

# Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto

Walter Torezani Neto Boschetti<sup>(1)</sup>, Juarez Benigno Paes<sup>(2)</sup>,  
José Tarcísio da Silva Oliveira<sup>(2)</sup> e Larissa Dudecki<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Avenida P.H. Rolfs, s/nº, Campus Universitário, CEP 36570-000 Viçosa, MG, Brasil. E-mail: walterboschetti@hotmail.com <sup>(2)</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Avenida Governador Lindemberg, nº 316, Centro, CEP 29550-000 Jerônimo Monteiro, ES, Brasil. E-mail: jbp2@uol.com.br, jtsilva@npd.ufes.br, l.dudecki@hotmail.com

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar as características anatômicas para produção de celulose dos lenhos normal e de reação (de tração e oposto), do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com fuste inclinado por ação de ventos. As árvores foram agrupadas em quatro faixas de inclinação, que variaram de 0 a 50°. Foram analisadas as características anatômicas dos elementos de vasos e das fibras no sentido longitudinal do tronco, nos lados superior e inferior à inclinação, nos lenhos de tração e oposto, respectivamente. A frequência e o diâmetro tangencial dos vasos, bem como as dimensões das fibras e os seus respectivos índices de qualidade, foram influenciados pela inclinação. Nos lenhos de tração e oposto, os vasos apresentaram diâmetro reduzido e aumento da frequência. Observou-se diferença no comprimento das fibras, entre os lenhos de tração, oposto e normal, com influência nos índices de qualidade de fibra. A grande variabilidade na dimensão das fibras e dos vasos no lenho de reação contribui para reduzir a qualidade da madeira dos fustes inclinados, para obtenção de polpa celulósica.

Termos para indexação: *Eucalyptus*, anatomia da madeira, índices de qualidade de fibra, qualidade da madeira.

## Anatomical characteristics for cellulose production of reaction wood of inclined eucalypt trees

Abstract – The objective of this work was to evaluate the anatomical characteristics for cellulose production of normal and reaction (tension and opposite) woods of the *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* clone with inclined stem by the action of the wind. Trees were grouped into four grades of inclination, ranging from 0 to 50°. The anatomical characteristics of vessel elements and fibers were evaluated in the longitudinal direction of the stem, on the upper and lower sides of the inclination, on tension and opposite woods, respectively. The frequency and the tangential vessel diameter, as well as the fiber dimensions and their respective quality indices, were influenced by inclination. In tension and opposite woods, the vessels showed reduced diameter and increased frequency. A difference in fiber length between tension, opposite, and normal woods was observed, with influence on fiber quality indices. The high variability in the size of the fibers and vessels of reaction wood contributes to reduce the quality of the wood of the inclined stems for cellulosic pulp production.

Index terms: *Eucalyptus*, wood anatomy, fiber quality indices, wood quality.

### Introdução

A ação dos ventos é um fenômeno natural e, portanto, impossível de ser controlada. Árvores com fuste alto, principalmente as mais jovens, são instáveis a esse tipo de ação. Rajadas de vento podem causar estresse nas árvores, afetar a produtividade e a qualidade do lenho, e, quando ocorrem de forma acentuada, podem causar danos irreversíveis, como inclinação do tronco em diferentes ângulos.

Esses problemas já foram relatados por Ferreira et al. (2010) e Rosado et al. (2013) em plantios

florestais de eucalipto na região do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, onde os prejuízos mais acentuados ocorrem nos períodos chuvosos, em decorrência das tempestades com rajadas de ventos.

Segundo Alméras & Fournier (2009), nesses casos, há incremento anormal do lenho de reação, por assimetria biomecânica, na tentativa de a árvore voltar ao eixo vertical. Em folhosas, o lenho de reação é denominado de lenho de tração e ocorre na parte superior do fuste inclinado (Clair et al., 2005; Mellerowicz & Sundberg, 2008; Lehringer et al., 2009). O lenho de tração apresenta

características anatômicas distintas às do lenho normal, sobretudo em razão da diferença na estrutura do tecido fibroso, que desenvolve uma camada gelatinosa (Clair et al., 2006; Sultana & Rahman, 2013).

Contudo, as características do lenho de reação, formado do lado oposto à inclinação, ainda carecem de estudos aprofundados, que levem em consideração o incremento suprimido. Trabalhos como os de Ruelle et al. (2006) e de Aguayo et al. (2010) trazem evidências de que o lenho oposto e o de tração apresentam propriedades anatômicas distintas.

As diferenças nas propriedades anatômicas do lenho podem facilitar ou dificultar a impregnação dos cavacos com os reagentes da polpação, e afetar os índices de qualidade de fibra para produção de papel (Foelkel, 2009). Assim, estudar as características anatômicas das árvores inclinadas por ação de ventos é fundamental para a compreensão da qualidade do lenho, para produção de polpa celulósica. Além disso, as fibras influenciam diretamente o tipo de papel adequado a ser produzido, e conhecer as modificações causadas pela presença do lenho de reação é essencial para avaliar os índices de qualidade de fibra importantes para produção de celulose e papel.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades anatômicas dos lenhos normal e de reação (de tração e oposto), para produção de celulose, de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com fuste inclinado por ação de ventos.

## Material e Métodos

Utilizou-se madeira proveniente de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, obtidas de área plantada com floresta clonal comercial, no Município de Ipaba, na região do Vale do Rio Doce, no leste do Estado de Minas Gerais (19°23'45"S, 42°23'40"W).

As árvores foram plantadas em fevereiro de 2007, em terreno de relevo plano, com espaçamento de 3,00x3,33 m. O solo da região é do tipo Cambissolo de fundo de vale. O talhão foi atingido pela ação de ventos em novembro de 2009, 33 meses após o plantio, com velocidade de até 72 km por hora, registrado pela estação meteorológica do plantio florestal. O corte das árvores foi realizado em janeiro de 2013, quando estas tinham 6 anos de idade, 38 meses após a ocorrência dos ventos no talhão e 71 meses após a data do plantio.

