

Marques Barreiros, Ricardo; de Moraes Gonçalves, José Leonardo; Angeli Sansígolo, Cláudio;  
Poggiani, Fábio

Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus*  
grandis causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado  
Revista Árvore, vol. 31, núm. 1, janeiro-fevereiro, 2007, pp. 103-111  
Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48831112>

## MODIFICAÇÕES NA PRODUTIVIDADE E NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* CAUSADAS PELA ADUBAÇÃO COM LODO DE ESGOTO TRATADO<sup>1</sup>

Ricardo Marques Barreiros<sup>2</sup>, José Leonardo de Moraes Gonçalves<sup>3</sup>, Cláudio Angeli Sansigolo<sup>4</sup> e Fábio Poggiani<sup>3</sup>

**RESUMO** – O *Eucalyptus grandis* é uma das espécies mais cultivadas no Brasil devido à sua produtividade e qualidade da madeira. Avaliaram-se o efeito da aplicação de lodo de esgoto tratado (0 a 40 t ha<sup>-1</sup> base seca) e uma dose de adubo mineral nos atributos físicos e químicos da madeira de *Eucalyptus grandis* de árvores com cinco anos de idade, no Município de Itatinga, São Paulo, Brasil. O tipo de solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (argila = 120 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0-20 cm) e o clima, como mesotérmico úmido (Cwa), segundo a classificação de Köeppen. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. O diâmetro à altura do peito (DAP), a altura das árvores e o volume de madeira foram obtidos em todas as parcelas de oito árvores com DAP na classe de maior freqüência. As caracterizações físicas e químicas da madeira foram realizadas de acordo com as normas da ABTCP, TAPPI e ABNT. O lodo de esgoto diminuiu a densidade básica da madeira, mas não afetou os teores de celulose, lignina, extractivos e o poder calorífico da madeira. O decréscimo de densidade da madeira pela adubação com lodo de esgoto foi compensado pela maior produtividade de madeira.

**Palavras-chaves:** Eucalipto, resíduo urbano, adubação orgânica, nutrição mineral, celulose, energia calorífica e qualidade da madeira.

## CHANGES IN PRODUCTIVITY AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF *Eucalyptus grandis* WOOD CAUSED BY SEWAGE SLUDGE APPLICATION

**ABSTRACT** - *Eucalyptus grandis* is the most planted species in Brazil due to its productivity and quality of wood. The effect of growing rates of treated sewage sludge (0 to 40 Mg. ha<sup>-1</sup> dry base) and one rate of mineral fertilizer on physicochemical attributes of *Eucalyptus grandis* wood were evaluated. The studied trees were five years old. The experimental area is located in the municipality of Itatinga, State of São Paulo, Brazil. The soil was characterized as a Dystrophic Red-Yellow Latosol (clay = 120 g kg<sup>-1</sup> at 0-20 cm layer). The climate was characterized as a humid mesothermic (Cwa), according to Köeppen classification. The plots were established in a randomized complete block design, with 6 treatments and 4 replicates. The height, diameter at breast height (DBH) and solid wood volume was measured in all plots. Samples of 8 trees belonging to the most frequent DBH were collected. Five disks (4 cm thick) were removed from each tree at 0, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height. The physicochemical characterizations were carried out according to the norms of the Brazilian Pulp and Paper Technical Associations. The sewage sludge reduced the basic density of wood. The contents of cellulose and lignin extracts and calorific power of wood were not changed. The decrease in wood density promoted by sewage sludge application was compensated by the increase in wood growth.

**Keywords:** *Eucalyptus*, urban waste, organic fertilization, mineral nutrition, cellulose, calorific energy and quality of wood.

<sup>1</sup> Recebido em 20.06.2006 e aceito para publicação em 16.11.2006.

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus Experimental de Itapeva. E-mail: <rmbarreiros@itapeva.unesp.br>.

<sup>3</sup> Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-ESALQ. E-mail: <jlmgonca@esalq.ciagri.usp.br>.

<sup>4</sup> Departamento de Recursos Naturais da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. E-mail: <sansigolo@fca.unesp.br>.

