

Recebido: 30-01-2014 Aceito: 20-09-2014

## Caracterização anatômica, física e química da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos

Rafael Leite Braz<sup>1\*</sup>, José Tarcísio da Silva Oliveira<sup>2</sup>, Antônio Marcos Rosado<sup>3</sup>, Graziela Baptista Vidaurre<sup>2</sup>, Juarez Benigno Paes<sup>2</sup>, Mário Tomazello Filho<sup>4</sup>, Pedro Lício Loiola<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR.

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santos (UFES), Jerônimo Monteiro, ES.

<sup>3</sup>Eldorado Brasil Celulose e Papel, Três Lagoas, MS.

<sup>4</sup>Departamento de Ciências Florestais, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

**RESUMO** Povoamentos jovens de eucalipto na região do Vale do Rio Doce no Estado de Minas Gerais estão sujeitos a danos provocados pela ação dos ventos, principalmente nas regiões de baixadas e em povoamentos jovens. O estudo teve como objetivo a caracterização anatômica, física e química de árvores de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* quebradas pela ação natural de vento. Para tanto foram avaliados parâmetros anatômico (COPANT, 1974), físico (NBR 11941) e químico (TAPPI 257, 264 e 204) de árvores com idade de 30 a 35 meses destinados à produção de celulose. Com base na densidade da madeira e nos parâmetros anatômicos quantitativos de vaso e morfologia das fibras, os resultados indicaram diferença entre os clones o que poderão ser utilizados como ferramenta para a seleção de clones mais tolerantes nos programas de melhoramento genético. Para a composição química, os clones apresentaram valores aproximados para os teores de extrativos, lignina e holocelulose, servindo apenas como indicativo para a produção e rendimento de celulose. Estudos relacionados aos fatores ambientais, genéticos e que envolvam outras características da madeira devem ser incentivados, de maneira a auxiliar nas análises dos parâmetros que implicam na quebra das árvores em função da ação dos ventos.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, anatomia, densidade da madeira, composição química.

## Anatomical, physical and chemical characterization of *Eucalyptus* clones grown in areas subject to action of winds

**ABSTRACT** Young stands of eucalyptus implanted in the region of Vale do Rio Doce in Minas Gerais State, Brazil, have suffered damage due to wind action especially in lower regions. The study aimed to the anatomical, physical and chemical characterization the wood from trees of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* clones broken for the winds natural action. For this some were evaluated anatomical parameters (COPANT, 1974), physical (NBR 11941) and chemical (TAPPI 257, 264, T204) of trees 30 and 35 months of age for the production of cellulose. Based on wood density and quantitative anatomical parameters of the vessels and fiber morphology, the results showed that a difference between the clones and evaluated properties may be used as a tool for selections of more tolerant clones in forestry breeding programs. For the chemical composition, the clones presented similar values for the extractives, lignin and holoellulose content, serving only as an indication for the production and yield of cellulose. Studies related to environmental and genetic factors and other wood characteristics should be encouraged to help in the parameters analysis that imply in the breaking of trees due to the action of the winds.

**Keywords:** *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, anatomy, wood density, chemical composition.

## Introdução

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

O rápido crescimento das árvores em povoamentos florestais para a produção de celulose contribui para a utilização de árvores cada vez mais jovens, o que pode comprometer sua formação e constituição, bem como suas propriedades anatômicas, físicas e químicas. De acordo com Latorraca; Albuquerque (2000) e Vidaurre et al. (2011), madeiras juvenis possuem problemas ligados à sua qualidade, em decorrência do rápido crescimento, apresentando baixos valores para a densidade e a resistência mecânica.

Entretanto, plantios florestais de eucalipto na região do Vale do Rio Doce, no Estado de Minas Gerais destinados à produção de celulose, principalmente, com dois anos de idade, estão cada vez mais susceptíveis a ação dos ventos, afetando consideravelmente o desenvolvimento das árvores. Como consequência, tem-se o tombamento e até mesmo a quebra das árvores, interferindo significativamente na questão econômica e no desenvolvimento de atividades em campo e ocasionando preocupações a empresas do setor florestal. Nesse contexto, alguns estudos já foram desenvolvidos na região com intuito de verificar a resistência das árvores de eucalipto através de um teste de resistência para avaliar a tolerância à quebra por vento em árvores e suas propriedades associadas ao efeito do vento (MELO, 2004;

FERREIRA et al. 2010; CARDOSO et al., 2013; ROSADO et al., 2013).

As propriedades das madeiras podem variar em função da região de plantio (qualidade de sítio), da idade, taxa de crescimento e presença de madeira juvenil. As variações da qualidade da madeira de eucalipto ocorrem em consequência da sua estrutura anatômica, composição química e propriedades físicas, podendo ser detectadas significativas diferenças em níveis inter e intraespecíficos (TOMAZELLO FILHO, 1994; LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; PEREIRA; TOMASELLI, 2004; VIDAURRE et al., 2013).