Selecionaram-se 20 árvores ao acaso, separadas por faixas de acordo com o ângulo de inclinação; cada faixa era representada por cinco árvores. Na faixa controle, as árvores apresentavam inclinação nula, ou seja, lenho normal proveniente de fuste reto (0°). Na faixa de inclinação 2, as árvores apresentavam ângulo de 5 a 20°; na faixa 3, de 21 a 35°; e na faixa 4, de 36 a 50°; a partir de 50° de inclinação, as árvores foram consideradas como tombadas. Adotou-se a divisão por faixa de inclinação para permitir uma melhor análise das características do lenho das árvores com diferentes comprimentos de tronco, no sentido base-topo e, principalmente, na região em que se formou uma flecha consolidada pela ação dos ventos.

Todas as árvores foram seccionadas nas posições 0, 25, 50, 75 e 100% do comprimento comercial, caracterizado por 6,0 cm de diâmetro. Em cada posição, retirou-se um disco de 3,0 cm de espessura (Figura 1). Nas árvores inclinadas, os discos foram marcados na coordenada superior e inferior à inclinação do tronco, e, em cada disco, foram retiradas duas amostras a partir da medula excêntrica, uma no lenho de tração e a outra no oposto.

Nas árvores com fuste inclinado, o comprimento comercial do tronco também foi caracterizado pelo diâmetro de 6,0 cm, considerado como mínimo aceitável para produção de celulose. Nesse ponto, foram determinadas a coordenada altura (Y), por meio de relascópio eletrônico modelo Criterion RD 1000 (Laser Technology Inc., Centennial, CO, EUA), e a variação do tronco em relação ao solo (X), por medições com trena. O ângulo de inclinação das árvores ( $\theta^\circ$ ) em relação ao eixo vertical foi ajustado pela equação  $\text{Arctg}\theta^\circ = (X/Y)$ . Assim, pode-se obter um parâmetro da flecha formada pela inclinação, da base até a altura comercial, para homogeneização da amostragem.

A preparação de lâminas histológicas seguiu a técnica descrita por Doğu & Grabner (2010), em que os cortes foram submetidos à clarificação com hipoclorito de sódio (60%) e corados com safranina e azul de astra. A frequência e o diâmetro dos poros foram medidos a partir de cortes histológicos; já o comprimento, a largura, o diâmetro de lume e, de forma indireta, a espessura da parede celular das fibras foram obtidos por meio da dissociação dos elementos celulares, de acordo com a Comisión Panamericana de Normas Técnicas (1973).

Para as fotomicrografias das lâminas, utilizou-se câmera fotográfica DSC Powershot A620 de 7,1 megapixels (Canon do Brasil Indústria e Comércio Ltda., São Paulo, SP), acoplada a microscópio óptico, além do programa analisador de imagem Image-Pro Plus, versão 4.5 (Media Cybernetics Inc., Rockville, MD, EUA).

As variáveis mensuradas foram: comprimento (l), diâmetro (D), diâmetro do lúmen (d) e espessura da parede (e) das fibras. A partir dos valores obtidos, foram calculados os seguintes índices qualitativos de fibras, considerados importantes para produção de papel e relacionados às propriedades físico-mecânicas do material produzido: coeficiente de flexibilidade (CF), obtido por  $CF = (d/D) \times 100$  (Milanez & Foelkel, 1981); fração de parede (FP), determinado pela equação  $FP = (2 \times e \times 100)/l$  (Foelkel, 1978); e índice de Runkel (IR), obtido por  $IR = 2e/d$  (Runkel, 1952).

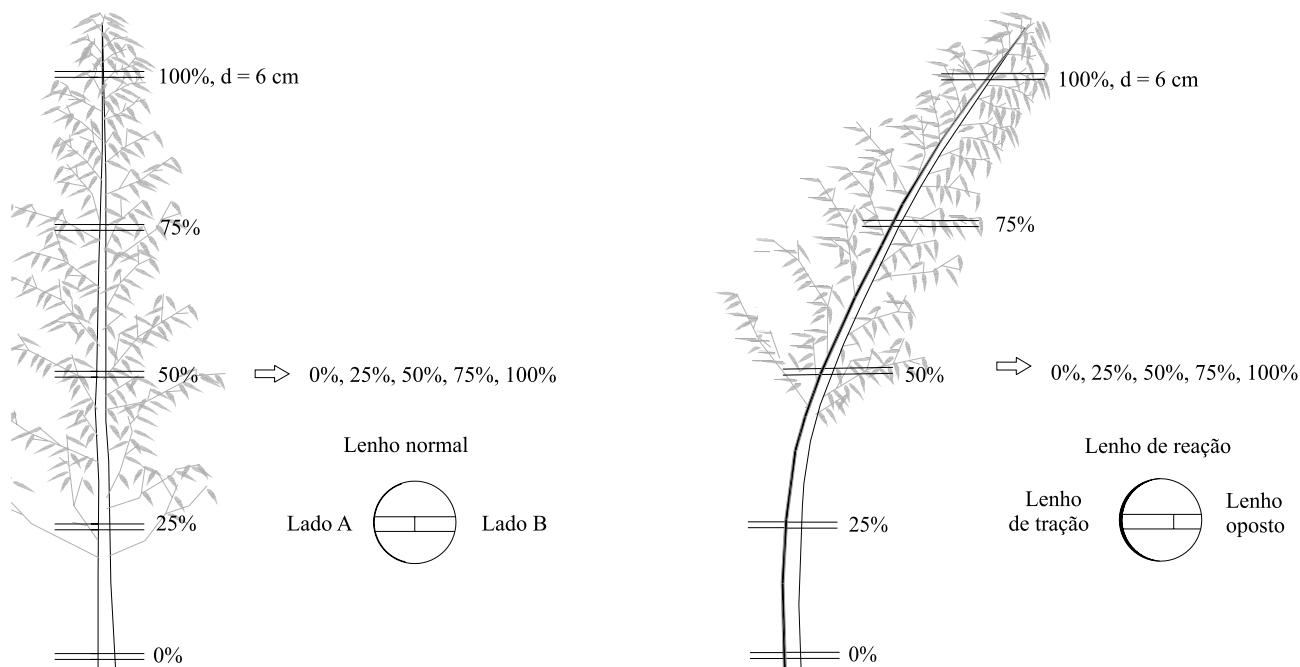
Os parâmetros anatômicos de elementos de vasos, fibras e índices qualitativos de fibras foram analisados por delineamento inteiramente casualizado, com os tratamentos dispostos em arranjo de parcelas sub-subdivididas, em que: as parcelas representavam a faixa de inclinação; as subparcelas, a posição do tronco; e as sub-subparcelas, o lenho de tração ou o lenho oposto.

