estatisticamente semelhantes entre si;
- foram observadas diferenças significativas entre os ângulos das microfibrilas das madeiras produzidas em baixada e em encosta, exceto para o clone 57. O ângulo das microfibrilas foi maior em baixada do que em encosta, exceto para o clone 68;
- as diferenças dos ângulos microfibrilares encontradas no clone mais suscetível à ação de tempestades foi muito pequena em relação ao clone mais tolerante, podendo-se constatar que esta é uma característica que provavelmente não exerceu muita influência na tolerância das árvores aos danos causados pelas tempestades.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BABA, K.; ONA, T.; TAKABE, K.; ITOH, T.; ITO, K. Chemical and anatomical characterization of the tension wood of *Eucalyptus camaldulensis* L. **Mokuzai Gakkaishi**, Tokyo, v. 42, n. 8, p. 795-798, 1996.
- BAILLERES, H.; CHANSON, B.; FOURNIER, M.; TOLLIER, M. T.; MONTIES, B. Structure, composition chimique et retreats de maturation du bois chez les clones d'*Eucalyptus*. **Annales des Sciences Forestieres**, Paris, v. 52, n. 2, p. 157-172, 1995.
- BOYD, J. D. **Biophysical control of microfibril orientation in plant cell walls: Aquatic and terrestrial plants including trees**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1985. 200 p.
- BOYD, J. D. Relationship between fibre morphology and shrinkage of wood. **Wood Science and Technology**, New York, v. 11, n. 1, p. 3-22, 1977.
- BOYD, J. D. Relationships between fibre morphology, growth strains and physical properties of wood. **Australian Forest Research**, Melbourne, v. 10, n. 4, p. 337-360, 1980.
- CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal: Parte I – células e tecidos**. Tradução de Gabriella Vera Maria Caruso Catena. 2. ed. São Paulo, Roca, 1986. 304 p.
- DINWOODIE, J. M. **Timber, its nature and behaviour**. Wokingham, England: Van Nostrand Reinhold, 1981. 190 p.
- DONALDSON, L. A. Within and between tree variation in microfibril angle in *Pinus radiata*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Wellington, v. 22, n. 1, p. 77-86, 1992.
- FREESE, F. **Metodos estadisticos elementales para tecnicos forestales**. Servicio Forestal – Departamento de Agricultura de los EE. UU. de A. – Manual de Agricultura (nº 317). México: Publicidad Artística Litográfica, 1970. 102 p.
- HIGUCHI, T. **Biochemistry and molecular biology of wood**. New York: Springer-Verlag, 1997. 362 p.

LENEY, L. A technique for measuring fibril angles using polarized light. **Wood and Fiber**, Madison, v. 13, n. 1, p. 13-16, 1981.

LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I. S. (Ed.) **Wood structure and composition**. New York: Marcel Dekker, 1991. 448 p.

LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. 1999. 276 p. Dissertação (Doutorado) - University of Wales, Bangor.

LIMA, J. T./ BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in microfibril angle in *Eucalyptus* clones. **Holzforshung**, Berlin, v. 58, n. 2, p. 160-166, 2004.

MOREY, P. R. **O crescimento das árvores**. Tradução de Maria de Fátima Domingos Aleixo Pereira. São Paulo: EPU/USP, 1980. 72 p. (Temas de Biologia, v.19).

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C.; BROWN, H. P. **Textbook of wood technology**. 2. ed. [S. l.: S. n.], 1964. v. 2, 643 p.

PAULA, J. L. de; ALVES, J. L. de H. **Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso**. Brasília: Fundação Mokiti Okada, 1997. 543 p.

SAHLBERG, U.; SALMEN, L.; OSCARSSON, A. The fibrillar orientation in the S₂-layer of wood fibres as determined by X-ray diffraction analysis. **Wood Science and Technology**, New York, v. 31, n. 2, p. 77-86, Apr. 1997.

STUART, S. A.; EVANS, R. X-ray diffraction estimation of the microfibril angle variation in eucalypt wood. **Appita Journal**, Victoria, v. 48, n. 3, p. 197-200, May 1995.

WIMMER, R.; DOWNNESS, G. M.; EVANS, R. Temporal variation of microfibril angle in *Eucalyptus nitens* grown in different irrigation regimes. **Tree Physiology**, Victoria, v. 22, n. 7, p. 449-457, May 2002.

YAMAMOTO, H.; OKUYAMA, T.; YOSHIDA, M. Growth stress generation and microfibril angle in reaction wood. In: BUTTERFIELD, B. G. (Ed.). **Microfibril angle in wood**. Westport: International Association of Wood Anatomists, 1997. p. 225-239.

**DENSITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD OF
Eucalyptus CLONES CULTIVATED ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES
AND SUBJECTED TO STORMS**

2 ABSTRACT

MELO, Vanete Maria de. Density and mechanical properties of wood of *Eucalyptus* clones cultivated on different topographies and subjected to storms. In: _____. **Variations of wood properties of *Eucalyptus* clones cultivated in different topographies and subjected to storms.** 2004. Chap. 4, p. 63-97. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.¹⁰

Trees that have low dense wood are less mechanically resistant, becoming more susceptible to damages caused by storms. Based on this consideration, the objective of this chapter was to evaluate the differences both in wood basic density and in mechanical properties of four clones of *Eucalyptus* cultivated on slope and on flat terrain, in such way to contribute for the explanation of the behaviour of the trees face to storms. The mechanical properties consisted of strength and the module of elasticity to the compression parallel to the grain, modulus of rupture and modulus of elasticity to the static bending. The evaluation of the properties was made in samples cut in each metre along the stem, in an extension of 10 meters. The results obtained have allowed to conclude that there are significant difference amongst the clones analysed; clones planted in flat terrain presented higher basic densities that trees planted in slope terrain (except clone 1213); wood produced in flat terrain presented higher strength values and modulus of elasticity to the compression parallel to the grain, modulus of rupture module and modulus of elasticity to the static bending; the tolerance of the trees to the storms can not be well explained by the values of basic density, however the tolerance showed to be reasonable dependant on the mechanical properties of wood by means of linear and positive models.

¹⁰Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Adviser) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA and Lourival Marin Mendes – UFLA.

CAPÍTULO 4

DENSIDADE E PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus* CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS E SUJEITOS A TEMPESTADES

1 RESUMO

MELO, Vanete Maria de. Densidade e propriedades mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades. In: _____. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades.** 2004. Cap. 4, p. 63-97. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.⁹

Árvores que têm madeiras menos densas são menos resistentes mecanicamente, tornando-se mais suscetíveis a danos causados pelas tempestades. Com base nessa consideração, o objetivo desse capítulo foi avaliar as diferenças na densidade básica e em propriedades mecânicas da madeira de quatro clones de *Eucalyptus* cultivados tanto em baixada como em encosta, de forma a contribuir para o esclarecimento do comportamento das árvores frente a tempestades. As propriedades mecânicas determinadas foram: a resistência e o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade à flexão estática. A avaliação das propriedades mecânicas e da densidade básica foi feita em amostras cortadas a cada metro ao longo do caule, em uma extensão de 10 metros. Os resultados obtidos permitiram concluir que existe diferença significativa entre os clones avaliados; os clones plantados em encosta apresentaram maiores densidades básicas que os plantados em baixada, exceto o clone 1213; as madeiras produzidas em encosta apresentaram maiores valores de resistência e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática; a tolerância das árvores às tempestades não pôde ser bem explicada em função dos valores de densidade básica, entretanto a tolerância mostrou ser razoavelmente dependente das propriedades mecânicas da madeira mediante estimativas por relações lineares e positivas.

⁹Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA e Lourival Marin Mendes – UFLA.

**DENSITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD OF
Eucalyptus CLONES CULTIVATED ON DIFFERENT TOPOGRAPHIES
AND SUBJECTED TO STORMS**

2 ABSTRACT

MELO, Vanete Maria de. Density and mechanical properties of wood of *Eucalyptus* clones cultivated on different topographies and subjected to storms. In: _____. **Variations of wood properties of *Eucalyptus* clones cultivated in different topographies and subjected to storms.** 2004. Chap. 4, p. 63-97. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.¹⁰

Trees that have low dense wood are less mechanically resistant, becoming more susceptible to damages caused by storms. Based on this consideration, the objective of this chapter was to evaluate the differences both in wood basic density and in mechanical properties of four clones of *Eucalyptus* cultivated on slope and on flat terrain, in such way to contribute for the explanation of the behaviour of the trees face to storms. The mechanical properties consisted of strength and the module of elasticity to the compression parallel to the grain, modulus of rupture and modulus of elasticity to the static bending. The evaluation of the properties was made in samples cut in each metre along the stem, in an extension of 10 meters. The results obtained have allowed to conclude that there are significant difference amongst the clones analysed; clones planted in flat terrain presented higher basic densities that trees planted in slope terrain (except clone 1213); wood produced in flat terrain presented higher strength values and modulus of elasticity to the compression parallel to the grain, modulus of rupture module and modulus of elasticity to the static bending; the tolerance of the trees to the storms can not be well explained by the values of basic density, however the tolerance showed to be reasonable dependant on the mechanical properties of wood by means of linear and positive models.

¹⁰Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Adviser) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA and Lourival Marin Mendes – UFLA.

3 INTRODUÇÃO

A densidade básica é definida como sendo a massa de madeira seca em relação ao volume verde da madeira. Ela é afetada pela estrutura da madeira, pelos extrativos e pela composição química.

As propriedades mecânicas da madeira são aquelas relacionadas com seu comportamento em relação à aplicação de forças externas, geralmente de grande importância para os usos estruturais. Elas estão correlacionadas com as características físicas, químicas e anatômicas da madeira. As propriedades mecânicas são importantes para a indústria de construção civil, mas também para o comportamento mecânico de produtos com base na madeira para carvão e polpa celulósica. Além desses, o comportamento mecânico de uma árvore frente à ação de tempestades depende, entre outros fatores, das propriedades mecânicas de sua madeira. É possível afirmar que árvores mais densas, flexíveis e resistentes mecanicamente serão mais tolerantes aos danos causados pelas tempestades, uma vez que quanto mais elástico for o material, porém com elevada resistência, maiores deformações poderá sofrer sem chegar ao colapso, pois não apresentará ruptura frágil.