## 1. INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus grandis* é a espécie florestal mais plantada no Brasil (SOUZA et al., 2004), devido ao seu potencial produtivo e às características da madeira. Esta é utilizada para produção de celulose e papel, painéis de fibra e aglomerado, combustível industrial e doméstico e produtos de serraria (SOARES et al., 2003).

A crescente demanda por melhores condições ambientais tem exigido de empresas públicas e privadas a definição de políticas ambientais mais avançadas, incluindo o tratamento de efluentes de esgotos (águares residuárias). A quantidade de efluentes de esgoto tratados tende a aumentar, e seu tratamento tem gerado um resíduo denominado lodo de esgoto, que após tratado e higienizado se torna sólido e é conhecido por biossólido (VAZ e GONÇALVES, 2002; GUEDES e POGGIANI, 2003; MOLINA, 2004).

A adubação química e, ou, orgânica é eficiente em plantações florestais com espécies particularmente do gênero *Eucalyptus*, e o uso do lodo de esgoto (biossólido) representa alternativa promissora, como demonstrado em plantações florestais no Brasil e no exterior (HENRY et al., 1994; LIMA, 2005; POGGIANI, 2004).

As características naturais de um solo, bem como sua adubação, são fatores que podem influenciar a qualidade da madeira, por meio de sua interferência na taxa de crescimento dessa madeira. Os efeitos do uso de adubos dependem da idade das árvores, do tipo de fertilizante, da época de aplicação, da quantidade aplicada e da freqüência de aplicação, entre outros (ANDRADE et al., 1994). Porém, os efeitos da adubação são difíceis de predizer, enquanto alguns estudos apontam aumento e outros, declínio na qualidade da madeira (PUNCHES e COUNTRY, 2004).

Analizando os trabalhos referentes à adubação em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, observou-se que houve significativo aumento de produtividade (VAZ e GONÇALVES, 2002; GUEDES e POGGIANI, 2003), porém esses trabalhos não avaliaram o efeito dessa prática na qualidade da madeira.

Observou-se na literatura que poucos estudos (ANDRADE et al., 1994; RAYMOND e MUNERI, 2000; GONÇALVES et al., 2004) avaliaram o efeito da adubação mineral e da adubação orgânica sobre a qualidade da

madeira oriunda de plantações latifoliadas homogêneas. Alguns trabalhos apontaram aumento na qualidade, enquanto outros, declínio (PUNCHES e COUNTRY, 2004). Entre as principais conclusões, destaca-se que as alterações nas condições de crescimento, devido à aplicação de adubos, são freqüentemente associadas com importantes alterações na qualidade da madeira, sobretudo a fatores físicos, químicos e anatômicos (LARSON, 1968).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto tratado na produtividade e nos atributos físicos e químicos da madeira de *Eucalyptus grandis*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira utilizada foi obtida de árvores de *Eucalyptus grandis* com 5 anos de idade de mudas de sementes na Estação Experimental de Ciências Florestais da Universidade de São Paulo, Município de Itatinga, Estado de São Paulo, Brasil, entre os paralelos 23°02' 01 "e 23°02' 30" latitude sul e os meridianos 48°37' 30 "e 48°38' 34" longitude oeste, com 830 m de altitude média. O solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Psamítico (areia = 830 g kg<sup>-1</sup>, silte = 50 g kg<sup>-1</sup> e argila = 120 g kg<sup>-1</sup>, na camada de 0-20 cm) (Quadro 1).

Foram aplicados seis tratamentos com quatro repetições, sendo cada parcela (30 m x 20 m) constituída por 10 linhas de 20 m de comprimento. As plantas foram espaçadas 2 m nas linhas e 3 m entrelinhas, totalizando 100 plantas por parcela. A posição das parcelas por bloco foi definida por sorteio, sendo consideradas as 36 plantas centrais como área útil. O biossólido utilizado foi classificado como do tipo B (CETESB, 1999), com teor de matéria orgânica em torno de 300 g kg<sup>-1</sup>, pH em água de 12 e teores elevados de N, P, Ca, Fe, Zn e SO<sub>4</sub> (Quadro 2).