A compreensão da estrutura e formação das árvores, bem como suas características, pode contribuir para explicar a reação das árvores quando sujeitas à ação dos ventos e permite ou possibilita identificar materiais genéticos mais tolerantes para essas regiões. Segundo Tomazello Filho (2002), o conhecimento das células e tecidos que compõem o lenho arbóreo é básico para a caracterização da estrutura anatômica das madeiras.

Oliveira (1997) reportou que o volume dos vasos e as fibras são fatores importantes nas propriedades físicas e mecânicas da madeira em diferentes eucaliptos. Os vasos que possuem elevada dimensão e com paredes delgadas são estruturas que proporcionam baixa resistência mecânica à madeira (CHIMELO, 2007). Segundo Ferreira et al. (2010), as fibras têm como função principal a sustentação mecânica das árvores, além de correlacionar com as características físicas e químicas da madeira e contribuem na aplicação e uso final da madeira.

Já os constituintes químicos da madeira estão relacionados à fragilidade da madeira, são os teores de celulose e lignina, uma vez que estão atrelados com as características mecânicas da madeira e seus subprodutos. Kibblewhite et al. (1998) descreveram que o rendimento em polpa tende a aumentar com a diminuição da quantidade de

lignina na madeira. Por outro lado, baixo teor de lignina implica na redução da resistência mecânica uma vez que é a lignina responsável por esta resistência (VALE et al., 2010).

A estrutura tridimensional da lignina contribui para rigidez e resistência na parede celular às forças de compressão, resultando em uma estrutura resistente ao impacto, compressão e quebra ao conferir rigidez à parede da célula e, ao agir como um agente permanente de ligação entre as células, (PHILIPP; D'ALMEIDA, 1988), além de reduzir a permeabilidade da parede celular à água, conferindo aos tecidos lignificados maior resistências ao ataque de micro-organismos (SOUZA, 2006).

Portanto, o conhecimento das características anatômicas, físicas e químicas das árvores plantadas nos locais que tiveram maior ação de ventos pode contribuir para os programas de melhoramento a fim de selecionar e classificar os materiais com maior resistência ao efeito dos ventos em função dessas propriedades.

O estudo teve como objetivo presente a caracterização anatômica, física e química da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* quebradas pela ação natural de ventos.

## Material e Métodos

### *Procedência e amostragem do material*

Para as caracterizações anatômica, física e química, foram utilizados dez clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, sendo oito destes com idade de 30 meses e dois com idade de 35 meses, plantados em locais de baixada com altitude de 250 metros e em espaçamento de 3,33 x 3,00 m. O material foi procedente de plantios florestais da empresa Celulose Nipo Brasileira S.A (CENIBRA), localizada no município de Belo Oriente, região do Vale do Rio Doce, leste de Minas Gerais.

Foram amostradas cinco árvores para cada clone e coletados três discos por árvore para as análises dos parâmetros anatômico, físico e químico (Figura 1). O disco I foi retirado no diâmetro à altura do peito (DAP, 130 m do nível do solo), o II na parte inferior e o III na parte superior do ponto de quebra das árvores em consequência do teste de resistência mecânica à quebra, ao simular o efeito do vento. As partes do tronco que foram totalmente rachadas durante a quebra não foram empregadas no trabalho.

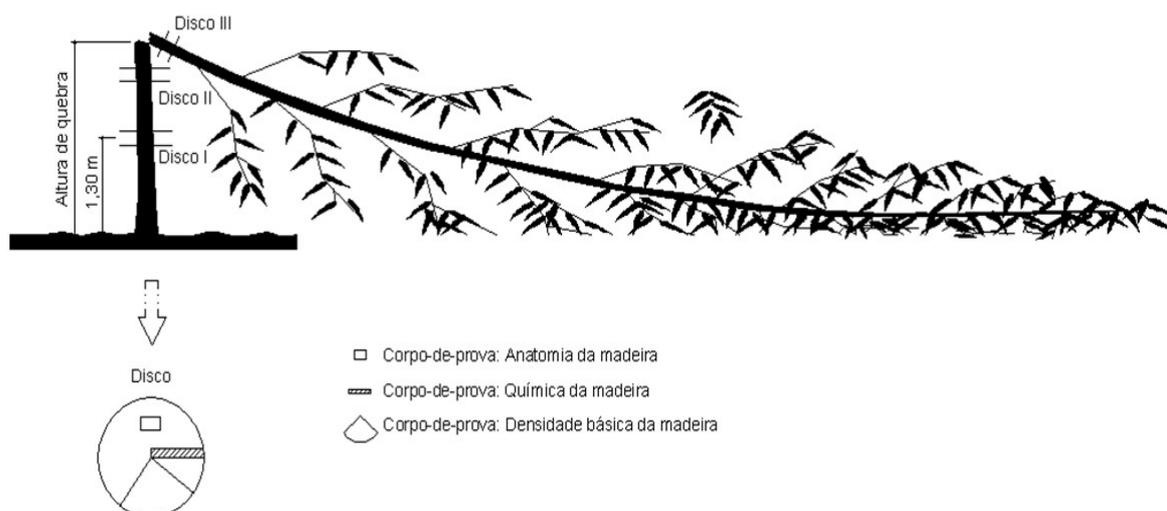
Em suma, o método consiste em amarrar a copa da árvore a uma altura pré-determinada de aproximadamente 85% da altura de cada árvore, puxar a corda num ângulo fixo de 45° com o auxílio de um guincho. A força necessária para quebrar a árvore é registrada no dinamômetro (Figura 2).