As árvores de folhosas que crescem inclinadas, em terrenos inclinados ou sob a ação de ventos dominantes, desenvolvem lenho de tração. Este tipo de lenho possui variações nas suas propriedades, como por exemplo, uma menor resistência à compressão e à flexão (Burger & Richter, 1991).

É importante avaliar as propriedades físicas e mecânicas da madeira, pois elas poderão auxiliar na interpretação do comportamento de uma árvore sujeita a tempestades.

O objetivo deste capítulo foi avaliar as possíveis diferenças na densidade básica e nas propriedades mecânicas da madeira de quatro clones de *Eucalyptus*

plantados em baixada e em encosta, de forma a contribuir para o entendimento do comportamento das árvores frente à ação de tempestades.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Densidade

↳ A densidade é uma das principais características da madeira, pois se correlaciona com outras propriedades desse material, além de ser facilmente determinada. À maior densidade correspondem, quase sempre, a maior retratibilidade e a maior resistência mecânica. A densidade é definida como sendo a medida da quantidade de material da parede celular presente em uma unidade de volume (Panshin & De Zeeuw, 1980). Ela é uma característica resultante da interação entre as características químicas e as características anatómicas da madeira. Portanto, as variações na densidade são provocadas por diferenças nas dimensões celulares, por interações entre esses fatores e pela quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume (Panshin & De Zeeuw, 1980).

↳ Existe uma relação direta da densidade da madeira com as características do produto final, como rendimento em celulose, resistência mecânica do papel, produção e qualidade do carvão (Souza et al., 1986).

Em *Eucalyptus*, a exemplo de outras espécies, a densidade pode variar com a idade da árvore, com seu vigor, com o local onde cresce, com a taxa de crescimento e, na mesma árvore, varia no sentido base-topo e no sentido medula-casca (Ferreira, 1972; Souza et al., 1979).

A variação longitudinal da densidade básica da madeira de eucalipto possui vários tipos de tendências. Downes et al. (1997), referindo-se a estudos feitos com *Eucalyptus globulus*, *E. nitens* e *E. regnans*, relatam que todas as três espécies mostraram um aumento linear da densidade acima de 10% da altura, algumas vezes acompanhado por um decréscimo inicial entre a base da árvore e 10%. Esse decréscimo tem sido freqüentemente reportado e as amostras tomadas em alturas fixadas mostraram que o decréscimo inicial ocorreu invariavelmente nos primeiros 0,5 metros acima do solo.

Já Lima et al. (1992), avaliando a variação das densidades básicas ao longo dos troncos de três espécies de *Eucalyptus*, encontraram que: a densidade básica do *Eucalyptus grandis* decresce da base até 25% da altura total da árvore e a partir daí cresce até a altura máxima amostrada; as densidades básicas do *E. tereticornis* e *E. camaldulensis* crescem no sentido base-topo, com tendência a se tornarem constantes nas posições mais elevadas.

De acordo com Foelkel et al. (1983) a densidade básica geralmente é crescente no sentido medula-casca. Variações na densidade ao longo de tronco são menos consistentes que aquelas na direção radial. A variação radial da densidade básica é maior na base das árvores do que em partes mais altas enquanto as diferenças verificadas no sentido radial são em proporções mais elevadas que as diferenças longitudinais (Lima, 1999).

Rocha et al. (1988), citados por Rocha (1994), ressaltam que não se deve afirmar de imediato que quanto mais densa for a madeira, mais resistente ela será, pois a organização e as dimensões dos elementos anatômicos exercem influências na resistência da madeira.

4.2 Propriedades mecânicas da madeira

Para que possam ser atendidas todas as exigências relativas aos esforços a que a madeira será submetida em sua utilização, é preciso que se conheçam as suas propriedades mecânicas, como as de resistência e de elasticidade.

A resistência, definida como a aptidão da matéria em suportar tensões, é determinada, convencionalmente, em ensaios de corpos-de-prova, isentos de defeitos do material considerado (Lopes, 2000).

↳ As propriedades mecânicas da madeira são fortemente influenciadas por fatores como o teor de umidade, a temperatura, seus constituintes químicos, a fadiga, o ângulo da grã, a densidade, a presença de nós, as características anatômicas, falhas na madeira, a idade da árvore, a duração da tensão e da deformação e os danos por inseto, entre outros (Kollmann & Côté, 1968).

Entre as propriedades mecânicas, a compressão paralela às fibras é importante para muitas aplicações estruturais da madeira, como colunas, escoras e postes. Em situações como essas ela estará sujeita a cargas que tenderão a esmagá-la ou encurtá-la longitudinalmente. Contudo, em colunas compridas, peças em que o comprimento é grande comparado com a menor dimensão de sua seção transversal, a curvatura acontece antes da totalidade do esmagamento ou da força compressiva máxima ser atingida (Wangaard, 1950).

Através de estudo realizado por Lima et al. (1999) com 26 clones de *Eucalyptus* para avaliar a resistência à compressão paralela às fibras da madeira dentro de árvores, entre clones e entre locais, foi possível concluir que: a resistência à compressão paralela às fibras aumenta na direção da medula para a casca da tora; não existe diferença significativa entre as posições axiais; e existem diferenças significativas entre clones e entre locais.

A resistência à flexão é uma das mais importantes propriedades mecânicas na utilização da madeira como material de construção.

O módulo de elasticidade em flexão estática, juntamente com o módulo de ruptura, são as propriedades mecânicas mais importantes da madeira

estrutural (Verkasalo, 1992); conseqüentemente, estes são os parâmetros mais usados para expressar os efeitos da tensão estática na estrutura da madeira (Bodig & Jayne, 1982).

Valores de flexão estática e compressão axial indicam que a madeira de eucalipto possui comportamento comparável ao das madeiras nativas semipesadas a leves (Rocha, 1994). Quando estes valores são relacionados com sua densidade (cota de qualidade), ou seja, quanto resiste um kg de cada madeira, observa-se que seu comportamento é muito bom, classificando-se como muito resistente a resistente. Isto indica que, por exemplo, o *Eucalyptus grandis*, que chega a ter valores medianos, quando relacionados com seu baixo peso, resulta em uma madeira resistente a muito resistente, o que é importante para o uso em caixas, embalagens e tacos (Rocha, 1994). Em geral, a resistência mecânica dos eucaliptos os faz aptos para a maioria dos usos estruturais. Neste aspecto em particular, Lima et al. (1999, 2000) descrevem que clones de *Eucalyptus* com oito anos de idade produziram madeira com propriedades mecânicas (compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática) semelhantes ou melhores do que várias madeiras nativas no Brasil.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Seleção do material

Foram selecionados quatro clones plantados tanto em baixada como em encosta, sendo amostradas quatro árvores por clone e por local de plantio. Os

caules das árvores foram cortados em comprimento de 10 metros e divididos em toretes de um metro cada.

5.2 Preparação do material

5.2.1 Densidade básica

Discos de madeira para a determinação da densidade básica foram retirados na base de cada torete com 2 cm de espessura aproximadamente e sem casca. Os discos foram divididos em quatro partes em forma de cunhas passando pela medula, os quais foram imersos em água até atingirem a saturação completa.

5.2.2 Propriedades mecânicas

Foram realizados testes de flexão estática e compressão paralela às fibras. No teste de flexão determinou-se o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura. Em compressão paralela às fibras determinou-se a resistência à compressão e o módulo de elasticidade. Os corpos-de-prova foram obtidos de sarrafos nas posições norte, sul, leste e oeste ao redor dos toretes. Devido às pequenas dimensões dos caules, foi possível confeccionar apenas um corpo-de-prova ao longo do raio, privilegiando a posição intermediária mais próxima à casca.

Antes de serem testados, os corpos-de-prova foram levados a peso constante pela climatização sob condição controlada de temperatura ($20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa ($65\% \pm 2\%$).

5.3 Determinação da densidade básica e das propriedades mecânicas

5.3.1 Densidade básica

A densidade básica foi determinada de acordo com a norma ASTM D-2395 (1997), usando imersão em água.

5.3.2 Propriedades mecânicas

Os ensaios mecânicos foram realizados na Máquina Universal de Ensaio EMIC DL – 30000. Os ensaios foram executados em concordância com a norma técnica British Standard (1957). No teste de flexão estática foi utilizada uma velocidade de ensaio de 6,604 mm/minuto, distância entre apoios de 28 cm e dimensões dos corpos de prova de 2 x 2 x 31 cm. Para o teste de compressão paralela às fibras a velocidade de ensaio utilizada foi de 1,270 mm/minuto e as dimensões dos corpos de prova foram de 2 x 2 x 10 cm.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Densidade Básica

Na Tabela 4.1 estão apresentados os valores médios de densidade básica da madeira dos clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta. As médias entre valores de baixada e de encosta também estão apresentadas nessa tabela.

TABELA 4.1 Valores médios de densidade básica (g/cm^3) das árvores plantadas em baixada e em encosta e médias dos clones da madeira de *Eucalyptus*.

| Clone | Densidade básica | | |
|-------|------------------|---------|-------|
| | Baixada | Encosta | Média |
| 57 | 0,453 | 0,457 | 0,455 |
| 68 | 0,418 | 0,438 | 0,428 |
| 111 | 0,402 | 0,421 | 0,412 |
| 1213 | 0,493 | 0,451 | 0,472 |
| Média | 0,442 | 0,442 | 0,442 |
| CV | 9,15 | 3,61 | 6,08 |

CV: coeficiente de variação (%)

Uma análise da Tabela 4.1 permite constatar que a densidade básica média variou de $0,412 \text{ g/cm}^3$ a $0,472 \text{ g/cm}^3$. Esses valores são menores que os obtidos por outros autores (Lima, 1995; Lima, 1999; Caixeta, 2000; Lima et al., 2000; Lima et al., 2001; Oliveira, 2001; Souza, 2002; Mori, 2003; Cruz et al., 2003) (Tabela 4.2). Comparando-se idades semelhantes como a do trabalho realizado por Lima et al. (2001), ainda assim a densidade básica apresentada pelos clones deste trabalho foi menor. Vale salientar que material genético de *Eucalyptus* selecionado para a produção de polpa celulósica em geral apresenta densidade menor do que aqueles selecionados para produção de carvão ou de sólidos, por exemplo.

