

## EFEITO DA APLICAÇÃO DE FERTILIZAÇÃO NITROGENADA E LODO DE ESGOTO NAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA JUVENIL DE ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis*

Carlos Roberto Sette Junior<sup>1</sup>, Mário Tomazello Filho<sup>2</sup>, José Luis Lousada<sup>3</sup>, Jean Paul Laclau<sup>4</sup>

(recebido: 1 de outubro de 2008; aceito: 29 de maio de 2009)

**RESUMO:** Conduziu-se este trabalho, com o objetivo avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto e de fertilizante mineral nas características anatômicas e físicas da madeira juvenil de árvores de *Eucalyptus grandis*, com 24 meses, plantadas no espaçamento 3 x 2 m e fertilizadas com nitrogênio (plantio, 6, 12, e 18 meses) e lodo de esgoto (plantio e 8 meses). Para cada tratamento, foram cortadas 10 árvores de acordo com a distribuição da área basal dos tratamentos e coletadas amostras do lenho em diferentes porcentagens da sua altura total para as análises das características anatômicas (vasos e fibras) e físicas (densidade aparente e básica). Os resultados mostraram que a densidade aparente e básica média do lenho das árvores nos tratamentos com aplicação de adubo nitrogenado e lodo de esgoto foram maiores em relação à testemunha, com perfis radiais de densidade aparente similares nos três tratamentos e característicos de madeira juvenil de árvores de eucalipto de 24 meses. As dimensões das fibras e vasos não mostraram variação em resposta à fertilização.

Palavras-chave: Anatomia, densidade, eucalipto, biossólido, raios X.

### EFFECT OF NITROGEN AND SEWAGE SLUDGE APPLICATION ON JUVENILE WOOD CHARACTERISTICS OF *Eucalyptus grandis* TREES

**ABSTRACT:** This work evaluated the wood anatomical and physical characteristics of 24 months-old *Eucalyptus grandis* trees, planted in 3x2m spacing and fertilized with nitrogen (6, 12, 18 month old) and sewage sludge (planting, 8 month old). For each treatment 10 eucalypts trees were cut according to the distribution of basal area. Wood samples were collected in different percentages of the total height to analyze the anatomical (vessels and fibers) and physical (wood density) characteristics. The results showed that the wood apparent density and wood basic density of the eucalypt trees in the nitrogen and sewage sludge were larger in comparison to the control. Radial profiles of wood apparent density were similar in the three treatments, presenting the expected characteristics of juvenile wood of 24 months-old eucalypt trees. Fiber and vessel dimensions were not affected by fertilization.

Key words: Anatomy, wood density, eucalypt, bio-solid, X-rays.

#### 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a possibilidade de escassez de madeira na próxima década e a redução da pressão sobre as florestas naturais têm proporcionado uma inversão na tendência decrescente nas taxas de reflorestamento anuais, mostrando aumento da área reflorestada em várias regiões do país. Para atender a demanda, as universidades, instituições de pesquisa e as empresas, têm desenvolvido pesquisas para o aumento da produtividade das plantações florestais, com investimentos no melhoramento genético e clonagem, preparo do solo e fertilização mineral das árvores (TOMAZELLO, 2006).

Por outro lado, a pressão da sociedade e legislação ambiental têm resultado em significativo aumento do tratamento do esgoto nas Estações de Tratamento - ETE produzindo quantidades crescentes do lodo de esgoto ou biossólido. Esse resíduo, constitui-se em problema ambiental, sendo depositado em aterros sanitários ou incinerado, gerando um impacto ambiental e onerando os municípios. No entanto, o lodo de esgoto pode ser utilizado, nas condições brasileiras, como fertilizante em plantações florestais, sendo uma das alternativas indicadas, considerando os aspectos sanitários, ambientais, silviculturais, sociais e econômicos (POGGIANI & SILVA, 2005).

<sup>1</sup>Engenheiro Florestal, Doutorando no Departamento de Ciências Florestais/DCF – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ – Universidade de São Paulo/USP – Av. Pádua Dias, 11 – 13418-900 – Piracicaba, SP – crjunior@esalq.usp.br

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, Professor titular do Departamento de Ciências Florestais/DCF – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ – Universidade de São Paulo/USP – Av. Pádua Dias, 11 – 13418-900 – Piracicaba, SP – mtomazel@esalq.usp.br

<sup>3</sup>Professor do Departamento de Ciências Florestais – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro/UTAD – Apartado 1013 – 5001-801 – Vila Real, Portugal – jlousada@utad.pt

<sup>4</sup>Engenheiro Florestal, Pesquisador do CIRAD/França e Pesquisador visitante do Departamento de Ciências Florestais/DCF – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ – Universidade de São Paulo/USP – Av. Pádua Dias, 11 – 13418-900 – Piracicaba, SP – laclau@cirad.fr