### *Descrição anatômica quantitativa da madeira*

Para a descrição anatômica da madeira dos clones foram realizadas as mensurações dos vasos e morfologia das fibras, em corpos de prova com dimensões de 1,0 x 1,5 x 2,0 cm, (radial x tangencial x longitudinal), retirados do cerne intermediário, situado entre a medula e o alburno (Figura 1).

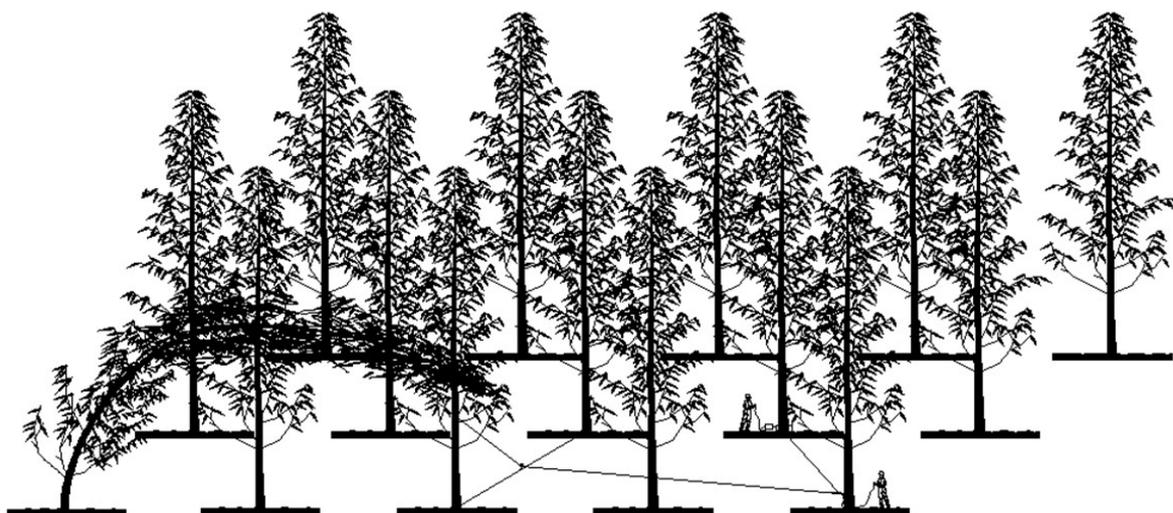
Os corpos de prova para a mensuração dos vasos foram amolecidos por fervura em água e, posteriormente, fixados em um micrótomo de deslize para a confecção de lâminas dos cortes histológicos do plano transversal. A dissociação de fragmentos de madeira, para o preparo de lâminas provisórias de macerados foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Nicholls; Dadswel (1962), descrita por Ramalho (1987).

Para a realização das mensurações dos vasos e das fibras foram obtidas fotomicrografias das lâminas preparadas por meio de uma câmera digital acoplada ao microscópio óptico. As mensurações foram realizadas no *software* específico para as análises das imagens, acoplado ao próprio equipamento



**Figura 1.** Posição das amostras retiradas dos discos nas árvores para determinação dos parâmetros anatômicos, físicos e químicos.

**Figure 1.** Position of samples taken in the disk to determination the anatomical, physical and chemical parameters.



**Figura 2.** Vista lateral do sistema de avaliação de resistência da árvore à quebra simulando o efeito do vento.

**Figure 2.** Side view of the evaluation of resistance from tree to break the system by simulating the effect of wind.

empregado. As mensurações foram realizadas segundo a norma COPANT (1974).

Para cada disco, efetuaram-se 40 repetições para determinação da frequência e diâmetro tangencial dos vasos. Na mensuração das fibras, determinaram-se o comprimento, a largura e diâmetro do lume considerando 20 repetições para cada disco. A espessura da parede celular das fibras foi determinada de forma indireta a partir da diferença entre a largura da parede e o diâmetro do lume dividido por dois.

### **Densidade básica da madeira**

A densidade básica da madeira foi determinada a partir de amostras no formato de cunha retiradas nos discos I, II e III (Figura 1). As amostras foram imersas em água, até que estivessem completamente saturadas, para posterior obtenção do volume pelo método da balança hidrostática, conforme a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 11941, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003).

As amostras foram secas em estufa à temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até atingirem massa constante. Posteriormente, mensurou-se a massa seca do material em uma balança de 0,01g de precisão. A densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) foi obtida ao dividir a massa seca da amostra pelo seu volume saturado.

### **Análises da composição química**

Para a preparação das amostras para a caracterização química da madeira, foram utilizados os discos II e III, os quais foram transformados em palitos finos e misturados, compondo uma única amostra. O material obtido foi moído em um moinho tipo Willey e transformado em serragem. A serragem obtida foi peneirada, em que se selecionou o material que passou por uma malha de 40 *mesh* e ficou retida em uma malha de 60 *mesh*.