Os maiores valores de densidade básica foram observados em áreas de encosta (DB variando de $0,421$ a $0,457 \text{ g/cm}^3$), o que não ocorreu para o clone 1213 (Tabela 4.1). Essa tendência pode estar contribuindo para explicar a maior tolerância das árvores de encosta aos danos causados pelas tempestades, uma vez que árvores que apresentam maior densidade também são mais resistentes a esforços mecânicos, neste caso devidos à ação das tempestades.

TABELA 4.2 Densidade básica (DB) da madeira de *Eucalyptus* encontrada por vários autores em comparação com os resultados obtidos neste trabalho.

| Espécie | Idade | DB (g/cm ³) | Fonte |
|---|-----------------|-------------------------|-------------------|
| 3 clones de <i>Eucalyptus saligna</i> | 9 a 42 meses | 0,319 a 0,517 | Lima, 1995 |
| 3 clones de <i>Eucalyptus saligna</i> | 24 meses | 0,433 a 0,443 | Lima, 1995 |
| 26 clones de <i>Eucalyptus</i> | 8 anos | 0,436 a 0,577 | Lima, 1999 |
| 5 Clones de <i>Eucalyptus</i> | 8 anos | 0,420 a 0,560 | Lima et al., 2000 |
| 44 genótipos de <i>Eucalyptus</i> | 13 a 17 anos | 0,544 a 0,731 | Caixeta, 2000 |
| 7 clones de <i>Eucalyptus grandis</i> | 0,5 a 7,5 anos | 0,347 a 0,570 | Lima et al., 2001 |
| 7 clones de <i>Eucalyptus grandis</i> | 2,5 anos | 0,446 a 0,511 | Lima et al., 2001 |
| 4 clones de <i>Eucalyptus</i> e 1 variedade | 12,9 anos | 0,530 a 0,658 | Oliveira, 2001 |
| 11 clones de <i>Eucalyptus</i> | 7,5 a 13,5 anos | 0,449 a 0,563 | Mori, 2003 |
| 11 clones de <i>Eucalyptus</i> | 6 anos | 0,508 a 0,594 | Souza, 2002 |
| 7 clones de <i>Eucalyptus</i> | 5,5 a 10,5 anos | 0,437 a 0,577 | Cruz et al., 2003 |
| Clones 57, 68, 111, 1213 | 2 anos | 0,412 a 0,472 | Tabela 4.1 |

A Tabela 4.3 apresenta o resumo dos resultados da análise de variância entre os clones e entre as topografias para a densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus*.

A comparação da densidade básica para cada par de clones é apresentada na Tabela 4.4.

Pode-se observar pelos resultados da análise de variância (Tabela 4.3), que a densidade básica da madeira dos clones de *Eucalyptus* difere significativamente entre clones. A comparação da densidade básica de um clone com qualquer um dos outros foi estatisticamente diferente a 1 % de probabilidade (Tabela 4.4).

TABELA 4.3 Resumo dos resultados da análise de variância da densidade básica entre os clones e entre as topografias da madeira de *Eucalyptus*. [g.l. clone = 3; g.l. topografia = 1; g.l. clone x topografia = 3].

| Densidade básica | Probabilidade | | |
|------------------|---------------|------------------|---------------------------|
| | Clone *** | Topografia ns | Clone x Topografia *** |

Em que: *** - significância a 1% de probabilidade; ns – não significativo.

Como o resultado da análise da interação clone x topografia apresentado na Tabela 4.3 foi significativo, optou-se por avaliar o efeito de clone em baixada e em encosta (Tabela 4.5 e 4.6).

Analisando a interação clone x topografia (Tabela 4.5) para os clones plantados em baixada pode-se observar que os clones apresentaram diferença significativa na densidade básica a 1% de probabilidade. A diferença estatística observada na densidade básica da madeira dos clones plantados em baixada pode ser associada às diferenças que resultaram no ranqueamento das tolerâncias dos clones à ação das tempestades (Tabela 1.2).

TABELA 4.4 Comparação entre clones de *Eucalyptus* da densidade básica.

| | Clones | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | <0,0001 | | <0,0001 |

TABELA 4.5 Comparação da densidade básica da madeira entre os clones de *Eucalyptus* plantados em baixada.

| | Clones | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | 0,0103 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | 0,0103 | | <0,0001 |

Através da Tabela 4.6 pode-se observar que os clones 57 e 1213 e os clones 68 e 1213, plantados em encosta, quando comparados, não apresentaram diferença significativa na densidade básica a 1% de probabilidade. Os demais clones, quando comparados entre si, apresentaram diferença significativa a 1% de probabilidade. Semelhanças estatísticas observadas para densidade básica entre os clones 57 e 1213, quando plantados em encosta, não resultaram em semelhanças nos níveis de tolerância desses clones aos danos causados pelas tempestades (Tabela 1.2). Por outro lado, as diferenças estatísticas observadas na densidade básica dos demais clones plantados em encosta podem estar associadas às diferenças que resultaram no ranqueamento das tolerâncias dos clones às tempestades.

TABELA 4.6 Comparação da densidade básica da madeira entre os clones de *Eucalyptus* plantados em encosta.

| | Clones | | | |
|-----|---------|--------|---------|---------|
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | 0,0016 | <0,0001 | 0,3045 |
| 68 | 0,0016 | | 0,0044 | 0,0320 |
| 111 | <0,0001 | 0,0044 | | <0,0001 |

Apesar de os clones 111 e 1213, plantados em baixada e em encosta, apresentarem diferença significativa na densidade básica, essa diferença não foi acompanhada pelo ranqueamento das tolerâncias desses clones à ação das tempestades (Tabela 1.2). Ressalta-se que não foi feita análise estatística para verificar a diferença entre as tolerâncias dos clones.

A significância da densidade básica entre os clones plantados em baixada e em encosta é apresentada na Tabela 4.7. Uma observação desta tabela permite constatar que a densidade básica difere significativamente entre as árvores plantadas em baixada e em encosta para os clones 68 e 1213 a 1% de probabilidade. Para os clones 57 e 111 as densidades básicas das árvores plantadas em baixada e em encosta não diferem significativamente a 1% de probabilidade.

A densidade da madeira é um bom índice de qualidade da madeira, tendo uma alta correlação com outras características. Shymoyama (1990) encontrou uma correlação significativa entre densidade básica e comprimento das fibras, mas não entre densidade básica e diâmetro do lume. Essa mesma autora também encontrou correlação significativa da densidade básica com diâmetro da fibra e espessura da parede da fibra (*E. saligna*). Para *E. grandis* houve uma correlação significativa da densidade básica com diâmetro da fibra e com diâmetro do lume, enquanto, para *E. urophylla*, nenhuma das dimensões das fibras resultaram em correlações significativas com a densidade básica.

Lima (1999) concluiu que 50% da variação na densidade aparente da madeira de 11 clones pode ser significativamente explicada pela espessura da parede da fibra, 40% podem ser explicados pelo diâmetro do lume e 19%, pelo diâmetro da fibra.

TABELA 4.7 Significância da densidade básica entre os clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta. [g.l. posição topográfica=1; g.l. densidade básica= 312].

| Clone | Densidade básica |
|-------|------------------|
| 57 | ns |
| 68 | *** |
| 111 | ** |
| 1213 | *** |

Em que: *** - significância a 1% de probabilidade; ** - significância a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

6.2 Compressão paralela às fibras

Na Tabela 4.8 os valores de resistência e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras da madeira de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta são apresentados por clone. As médias entre os valores de baixada e de encosta também são apresentadas.

TABELA 4.8 Valores médios de resistência (MPa) e módulo de elasticidade (MPa) à compressão paralela às fibras das madeiras dos clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta.

| Clone | Resistência à compressão | | | Módulo de elasticidade | | |
|-------|--------------------------|---------|-------|------------------------|---------|-------|
| | Baixada | Encosta | Média | Baixada | Encosta | Média |
| 57 | 52 | 54 | 53 | 7775 | 8135 | 7955 |
| 68 | 43 | 47 | 45 | 6266 | 6533 | 6400 |
| 111 | 47 | 56 | 51 | 6781 | 8378 | 7580 |
| 1213 | 55 | 59 | 57 | 8672 | 9181 | 8927 |
| Média | 49 | 54 | 52 | 7374 | 8057 | 7716 |
| CV | 10,79 | 9,44 | 9,71 | 14,49 | 13,77 | 13,54 |

CV: coeficiente de variação (%)

A resistência à compressão paralela às fibras média variou de 45 a 57 Mpa, enquanto o módulo de elasticidade em compressão médio apresentou variação de 6400 a 8927 MPa (Tabela 4.8). Em geral esses valores foram menores que aqueles encontrados por outros autores. Uma possível razão para isso é a menor idade apresentada pelos clones deste trabalho (Lima et al., 1999; Caixeta, 2000; Moura, 2000; Oliveira, 2001; Cruz et al., 2003), como pode ser constatado na Tabela 4.9.

TABELA 4.9 Resistência à compressão (RC) e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MOE_c) da madeira de *Eucalyptus* encontrados por vários autores, em comparação com os resultados obtidos neste trabalho.

| Espécie | | Idade | Resultado (MPa) | Fonte |
|---|--------------------------------|-----------------|--|-------------------|
| 26 clones de <i>Eucalyptus</i> | | 8 anos | RC = 42 (base) RC = 45 (topo) | Lima, 1999 |
| 44 | genótipos de <i>Eucalyptus</i> | 13 a 17 anos | RC = 49 a 69 MOE_c = 8367 a 11221 | Caixeta, 2000 |
| 10 | híbridos de <i>Eucalyptus</i> | 9 anos | RC = 49 a 61 MOE_c = 6978 a 11943 | Moura, 2000 |
| 4 clones de <i>Eucalyptus</i> e 1 variedade | | 12,9 anos | RC = 51 a 62 MOE_c = 7463 a 8543 | Oliveira, 2001 |
| 7 clones de <i>Eucalyptus</i> | | 5,5 a 10,5 anos | RC = 40 a 52 MOE_c = 6590 a 8993 | Cruz et al., 2003 |
| Clones 57, 68, 111, 1213 | | 2 anos | RC = 45 a 57 MOE_c = 6400 a 8927 | Tabela 4.8 |

O resumo dos resultados da análise de variância entre os clones e topografias para a resistência à compressão e módulo de elasticidade em compressão da madeira de clones de *Eucalyptus* é apresentada na Tabela 4.10.