Enquanto as aplicações de lodo de esgoto e fertilização mineral aumentam, significativamente, as taxas de crescimento das árvores de eucalipto, são escassas as informações sobre o seu efeito nas propriedades da madeira, principalmente o lodo de esgoto, sendo o único resultado apresentado por Barreiros (2005) que verificou diminuição da densidade básica e da espessura da parede das fibras do lenho de árvores de *E. grandis* aos 7 anos. As pesquisas referentes ao efeito de fertilizantes minerais nas propriedades da madeira de árvores de eucalipto de idades avançadas (até 30 anos) indicam o aumento (BOUVET et al., 1999; VIGNERON et al., 1995) e a redução (SHIMOYAMA & BARRICHELO, 1989; WASHUSEN et al., 2005) da densidade do lenho. Em árvores jovens (1-3 anos) de eucalipto, destacam-se os resultados de Bamber et al. (1982) e Pereira & Araújo (1990), que não verificaram efeito significativo da fertilização mineral na densidade do lenho e dimensões das fibras. Pelo exposto, neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto e de fertilizante mineral nas características anatômicas e físicas da madeira juvenil de árvores de *Eucalyptus grandis*.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização do local

O experimento foi instalado na Estação Experimental de Itatinga/SP, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, localizada a 23° 10' S-48° 40' W e 857 m de

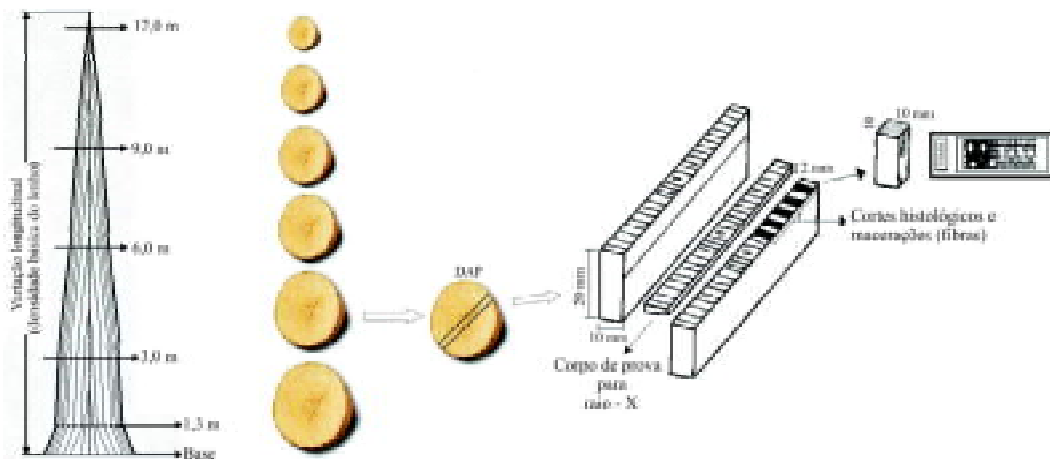
altitude. O clima da região, segundo Köppen, é caracterizado como mesotérmico úmido (Cwa), com precipitação média anual de 1635 mm e temperatura média de 12,8°C no mês mais frio e 19,4°C no mês mais quente. O solo é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico de textura média.

### 2.2 Caracterização do experimento

O experimento foi constituído por árvores de *E. grandis* (procedência das sementes: Atherton, Austrália) com 24 meses, em 4 blocos casualizados e 3 tratamentos: (i) T<sub>1</sub>: testemunha; T<sub>2</sub>: aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de sulfato de amônia no plantio, 6, 12 e 18 meses e T<sub>3</sub>: aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto + 50 Kg ha<sup>-1</sup> de KCl no plantio e 8 meses. Os Tratamentos 1 e 2 receberam, adicionalmente, 2000 kg ha<sup>-1</sup> de calcário, 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 4,5 kg ha<sup>-1</sup> de B e 45 kg ha<sup>-1</sup> de FTE Br 12.

### 2.3 Seleção das árvores

Foram selecionadas 10 árvores de eucalipto por tratamento (total de 30 árvores), de acordo com a distribuição de área basal, sendo abatidas e cortados discos de lenho, com 3 cm de espessura, na base, 1,3 (DAP), 3, 6, 9 e 12 m da altura do tronco (Figura 1). Na altura de 1,3 m (DAP) foram cortados 2 discos do lenho, o 1º para a avaliação da densidade básica e o 2º disco para a avaliação da densidade de raios X e para a anatomia.



**Figura 1** – Amostragem das árvores de eucalipto para a obtenção dos corpos-de-prova para as análises do lenho: densidade básica, anatomia e densitometria de raios X.

*Figure 1* – Sampling of eucalypt trees for wood samples preparation for the basic density, anatomy and X-ray densitometry analyses.

## 2.4 Avaliação da densidade aparente do lenho por densitometria de raios X

Dos discos de madeira do DAP foram retiradas amostras diamétricas de 20x10 mm (largura x espessura) e, destas, foram obtidos corpos-de-prova (Figura 1) no sentido transversal (2,0 mm de espessura) em aparelho de dupla serra circular paralela. As seções transversais do lenho foram acondicionadas em câmara de climatização (20°C, 50% de umidade relativa do ar) até atingir 12% de umidade. As amostras do lenho e a cunha de calibração de acetato de celulose (densidade: 1,48 g/cm<sup>3</sup>) foram dispostas sobre suporte com filme de raios X (Kodak, Diagnostic Film T-Mat, 240x180 mm), transferidas para equipamento de raios X (Hewlett Packard, Faxitron 43805 N; 1,20 m distância da fonte de raios X-filme) e radiografadas (5 min de exposição, 16 Kv de tensão aceleradora no tubo, 3 mA de corrente de aquecimento do cátodo) (TOMAZELLO, 2006). Os filmes radiográficos foram digitalizados em scanner Hewlett Packard ScanJet 6100C/T na resolução de 1000 dpi em escala de cinza de 256 graus. Na imagem digitalizada, foram feitas comparações entre a escala de cinza das amostras de madeira com a da cunha de calibração, sendo determinados os valores de densidade por meio do software CRAD. Em seguida, o arquivo foi lido com auxílio do software CERD, considerando 500 x 10 (comprimento x largura) determinações de densidade para os segmentos de 25% do comprimento das amostras do lenho, originando valores pontuais de densidade e os respectivos gráficos dos perfis radiais. A partir dos perfis radiais de densidade aparente do lenho, foram determinadas as densidades aparente média, máxima e mínima e a relação com os tratamentos.