A partir dessas amostras, foram determinados os teores de lignina, de extrativos e por diferença, o teor de holocelulose, conforme os seguintes procedimentos: amostragem e preparação do material, Technical Association of the Pulp and Paper Industry - TAPPI 257 e TAPPI 264 om - 88 (1992); Análise somativa (LAP 003 e 004) para lignina; solubilidade em etanol-tolueno, TAPPI 204 om - 88 (1992); determinação da lignina insolúvel (lignina de Klason), procedeu-se as análises de acordo com Gomide; Demuner (1986). O teor de lignina solúvel foi encontrado em percentagem em relação ao peso da madeira absolutamente seca (serragem).

### **Análises dos resultados**

Inicialmente, os resultados foram avaliados em relação à média e ao coeficiente de variação. Para verificar o nível de significância dos parâmetros avaliados entre os clones, bem como suas variações, foi realizada uma análise de variância, ao empregar um delineamento inteiramente casualizado com 10 tratamentos (clones).

Quando houve a constatação de diferença significativa entre os tratamentos (clones) pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ), aplicou-se o teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para a comparação entre as médias de cada parâmetro avaliado.

## **Resultados e Discussão**

### **Descrição anatômica quantitativa**

Observa-se na Tabela 1, que o valor médio para o diâmetro tangencial dos vasos variou de  $97,48 \mu\text{m}$  para o clone CNB007 e  $118,72 \mu\text{m}$  para o clone CNB006. O clone CNB006 teve o maior valor para o diâmetro tangencial, diferenciando-se significativamente dos demais para essa propriedade. O valor médio para a frequência dos vasos variou de  $10,76 \text{ vasos} \cdot \text{mm}^{-2}$  para o clone CNB008 a  $13,52 \text{ vasos} \cdot \text{mm}^{-2}$  para o clone CNB005. Estatisticamente, o clone CNB005 foi o que exibiu a maior frequência de vasos, diferenciando-se significativamente dos demais clones. Segundo Foelkel (2009a) os eucaliptos possuem cerca de 3 a 25  $\text{vasos} \cdot \text{mm}^{-2}$  da seção transversal, e variações no diâmetro entre 60 a 250 micrometros.

Os vasos possuem grande importância não só fisiológica no crescimento das árvores, mas também na resistência mecânica e no processo de produção de celulose. Segundo Burger e Richter (1991) os vasos são estruturas fracas, cujas grandes dimensões, abundância e distribuição influem na resistência mecânica da madeira. A maioria das espécies de eucalipto possui entre 10 a 20% do seu volume ocupado pelos vasos, mas as espécies com menor densidade básica e crescimento mais rápido possuem maior quantidade e diâmetros dos vasos (FOELKEL, 2009b).

Os resultados permitiram concluir que existe diferença a dimensão e na frequência dos vasos, sendo assim os clones CNB007 e CNB1206 apresentaram o melhor comportamento para essas variáveis, evidenciando materiais com maior resistência, uma vez que apresentaram os menores diâmetro

e frequência de vaso com uma maior unidade de material lenhoso, evidenciando uma maior resistência material.

**Tabela 1.** Resumo estatístico (média e coeficiente de variação) das características dos vasos, diâmetro tangencial e frequência dos vasos, para a madeira dos dez clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

**Table 1.** Summary statistics (mean and coefficient of variation) of the vessel characteristics, tangential diameter of vessels and frequency of vessels of wood from *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* clones.

| Clone          | Características dos vasos  |                                       |
|----------------|----------------------------|---------------------------------------|
|                | Diâmetro ( $\mu\text{m}$ ) | Frequência (vasos. $\text{mm}^{-2}$ ) |
| <b>CNB017</b>  | 102,04 de<br>(20,78)**     | 12,56 bc<br>(23,52)                   |
| <b>CNB008</b>  | 107,84 c<br>(22,29)        | 10,76 gh<br>(24,76)                   |
| <b>CNB014</b>  | 107,61 c<br>(21,34)        | 11,90 de<br>(25,86)                   |
| <b>CNB001</b>  | 102,69 d<br>(20,06)        | 11,15 fg<br>(20,13)                   |
| <b>CNB006</b>  | 118,72 a<br>(19,87)        | 12,80 b<br>(21,17)                    |
| <b>CNB005</b>  | 97,93 ef<br>(22,18)        | 13,52 a<br>(19,09)                    |
| <b>CNB010</b>  | 105,82 cd<br>(23,25)       | 10,39 h<br>(21,11)                    |
| <b>CNB007</b>  | 97,48 f<br>(29,45)         | 11,39 ef<br>(36,44)                   |
| <b>CNB012</b>  | 103,87 cd<br>(24,18)       | 12,21 cd<br>(23,59)                   |
| <b>CNB1206</b> | 113,07 b<br>(18,43)        | 11,49 ef<br>(20,63)                   |

Médias seguidas de mesma letra, para cada característica avaliada, não diferem significativamente entre si (Tukey;  $p > 0,05$ ). Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação (%).