Pode-se observar, pela análise de variância (Tabela 4.10), que a resistência à compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade à compressão da madeira de clones de *Eucalyptus* variam significativamente entre clones.

Como o resultado da análise da interação clone x topografia para a resistência à compressão e para o módulo de elasticidade à compressão apresentado na Tabela 4.10 foi significativo, optou-se por avaliar o efeito de clones em baixada e em encosta (Tabela 4.11 e 4.12).

Analisando a interação clone x topografia (Tabela 4.11), pode-se observar que os clones 57 e 1213 plantados em baixada, quando comparados, não apresentaram diferença significativa na resistência à compressão a 1% de probabilidade. Os demais clones apresentaram diferença significativa a 1% de probabilidade. Através Tabela 4.11, pode-se observar que os clones 68 e 111, quando comparados, não apresentaram diferença significativa no módulo de elasticidade à compressão a 1% de probabilidade. Para os outros clones essa diferença foi a 1% de probabilidade. As diferenças estatísticas observadas entre a resistência à compressão e entre o módulo de elasticidade à compressão dos clones plantados em baixada podem ser associadas às diferenças que resultaram no ranqueamento das tolerâncias dos clones aos danos causados por tempestades.

Através da Tabela 4.12, pode-se observar que a interação clone x topografia dos clones 57 e 111, plantados em encosta, quando comparados, não apresentaram diferença significativa na resistência à compressão e no módulo de elasticidade à compressão. Os clones 111 e 1213 não apresentaram diferença a 1% de probabilidade e, para os demais clones, a diferença na resistência à

compressão foi a 1% de probabilidade. Os outros clones apresentaram diferença no módulo de elasticidade a 1% de probabilidade.

TABELA 4.10 Resumo dos resultados da análise de variância da resistência (RC) e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MOE_c) entre clones e topografias da madeira de *Eucalyptus*. [g.l. clone = 3; g.l. topografia = 1; g.l. clone x topografia = 3].

| | Probabilidade | | |
|------------------|---------------|------------|--------------------|
| | Clone | Topografia | Clone x Topografia |
| RC | *** | *** | *** |
| MOE _c | *** | *** | *** |

Em que: *** - significância a 1% de probabilidade.

TABELA 4.11 Comparação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade à compressão da madeira entre os clones de *Eucalyptus* plantados em baixada.

| Resistência à compressão | | | | |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Clones | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | 0,0147 |
| 68 | <0,0001 | | 0,0068 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | 0,0068 | | <0,0001 |
| Módulo de elasticidade à compressão | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | 0,0003 | 0,0009 |
| 68 | <0,0001 | | 0,0548 | <0,0001 |
| 111 | 0,0003 | 0,0548 | | <0,0001 |

TABELA 4.12 Comparação da resistência e do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras da madeira de *Eucalyptus* entre os clones plantados em encosta.

| Resistência à compressão paralela às fibras | | | | |
|---|-----------|-----------|------------|-------------|
| Clones | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | 0,2238 | 0,0006 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | 0,2238 | <0,0001 | | 0,0281 |
| Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | 0,3691 | 0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | 0,3691 | <0,0001 | | 0,0034 |

A semelhança estatística observada entre resistência à compressão e o módulo de elasticidade à compressão (Tabela 4.12) dos clones 57 e 111, quando plantados em encosta, não foi acompanhada pelo ranqueamento das tolerâncias desses clones à ação das tempestades (Tabela 1.2). Por outro lado, as diferenças estatísticas observadas entre a resistência à compressão e entre o módulo de elasticidade à compressão dos clones plantados em encosta podem estar associadas às diferenças que resultaram no ranqueamento das tolerâncias dos clones às tempestades.

Apesar de os clones 111 e 1213, plantados em baixada e em encosta, apresentarem diferença significativa resistência à compressão e no módulo de elasticidade, essa diferença não foi acompanhada pelo ranqueamento das tolerâncias desses clones à ação das tempestades (Tabela 1.2). Ressalta-se que não foi feita análise estatística para verificar a diferença entre as tolerâncias dos clones.

A comparação da resistência e do módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras para cada par de clones é apresentada na Tabela 4.13. A comparação de ambas características mecânicas entre um clone e os outros foi estatisticamente diferente a 1% de probabilidade (Tabela 4.13). Ao comparar o clone 57 com o 111, pode-se constatar que eles não diferem significativamente a 1% de probabilidade.

Na Tabela 4.14 o resumo da significância da resistência à compressão e do módulo de elasticidade em compressão entre os clones plantados em baixada e em encosta é apresentado.

Uma observação da Tabela 4.14 revela que a resistência à compressão diferiu significativamente entre as árvores plantadas em baixada e em encosta para os clones 68 e 111 a 1% de probabilidade. Já o clone 1213 não apresentou diferença significativa a 1% de probabilidade. A resistência à compressão da madeira das árvores do clone 57 é estatisticamente igual tanto em baixada quanto em encosta.

TABELA 4.13 Comparação entre clones de *Eucalyptus* para resistência e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras.

| Resistência à compressão paralela às fibras | | | | |
|---|-----------|-----------|------------|-------------|
| Clones | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | 0,0475 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | 0,0475 | <0,0001 | | 0,0824 |
| Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | 0,0500 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | 0,0500 | <0,0001 | | 0,0331 |

O módulo de elasticidade à compressão das árvores do clone 111 plantadas em baixada e em encosta diferiu significativamente a 1% de probabilidade (Tabela 4.14). O clone 1213 não diferiu significativamente a 1% de probabilidade. Os módulos de elasticidade à compressão da madeira das árvores dos clones 57 e 68 são iguais estatisticamente tanto em baixada quanto em encosta.

O clone 68 apresentou menor resistência e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras para as árvores plantadas em baixada, sendo que este é o clone mais suscetível à ação das tempestades. O clone 1213 apresentou maiores valores destas características para as árvores plantadas em encosta, sendo que, diferentemente, este é um clone com alta tolerância às tempestades.

TABELA 4.14 Resumo da significância da resistência (RC) e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (MOE_C) entre os clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta. [g.l. posição topográfica=1; g.l. RC= 299; g.l. MOE_C = 299].

| Clone | Resistência à compressão | Módulo de elasticidade |
|-------|--------------------------|------------------------|
| 57 | Ns | ns |
| 68 | *** | ns |
| 111 | *** | *** |
| 1213 | ** | * |

Em que: *** - significância a 1% de probabilidade; ** - significância a 5 % de probabilidade; * - significância a 10 % de probabilidade; ns – não significativo.

6.3 Flexão estática

TABELA 4.16 Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade à flexão estática (MOE_f) da madeira de *Eucalyptus* encontrados por vários autores em comparação com os resultados obtidos neste trabalho.

| Espécie | Idade | Resultado (MPa) | Fonte |
|---|-----------------|--|-------------------|
| 26 clones de <i>Eucalyptus</i> | 8 anos | MOR = 66,65 (base) MOR = 66,95 (topo) MOE = 7660 (base) MOE = 8338 (topo) | Lima, 1999 |
| 44 genótipos de <i>Eucalyptus</i> | 13 a 17 anos | MOR = 97 a 143 MOE = 13924 a 24015 | Caixeta, 2000 |
| 10 híbridos de <i>Eucalyptus</i> | 9 anos | MOR = 89,1 a 115,9 MOE = 15491 a 19947 | Moura, 2000 |
| 4 clone de <i>Eucalyptus</i> e uma varieade | 12,9 anos | MOR = 99 a 111 MOE = 6932 a 7914 | Oliveira, 2001 |
| 7 clones de <i>Eucalyptus</i> | 5,5 a 10,5 anos | MOR = 78 a 108 MOE _f = 8768 a 19670 | Cruz et al., 2003 |
| Clones 57, 68, 111, 1213 | 2 anos | MOR = 83 a 105 MOE _f = 5434 a 6918 | Tabela 4.15 |

Apesar de os clones 111 e 1213, plantados em encosta, apresentarem diferença significativa entre o módulo de ruptura, essa diferença não foi acompanhada pelo ranqueamento das tolerâncias desses clones à ação das tempestades (Tabela 1.2). As diferenças significativas apresentadas no módulo de ruptura pelos demais clones podem estar associadas às diferenças que resultaram no ranqueamento das tolerâncias dos clones às tempestades (Tabela 1.2).

TABELA 4.17 Resumo dos resultados da análise de variância do módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade em flexão estática (MOE_f) entre clones e entre topografias da madeira de *Eucalyptus*. [g.l. clone = 3; g.l. topografia = 1; g.l. clone x topografia = 3].

| | Probabilidade | | |
|---------|---------------|------------|--------------------|
| | Clone | Topografia | Clone x Topografia |
| MOR | *** | *** | * |
| MOE_f | *** | *** | ns |

Em que: *** - significância a 1% de probabilidade; * - significância a 10% de probabilidade; ns - não significativo.

TABELA 4.18 Comparação do módulo de ruptura da madeira entre os clones de *Eucalyptus* plantados em baixada.

| | Clones | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | 0,0045 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | 0,0045 | | <0,0001 |

TABELA 4.19 Comparação do módulo de ruptura da madeira entre os clones de *Eucalyptus* plantados em encosta.

| | Clones | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | 0,4024 | 0,0056 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | 0,4024 | <0,0001 | | 0,0004 |

A comparação do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade em flexão estática para cada par de clones é apresentada na Tabela 4.20. Esta comparação de ambas as características mecânicas entre um clone e os outros foi estatisticamente diferente a 1% de probabilidade (Tabela 4.20). Entretanto, a comparação do módulo de elasticidade em flexão estática do clone 57 com o 111 não resultou em diferença estatística significativa.

Na Tabela 4.21 a significância do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade em flexão estática entre os clones plantados em baixada e em encosta é apresentada.