## 2.5 Avaliação da densidade básica do lenho

Foram selecionados os discos do lenho da base, DAP, 3, 6, 9 e 12 m da altura do tronco das árvores (Figura 1), sendo estes imersos em água até a sua saturação completa e obtidos os pesos úmidos ( $P_u$ ), imersos ( $P_i$ ) e secos ( $P_s$ ), após permanecerem em estufa (103°±2°C) para a determinação da densidade básica ( $d_b$ ) pelo método da balança hidrostática (ABNT, 1940). Os valores de densidade básica do lenho foram utilizados na determinação da sua variação longitudinal, da densidade básica média ponderada pelo volume e sua relação com os tratamentos.

## 2.6 Avaliação da estrutura anatômica do lenho

Para a confecção de lâminas histológicas dos discos de madeira do DAP foram cortadas amostras transversais

e, destas, corpos-de-prova radiais (10 x 10 mm, largura x espessura) (Figura 1). Os corpos-de-prova foram saturados em água e amolecidos em água à ebulição, fixados em micrótomo de deslize e cortadas seções transversais (15-20 µm de espessura). Estas foram clarificadas (água cândida, 1:1), lavadas (água destilada, ácido acético 1%), desidratadas (série alcoólica, 30-100%), lavadas novamente (xilol), coradas (safranina) e montadas (sob lamínula, bálsamo de Canadá) em lâminas de vidro. Das seções transversais do lenho foram coletadas imagens digitais a cada 1 cm de distância radial (coletadas 3 imagens digitais/posição/cm) sob microscopia de luz (ampliação de 50x) para a determinação do diâmetro tangencial, frequência e área ocupada pelos vasos (Eq. 1 e 2), pela aplicação de programa de análise de imagens.

As amostras radiais do lenho em 3 posições (0, 50 e 100%) foram maceradas pelo método de Franklin, em tubos de ensaio (ácido acético + peróxido de hidrogênio 120, vol 1:1) e mantidos em estufa (60 °C, 48 h). Da suspensão de células do lenho coradas (safranina + glicerina), foram montadas lâminas de vidro e coletadas imagens das fibras sob microscopia. Foram mensurados o comprimento (X25), largura, espessura da parede e diâmetro do lume (X400) das fibras (IAWA COMMITTEE, 1989), aplicando o programa de análise de imagens.

$$\text{Frequência dos vasos} = (\text{n}^\circ \text{ de vasos} / \text{área da imagem}) \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ de área de vasos} = (\text{área total vasos} / \text{área da imagem}) \times 100 \quad (2)$$

## 2.7 Análises estatísticas

Os “outliers”, heterogeneidade da variância e escala foram aferidas e, para a escolha da melhor transformação, foi aplicado o Método de Potência Ótima de Box-Cox (BOX & COX, 1964). Foi aplicada a análise de variância para verificar o efeito dos tratamentos e, quando significativo, o teste de Tukey a 95% de probabilidade. A análise de regressão foi aplicada na variação radial/longitudinal das características, sendo testados os modelos lineares e polinomiais do 2° e 3° graus. Para a relação do melhor modelo, levou-se em consideração a significância (95% de probabilidade), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a distribuição dos resíduos.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