Os valores obtidos foram avaliados estatisticamente por meio de análise de variância, a 5% de probabilidade. De acordo com o resultado do teste F, as médias dos tratamentos das parcelas foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As posições do comprimento do tronco e as posições do disco foram avaliadas pelo teste F.

## Resultados e Discussão

A média do diâmetro tangencial e a frequência dos vasos no lenho das árvores avaliadas em diferentes faixas de inclinação, aos 6 anos de idade, foram influenciados pela inclinação das árvores (Figura 2). As médias dos valores obtidos indicaram diâmetro maior nos vasos das árvores com fuste reto do que nos das inclinadas; já quanto à frequência, não houve diferença significativa na média geral. Isso indica que o lenho normal proveniente dos fustes retos apresenta maior porosidade, o que reflete, conforme Souza (2014), em maior facilidade na impregnação de reagentes do cozimento na polpação kraft.

Os valores de frequência e do diâmetro vascular do lenho normal não foram afetados pela ação dos ventos (Tabela 1). Entretanto, as dimensões e a frequência vascular diferiram entre os lenhos normal e de reação (de tração e oposto), provenientes de fustes inclinados.



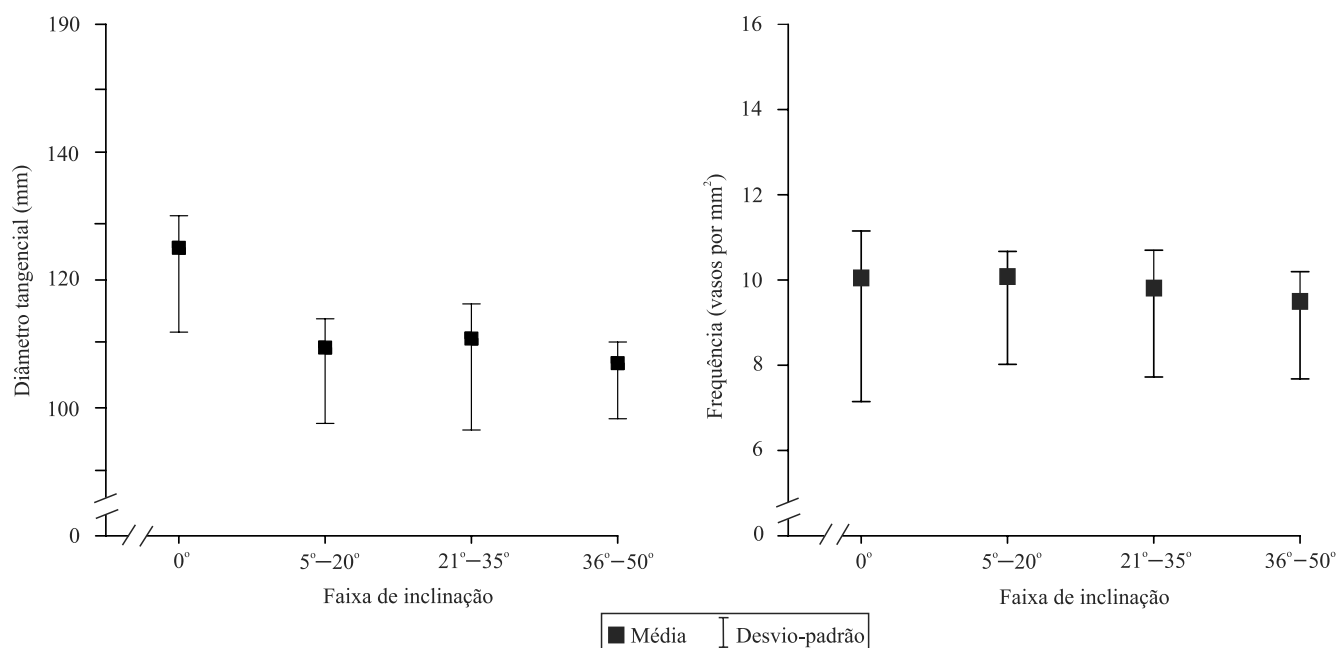
**Figura 1.** Esquema de retirada dos discos e das amostras, ao longo do tronco, nas árvores inclinadas e não inclinadas.

Nas árvores inclinadas, os elementos de vasos do lenho de tração diminuíram em diâmetro e frequência, diferentemente do observado nos vasos do lenho oposto, que apresentaram maior diâmetro e maior frequência (Tabela 1). Esse resultado é indicativo de equilíbrio na porosidade do tronco e evidencia a importância dos elementos de vasos na fisiologia da árvore, principalmente no fluxo de seiva da árvore viva. Esses resultados diferem dos encontrados por Aguayo et al. (2010), que constataram menor diâmetro de vasos no lenho oposto do que no de tração, na madeira de *Eucalyptus globulus* Labill. com 8 anos de idade.

Os vasos desempenham, no alburno do lenho, a função de condução de seiva mineral das raízes até a copa, e, nos cavacos de madeira, são os elementos

anatômicos mais importantes na difusão do vapor de água (Belini et al., 2008). Isso indica que a variação na porosidade do lenho afeta a permeabilidade de cavacos com porosidade distinta, o que pode influenciar, dependendo de sua proporção, a penetração dos reagentes no cozimento e, conseqüentemente, nos parâmetros de polpação.