O valor médio para o comprimento da fibra, variou de 907,15 a 1097,77  $\mu\text{m}$  para os clone CNB008 e CNB1206, respectivamente (Tabela 2). Estatisticamente, o clone CNB1206 exibiu o maior comprimento de fibra, diferenciando significativamente ( $p < 0,05$ ) dos demais clones. Segundo Silva et al. (2007), os valores para o comprimento de fibras variaram de 750 a 1400  $\mu\text{m}$ , sendo os elementos celulares melhor relacionados com a densidade e a

resistência mecânica da madeira (BURGER; RICHTER (1991).

Melo (2004), ao avaliar a madeira de clones de *Eucalyptus* com dois anos de idade, verificou que fibras mais longas são consideradas mais tolerantes à ação das tempestades. O mesmo autor encontrou valores do comprimento médio das fibras variando de 1000  $\mu\text{m}$  a 1090  $\mu\text{m}$ , os quais são semelhantes aos observados no presente trabalho.

Para a largura das fibras, o valor médio entre os clones variou de 17,68  $\mu\text{m}$  para o clone CNB001 a 19,84  $\mu\text{m}$  para o CNB007. O CNB001 apresentou a maior largura para as fibras, diferenciando-se significativamente ( $p < 0,05$ ) dos demais.

O valor médio para o diâmetro do lume das fibras entre os clones variou de 10,05  $\mu\text{m}$  para o CNB014 a 12,66  $\mu\text{m}$  para o CNB007. Significativamente ( $p < 0,05$ ), os clones CNB007 e o CNB001 foram os que tiveram o maior diâmetro de lume. Já para a espessura de parede das fibras, o valor médio encontrado entre os clones variou de 3,46  $\mu\text{m}$  para o clone CNB010 a 4,08  $\mu\text{m}$  para o CNB017. Estatisticamente, o clone CNB017, seguido pelos CNB014 e CNB012 exibiu a maior espessura de parede das fibras.

O diâmetro do lume, por sua vez, está relacionado diretamente com a largura e espessura da parede das fibras, de tal modo que, quanto maiores forem os seus valores, mais espaços vazios serão encontrados na madeira, indicando menor massa específica, o que pode resultar em baixa resistência mecânica (FLORSHEIM, 1992).

Melo (2004) verificou que árvores mais tolerantes à ação de tempestades possuíam fibras mais finas e com lume mais estreito, o que confere à madeira maior resistência e flexibilidade, considerando como material mais tolerante aquele que tivesse uma largura de fibra abaixo de 16,28  $\mu\text{m}$  e diâmetro do lume de 8,35  $\mu\text{m}$ .

**Tabela 2.** Resumo estatístico (média e coeficiente de variação) das características das fibras da madeira dos clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.**Table 2.** Summary statistics (mean and coefficient of variation) of the wood fiber characteristics of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* clones.

| Clone   | Fibras                        |                           |                                    |                                       |
|---------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
|         | Comprimento ( $\mu\text{m}$ ) | Largura ( $\mu\text{m}$ ) | Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ) | Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ ) |
| CNB017  | 1021,89 bc<br>(12,51)         | 18,62 b<br>(16,04)        | 10,45 ef<br>(25,72)                | 4,08 a<br>(22,27)                     |
| CNB008  | 907,15 e<br>(14,24)           | 18,32 bc<br>(16,84)       | 10,62 cdef<br>(28,83)              | 3,85 bcd<br>(23,83)                   |
| CNB014  | 946,05 d<br>(14,69)           | 18,16 bc<br>(16,28)       | 10,05 f<br>(27,93)                 | 4,05 ab<br>(19,73)                    |
| CNB001  | 943,71 d<br>(13,08)           | 19,87 a<br>(17,23)        | 12,06 ab<br>(26,45)                | 3,91 abc<br>(21,94)                   |
| CNB006  | 953,81 d<br>(12,81)           | 17,68 c<br>(17,97)        | 10,36 ef<br>(29,22)                | 3,66 def<br>(22,88)                   |
| CNB005  | 1009,14 c<br>(13,80)          | 18,95 b<br>(18,76)        | 11,30 bc<br>(28,87)                | 3,83 cd<br>(22,48)                    |
| CNB010  | 1011,17 c<br>(10,35)          | 18,18 bc<br>(16,19)       | 11,26 cd<br>(25,83)                | 3,46 f<br>(23,79)                     |
| CNB007  | 1044,69 b<br>(10,85)          | 19,84 a<br>(16,06)        | 12,66 a<br>(25,72)                 | 3,59 ef<br>(22,95)                    |
| CNB012  | 1015,00 bc<br>(10,10)         | 18,31 bc<br>(15,75)       | 10,52 def<br>(29,04)               | 3,90 abc<br>(24,09)                   |
| CNB1206 | 1097,77 a<br>(10,22)          | 18,69 b<br>(16,04)        | 11,09 cde<br>(25,69)               | 3,80 cde<br>(20,41)                   |

Médias seguidas de mesma letra, para cada característica avaliada, não diferem significativamente entre si (Tukey;  $p > 0,05$ ). Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação (%).