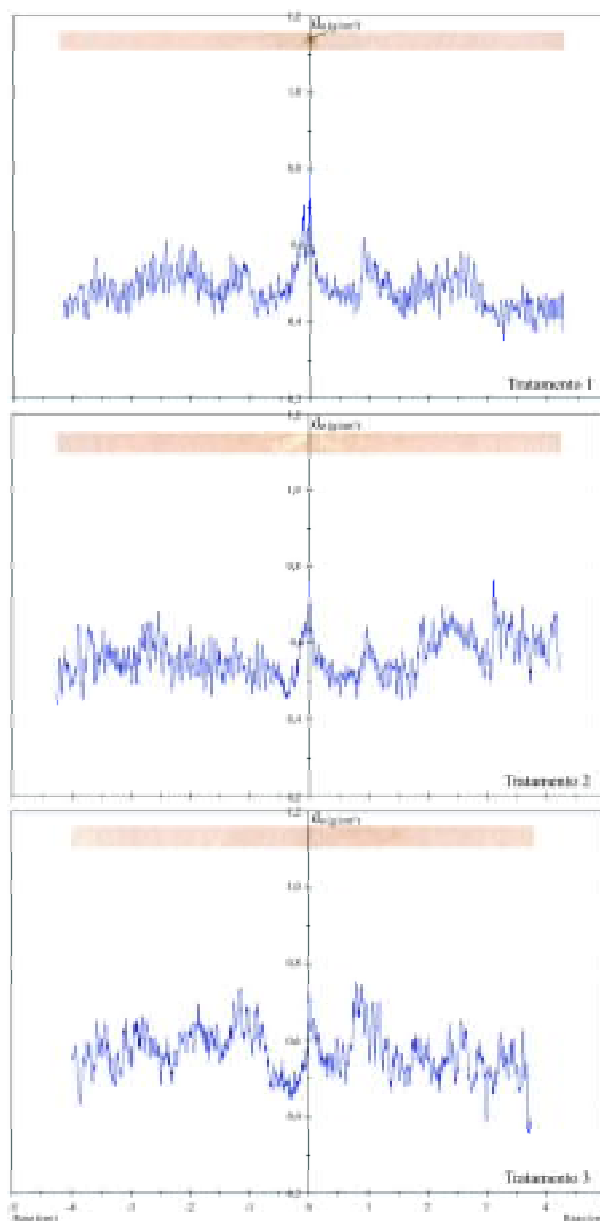
### 3.1 Densidade aparente da madeira

O modelo de variação radial da densidade aparente do lenho observado é característico da madeira juvenil de

árvores jovens (24 meses), não sendo detectadas diferenças significativas para as árvores de eucalipto nos três tratamentos (Figura 2): maiores valores de densidade na região da medula (0,60-0,70 g/cm<sup>3</sup>), seguindo-se sua redução e estabilização (0,50-0,55 g/cm<sup>3</sup>) próxima à casca. O maior valor da densidade na região da medula pode ser devido a presença de cristais e de amido nas células de parênquima, conforme verificado no lenho de árvores de pinus (FONSECA & LOUSADA, 2000) e de eucalipto (TOMAZELLO FILHO, 2006; TOMAZELLO FILHO et al., 2008). A oscilação dos valores nos perfis densitométricos, em função dos elementos de vasos e das faixas de fibras de parede espessa, tem sido verificada em lenho de eucalipto. Os perfis densitométricos do lenho mostram diferenças com os relatados por Alzate et al. (2005), Benjamim (2006) e Tomazello Filho (2006) para árvores de espécies de eucalipto de idades mais avançadas (7 a 30 anos) que evidenciam a nítida presença de madeira juvenil, de transição e adulta.

As densidades aparentes médias do lenho das árvores nos Tratamentos 1 (testemunha), 2 (adubação nitrogenada) e 3 (adubação com lodo de esgoto) foram de 0,50, 0,53 e 0,54 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, mostrando uma tendência de aumento da densidade pela aplicação de N e de lodo de esgoto em relação à testemunha, embora tenha sido não significativo (Tabela 1). Os resultados corroboram os resultados obtidos por Bouvet et al. (1999) e Vigneron et al. (1995) para o adubo nitrogenado. No entanto, Andrade et al. (1994) e Washusen et al. (2005) indicaram uma redução da densidade do lenho das árvores de eucalipto fertilizadas e Barreiros (2005) com a aplicação de lodo de esgoto. Destaca-se que, no presente trabalho foram analisadas árvores jovens (24 meses) sendo necessárias, posteriormente, avaliações da densidade do lenho nas fases de transição e adulta.

A densidade aparente média do lenho (0,50-0,54 g/cm<sup>3</sup>) das árvores de *E. grandis*, com 2 anos de idade, foi cerca de 30% inferior à determinada para essa e outras espécies de eucalipto, com idades de 7-20 anos, pela mesma técnica de densitometria de raios X, estando essa diferença associada à presença da madeira de transição e adulta, com estrutura anatômica diferenciada e característica (BENJAMIN, 2006; TOMAZELLO FILHO, 2006). A densidade aparente mínima do lenho do Tratamento 1 (testemunha), 0,27 g/cm<sup>3</sup>, foi menor e significativamente diferente em comparação com os Tratamentos 2 (nitrogênio) e 3 (lodo de esgoto) com 0,35 e 0,34 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, justificando a redução da



**Figura 2** – Perfis de densidade do lenho das árvores de eucalipto dos Tratamentos 1 (testemunha, ex: árvore 8), 2 (nitrogênio, ex: árvore 8) e 3 (lodo, ex: árvore 6).

**Figure 2** – Wood density profile of the eucalypt trees of Treatments 1 (control, ex: tree 8), 2 (nitrogen, ex: tree 8) and 3 (sewage sludge, ex: tree 6).

densidade média. A densidade aparente máxima dos lenhos, a exemplo da densidade média, não mostrou diferenças significativas nos Tratamentos 1, 2 e 3, com

0,96, 0,88 e 0,93 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Os altos valores da densidade máxima se devem às oscilações verificadas nos perfis densitométricos, em função das faixas de fibras de parede espessa.

### 3.2 Densidade básica da madeira

A variação longitudinal da densidade básica se caracteriza pelo seu decréscimo da base até o DAP (Trat. 2 e 3) e 3 m de altura (Trat. 1); aumento até 6 m (Trat. 3) e 9 m (Trat. 1 e 2); decréscimo até a porção terminal do tronco (Tabela 2). A variação longitudinal da densidade básica do lenho encontrada, regularmente citada na literatura por Alzate et al. (2005), Barrichelo et al. (1983) e Souza et al. (1979), está relacionada com as exigências mecânicas de sustentação do tronco e copa das árvores de eucalipto.