Houve diferença entre os valores médios da frequência e do diâmetro tangencial dos vasos no sentido longitudinal. Observou-se maior diâmetro tangencial dos vasos em todas as posições, no sentido longitudinal do tronco, no lenho normal das árvores com fuste reto, quando comparado ao lenho de reação das árvores inclinadas, com exceção da posição mais alta (Tabela 2).



**Figura 2.** Média do diâmetro tangencial e da frequência vascular do lenho do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, em diferentes faixas de inclinação.

**Tabela 1.** Valores médios da frequência e do diâmetro tangencial dos vasos dos lenhos de tração (lado A) e oposto (lado B) do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, por faixa de inclinação<sup>(1)</sup>.

| Faixa de inclinação | Diâmetro (µm) |        | Média  | Frequência (vasos por mm <sup>2</sup> ) |        | Média |
|---------------------|---------------|--------|--------|---|--------|-------|
|                     | Lado A        | Lado B |        | Lado A                                  | Lado B |       |
| 0°                  | 125,5         | 124,5  | 125,0A | 10                                      | 10     | 10    |
| 5-20°               | 105,4         | 113,2  | 109,3B | 9                                       | 12     | 11    |
| 21-35°              | 110,1         | 111,5  | 110,8B | 9                                       | 12     | 11    |
| 36-50°              | 106,5         | 107,4  | 106,9B | 8                                       | 11     | 10    |
| Média               | 111,6b        | 113a   | -      | 9b                                      | 11a    | -     |

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Figura 3, são apresentadas fotomicrografias da anatomia do lenho normal proveniente de fustes retos. Na parte superior e inferior do tronco inclinado, o lenho de reação formado apresenta características anatômicas distintas às do lenho normal (Figura 4). No lenho de tração, os elementos de vasos diminuíram em diâmetro e pouco alteraram em frequência (Figura 4 A–D). Verificou-se tonalidade azul no lenho de tração em consequência da dupla coloração realizada. Segundo Doğu & Grabner (2010), isso ocorre porque, por se tratar de um material com maior teor de holocelulose que o lenho normal, o corante específico para carboidratos, o azul de astra, destaca-se.

No lenho oposto, os vasos mostraram comportamento peculiar: diminuíram em diâmetro e aumentaram expressivamente em frequência (Figura 5 A–D). Ruelle et al. (2006) e Sultana et al. (2010) também relataram comportamento atípico dos elementos de vasos em algumas espécies tropicais e em folhosas de ocorrência

no Japão; porém, essa característica foi observada no lenho de tração e não no oposto como no presente trabalho.

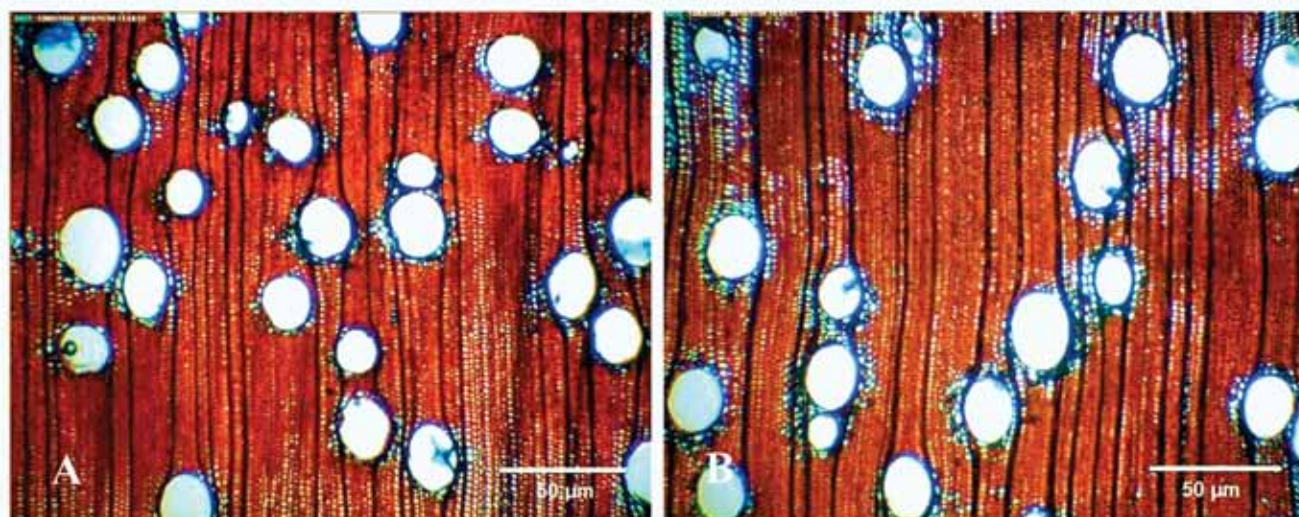
Em *E. globulus*, Aguayo et al. (2010) verificaram maior frequência de vasos no lenho de tração do que no lenho oposto; no entanto, ao analisar a quantidade desses elementos na polpa celulósica, com o mesmo material estudado, Aguayo et al. (2012) perceberam maior número de elementos de vasos no lenho oposto. O elevado número de vasos diminui a percentagem de fibras por unidade de área, o que acarreta menor densidade do material. Assim, Chauhan & Walker (2011), ao avaliar *Eucalyptus regnans*, observaram maiores valores de densidade no lenho de tração, quando comparado ao lenho oposto.