Para Lima et al. (2000) e Lima et al. (2001), a espessura da parede e os diâmetros do lume das fibras são parâmetros que frequentemente apresentam maior relação com a densidade e com as propriedades mecânicas da madeira. As fibras libriformes e fibrotraqueídeos são muito importantes na resistência mecânica do lenho das dicotiledôneas e inúmeros estudos comprovam a alta correlação entre a porcentagem de fibras, massa específica e resistência mecânica (BURGER; RICHTER, 1991).

Zobel; Bujtenen (1989) afirmaram que as características morfológicas das fibras variam significativamente entre e dentro das árvores e podem ser controladas geneticamente, bem como apresentar alterações, em função de diferentes práticas silviculturais. Esteban et al. (2002) corroboram com

a tal afirmativa ao citarem que a largura das fibras está relacionada a fatores genéticos e ambientais.

### **Densidade básica e composição química da madeira**

A densidade da madeira pode ser considerada como um bom indicador das propriedades de resistência da madeira, colaborando na interpretação do comportamento de uma árvore sujeita à ação de ventos. O valor médio da densidade básica entre os clones variou de  $0,338 \text{ g.cm}^{-3}$  para o clone CNB007 a  $0,429 \text{ g.cm}^{-3}$  para os clones CNB014 e CNB017. Estatisticamente, os clones CNB017, CNB014 e o CNB012 apresentaram os maiores valores para a densidade básica da madeira, demonstrando serem os mais resistentes. Portanto,

**Tabela 3.** Resumo estatístico (média e coeficiente de variação) da densidade básica, teor de extrativo, teor de lignina total e teor de holocelulose da madeira de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis***Table 3.** Summary statistics (mean and coefficient of variation) of the basic density, extractives content, total lignin content and holocellulose content of the wood from *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* clones

| Clone   | Densidade Básica (g.cm <sup>-3</sup> ) | Extrativos (%)    | Lignina total (%)  | Holocelulose (%)   |
|---------|--|-------------------|--------------------|--------------------|
| CNB017  | 0,429 a<br>(2,38)                      | 1,06 a<br>(34,82) | 32,86 a<br>(2,15)  | 66,08 b<br>(0,82)  |
| CNB008  | 0,394 bc<br>(8,75)                     | 0,79 a<br>(18,25) | 31,45 ab<br>(6,09) | 67,76 ab<br>(2,86) |
| CNB014  | 0,429 a<br>(3,83)                      | 0,99 a<br>(29,43) | 32,87 a<br>(2,02)  | 66,14 b<br>(0,84)  |
| CNB001  | 0,382 c<br>(6,10)                      | 0,70 a<br>(23,10) | 33,21 a<br>(1,63)  | 66,09 b<br>(1,05)  |
| CNB006  | 0,396 bc<br>(8,83)                     | 0,84 a<br>(27,23) | 30,05 b<br>(2,72)  | 69,11 a<br>(0,95)  |
| CNB005  | 0,397 bc<br>(4,99)                     | 0,97 a<br>(27,40) | 30,47 b<br>(2,81)  | 68,57 a<br>(1,03)  |
| CNB010  | 0,369 c<br>(8,69)                      | 1,07 a<br>(42,82) | 31,38 ab<br>(4,95) | 67,55 ab<br>(2,63) |
| CNB007  | 0,338 d<br>(10,61)                     | 0,88 a<br>(20,29) | 30,94 ab<br>(4,62) | 68,18 ab<br>(2,21) |
| CNB012  | 0,423 ab<br>(4,00)                     | 0,88 a<br>(21,57) | 29,89 b<br>(3,13)  | 69,23 a<br>(1,24)  |
| CNB1206 | 0,396 bc<br>(4,01)                     | 0,89 a<br>(29,42) | 30,20 b<br>(1,23)  | 68,91 a<br>(0,74)  |

Médias seguidas de mesma letra, para cada característica avaliada, não diferem significativamente entre si (Tukey;  $p > 0,05$ ). Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação (%).

uma maior densidade da madeira reflete em uma maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume da madeira, oferecendo uma maior resistência e elasticidade ao material.

Segundo Koga (1988), espera-se que a maior tolerância a ventos ocorra em árvores com maiores densidades, em virtude da maior espessura das paredes das fibras, o que oferece maior resistência à madeira. No entanto, Melo (2004) encontrou para clones de *Eucalyptus* um valor médio para a densidade básica da madeira de 0,442 g/cm<sup>3</sup>, e concluiu que a tolerância das árvores às tempestades e aos ventos não pôde ser bem explicada, apenas em função da densidade básica.

A composição química da madeira, além da relação direta com a produção da pasta celulósica, é determinante em outros tipos de uso final da madeira. Características tecnológicas, tais como a durabilidade biológica, o poder

energético, a trabalhabilidade, a cor, higroscopicidade e a resistência mecânica estão associadas à qualidade e a proporção dos componentes estruturais da madeira.