Os valores de densidade básica do lenho não mostraram diferenças significativas, exceto no Tratamento 3, com valores significativamente maiores em relação ao Tratamento 1, na altura de 3,0-6,0 m do tronco, o que refletiu

na densidade básica média do lenho, sendo maior e significativamente diferente no Trat. 3 (0,41 g/cm<sup>3</sup>) em relação ao Trat. 1 (0,37 g/cm<sup>3</sup>) e não significativo comparado com o Trat. 2 (0,39 g/cm<sup>3</sup>) (Tabela 2). A densidade básica média da madeira das árvores nos três tratamentos foi menor do que as citadas na literatura, pela diferença da idade das árvores, espécies, sítios etc, fatores que influenciam a estrutura anatômica e composição química.

### 3.3 Estrutura anatômica da madeira

Observou-se que a frequência dos vasos diminuiu no sentido medula-casca do lenho das árvores dos Tratamentos 1, 2 e 3, de 25-37 para 12-13 vasos/mm<sup>2</sup>. Porém, não houve diferença significativa entre os tratamentos. O diâmetro tangencial dos vasos aumentou no sentido radial do lenho dos três tratamentos, a exceção do 3 para o 4<sup>o</sup> cm, com redução de 91,5 a 82,9 µm, no Tratamento 2. A diferença significativa foi detectada no Tratamento 3 (2<sup>o</sup> cm), com vasos de menor diâmetro em relação aos 1 e 2 (Tabela 3/

**Tabela 1** – Densidade média, máxima e mínima do lenho das árvores de eucalipto.

*Table 1 – Mean, maximum and minimum wood density of the eucalypt trees.*

Tratamento	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )		
	Média	Máxima	Mínima
1	0,50 a (0,03)	0,96 a (0,15)	0,27 a (0,05)
2	0,53 a (0,04)	0,88 a (0,13)	0,35 a (0,07)
3	0,54 a (0,04)	0,93 a (0,25)	0,34 a (0,05)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

**Tabela 2** – Densidade básica do lenho no sentido longitudinal das árvores de eucalipto.

*Table 2 – Wood basic density variation in the longitudinal direction of the eucalypt trees.*

Altura (m)	Tratamento		
	1	2	3
0,0	0,39 a (0,02)	0,42 a (0,02)	0,42 a (0,03)
1,3	0,36 a (0,03)	0,38 a (0,03)	0,40 a (0,02)
3,0	0,36 a (0,03)	0,38 ab (0,02)	0,41 b (0,02)
6,0	0,37 a (0,02)	0,39 ab (0,03)	0,41 b (0,02)
9,0	0,40 a (0,02)	0,39 a (0,03)	0,41 a (0,02)
12,0	—	—	0,38 (0,02)
Média	0,38 a	0,39 ab	0,41 b

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Figura 3, ex.: Tratamento 2). Os modelos de variação radial do diâmetro e frequência dos vasos foram descritos para inúmeras espécies de eucalipto por Bamber & Humphreys (1963), Leal et al. (2004) e Tomazello Filho (1985, 2006). Os valores dimensionais dos vasos são importantes no lenho funcional (fluxo da seiva mineral) e nas propriedades de utilização da madeira, afetando a penetração do licor, densidade e qualidade superficial dos papéis de impressão. No Tratamento 1, observa-se uma tendência do aumento da área ocupada pelos vasos no sentido radial (medula-casca) do lenho: nos Tratamentos 2 e 3 a porcentagem de área de vasos foi de 13-14% próximo a medula; de 11-12% no 1-2° cm; aumentando até a região próxima a casca (13-15%). A menor porcentagem de área de vasos foi de 11% no Tratamento 3 (2° cm), diferindo significativamente do tratamento 1 (Tabela 3). As referências sobre o efeito da fertilização nos vasos do lenho de eucalipto são raras na literatura, restringindo a discussão dos resultados. Bamber et al. (1982) reportaram a formação de vasos de menor diâmetro e de mais baixa frequência no lenho de árvores de *E. grandis*, de 2,5 anos, induzidas a altas taxas de crescimento pela aplicação de fertilizantes. Por outro lado,

Andrade et al. (1994) detectaram vasos de maior diâmetro no lenho de árvores de *E. grandis*, de 6 anos, pela calagem do solo e Tomazello Filho (2006) não observou diferenças significativas nas dimensões dos vasos mas, sobretudo, no xilema funcional (alburno) das árvores de *E. grandis* x *E. urophylla* com 7 anos fertilizadas e irrigadas. Sendo as diferenças não significativas para as dimensões e frequência dos vasos no lenho juvenil, é importante avaliar as árvores em idades mais avançadas, entendendo os mecanismos de formação do cerne e do alburno e demais parâmetros anatômicos.