Uma análise da Tabela 4.21 permite constatar que o módulo de ruptura dos clones 111 e 1213 diferiu significativamente entre as árvores plantadas em baixada e em encosta a 1% de probabilidade. Para o clone 68 não houve diferença significativa a 1% de probabilidade. O módulo de ruptura da madeira produzida em baixada pelo clone 57 é estatisticamente igual ao módulo de ruptura das madeiras produzidas em encosta (Tabela 4.21).

TABELA 4.20 Comparação entre clones de *Eucalyptus* do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade em flexão estática.

| Módulo de ruptura | | | | |
|-------------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|
| Clones | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | <0,0001 | 0,0023 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | <0,0001 | <0,0001 | | <0,0001 |
| Módulo de elasticidade | | | | |
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | <0,0001 | 0,6326 | <0,0001 |
| 68 | <0,0001 | | <0,0001 | <0,0001 |
| 111 | 0,6326 | <0,0001 | | <0,0001 |

TABELA 4.21 Significância do módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade em flexão estática (MOE_f) entre os clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta. [g.l. posição topográfica=1; g.l. MOR = 299; g.l. MOE_f = 299].

| Clone | Módulo de ruptura | Módulo de elasticidade |
|-------|-------------------|------------------------|
| 57 | Ns | ** |
| 68 | ** | *** |
| 111 | *** | *** |
| 1213 | *** | ** |

Em que: *** - significância a 1%; ** - significância a 5 %; ns - não significativo.

O módulo de elasticidade em flexão estática entre as árvores plantadas em baixada e em encosta diferiu significativamente a 1% de probabilidade (clones 68 e 111) e não diferiu estatisticamente a 1% de probabilidade (clones 57 e 1213) (Tabela 4.21).

O clone 68 apresentou menores valores de módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão para as árvores plantadas em baixada do que para as plantadas em encosta, sendo esse um indicativo da presença de lenho de tração e da maior suscetibilidade aos danos causados pelas tempestades. O clone 1213 apresentou maiores valores de módulo de ruptura e de módulo de elasticidade à flexão estática entre as árvores plantadas em encosta e as plantadas em baixada, sendo este um clone bastante tolerante às tempestades.

Para todas as propriedades mecânicas aqui apresentadas, os valores foram maiores para as árvores de encosta. Isso sugere uma adaptação mecânica das árvores para suportar o desequilíbrio causado pela inclinação do terreno. Possivelmente esses maiores valores são devidos à ocorrência de lenho de tração.

6.4 Relação funcional entre a densidade básica e as propriedades mecânicas com a tolerância das árvores aos danos causados por tempestades

A Tabela 4.22 apresenta as equações ajustadas entre a densidade básica e as propriedades mecânicas da madeira em função da tolerância dos clones às tempestades, além dos coeficientes de determinação (r^2), significância da regressão e o erro padrão.

As Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 representam a análise de regressão do nível de tolerância dos clones aos danos causados pelas tempestades em função das propriedades mecânicas da madeira.

Não foi possível encontrar uma relação linear significativa entre os valores de densidade básica dos clones e seus níveis de tolerância à ação das tempestades, isto é, não necessariamente os clones que produzem madeira mais densa são aqueles mais tolerantes.

TABELA 4.22 Equações ajustadas, coeficientes de determinação (r^2), significância da regressão e erro padrão ($S_{y,x}$).

| Equação | r^2 (%) | F | $S_{y,x}$ |
|--------------------------------------|-----------|----------|-----------|
| $T = 60,7573 + 20,3626 \text{ DB}$ | 0,23 | 0,014 ns | 13,0840 |
| $T = -14,005 + 1,6224 \text{ RC}$ | 53,2 | 6,80 ** | 8,9662 |
| $T = 11,387 + 0,0076 \text{ MOEc}$ | 44,8 | 4,86 * | 9,7349 |
| $T = -8,8067 + 0,8237 \text{ MOR}$ | 44,2 | 4,74 * | 9,7898 |
| $T = -17,8903 + 0,0143 \text{ MOEf}$ | 53,7 | 6,97 ** | 8,9092 |

Em que: T: tolerância às tempestades; ns: não significativo estatisticamente; **: significativo estatisticamente a 5% de probabilidade; *: significativo estatisticamente a 10% de probabilidade; DB: densidade básica; RC: resistência à compressão; MOEc: módulo de elasticidade à compressão; MOR módulo de ruptura; MOEf: módulo de elasticidade à flexão estática.

A relação existente entre a tolerância das árvores (T) com a resistência da madeira à compressão paralela às fibras (RC), o módulo de elasticidade à compressão (MOEc), o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade à flexão estática (MOEf) pode ser explicada por uma equação de regressão linear (Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4). Através das Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 observa-se que a tolerância das árvores à ação das tempestades aumenta à medida que as propriedades mecânicas da madeira aumentam. Observa-se que o ajuste das equações foi bom, sendo maior para o módulo de elasticidade à flexão estática.

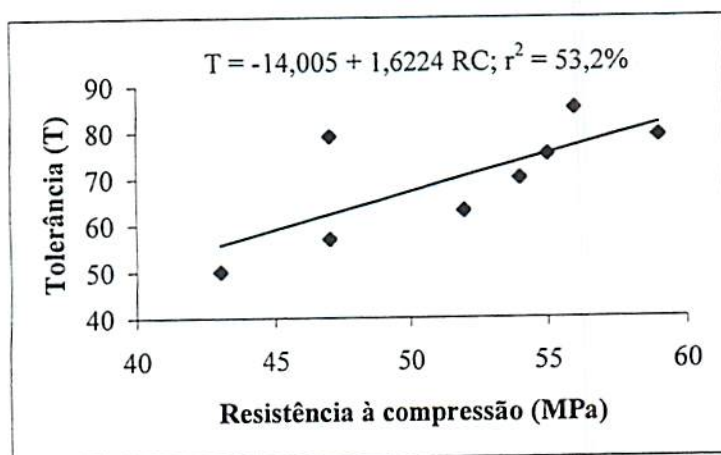


FIGURA 4.1 Análise de regressão do nível de tolerância aos danos causados por tempestades em função da resistência à compressão paralela às fibras.

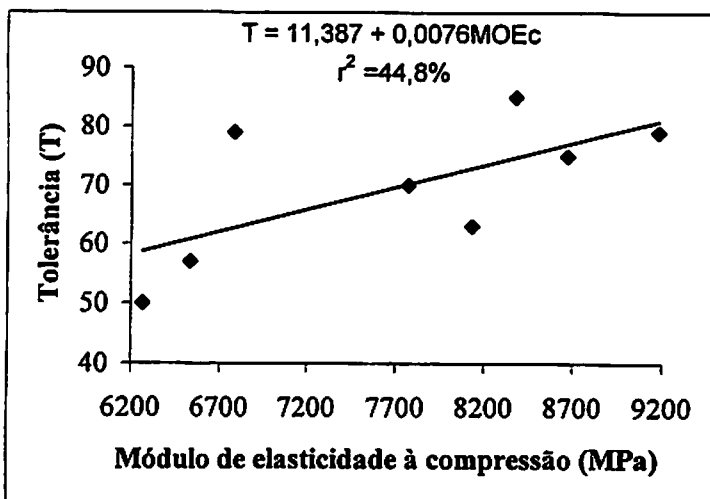


FIGURA 4.2 Análise de regressão do nível de tolerância aos danos causados por tempestades em função do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras.

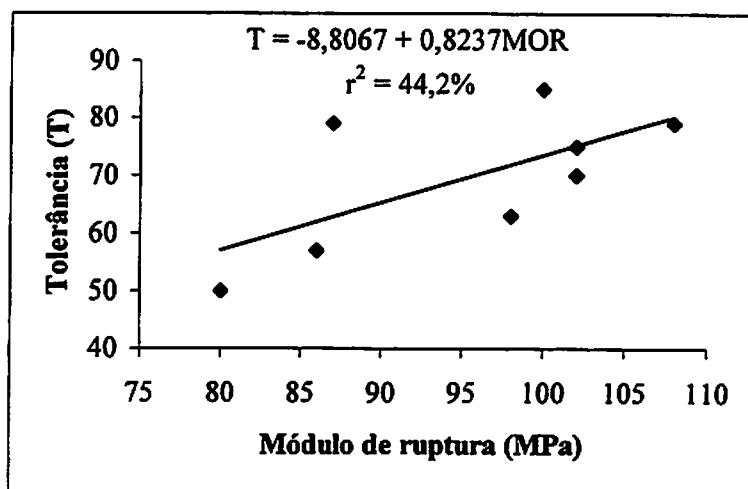


FIGURA 4.3 Análise de regressão do nível de tolerância às tempestades em função do módulo de ruptura.

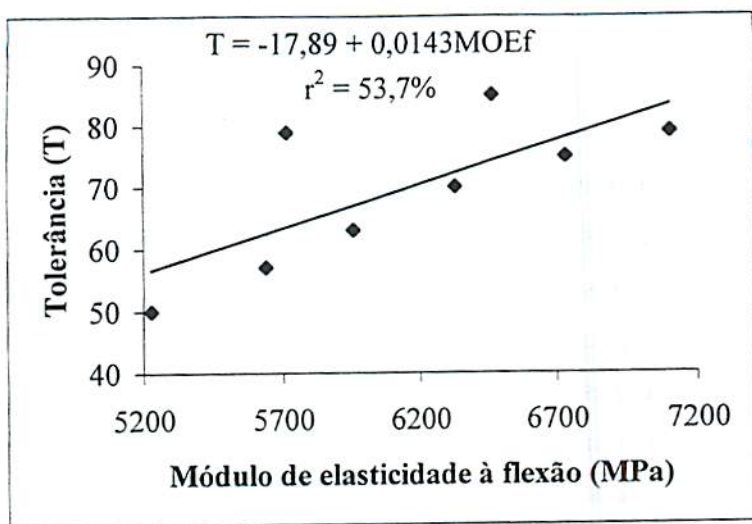


FIGURA 4.4 Análise de regressão do nível de tolerância aos danos causados por tempestades em função do módulo de elasticidade à flexão estática.