Os valores médios de comprimento de fibra e espessura de parede alteraram dentro do fuste das árvores inclinadas, entre o lenho de tração e o oposto (Tabela 3). Apesar de a média geral nas faixas de

**Tabela 2.** Valores médios, no sentido longitudinal do tronco, da frequência e do diâmetro tangencial dos vasos do clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, por faixa de inclinação (0°, 5–20°, 20–35°, 35–50°)<sup>(1)</sup>.

| Posição do tronco | Diâmetro ( $\mu\text{m}$ ) |        |        |        | Frequência (vasos por $\text{mm}^2$ ) |       |        |        |
|-------------------|----------------------------|--------|--------|--------|---------------------------------------|-------|--------|--------|
|                   | 0°                         | 5–20°  | 20–35° | 35–50° | 0°                                    | 5–20° | 20–35° | 35–50° |
| 0%                | 125,3a                     | 106,4b | 105,0b | 103,1b | 8,7b                                  | 10,6a | 9,8ab  | 8,6b   |
| 25%               | 131,4a                     | 115,8b | 117,6b | 114,3b | 8,1a                                  | 8,7a  | 8,2a   | 8,1a   |
| 50%               | 133,5a                     | 114,4b | 119,3b | 110,8b | 8,9a                                  | 8,9a  | 8,7a   | 10,1a  |
| 75%               | 132,7a                     | 110,5b | 112,3b | 108,7b | 9,5ab                                 | 11,2a | 10,2ab | 9,3b   |
| 100%              | 102,4a                     | 99,8a  | 100,1a | 97,9a  | 15a                                   | 12,6b | 12,6b  | 11,5b  |

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



**Figura 3.** A e B, fotomicrografias da seção transversal do lenho normal do clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com fuste reto.

inclinação não apresentar diferença significativa, a inclinação do tronco influenciou o comprimento e a espessura da parede das fibras.

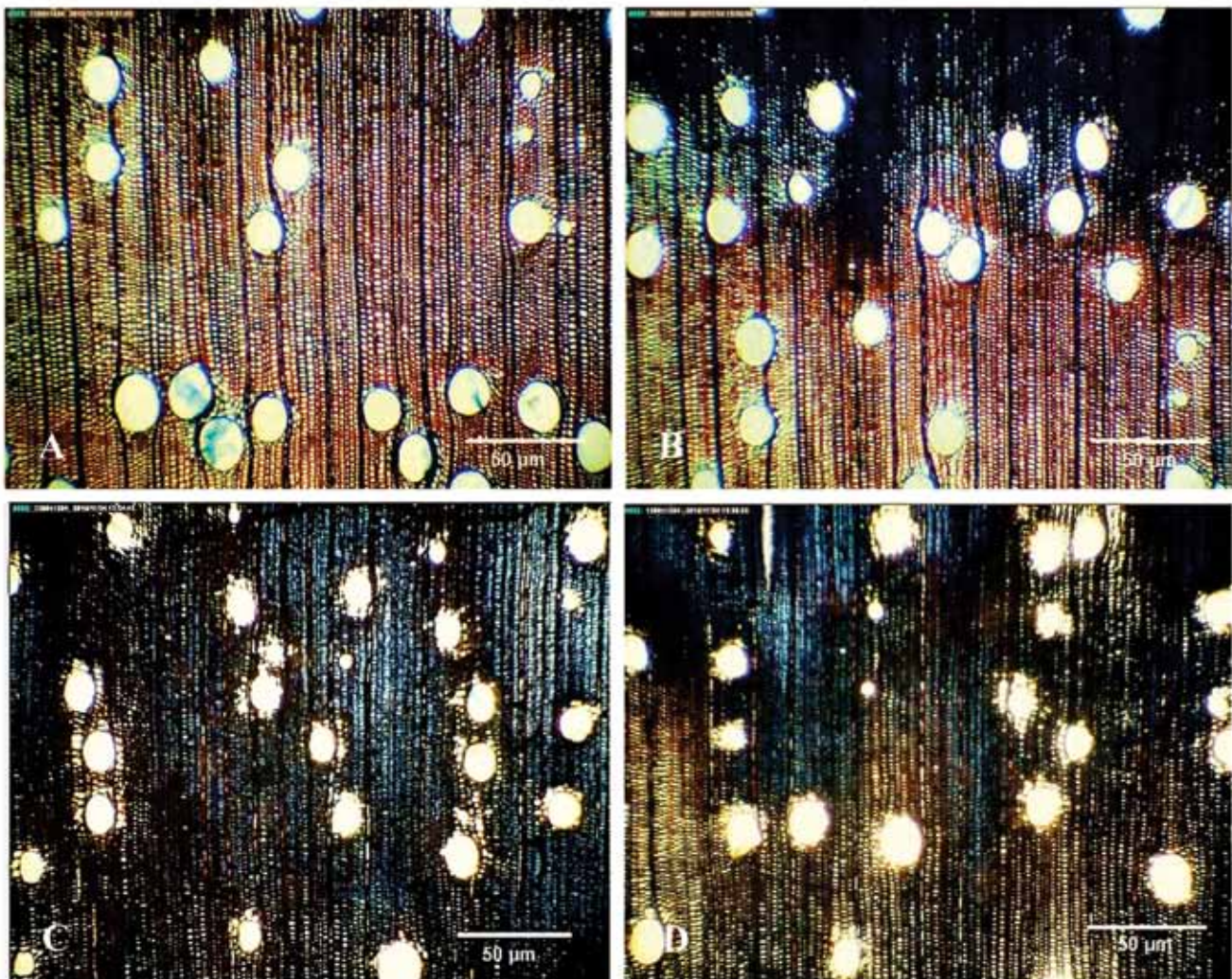
Os valores médios obtidos nos lenhos normal, de tração e oposto foram compatíveis com os relatados por Gomide et al. (2005), que avaliaram os principais clones de *Eucalyptus* das empresas brasileiras produtoras de celulose kraft e encontraram valores de comprimento e espessura de parede de 950 a 1.070  $\mu\text{m}$  e de 4,6 a 5,2  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

As fibras de menor comprimento propiciam melhor formação da folha de papel e originam papéis com propriedades físico-mecânicas inferiores às do oriundo de fibras mais compridas (Bassa et al., 2007; Alves et al., 2011). Desse modo, o tecido fibroso do lenho

oposto tende a proporcionar melhor formação de folha, mas pode contribuir negativamente em algumas propriedades físico-mecânicas do papel formado.

Não houve diferença na espessura de parede entre o lenho normal e o oposto. Porém, no lenho de tração, como já esperado, a presença da camada gelatinosa resultou em aumento da espessura da parede, quando comparado aos lenhos normal e oposto (Tabela 3). Comportamento semelhante foi verificado em madeira de *Populus nigra* L. por Ma et al. (2013), que constataram largura de fibra do lenho de tração superior à da fibra do lenho oposto.