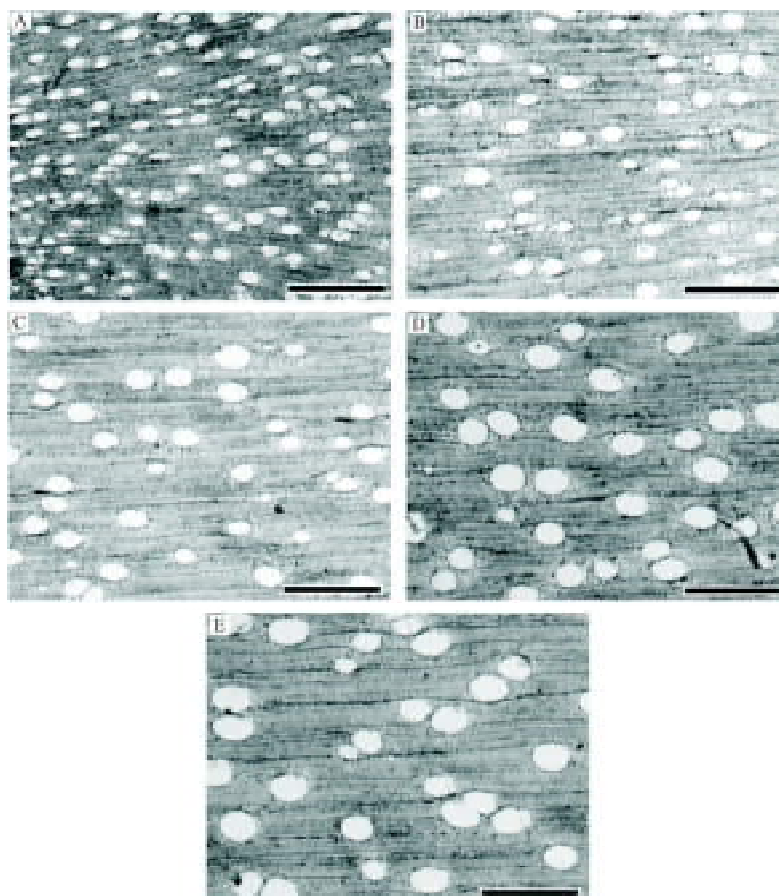
A largura das fibras aumentou no sentido radial do lenho nos Tratamentos 1 e 2, de 16,7-17,1 para 19,9-20,9  $\mu\text{m}$ , não diferindo entre os tratamentos, exceto a 50% do raio, com fibras de menor largura no Tratamento 3 (Tabela 4). A equação da curva de ajuste dos valores segue modelo polinomial do 3° grau, com alto valor de coeficiente de determinação e significativo para o Tratamento 2 (Figura 4). Esse modelo de variação foi verificado por Rocha et al. (2002) e Tomazello Filho (1985) sendo considerado comum nas inúmeras espécies de eucalipto. O diâmetro do lume das fibras aumentou no sentido radial nos Tratamentos 1

**Tabela 3** – Dimensões dos vasos no sentido radial do lenho das árvores de eucalipto.

**Table 3** – Vessel dimensions in the wood radial direction of eucalypt trees.

Parâmetros	Posição radial (cm)	Tratamentos		
		1	2	3
Frequência (n°/mm <sup>2</sup> )	0	29,07 a (10,97)	37,12 a (9,07)	25,64 a (8,65)
	1	18,48 a (2,87)	18,60 a (4,02)	17,20 a (1,52)
	2	15,57 a (0,50)	12,03 a (1,85)	15,88 a (1,93)
	3	13,72 a (2,56)	13,15 a (3,49)	13,93 a (3,23)
	4	12,49 a (0,36)	12,96 a (1,21)	13,13 a (1,17)
Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	0	51,02 a (9,00)	49,82 a (8,40)	54,47 a (4,04)
	1	70,50 a (5,14)	68,87 a (8,55)	61,41 a (4,06)
	2	81,77 a (8,66)	85,73 a (15,50)	66,04 b (6,64)
	3	91,21 a (6,33)	91,56 a (17,27)	82,08 a (5,53)
	4	99,37 a (5,69)	82,95 a (6,36)	90,33 a (6,82)
Porcentagem da área (%)	0	11,66 a (2,62)	13,97 a (2,03)	12,97 a (2,12)
	1	12,84 a (1,51)	11,90 a (1,73)	11,81 a (1,59)
	2	15,31 a (1,34)	12,24 ab (1,73)	10,87 b (1,13)
	3	15,60 a (1,48)	14,83 a (3,13)	13,35 a (2,48)
	4	18,67 a (2,03)	14,97 a (0,64)	15,11 a (2,19)

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.



**Figura 3** – Diâmetro tangencial e frequência dos vasos no lenho em 5 posições, da medula (A) até a casca (E) (X 50; Barra = 200  $\mu$ m).

**Figure 3** – Vessel tangential diameter and frequency in 5 positions, from pith (A) to the bark (E) (X 50; Bar = 200  $\mu$ m).

e 2, em relação ao 3, sendo, neste, significativamente menor (10,2-12,0  $\mu$ m) em relação ao 1 (12,1) e 2 (12,1-13,8  $\mu$ m, 50-100% do raio, respectivamente) (Tabela 4), sendo apontado como um dos vários modelos de variação medula-casca.

A espessura da parede das fibras não mostrou variação radial e diferença significativa nos três tratamentos, com curva de ajuste de modelo linear, com baixos valores de coeficiente de determinação e não significativos, indicando que não se altera com a posição radial, principalmente nos Tratamentos 2 e 3 (Tabela 4; Figura 4). Alzate et al. (2005), Taylor (1973) e Tomazello Filho (1985) indicam em árvores de eucalipto, de maior idade (10-30 anos), um aumento no valor da espessura da parede das fibras no sentido medula-casca. O comprimento das

fibras mostrou uma tendência de aumento no sentido radial (Tabela 4; Figura 4), com diferenças significativas nas regiões próximas a medula e intermediária nos Tratamentos 1, 2 e 3, com as curvas de ajuste seguindo modelo polinomial do 3<sup>o</sup> grau e significativos. Brasil & Ferreira (1979), Taylor (1973) e Tomazello Filho (1985, 2006) indicam, de modo geral, que o comprimento das fibras do lenho de eucalipto aumenta no sentido radial.