7 CONCLUSÕES

Analizando os resultados obtidos pôde-se concluir que:

- existe diferença estatística significativa entre os diferentes clones para densidade básica, resistência à compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática das madeiras;
- os clones apresentaram diferença estatística significativa na densidade básica, resistência à compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática entre as árvores plantadas em baixada e em encosta, exceto para o clone 57; para o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, também o clone 68 não apresentou diferença significativa;
- os valores de densidade básica, resistência à compressão e módulo de elasticidade à compressão, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática foram maiores nas madeiras produzidas em encosta do que nas madeiras produzidas em baixada. O clone 1213 apresentou maior densidade em madeira de baixada;
- a tolerância das árvores às tempestades não pôde ser bem explicada em função dos valores de densidade básica, entretanto, a tolerância mostrou ser razoavelmente dependente das propriedades mecânicas da madeira mediante estimativas por relações lineares e positivas, com coeficientes de determinação variando de 44,2 % (módulo de ruptura) a 53,7 % (módulo de elasticidade à flexão).

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Annual book of ASTM standards**. Easton: West Conshohocken, 1997. 679 p.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982. 712 p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BS 373. **Methods of testing small clear specimens of timber**. London: BSI, 1957. 31 p.

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

CAIXETA, R. P. **Propriedades da madeira de *Eucalyptus*: Classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada**. 2000. 89 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CRUZ, C. R. da; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. de. 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, dez. 2003.

DOWNES, G. M.; HUDSON, I. L.; RAYMOND, C. A.; DEAN, G. H.; MICHELL, A. J.; SCHIMLECK, L. R.; EVANS, R.; MUNERI, A. **Sampling plantation Eucalypts – for wood and fibre properties**. Collingwood, Austrália; Csiro Publishing, 1997. 132 p.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. **IPEF**, Piracicaba, n. 4, p. 65-89, 1972.

FOELKEL, C. E. B.; BUSNARDO, C. A.; DIAS, C.; SCHMIDT, C.; SILVA, R. M. R. da.; VESZ, J. B. V. Variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Silvicultura**, São Paulo, p. 726-731, Fev. 1983. (Anais do 4^o Congresso Florestal Brasileiro, São Paulo)

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968. v. 1. 592 p.

- LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. 1999. 276 p. Dissertação (Doutorado) - University of Wales, Bangor.
- LIMA, J. T. The wood density of 3 *Eucalyptus saligna* Smith clones in relation to age. **Annales Des Sciences Forestieres**, Paris, v. 52, n.4, p 347-352, 1995.
- LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Genotype-environment interaction in wood basic density of *Eucalyptus* clones. **Wood Science and Technology**, New York, v. 34, n. 3, p. 197-206, Oct. 2000.
- LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in compression strength parallel to the grain in *Eucalyptus* clones. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE DEVELOPMENT OF WOOD SCIENCE, WOOD TECHNOLOGY AND FORESTRY, 4., 1999, Missenden Abbey. **Proceedings...** Missenden Abbey: Forest Products Research Centre, 1999. p. 502-510.
- LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. da S.; OLIVEIRA, A. D. de. Variação da densidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus camaldulensis* no sentido longitudinal dos caules. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 123-127, jan./mar. 1992.
- 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, Jul. 2001.
- LOPES, G. de A. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associada aos padrões de casca apresentados pela população**. 2000. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- MORI, C. L. de O. **Variabilidade de cores em madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp.** 2003. 64 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- MOURA, M. C. de O. **Variações em características do crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus***. 2000. 63 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, L. J. R. **Uso do Pilodyn para a estimativa da densidade básica e propriedades mecânicas da madeira de eucalipto.** 2001. 62 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PANSHIN, A. J.; de ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 3. ed. New York: McGraw-Hill Book, 1970. 705 p.

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

ROCHA, J. de S. **A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras Amazônicas.** 1994. 141 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

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

SOUZA, A. P.; DELLA LUCIA, R. M.; RESENDE, G. C. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* F. Muell cultivado na região de Dionízio, MG. **Revista Árvore**, Vicosa, v. 3, n. 1, p. 16-27, jan./jun. 1979.

SOUZA, M. A. M. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus*.** 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SOUZA, V. R.; CARPIM, M. A.; BARRICHELLO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. **IPEF**, Piracicaba, v. 33, p. 65-72, ago. 1986.

VERKASALO, E. Relationships of the modulus of elasticity and the structure of Finnish Scots pine wood. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 26, n. 3, p. 155-168, 1992.

WANGAARD, F. F. **The mechanical properties of wood.** New York: John Wiley & Sons, 1950. 377 p.

CAPÍTULO 5


TENSÕES DE CRESCIMENTO EM CLONES DE *Eucalyptus* CULTIVADOS EM DIFERENTES TOPOGRAFIAS E SUJEITOS A TEMPESTADES

1 RESUMO

MELO, Vanete Maria de. Tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades. In: _____. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades.** 2004. Cap. 5, p. 98-112. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹¹

Dependendo da intensidade com que as tensões de crescimento ocorrem elas podem causar empenamentos e rachaduras, que diminuem o aproveitamento da madeira. Entretanto, essas tensões são importantes para o desenvolvimento e sobrevivência das árvores, uma vez que ajudam a mantê-las íntegras e eretas. A intensidade e distribuição das tensões variam entre diferentes materiais genéticos e com o ambiente onde eles crescem. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar as tensões de crescimento da madeira de quatro clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta, de forma a contribuir para o entendimento do comportamento das árvores frente a tempestades. As deformações residuais longitudinais (DRL) foram medidas nas árvores antes de serem derrubadas, de acordo com o método não destrutivo na altura de 1,30 m no caule. As DRLs foram multiplicadas ao módulo de elasticidade à flexão estática para a determinação das tensões de crescimento. Os resultados encontrados permitiram concluir que existe diferença significativa nas tensões de crescimento entre os diferentes clones; as aparentes maiores tensões de crescimento dos clones plantados em encosta não resultaram em diferença estatística significativa; maiores tensões de crescimento resultaram em maiores níveis de tolerância das árvores às tempestades.

¹¹Comitê de Orientação: José Tarcísio Lima (Orientador) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA e Lourival Marin Mendes – UFLA.


**GROWTH STRESSES IN CLONES OF *Eucalyptus* CULTIVATED ON
DIFFERENT TOPOGRAPHIES AND SUBJECTED TO STORMS**

2 ABSTRACT

MELO, Vanete Maria de. Growth stresses in clones of *Eucalyptus* cultivated on different topographies and subjected to storms. In: _____. **Variations of wood properties of *Eucalyptus* clones cultivated in different topographies and subjected to storms.** 2004. Chap. 5, p. 98-112. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Federal University of Federal de Lavras, Lavras, MG.¹²

Depending on the intensity that growth stresses happen them can cause warp and cracks in lumber, that reduce the use of the wood. However, these stresses are important for the development and survival of the trees, since they help to maintain them sound and erect. The intensity and distribution of the stresses vary amongst different genetic materials and with the site where they grow. The objective of this chapter was to study the growth stresses of wood of four clones of *Eucalyptus* planted on slope and on flat terrain, in such way to contribute for the understanding of the behaviour of the trees face to storms. The longitudinal residual strains (DRL) were measured in the trees before they were cut according to the non destructive method applied at 1.30 m height in the stem. DRLs were multiplied by the modulus of elasticity at the static bending for the determination of the growth stress. The results have permitted to conclude that there are significant difference in the growth stresses amongst the different clones; the apparent higher growth stresses of the clones planted on slope terrain have not resulted in statistic significant difference; higher growth stresses resulted in higher levels of tolerance of the trees to the storms.

¹²Guidance Committee: José Tarcísio Lima (Adviser) – UFLA, Paulo Fernando Trugilho – UFLA, Lourival Marin Mendes – UFLA.


3 INTRODUÇÃO

Tensões de crescimento são o resultado da ação de forças internas que atuam sobre os tecidos das árvores de forma a mantê-las íntegras e eretas (Lima et al., 2004). Mattheck & Kubler (1995) ressaltam a importância dessas tensões para a sobrevivência das árvores ao afirmarem que inevitáveis pontos de fraqueza em sua estrutura são contrabalançados pelo desenvolvimento das tensões de crescimento.

As tensões de crescimento são importantes para o crescimento e desenvolvimento normais da árvore, desempenhando funções tais como regulação da posição espacial da copa (Jacobs, 1945, citado por Santos, 2002), estabilidade física da árvore, prevenindo a ocorrência de falhas mecânicas, e quebra pelo vento (Kubler, 1987; Bamber, 1977; Chafe, 1979, citados por Santos, 2002).

As tensões de crescimento reagem às cargas críticas que podem causar ruptura. Essas tensões são originadas em fibras recém-diferenciadas, causando uma tensão de tração longitudinal no câmbio e induzindo uma tensão compressiva na seção transversal do caule (Jacobs, 1965). Elas são geradas em consequência do processo de crescimento da árvore e têm sua origem na zona cambial, durante a maturação da parede celular das fibras da madeira (Santos, 2002).

Sucessivas camadas de novos tecidos geram altas tensões compressivas longitudinais na região central do tronco, atingindo valor máximo próximo à medula. A elevada deformação diferencial formada é um fator determinante responsável por rachaduras de topo das toras durante a colheita e por distorções das peças produzidas durante o desdobro. Outras forças, como forças gravitacionais, devidas à ação do próprio peso da árvore; forças de tensões de



seiva, decorrentes de variações diárias ou sazonais, tensões de secagem que se desenvolvem na madeira em função da contração irregular de suas partes e as forças criadas pelo efeito de derrubada da árvore não devem ser confundidas com as tensões de crescimento (Lisboa, 1993).

Ocorrem variações nas intensidades das tensões de crescimento em volta da circunferência do tronco, as quais variam entre espécies e dentro da mesma espécie. Os problemas causados pelas tensões de crescimento podem ser minimizados através do melhoramento genético, de tratamentos silviculturais e de formas adequadas de manuseio e estocagem, associadas a estratégias de desdobro.

As tensões de crescimento que se manifestam em troncos inclinados tendem a deixá-los eretos devido à formação de lenho de reação. Normalmente árvores plantadas em terrenos inclinados e sob a ação de ventos possuem maiores tensões de crescimento devido à presença do lenho de reação.