Paredes mais espessas tendem a aumentar a rigidez e a aspereza da fibra, o que gera folhas mais encorpadas, indicadas para uso em papéis absorventes



**Figura 4.** Fotomicrografias da seção transversal do lenho de tração do clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, inclinadas por ventos. A e B, faixa de transição entre lenho normal e lenho de tração; C e D, lenho de tração.

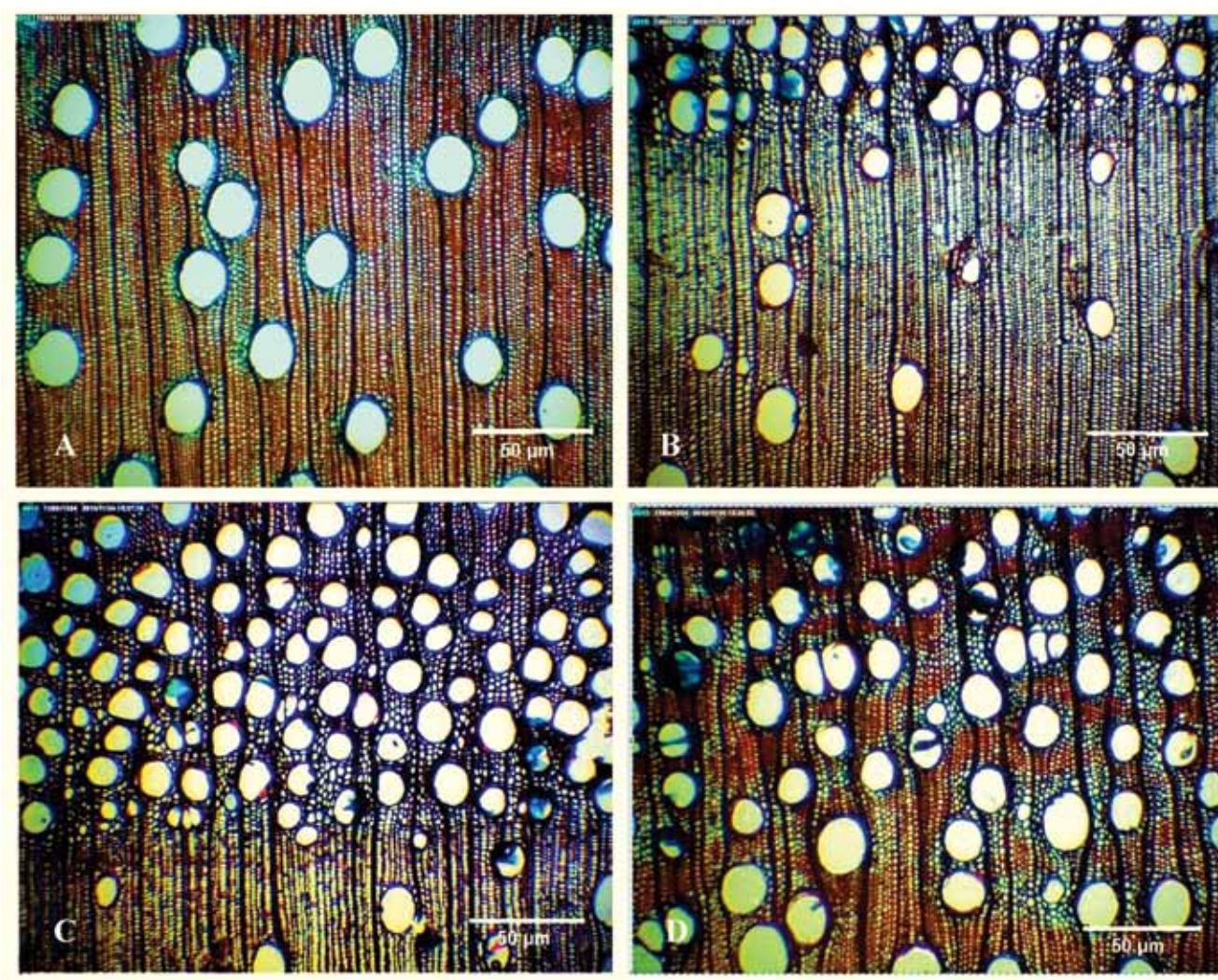
de alto volume específico, também chamados de papel tissue (Mokfiński et al., 2008). Entretanto, a camada gelatinosa tende a desprender da parede celular, o que pode dificultar o refino das fibras e comprometer a qualidade do papel (Pilate et al., 2004).

A inclinação do tronco causou alterações na largura e no diâmetro do lume das fibras, na média geral das árvores (Tabela 3). Ao se comparar os lenhos de reação, as paredes das fibras do lenho de tração e do lenho oposto apresentaram largura semelhante; contudo, as fibras do lenho de tração tiveram menor diâmetro de lume. Esses resultados diferem dos de Aguayo et al. (2010), que encontraram maior largura de fibra em *E. globulus*, mas, também, maior espessura de parede e

menor diâmetro de lume nas fibras do lenho de tração, quando comparadas às fibras do lenho oposto. Sultana & Rahman (2013) observaram, em várias espécies de folhosas, que a camada gelatinosa presente nas fibras do lenho de tração tende a aumentar a espessura de parede e diminuir o diâmetro de lume, em comparação às fibras dos lenhos normal e oposto.

Os índices de qualidade de fibras para produção de papel foram afetados pela inclinação do tronco, com exceção da fração de parede; porém, todos os índices foram influenciados quando se comparou o lenho de tração ao oposto (Tabela 4).

O coeficiente de flexibilidade e o índice de Runkel são indicativos da flexibilidade da fibra e da sua



**Figura 5.** Fotomicrografias da seção transversal do lenho de tração do clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, inclinadas por ventos. A, lenho normal; B e C, faixa de transição entre lenho normal e lenho oposto; D, lenho oposto.