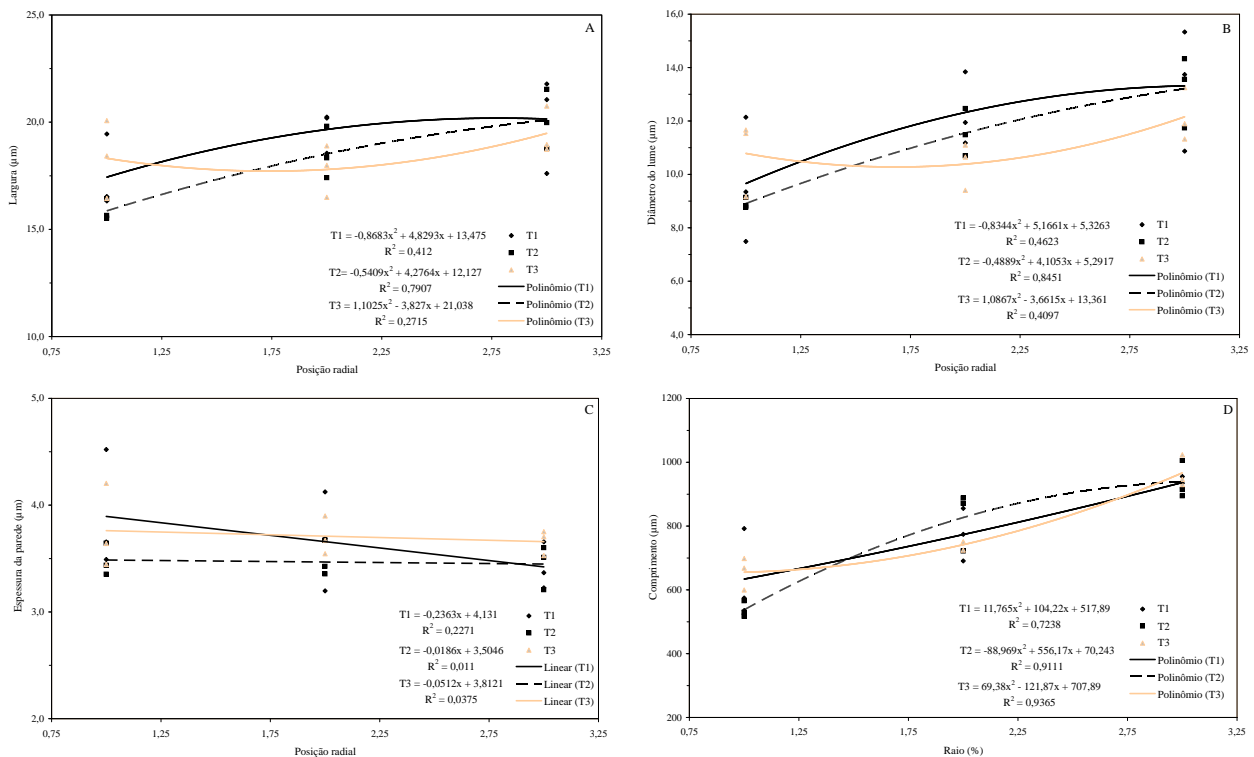
Apesar das diferenças significativas entre tratamentos para algumas dimensões das fibras e posições radiais, não foi verificado um nítido efeito da fertilização no lenho das árvores nessa idade. Da mesma forma, Bamber et al. (1982) e Jianju et al. (1995) não verificaram diferenças nas dimensões das fibras em árvores de eucalipto induzidas a altas taxas de crescimento pela fertilização.

**Tabela 4** – Variação das dimensões das fibras no sentido radial das amostras do lenho.

**Table 4** – Fiber dimensions in the radial direction of the wood samples.

Parâmetros	Posição radial (%)	Tratamentos		
		1	2	3
Largura (µm)	0	17,15 a (4,24)	16,70 a (2,73)	18,03 a (2,83)
	50	19,38 a (3,10)	19,35 a (2,86)	17,51 b (2,98)
	100	19,87 a (3,75)	20,92 a (3,98)	19,20 a (3,28)
Diâmetro do lume (µm)	0	9,45 a (3,37)	9,52 a (2,32)	10,57 a (2,54)
	50	12,11 a (2,84)	12,16 a (2,55)	10,17 b (2,61)
	100	13,10 ab (3,38)	13,82 a (3,33)	11,95 b (2,83)
Espessura da parede (µm)	0	3,85 a (1,24)	3,58 a (0,61)	3,73 a (0,64)
	50	3,63 a (0,66)	3,59 a (0,55)	3,67 a (0,69)
	100	3,38 a (0,58)	3,55 a (0,68)	3,62 a (0,64)
Comprimento (µm)	0	624,49 a (194,70)	537,45 b (123,07)	655,40 a (118,46)
	50	773,40 ab (167,36)	826,72 a (175,22)	741,67 b (139,56)
	100	936,44 a (172,67)	938,04 a (189,82)	966,70 a (177,81)

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.



**Figura 4**– Dimensões das fibras no sentido radial do lenho: largura e espessura da parede (A e C), diâmetro do lume (B) e comprimento (D).