Segundo Walker (2006), a composição química da madeira de folhosas é composta por 44% de celulose, 28% de hemiceluloses, 24% de lignina e 4% de extrativos.

O valor médio para do teor de extrativos variou de 0,88 a 1,07%, estatisticamente, os clones não apresentaram diferenças, indicando uniformidade no material amostrado.

Os valores obtidos foram baixos quando comparados com a literatura, fato que pode ser explicado pela idade das árvores e presença da madeira juvenil. Segundo Silva et al. (2005), a idade influencia nos teores de holocelulose, extrativos e lignina até a posterior estabilização. Raymond (2000) descreveu que os teores de extrativos da madeira aumentam em função da idade da árvore.

Os valores médios do teor de lignina total entre os clones variaram de 29,89% (clone CNB012) a 33,21% (clone CNB001). Os clones CNB017, CNB014, CNB001, CNB008, CNB010 e CNB007 apresentaram os maiores valores para o teor de lignina total, não diferindo estatisticamente entre si, oferecendo às árvores uma estrutura com maior rigidez e resistência. Portanto, esses clones possuem maior capacidade de resistir a tensões mecânicas, proporcionado à madeira uma maior resistência sendo indicados nos programas de melhoramento.

Oliveira et al. (2013), ao avaliar clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* provenientes de áreas também afetadas pela ação dos ventos, encontraram valores para a lignina variando de 28,7 a 31%. Na literatura, comumente, são encontrados um teor de lignina na faixa entre 26 e 35% para as espécies de eucalipto (PETTERSEN, 1984).

Elevado teor de lignina confere maior resistência ao material, sendo a lignina o componente mais hidrofóbico, conferindo dureza e rigidez à parede celular (PETTERSEN, 1984). Zobel; Van Buijtenen (1989) afirmaram que, quanto maior o teor de lignina, maior será a resistência mecânica da madeira ao esmagamento, porém as mesmas serão mais quebradiças. Por outro lado, a resistência à tração, à ruptura e ao choque é reduzida com o aumento do teor de lignina.

Segundo Trugilho et al. (2005), o teor de lignina tende a diminuir com o aumento da idade, pois as espécies mais jovens tendem a possuir uma maior proporção de madeira juvenil, que é mais rica em lignina em comparação à madeira adulta. Além disso, Bendtsen (1978), Sjöström (1981) e Zobel e Buijtenen (1989) enfatizaram que a madeira juvenil possui menor percentagem de celulose, maiores teores de holocelulose, de extrativos e de lignina quando comparada à madeira adulta.

Para o teor de holocelulose, o valor médio variou de 66,08% a 69,23%, estatisticamente, o clone CNB012 obteve o maior resultado. Os valores do presente trabalho estão próximos aos citados por Gomide et al. (2005), os quais encontraram um teor de holocelulose variando de 64,5 a 70,2% para clones de *Eucalyptus*.

Tsoumis (1991) ressalta que a celulose, em função da sua estrutura e arranjo nas microfibrilas, é responsável pela elevada resistência axial da madeira à tração, e que as hemiceluloses e a lignina agregadas às moléculas de celulose dão consistência à parede celular, conferindo à madeira elasticidade e resistência à compressão.

## Conclusões

De acordo com os resultados encontrados, observou-se uma alta variabilidade dos parâmetros avaliados, um ou mais de um clone apresentou os melhores índices indiretos da avaliação de resistência à ação dos ventos, o que pode resultar em ferramenta na seleção de materiais com características favoráveis que evidenciem em maior resistência para as árvores.

Ao avaliar conjuntamente os parâmetros anatômico, físico e químico, os clones que tendem a oferecer uma estrutura com maior rigidez e resistência ao impacto e à quebra e que deveriam ser escolhidos e trabalhados geneticamente com intuito de elevar a resistência da árvores, seriam os clones CNB001, CNB006, CNB007, CNB014 CNB017 e CNB1206.

Estudos mais avançados que envolvem outras características da madeira, material genético e fatores ambientais devem ser desenvolvidos ampliando a base de informações da tolerância das árvores à ação de ventos a fim de selecionar clones para os plantios florestais a serem implantados em regiões sujeitas a tais fenômenos.