**Tabela 3.** Valores médios de comprimento, espessura de parede, largura e diâmetro do lume das fibras dos lenhos de tração (lado A) e oposto (lado B) do clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, por faixa de inclinação<sup>(1)</sup>.

| Faixa de inclinação | Comprimento (µm) |         | Média | Espessura de parede (µm) |        | Média | Largura das fibras (µm) |        | Média | Diâmetro do lume (µm) |        | Média  |
|---------------------|------------------|---------|-------|--------------------------|--------|-------|-------------------------|--------|-------|-----------------------|--------|--------|
|                     | Lado A           | Lado B  |       | Lado A                   | Lado B |       | Lado A                  | Lado B |       | Lado A                | Lado B |        |
| 0°                  | 1.033aC          | 1.032aA | 1.033 | 4,6aC                    | 4,7aA  | 4,7   | 19,9                    | 20,3   | 20,1B | 10,5aB                | 10,5aB | 10,5C  |
| 5–20°               | 1.087aB          | 960bB   | 1.023 | 5,1aA                    | 4,7bA  | 4,9   | 21,1                    | 21,0   | 21,0A | 10,4bB                | 11,9aA | 11,2B  |
| 21–35°              | 1.155aA          | 962bB   | 1.059 | 4,8aBC                   | 4,8aA  | 4,8   | 21,6                    | 21,5   | 21,5A | 12,0aA                | 11,7aA | 11,9A  |
| 36–50°              | 1.083aB          | 962bB   | 1.023 | 5,2aAB                   | 4,7bA  | 4,9   | 21,7                    | 20,9   | 21,3A | 11,2aA                | 11,5aA | 11,4AB |
| Média               | 1.090a           | 980b    | -     | 5,0a                     | 4,7b   | -     | 21,0                    | 20,9   | -     | 11,0b                 | 11,4a  | -      |

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

**Tabela 4.** Valores médios de índices de qualidade das fibras para produção de polpa celulósica e papel, nos lenhos de tração (lado A) e oposto (lado B) do clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, por faixa de inclinação<sup>(1)</sup>.

| Faixa de inclinação | Coeficiente de flexibilidade (%) |        | Fração de parede (%) |        | Índice de Runkel |        |
|---------------------|----------------------------------|--------|----------------------|--------|------------------|--------|
|                     | Lado A                           | Lado B | Lado A               | Lado B | Lado A           | Lado B |
| 0°                  | 52,3aA                           | 51,1aB | 47,6a                | 48,1a  | 1                | 1      |
| 5–20°               | 48,7bB                           | 56,5aA | 51,6a                | 43,5b  | 1,4              | 0,8    |
| 21–35°              | 54,4aA                           | 54,5aA | 46,3a                | 45,7a  | 1                | 0,9    |
| 36–50°              | 51,9bA                           | 54,7aA | 48,1a                | 48,0a  | 1,3              | 0,9    |
| Média               | 51,8b                            | 54,2a  | 48,4a                | 46,4b  | 1,2a             | 0,9b   |

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

capacidade de realizar ligações na rede fibrosa. O lenho de tração apresenta fibras com menor coeficiente de flexibilidade que o lenho normal e o oposto. As fibras com índice de Runkel de até 2 são as mais indicadas para formação de papel; no entanto, conforme Rocha & Potiguara (2007), a eficiência das fibras é reduzida acima desse valor, quando tendem a diminuir sua flexibilidade e gerar menos ligações entre si, o que pode prejudicar as propriedades do papel formado.

A fração de parede é um valor que indica a rigidez da fibra e associa-se à facilidade de colapso e à flexibilidade para ligação das fibras. Os valores médios encontrados no lenho de reação e no normal estão dentro dos recomendados por Foelkel (1978), que indicou valores inferiores a 60%, pois fibras rígidas não se interligam facilmente, o que afeta a formação da folha e, conseqüentemente, as propriedades físico-mecânicas e ópticas do papel. Portanto, por ser menos flexível, o papel oriundo somente de fibras de lenho de tração tende a ter menor resistência à tração e ao arrebentamento.

## Conclusões

1. A qualidade do lenho de reação é afetada de modo similar nas diferentes faixas de inclinação estudadas.

2. O lenho de reação, tanto o de tração quanto o oposto, proveniente de fustes inclinados apresenta vasos com menores diâmetros que os do lenho normal.

3. Os elementos de vasos no lenho oposto apresentam comportamento peculiar, com aumento expressivo em sua frequência, e a grande variabilidade na porosidade entre os lenhos normal, de tração e oposto, no sentido longitudinal do tronco, contribui para reduzir a qualidade do lenho para a produção de celulose.

4. As dimensões das fibras do lenho de reação das árvores inclinadas foram distintas das do lenho normal, e as fibras do lenho de tração proporcionam aumento em comprimento e espessura de parede, enquanto as do lenho oposto têm comprimento reduzido e diâmetro de lume maior.

5. Os índices de qualidade de fibra para produção de papel dos lenhos de tração e oposto, em sua maioria, foram inferiores aos do lenho normal, o que pode contribuir para reduzir as propriedades do papel formado somente com lenho de reação.