O biossólido foi aplicado com sua umidade original (60%) quatro meses após o plantio das mudas, em faixas de 2 m, sobre a superfície do solo e sem incorporação, a 0,5 m de cada lado da linha de plantio do eucalipto. Os tratamentos experimentais (base seca) foram: 1) Testemunha (Test) – sem fertilização e sem biossólido; 2) Adubação Química (AQ) - 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (a lanço em área total), 110 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo (45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; aplicado no sulco de plantio), 150 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 10-20-10 (sulco de plantio), 80 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 20-00-20 (aplicado 45 dias pós-plantio

em meia lua ao redor da muda), 180 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 16-00-32 + 0,3% de B + 0,5% de Zn (aplicado seis meses pós-plantio, numa faixa contínua de 40 cm na entrelinha de plantio) e 240 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 16-00-32 + 0,3% de B + 0,5% de Zn (aplicado 12 meses pós-plantio numa faixa contínua de 40 cm na entrelinha de plantio); 3) 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido, com suplementação de K (10 B+K); 4) 10 t ha<sup>-1</sup> de biossólido, com suplementação de K e P (10 B+KP); 5) 20 t ha<sup>-1</sup> de biossólido, com suplementação de K (20 B+K); e 6) 40 t ha<sup>-1</sup> de biossólido, com suplementação de K (40 B+K).

Os tratamentos 3, 4, 5 e 6 receberam suplementação de K mineral (KCl, 60% de K<sub>2</sub>O), para igualar à quantidade de K do biossólido somada à do fertilizante potássico utilizado no tratamento 2 (165 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). O tratamento 4 recebeu suplementação de P (superfosfato triplo), para que a quantidade de P do biossólido somada a do fertilizante fosfatado ficasse igual à do tratamento 2 (80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Duas árvores por parcela da classe de DAP predominante e com bom perfil fenotípico foram selecionadas para a caracterização física e química da madeira. Após a medição dos DAPs, as árvores foram abatidas e, em seguida, medidas as suas alturas comerciais (H), correspondentes ao diâmetro mínimo de 6 cm com casca. Logo em seguida foram retiradas seções transversais (discos com 4 cm de espessura) a 0, 25, 50, 75 e 100% da H de cada árvore.

Em condições de laboratório, a preparação das amostras a partir dos discos ocorreu na condição de secada ao ar (s.a.), com aproximadamente 12% de umidade, e as análises químicas e físicas da madeira

ocorreram nas condições absolutamente secas (a.s.). Esses discos tiveram seus diâmetros medidos com e sem cascas (duas medições perpendiculares entre si) imediatamente após o corte, cujas medidas foram utilizadas nos cálculos de diâmetros médios, de densidade básica ao longo do fuste e de volume das árvores. Para cada árvore, os discos foram descascados, cortados em 4 cunhas de 90° (interceptando a medula). De cada disco, a primeira cunha foi colocada em água até que se saturasse para a determinação da densidade básica da madeira. A segunda cunha foi cortada na forma de palitos, que depois foram agrupados e reduzidos à serragem em moinho tipo Wiley. Essa serragem produzida foi classificada em um conjunto de peneiras sob vibração, para a obtenção da fração 40/60 mesh para as análises químicas e de poder calorífico. As demais cunhas ficaram como reserva.

**Quadro 2** – Composição química total do biossólido, base úmida a 65 °C, tipo B, produzido na Estação de Tratamento de Esgoto – ETE de Barueri, SP

**Table 2** – Total chemical composition of the biosolid, humid base at 65°C, type B, produced in the Sewage Treatment Station of Barueri, State of São Paulo