O objetivo deste capítulo foi avaliar as tensões de crescimento da madeira de quatro clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e em encosta, de forma a contribuir para o entendimento do comportamento das árvores frente à ação de tempestades.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Kubler (1987), o termo tensão refere-se a uma força que pressiona ou distende a madeira. O peso da copa da árvore cria uma tensão de compressão no fuste, enquanto os ramos pendentes exercem uma tensão de tração na parte superior. Estas tensões resultam da força externa da gravidade,

enquanto as tensões de crescimento são auto-geradas, ou seja, evoluem na árvore em crescimento e são um tipo de tensão interna ou residual, a qual caracteristicamente existe dentro de um corpo sólido, embora nenhuma força externa causadora de tensão esteja atuando.

Yamamoto et al. (1997), interessados no mecanismo da geração das tensões de crescimento, por vários anos coletaram dados experimentais sobre o relacionamento entre as tensões de crescimento e as várias características anatômicas, especialmente na região de lenho de reação. Esses autores acreditam que o ângulo das microfibrilas na camada S_2 é um dos fatores mais importantes a controlar a magnitude e os sinais das tensões de crescimento, tanto em coníferas como em folhosas.

Resultados obtidos de *Liriodendron tulipifera* por Yamamoto et al. (1992, 1993a, citados por Yamamoto et al., 1997) revelaram que no lado de cima da porção inclinada, tanto a deformação longitudinal liberada quanto o ângulo das microfibrilas tornaram-se anormais quando comparados com aqueles da porção que cresce verticalmente.

A deformação longitudinal liberada torna-se maior proporcionalmente ao aumento da formação do lenho de reação. Isso sugere que o grau de formação de lenho de reação pode ser estimado facilmente e acuradamente pela medição das deformações longitudinais liberadas (Yamamoto et al., 1997).

As tensões de crescimento podem ser particularmente importantes em *Eucalyptus* de rápido crescimento durante seu processamento e utilização, o que evidencia a necessidade de bem avaliá-las. Muneri et al. (2000), citando resultados não publicados obtidos na Austrália com *E. cloeziana* de 32 anos de idade, relatam que 25 % de tábuas serradas foram desclassificadas devido a arqueamentos e torções provavelmente causados pelas tensões de crescimento. Na operação de desdobro de toras, como as rachaduras de topo e os empenamentos das tábuas requerem seu destopamento, as dimensões médias das

peças serão reduzidas, assim como o rendimento em madeira serrada. Para reduzir esses problemas, formas adequadas de manuseio e estocagem das toras, associadas a estratégias de desdobro, foram desenvolvidas por Waugh et al. (1997). Outra estratégia que também pode ser aplicada é o melhoramento florestal, capaz de fornecer solução biológica para os problemas de altos níveis de tensões. Segundo Malan (1995) e Schacht et al. (1998), essa característica das árvores é geneticamente herdável. Adicionalmente, tratamentos silviculturais, como o desbaste (Marsh & Burgers, 1967; Kubler, 1988), podem também ajudar a minimizar tensões de crescimento ao manter um taxa de crescimento constante e condições de crescimento estáveis.

As tensões de crescimento são determinadas a partir da medição da alteração nos comprimentos de peças de madeira, após a liberação de suas junções a outros elementos vizinhos, dentro de um tronco de uma árvore (Lisboa, 1993). Em consequência, os processos de medições utilizados determinam as deformações e não as tensões. De acordo com a distribuição das tensões no interior do tronco, peças de madeira removidas da periferia do tronco tenderão a diminuir de comprimento em resposta ao seu estado de tração e, inversamente, peças removidas próximas à medula tenderão a alongar-se em resposta ao estado de compressão anterior.

Mesmo considerando a importância do conhecimento e dos efeitos das tensões de crescimento para a utilização da madeira, no Brasil este tema tem sido pouco estudado. Mais recentemente, entretanto, devido ao crescente emprego do *Eucalyptus* como produtor de madeira serrada, várias questões sobre os níveis, os efeitos, as variações e possíveis formas de controle das tensões de crescimento têm surgido.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Seleção do material

Foram selecionados quatro clones plantados em baixada e em encosta, sendo amostradas quatro árvores por clone e local de plantio. As deformações residuais longitudinais (DRLs) foram medidas a 1,30 m de altura do caule das árvores, nas posições norte e sul, antes de serem derrubadas.

5.2 Medição das deformações residuais longitudinais (DRLs)

As medições foram efetuadas em cada árvore de acordo com o método não destrutivo (método de Nicholls adaptado pelo CIRAD-Foret) aplicado ao nível do DAP. De acordo com essa metodologia, dois pinos são inseridos no tronco em uma pequena janela sem casca, de cerca de 20 cm de altura x 10 cm de largura, aberta sobre o tronco. Um pino é situado distante do outro 45 mm, tendo o cuidado de fixá-los na direção da grã. Tais pinos são então conectados a um extensômetro cuja função é indicar a intensidade da deformação residual longitudinal de crescimento. Após ajuste desse aparelho, um orifício de 2 cm de diâmetro é feito com um arco de pua entre os dois pinos, com o objetivo de liberar as tensões. A liberação das tensões causa a deformação da madeira, cujo valor em milímetros é indicado em um mostrador digital. Após a anotação desses valores as árvores foram derrubadas para amostragem da madeira visando determinação das propriedades mecânicas (Capítulo 4).

Para o cálculo das tensões de crescimento utilizou-se a seguinte fórmula:

$$TC = \frac{DRL * MOEf}{45 \times 1000},$$

em que:

TC: tensão de crescimento expressa em kgf/cm^2 ;

DRL: deformação residual longitudinal expressa em μm ;

MOEf: módulo de elasticidade em flexão estática expresso em kgf/cm^2 ;

45: distância entre os pinos;

1000: fator de correção de unidades.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das deformações residuais longitudinais e das tensões de crescimento da madeira de clones de *Eucalyptus* plantados em baixada e encosta estão apresentados por clone na Tabela 5.1. Nessa tabela pode-se observar que os valores médios de tensão de crescimento variam de 114 a 148 kgf/cm^2 . Esses valores estão próximos daqueles obtidos por Lima et al. (2004), que trabalhando com 5 clones de *Eucalyptus* com idades de 8,5 a 15 anos, encontraram tensões de crescimento variando de 81 a 175 kgf/cm^2 . Trugilho et al. (2002), avaliando as tensões de crescimento em árvores de 11 clones de *Eucalyptus* com 6 anos de idade, encontraram uma variação de 139 a 448 kgf/cm^2 entre os clones. É possível que os menores valores de tensão de crescimento encontrados neste trabalho sejam devidos à menor idade do material aqui analisado. É importante ressaltar que os valores de tensão de crescimento foram obtidos por meio da multiplicação da deformação residual longitudinal pelo módulo de elasticidade em flexão estática. Valor mais próximo para representar o verdadeiro comportamento elástico do caule poderia ser encontrado caso esse módulo fosse determinado em ensaio de tração longitudinal.

TABELA 5.1 Valores médios das deformações residuais longitudinais (DRL), das tensões de crescimento (TC), média dos clones das árvores plantadas em baixada (B) e em encosta (E) da madeira de *Eucalyptus*.

| Clone | DRL (μm) | | | TC (kgf/cm^2) | | |
|-------|-----------------------|------|-------|---------------------------------|-------|-------|
| | B | E | Média | B | E | Média |
| 57 | 97 | 101 | 99 | 130 | 144 | 137 |
| 68 | 96 | 90 | 93 | 113 | 115 | 114 |
| 111 | 98 | 106 | 102 | 127 | 156 | 142 |
| 1213 | 94 | 95 | 95 | 144 | 152 | 148 |
| Média | 96 | 98 | 97 | 129 | 142 | 135 |
| CV | 1,77 | 7,12 | 4,25 | 9,89 | 13,06 | 10,98 |

CV: coeficiente de variação (%)

A análise de variância do delineamento experimental adotado está apresentada na Tabela 5.2, em que se observa que o fator clone foi significativo a 10% de probabilidade, indicando que existe diferença entre os materiais para a tensão de crescimento. Entretanto, não houve diferença estatística significativa nas tensões de crescimento entre as árvores plantadas em baixada e em encosta quando os clones foram agrupados.

A comparação das tensões de crescimento para cada par de clones é apresentada na Tabela 5.3. As tensões dos clones 57 e 68 foram estatisticamente diferentes a 10% de probabilidade. O clone 57 não apresentou diferença significativa das tensões com os demais clones. Comparando o clone 68 com os clones 111 e 1213 pode-se observar que as tensões de crescimento foram significativamente diferentes a 5% de probabilidade. Os clones 111 e 1213 não apresentaram diferenças significativas entre si. O clone 1213 apresentou maiores tensões de crescimento nas árvores plantadas em encosta que nas plantadas em baixada, sendo estas menos tolerantes a danos causados por tempestades do que

as árvores de encosta. O clone 111 plantado em encosta, que é o clone mais tolerante aos danos causados por tempestades, apresentou maior tensão de crescimento. Maiores tensões de crescimento das árvores indicam que elas devem estar mais ancoradas ao solo, além de formarem mais lenho de tração, o que pode conferir uma maior resistência às quebras. De acordo com Yamamoto et al. (1997), a deformação longitudinal liberada torna-se maior proporcionalmente ao aumento da formação do lenho de reação. Isso sugere que o grau de formação de lenho de reação pode ser estimado facilmente pela medição das deformações longitudinais liberadas. O clone 68 apresentou menor valor de tensão de crescimento para as árvores plantadas em baixada do que para as plantadas em encosta. As árvores deste clone, plantadas em encosta, apresentam menor suscetibilidade a tempestades, o que pode ser associado com a formação de lenho de tração.

TABELA 5.2 Resumo dos resultados da análise de variância das tensões de crescimento da madeira de *Eucalyptus* entre os clones e entre as topografias. [g.l. clone = 3; g.l. topografia = 1; g.l. clone x topografia = 3].

| TC | Probabilidade | | |
|---|---------------|------------------|------------------------|
| | Clone * | Topografia ns | ClonexTopografia ns |
| Em que: * - significância a 10% de probabilidade; ns – não significativo. | | | |

Não foi possível encontrar uma relação linear significativa entre os valores de deformações residuais longitudinais (DRL) dos clones e seus níveis de tolerância à ação das tempestades (Tabela 5.4). A relação existente entre a tolerância (T) das árvores aos danos causados por tempestades e as tensões de

crescimento pode ser explicada por uma equação de regressão linear, como pode ser observado na Figura 5.1.