## Referências

- AGUAYO, M.G.; MENDONÇA, R.T.; MARTÍNEZ, P.; RODRÍGUEZ, J.; PEREIRA, M. Chemical characteristics and Kraft pulping of tension wood from *Eucalyptus globulus* labill. *Revista Árvore*, v.36, p.1163-1172, 2012. DOI: 10.1590/S0100-67622012000600017.
- AGUAYO, M.G.; QUINTUPILL, L.; CASTILLO, R.; BAEZA, J.; FREER, J.; MENDONÇA, R.T. Determination of differences in anatomical and chemical characteristics of tension and opposite wood of 8-year old *Eucalyptus globulus*. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, v.12, p.241-251, 2010. DOI: 10.4067/S0718-221X2010000300008.
- ALMÉRAS, T.; FOURNIER, M. Biomechanical design and long-term stability of trees: morphological and wood traits involved



- in the balance between weight increase and the gravitropic reaction. **Journal of Theoretical Biology**, v.256, p.370-381, 2009. DOI: 10.1016/j.jtbi.2008.10.011.
- ALVES, I.C.N.; GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; SILVA, H.D. da. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus Benthamii* para produção de celulose kraft. **Ciência Florestal**, v.21, p.167-174, 2011.
- BASSA, A.G.M.C.; SILVA JUNIOR, F.G. da; SACON, V.M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids. **Scientia Forestalis**, n.75, p.19-29, 2007.
- BELINI, U.L.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M.P.; OLIVEIRA, J.T. da S. Alterações na estrutura anatômica da madeira de cavacos de *Eucalyptus grandis* em três condições de desfibramento para a confecção de painéis MDF. **Revista Árvore**, v.32, p.523-532, 2008. DOI: 10.1590/S0100-67622008000300013.
- CHAUHAN, S.S.; WALKER, J.C.F. Wood quality in artificially inclined 1-year-old trees of *Eucalyptus regnans* – differences in tension wood and opposite wood properties. **Canadian Journal of Forest Research**, v.41, p.930-937, 2011. DOI: 10.1139/x11-016.
- CLAIR, B.; GRIL, J.; BABA, K.; THIBAUT, B.; SUGIYAMA, J. Precautions for the structural analysis of the gelatinous layer in tension wood. **IAWA Journal**, v.26, p.189-195, 2005. DOI: 10.1163/22941932-90000110.
- CLAIR, B.; RUELLE, J.; BEAUCHÊNE, J.; PRÉVOST, M.F.; FOURNIER, M. Tension wood and opposite wood in 21 tropical rain forest species. 1. Occurrence and efficiency of the G-layer. **IAWA Journal**, v.27, p.329-338, 2006. DOI: 10.1163/22941932-90000158.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 30:1-019**: madeiras: descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira: esquema 1 de recomendações. [S.l.], 1973. 16p.
- DOĞU, A.D.; GRABNER, M. A staining method for determining severity of tension wood. **Turkish Journal of Agriculture & Forestry**, v.34, p.381-392, 2010. DOI: 10.3906/tar-0906-209.
- FERREIRA, S.; LIMA, J.T.; TRUGUILHO, P.F.; SILVA, J.R.M. da S.; ROSADO, A.M.; MONTEIRO, T.C. Resistência mecânica de caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, v.16, p.133-140, 2010.
- FOELKEL, C.E.B. Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. **Boletim Informativo IPEF**, v.6, p.72-87, 1978.
- FOELKEL, C.E.B. O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor kraft de cozimento. In: FOELKEL, C.E.B. **Eucalyptus online book & newsletter**. São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2009.
- GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C. de; SILVA, C.M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, de nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, v.29, p.129-137, 2005. DOI: 10.1590/S0100-67622005000100014.
- LEHRINGER, C.; DANIEL, G.; SCHMITT, U. TEM/FE-seM studies on tension wood fibres of *Acer* spp., *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. **Wood Science and Technology**, v.43, p.691-702, 2009. DOI: 10.1007/s00226-009-0260-7.
- MA, J.; ZHOU, X.; ZANG, X.; XU, F. Label-free *in situ* Raman analysis of opposite and tension wood in *Populus nigra*. **BioResources**, v.8, p.2222-2233, 2013.
- MELLEROWICZ, E.J.; SUNDBERG, B. Wood cell walls: biosynthesis, developmental dynamics and their implications for wood properties. **Current Opinion in Plant Biology**, v.11, p.293-300, 2008. DOI: 10.1016/j.pbi.2008.03.003.
- MILANEZ, A.C.; FOELKEL, C.E.B. Processos de deslignificação com oxigênio para a produção de celulose de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 14., 1981, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 1981. p.37-110.
- MOKFIENSKI, A.; COLODETTE, J.L.; GOMIDE, J.L.; CARVALHO, A.M.M.L. A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento da polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, v.18, p.401-413, 2008.
- PILATE, G.; CHABBERT, B.; CATHALA, B.; YOSHINAGA, A.; LEPLÉ, J.-C.; LAURANS, F.; LAPIERRE, C.; RUEL, K. Lignification and tension wood. **Comptes Rendus Biologies**, v.327, p.889-901, 2004. DOI: 10.1016/j.crv.2004.07.006.
- ROCHA, C.B.R.; POTIGUARA, R.C. de V. Morfometria das fibras das folhas de *Astrocaryum murumuru* var. *murumuru* Mart. **Acta Amazônica**, v.37, p.511-516, 2007. DOI: 10.1590/S0044-59672007000400005.
- ROSADO, A.M.; ATAÍDE, G. da 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**, v.33, p.309-315, 2013. DOI: 10.4336/2013.pfb.33.75.500.
- RUELLE, J.; CLAIR, B.; BEAUCHÊNE, J.; PRÉVOST, M.-F.; FOURNIER, M. Tension wood and opposite wood in 21 tropical rain forest species 2. Comparison of some anatomical and ultrastructural criteria. **IAWA Journal**, v.27, p.341-376, 2006. DOI: 10.1163/22941932-90000159.
- RUNKEL, R.O.H. Pulp from tropical wood. **TAAP**, v.35, p.174-178, 1952.
- SOUZA, W.M. de; DALVI, L.C.; CAUX, L.S. de. Impregnação de cavacos de eucalipto com efluentes setoriais. **O Papel**, v.75, p.67-73, 2014.
- SULTANA, R.S.; ISHIGURI, F.; YOKOTA, S.; IIZUKA, K.; HIRAIWA, T.; YOSHIZAWA, N. Wood anatomy of nine Japanese hardwood species forming reaction wood without gelatinous fibers. **IAWA Journal**, v.31, p.191-202, 2010. DOI: 10.1163/22941932-90000016.
- SULTANA, R.S.; RAHMAN, M. A review on structures of secondary wall in reaction wood fiber of hardwood species. **Plant**, v.1, p.54-59, 2013. DOI: 10.11648/j.plant.20130105.12.