**Figure 4**– Fiber dimensions in the radial direction of the wood: width (A), lumen diameter (B), wall thickness (C) and length (D).



#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados do trabalho permitem concluir que as árvores de eucalipto mostraram que:

- o perfil radial da densidade aparente do lenho é característico de madeira juvenil com maiores valores de densidade na região da medula, seguindo-se sua redução e estabilização próxima à casca e sem diferenças entre os tratamentos;

- a densidade básica média do lenho foi mais alta e significativa com a aplicação de lodo de esgoto e não significativa para o adubo nitrogenado em relação a testemunha;

- a variação longitudinal da densidade básica se caracterizou pelo seu decréscimo da base até a porção central do tronco, seguido de aumento até a sua porção terminal;

- os vasos e as fibras mostraram modelos radiais descritos para algumas espécies de eucalipto sem, no entanto, apresentarem variação em resposta a fertilização das árvores.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALZATE, S. B.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 87-95, ago. 2005.
- ANDRADE, A. M.; VITAL, B. R.; BARROS, N. F.; DELLA LUCIA, R. M.; CAMPOS, J. C. C.; VALENTE, O. F. Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 69-78, jan./abr. 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB-26/40**: ensaios físicos e mecânicos da madeira. Rio de Janeiro, 1940. 16 p.
- BAMBER, R. K.; HORNE, R.; GRAHAM-HIGGS, A. Effect of fast growth on the wood properties of *Eucalyptus grandis*. **Australian Forestry Research**, Melbourne, v. 12, n. 2, p. 163-167, Dec. 1982.
- BAMBER, R. K.; HYMPHREYS, F. R. A preliminary study of some wood properties of *Eucalyptus grandis*. **Journal Institute of Wood Science**, London, n. 11, p. 63-70, 1963.
- BARREIROS, R. M. **Modificações na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado**. 2005. 111 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A. J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-31, jan./fev. 1983.
- BENJAMIN, C. A. **Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis***. 2006. 158 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.
- BOUVET, J. M.; BOUILLET, J. P.; VIGNERON, P.; OGNUABI, N. Genetic and environmental effects on growth and wood basic density with two *Eucalyptus* hybrids. In: CONGRESS ON CONNECTING BETWEEN SILVICULTURE AND WOOD QUALITY, 1999, Nancy. **Proceedings...** Nancy: IUFRO, 1999. p. 15-19.
- BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of Royal Statistical Society, Series B**, Ottawa, v. 26, p. 211-246, 1964.
- BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Características das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis*, aos 3 anos. **Revista IPEF**, Piracicaba, n. 19, p. 79-80, dez. 1979.
- FONSECA, F. M. de A.; LOUSADA, J. L. P. C. **Variação na madeira de *Pinus pinaster***: a densidade, o crescimento e a qualidade físico-mecânica da madeira. Lisboa: Vila Real, 2000. 242 p. (Série técnica-científica).
- IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.
- JIANJU, L.; WENBIN, F.; XIUZHEN, D. Fertilization effect on fiber dimensions of *E. urophylla*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TREE ANATOMY AND WOOD FORMATION, 1995, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto: IUFRO, 1995. p. 189-196.
- LEAL, S.; PEREIRA, H.; GRABNER, M.; WIMMER, R. Clonal and site variation of vessels in 7 year old *E. globulus*. **IAWA Journal**, Leiden, v. 24, n. 2, p. 185-195, 2004.
- PEREIRA, H.; ARAÚJO, C. Raw-material quality of fast grown *Eucalyptus globulus* during the first year. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 11, n. 4, p. 421-427, 1990.

- POGGIANI, F.; SILVA, P. H. M. Biossólido aumenta produtividade de eucaliptos. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 4, p. 105-107, dez. 2005.
- ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação da estrutura anatômica da madeira de *E. grandis* aos 7 anos. In: ENCONTRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DA MADEIRA, 7., 2002, Uberlândia, MG. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002. p. 1-10.
- SHIMOYAMA, V. R.; BARRICHELO, L. E. G. Importância da adubação na qualidade da madeira e celulose. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO E QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1., 1989, Ilha Solteira. **Anais...** Ilha Solteira, 1989. p. 1-15.
- SOUZA, A. P.; DELLA LUCIA, R. M.; RESENDE, G. C. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* cultivado na região de Dionísio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 3, n. 1, p. 16-27, jan./jun. 1979.
- TAYLOR, F. W. Anatomical wood properties of South African *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 84, p. 20-24, 1973.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *E. saligna* e *E. grandis*. **Revista IPEF**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, abr. 1985.
- TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla***. 2006. 135 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M. P.; OLIVEIRA, T. S.; BALLARIN, A. W.; BENJAMIN, C. A. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 10, n. 2, p. 139-149, 2008.
- VIGNERON, J.; GERARD, J.; BOUVET, J. M. Relationship between basic density and growth in a fertilization trial with clones of *Eucalyptus* hybrids in Congo. In: IUFRO CONFERENCE EUCALYPT PLANTATIONS: IMPROVING FIBRE YIELD AND QUALITY, 1995, Hobart. **Proceedings...** Hobart: IUFRO, 1995. p. 68-71.
- WASHUSEN, R.; BAKER, T.; MENZ, D.; MORROW, A. Effect of thinning and fertilizer on the cellulose crystallite width of *Eucalyptus globulus*. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 39, n. 7, p. 569-578, Oct. 2005.