TABELA 5.3 Comparação entre clones de *Eucalyptus* das tensões de crescimento.

| | Clones | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|
| | 57 | 68 | 111 | 1213 |
| 57 | | 0,0835 | 0,7230 | 0,4161 |
| 68 | 0,0835 | | 0,0406 | 0,0146 |
| 111 | 0,7230 | 0,0406 | | 0,6434 |

A influência dessas tensões sobre a tolerância das árvores é maior do que aquelas representadas pelas características da madeira discutidas no Capítulo 4 (densidade básica, resistência e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática). Por meio da Figura 5.1 pode-se observar que quanto maiores são as tensões de crescimento, maiores são as tolerâncias das árvores à ação das tempestades. O ajuste da tolerância das árvores em função das tensões de crescimento foi melhor do que em função das deformações (Figura 5.1). É possível que a incorporação do módulo de elasticidade à flexão estática no cálculo das tensões de crescimento esteja contribuindo para corrigir efeitos de dispersões existentes quando se consideram apenas as deformações residuais.

TABELA 5.4 Equações ajustadas, coeficientes de determinação (r^2), significância da regressão e erro padrão ($S_{y,x}$).

| Equação | r^2 (%) | F | $S_{y,x}$ |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| $T = -64,429 + 1,3815 \text{ DRL}$ | 29,8 | 2,55 ns | 10,9731 |
| $T = -15,702 + 0,6307 \text{ TC}$ | 72,1 | 15,48 *** | 6,9233 |

Em que: T: tolerância às tempestades; ns: não significativo estatisticamente; ***: significativo estatisticamente a 1% de probabilidade; DRL: deformações residuais longitudinais; TC: tensões de crescimento.

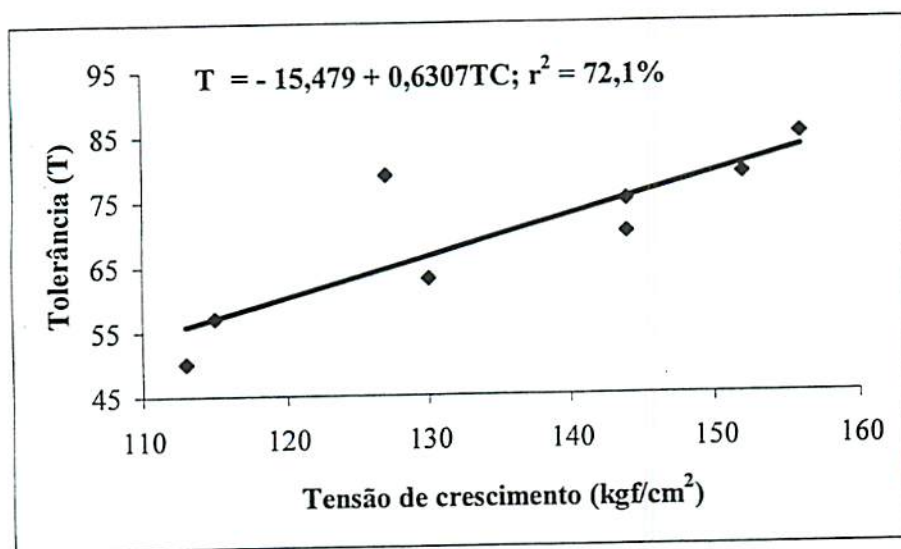


FIGURA 5.1 Análise de regressão do nível de tolerância a danos causados por tempestades em função das tensões de crescimento.

7 CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos pôde-se concluir que:

- existe diferença significativa nas tensões de crescimento das árvores produzidas pelos diferentes clones;**
- as aparentes maiores tensões de crescimento observadas nos clones plantados em encosta não resultaram em diferença estatística significativa;**
- maiores tensões de crescimento das árvores resultaram em maiores níveis de tolerância das árvores às tempestades.**

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JACOBS, M.R. **Stresses and strains in tree trunks as they grow in length and width.** Camberra, Austrália: Forestry and Timber Bureau, 1965. 15 p. (Folheto nº 96).

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forestry Abstracts**, Farnham Royal, v. 48, n. 3, p. 131-189, Mar. 1987.

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

LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. da S.; CRUZ, C. R. da. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em *Eucalyptus* e suas associações com outras propriedades. **Revista árvore**, Curitiba, v. 28, 2004. No prelo.

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

MALAN, F. A. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT, 1995. p.1-19.

MARSH, E. K.; BURGERS, T. F. The relation between silvicultural treatment and timber quality in *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **Forestry in South Africa**, Pretoria, v. 8, n. 1, p. 63-74, 1967.

MATTHECK, C.; KUBLER, H. **Wood- the internal optimization of trees.** Berlin: Springer, 1995. 129 p.

MUNERI, A.; KNIGHT, J.; LEGATE, W.; PALMER, G. Relationships between surface longitudinal growth strain and tree size, wood properties and timber distortion of 4 year old plantation grown *Eucalyptus cloeziana*. In: IUFRO CONFERENCE -THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston, Austrália. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000. p. 292-300.

SANTOS, P. E. T. dos. Avaliação de características tecnológicas de madeira para serraria em progênies de polinização aberta de eucalipto e implicações para o melhoramento genético. 2002. 153 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SCHACHT, L.; GARCIA, J. N.; VENCOVSKY, R. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 54, p. 55-68, dez. 1998.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. da S.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; SOUZA, M. A. M de. Avaliação da tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus*. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 38-44, jan./dez. 2002.

WAUGH, G.; YANG, J.L.; OZARSKA, B. Sawn products from young, plantation-grown eucalypts. In: IUFRO DIVISION 5 CONFERENCE, 1997. *Proceedings...* Pullman, Washington State, 1997.

YAMAMOTO, H.; OKUYAMA, T.; YOSHIDA, M. Growth stress generation and microfibril angle in reaction wood. In: BUTTERFIELD, B. G. (Ed.). *Microfibril angle in wood*. Westport: International Association of Wood Anatomists, 1997. p. 225-239.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Se do ponto de vista acadêmico, vários conhecimentos e informações podem ser extraídos do presente trabalho. Do ponto de vista comercial esses benefícios devem ser traduzidos em instruções ou recomendações para suas aplicações práticas. Neste caso, a contribuição seria proveitosa se respondesse à questão: nas condições relatadas neste trabalho, que clones poderiam ser selecionados e plantados para suportar a ação das tempestades? Para responder a essa questão, inicialmente é preciso estabelecer um nível mínimo aceitável de tolerância dos clones às tempestades. Dessa forma, arbitrou-se como tolerantes todos os clones que tivessem nota mínima equivalente a 75, conforme Tabela 1.2. Esta nota aplicada nas equações lineares para estimativa das tolerâncias, permitiu identificar o correspondente valor da propriedade. Os valores para as várias propriedades que resultaram em correlação significativa estão apresentados na Tabela 6. Deve-se salientar que essa nota mínima pode ser modificada em função do rigor que se deseja aplicar na seleção. De acordo com a Tabela 6 pode ser notado que para apresentarem tolerância acima de 75, os clones devem apresentar alternativamente uma das seguintes características: largura das fibras abaixo de 16,28 μm , diâmetro do lume abaixo de 8,35 μm , resistência à compressão acima de 55 MPa, módulo de elasticidade à compressão acima de 8370 MPa, módulo de ruptura acima de 102 MPa, módulo de elasticidade à flexão estática acima de 6496 MPa ou tensão de crescimento acima de 144 kgf/cm^2 . Entre as características apresentadas na Tabela 6, pode-se constatar que a largura das fibras e a tensão de crescimento foram as características que resultaram em melhor ajuste e, conseqüentemente, em maior acurácia e precisão na estimativa da tolerância. Entretanto, como a determinação

das tensões de crescimento depende dos valores de DRL e de módulo de elasticidade, o uso dessa característica depende de método destrutivo, que além

TABELA 6 Equações ajustadas, coeficientes de determinação (r^2) e valor da propriedade para tolerância dos clones (T) às tempestades igual a 75.

| Equação | r^2 (%) | Valor da propriedade para tolerância igual a 75 |
|------------------------------|-----------|---|
| $T = 130,2005 - 6,61474 DL$ | 60,0 | 8,35 μm |
| $T = 190,3912 - 7,08768 LF$ | 75,4 | 16,28 μm |
| $T = -14,005 + 1,6224 RC$ | 53,2 | 55 MPa |
| $T = 11,387 + 0,0076 MOEc$ | 44,8 | 8370 MPa |
| $T = -8,8067 + 0,8237 MOR$ | 44,2 | 102 MPa |
| $T = -17,8903 + 0,0143 MOEf$ | 53,7 | 6496 MPa |
| $T = -15,702 + 0,6307 TC$ | 72,1 | 144 kgf/cm^2 |

Em que: DL: diâmetro do lume das fibras; LF: largura das fibras; RC: resistência à compressão; MOEc: módulo de elasticidade à compressão; MOR módulo de ruptura; MOEf: módulo de elasticidade à flexão estática; TC: tensão de crescimento.

de caro é demorado. Uma das formas de minimizar esse problema é mediante a determinação do módulo de elasticidade por método não destrutivo, por exemplo, através de ultra-som. Por outro lado, a utilização da largura das fibras para estimativa da tolerância, apesar de ter demandado amostragem destrutiva, pode ser feita em amostras no formato de baguetas, extraídas com o trado de incremento, o que torna a amostragem não destrutiva, isto é, não exige a derrubada da árvore, o que pode significar vantagem em algumas situações.

Apesar da potencialidade de utilização de variáveis como a largura das fibras e as tensões de crescimento como bons indicadores da tolerância das árvores às tempestades, é importante ressaltar o caráter exploratório deste

trabalho. Por isso, é importante que sejam realizados estudos mais avançados em que a topografia e a intensidade do vento sejam controladas, que amostragens sejam realizadas imediatamente antes que as árvores sejam danificadas pelas tempestades. Além disso, é recomendável que avaliações sejam feitas em clones que sejam reconhecidamente mais tolerantes às tempestades do que os materiais que foram utilizados neste trabalho.