Elemento	Concentração	Elemento	Concentração
C	114,0 (g kg <sup>-1</sup> )	S	6,0 (g kg <sup>-1</sup> )
N	26,2 (g kg <sup>-1</sup> )	Fe	39.200,0 (mg kg <sup>-1</sup> )
MO	300,0 (g kg <sup>-1</sup> )	Cu	917,0 (mg kg <sup>-1</sup> )
Relação C:N	4,3	Zn	1.500,0 (mg kg <sup>-1</sup> )
P	9,5 (g kg <sup>-1</sup> )	Mn	300,0 (mg kg <sup>-1</sup> )
K	1,3 (g kg <sup>-1</sup> )	Cd	21,0 (mg kg <sup>-1</sup> )
Ca	95,0 (g kg <sup>-1</sup> )	Pb	200,0 (mg kg <sup>-1</sup> )
Mg	3,0 (g kg <sup>-1</sup> )	pH	12,0
Na	0,5 (g kg <sup>-1</sup> )	Umidade	60,0 (%)

Fontes: CETESB (1999), Molina (2004) e Guedes e Poggiani (2003).  
Sources: CETESB (1999), Molina (2004) and Guedes e Poggiani (2003).

**Quadro 1** – Atributos químicos<sup>1</sup> do Latossolo Vermelho-Amarelo por ocasião da instalação do experimento  
**Table 1** – Chemical attributes<sup>1</sup> of the Red-Yellow Latosol at the time of the installation of the experiment

Prof.	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H + Al	Al	SB	T <sup>2</sup>	V <sup>3</sup>	m <sup>4</sup>
cm		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	%	
0-5	3,6	56	2	0,9	3	2	92	19	6	98	6	76
5-10	3,8	18	1	0,9	2	2	53	12	5	58	8	71
10-20	3,8	15	1	0,9	4	1	45	10	5	51	11	65
		Cu	Zn		Mn		Fe		S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		B	
					mg dm <sup>-3</sup>							
0-5		0,5		0,5		2,4		123		12,8		0,2
5-10		0,6		0,3		0,5		76		13,9		0,2
10-20		0,7		0,3		0,4		67		26,6		0,2

Notas - <sup>1</sup> Segundo métodos apresentados por Raij et al. (1987); <sup>2</sup> Capacidade de troca catiônica em pH 7,0; <sup>3</sup> Saturação por bases; e <sup>4</sup> Saturação por alumínio. Notes - <sup>1</sup>Second approaches presented by Raij et al. (1987); <sup>2</sup>Capacity of change cationic in pH 7,0; <sup>3</sup>Saturation by basis; and <sup>4</sup>Saturation by aluminum.

As amostras foram preparadas para determinar suas características e propriedades, segundo métodos das respectivas associações de normas técnicas nacional e internacional, como: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP, 1974), Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI, 1999) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1984).

A massa específica (densidade básica) da madeira foi determinada conforme o método da balança hidrostática, norma ABTCP M 14/70, e a determinação do poder calorífico da madeira seguiu o Manual de Instruções do Calorímetro PARR 1201, norma NBR 8633/84 (ABNT, 1984). Os atributos químicos da madeira determinados foram: extrativos totais em água quente, etanol-toluol e toluol (ABTCP M 3/69), lignina Klason insolúvel (TAPPI T222 om-83), lignina Klason solúvel (TAPPI T249 cm-85), lignina total (soma dos teores de lignina insolúvel e solúvel), celulose (WRIGHT e WALLIS, 1998), hemiceluloses (SANSÍGOLO e BARREIROS, 1998) e cinzas (TAPPI T211 om-85).

Para a determinação do teor de celulose, primeiramente foram removidos os extrativos totais da madeira, bem como adicionado à serragem uma solução de perborato de sódio triidratado, ácido acético e peróxido de hidrogênio; depois, foi levado a refluxo (120 °C por 4 h), esfriado e lavado com água quente e etanol, pesando-se o resíduo e calculado o conteúdo de celulose (em porcentagem) a partir do material de partida.

A determinação do teor de hemiceluloses foi obtida por diferença, ou seja, foram subtraídos dos 100% os teores de extrativos totais, lignina total, celulose e cinzas, anteriormente determinados.