## Agradecimentos

Para o desenvolvimento do presente trabalho, são importantes os agradecimentos à Empresa de Celulose Nipo Brasileira S.A. (CENIBRA), pela disponibilidade do material de estudo e pelo apoio logístico de trabalho, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa de Apoio ao Plano de Reestruturação e Expansão das Universidades (REUNI) pela Bolsa de Mestrado concedida.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941**: Madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
- BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, Madison, v.28, n. 10, p. 61-72, 1978.
- BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel S.A., 1991. 154p.
- CARDOSO, A. L.; ROSADO, A. M.; SILVA, A. G. Ajuste de equações lineares de suscetibilidade a vento em eucalipto submetido a desrama artificial. **Agrarian**, Dourados. v. 6, n. 21, p. 340 – 345, 2013.
- CHIMÉLO, J. Anatomia e propriedades gerais da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C. NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda.. 2007. p. 107- 124.
- COMMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **Descripcion de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledoneas**. v. 30. p. 1 - 19, 1974.
- ESTEBAN, G. L.; DE PALACIOS, P. P.; CASASÚS, G. A.; DURÁN, L. I.; FERNÁNDEZ, G. L.; LABRADOR, R. Y.; FERNÁNDEZ, G. F.; MALDONADO, B. I.; ATALAYA, C. A. **Anatomía e identificación de maderas de coníferas a nivel de espécies**. Madri: AMVE Ediciones, 2002. 421p.
- FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; ROSADO, A. M.; MONTEIRO, T. C. Resistência mecânica de caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 133-140, 2010.
- FOELKEL, C. E. B. **Individualização das fibras da madeira do eucalipto para produção de celulose Kraft**. Grau Celsius, 2009a. Disponível em: <[http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/P16\\_IndividualizacaoFibras.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/P16_IndividualizacaoFibras.pdf)>. Acesso em: 17 jun. 2014.
- FOELKEL, C. E. B. **Elementos de vaso e celuloses de eucalipto**. Grau Celsius, 2009b. Disponível em: <[http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptosPT04\\_vasos.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptosPT04_vasos.pdf)>. Acesso em: 17 jun. 2014.
- GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso. Método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo. v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.
- GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. S.; MUDADO, C. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p. 129-137, 2005.
- KIBBLEWHITE, R. P.; RIDDELL, M.J.C.; SHELBOURNE, C. J. A. Kraft fibre and pulp qualities of 29 trees of New Zealand grown *Eucalyptus nitens*. **Appita Journal**, Carlton, v. 51, n. 2, p. 114-121, 1998.
- KOGA, M. E. T. Matérias-primas fibrosas. In: PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2ª ed. São Paulo: IPT, 1988. p. 15-44.
- LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica. v.7, n. 1, p.279-291, 2000.
- LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Assessment of wood density of seven clones of *Eucalyptus grandis*. **Southern African Forestry Journal**, Menlopark, v. 191, p. 21-27, 2001.
- LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Genotype-environment interactions in wood basic density of *Eucalyptus* clones. **Wood Science and Technology**, New York, v. 34, n. 2000, p. 197-206, 2000.
- OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 2v. 439f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, 1997.

- OLIVEIRA, F. M.; COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B.; BARBOSA, B. M. Eucalypts clones chemical composition regarding their resistance to wind action in the field. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON EUCALYPTUS PULP, 6, 2013, Colonia, Uruguay. Anais... Colonia: 2013. p. 1-8.
- MELO, V. M. **Varição nas produtividades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitas a tempestade**. 2004. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004.
- NICHOLLS, J. W. DASDWELL, H. E. Tracheid length in *Pinus radiata* D. Don. CSIRO Div., **Forest Products Technology Paper**, n. 24.
- PEREIRA, J. C. D.; TOMASELLI, I. A Influência do desbaste na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, p. 61-69. 2004.
- PETTERSEN, C. The chemical wood composition. In: ROWELL, R. **The chemistry of solid wood**. Washington: American Chemical Society, 1984. p. 57-126.
- PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2 ed. São Paulo: IPT, 1988. 964 p.
- RAMALHO, R. S.O **uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa: UFV, 1987. 4p.
- ROSADO, A. M.; ATAÍDE, G. M.; CASTRO, R. V. O.; CORREIA, A. C. G. Avaliação da tolerância à quebra por vento em árvores de eucalipto via teste de resistência. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 33, n. 75, p. 309-315, 2013.
- SILVA, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, J. T. S.; CASTRO, V. R. Influência de idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Árvore**. Viçosa, v.31, n.6, p.1081-1090, 2007.
- SJÖSTRÖN, E. **Wood chemistry**. Nova York: Academic Press, 1981, 223p.
- SOUZA, C. S. **Derivatização química e caracterização de uma lignina do bagaço da cana de açúcar**. 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado em química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **TAPPI Test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1992. v.1.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **TAPPI Test methods T 264 om-88: preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, v.1. 1992
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **TAPPI Test methods T 257 cm-85: sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, v.1, 1992
- TOMAZELLO FILHO, M. **Formação e caracterização da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus***. Piracicaba: IPEF, 1994.11p.
- TOMAZELLO FILHO, M. **Formação e anatomia da madeira**. Piracicaba: IPEF, 2002. 76 p.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características do eucalipto. **Revista da Madeira**, Curitiba, n.92, p.82-88, 2005.
- TSOUMIS, G. **Science and Technology of Wood: structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494p.
- VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.
- VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, p.10-18, 2011.
- VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; NUTTO, L.; NISTAL, F. J. F.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Propriedades da madeira de reação. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, p. 1-37, 2013.
- ZOBEL, B.J., VAN BUIJTENEN, J.P. **Wood variation: its causes and control**. New York: Springer-Verlag, 1989. 363p.
- WALKER, J. C. F. **Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure**. In: WALKER, J. C. F. Primary wood processing. 2 ed. Dordrecht: Springer, 2006. p. 23-59.