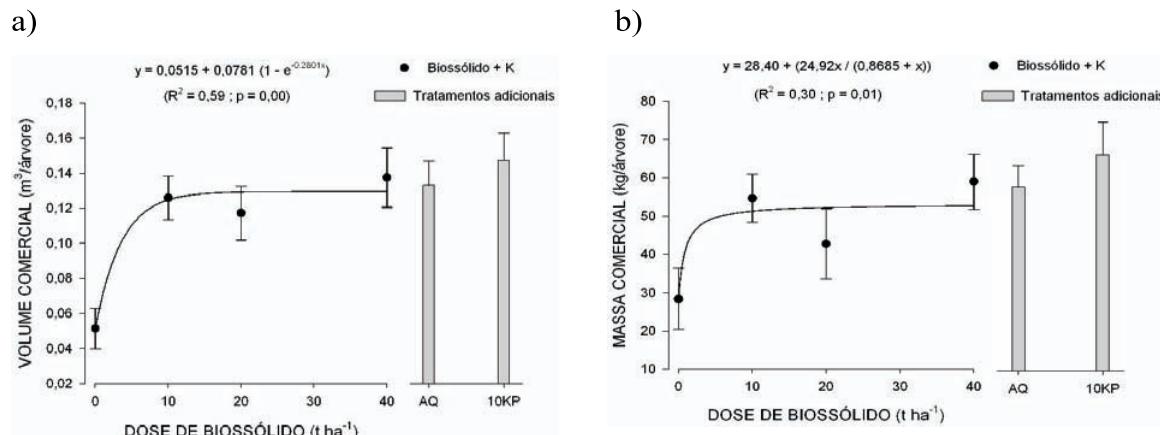
O volume comercial sem casca de cada árvore foi determinado pela equação generalizada de Smalian, conforme Veiga (1984).

Os tratamentos Test, 10 B+K, 20 B+K e 40 B+K participaram de análise por regressão, por serem de material de mesma natureza com suplementação, somente, de K. O programa estatístico utilizado nas análises foi o SigmaPlot 8.0 (2002). Cada variável considerada foi estimada, mediante modelos, com um conjunto de oito pontos ( $n = 8$ ), sendo suas médias plotadas com os respectivos desvios padrões.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Produtividade de madeira

A produtividade de madeira apresentou relação exponencial com o aumento das doses de lodo de esgoto (biossólido). Os tratamentos com adubação mineral e biossólido com suplementação de adubação potássica e fosfatada proporcionaram produção semelhante de madeira com as maiores doses de biossólido (Figura 1). O volume de madeira teve maior relação com o aumento nas doses de biossólido que a massa de madeira, como relatado por Shimoyama e Barrichelo (1989) para produção de madeira de árvores adubadas.



**Figura 1** – Produção de madeira por árvore de *Eucalyptus grandis* aos cinco anos de idade em volume (a) e em massa seca (b) nos diferentes tratamentos. As barras nas médias são os desvios-padrão.

**Figure 1** – Wood output per tree of five-year-old *Eucalyptus grandis* in volume (a) and dry mass (b) in the different treatments. The bars represent the standard deviations.

O maior volume de madeira com a adubação compensou a menor densidade básica, resultando em maior massa seca de madeira (Figura 2a).

### 3.1.1. Atributos físicos

O aumento na dose de biofertilizante resultou em resposta exponencial e negativa com a densidade básica da madeira, sendo o coeficiente de determinação da equação muito baixo ( $R^2 = 0,21$ ). O tratamento com adubação química (AQ) e o com  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de biofertilizante mais KP (10 B+KP) também apresentaram menor densidade básica da madeira que a testemunha (Figura 2a).

Não foi encontrado mudança na densidade básica da madeira de *E. grandis* adubada com N, P, K e S aos 30 meses de idade, cujo valor ( $0,460 \text{ g cm}^{-3}$ ) foi semelhante ao do tratamento-controle deste estudo (BAMBER et al., 1982). De forma semelhante, em *Eucalyptus grandis* com 6 anos de idade não foi encontrado diferença na densidade básica da madeira entre árvores adubadas e não-adubadas (ANDRADE et al., 1994).

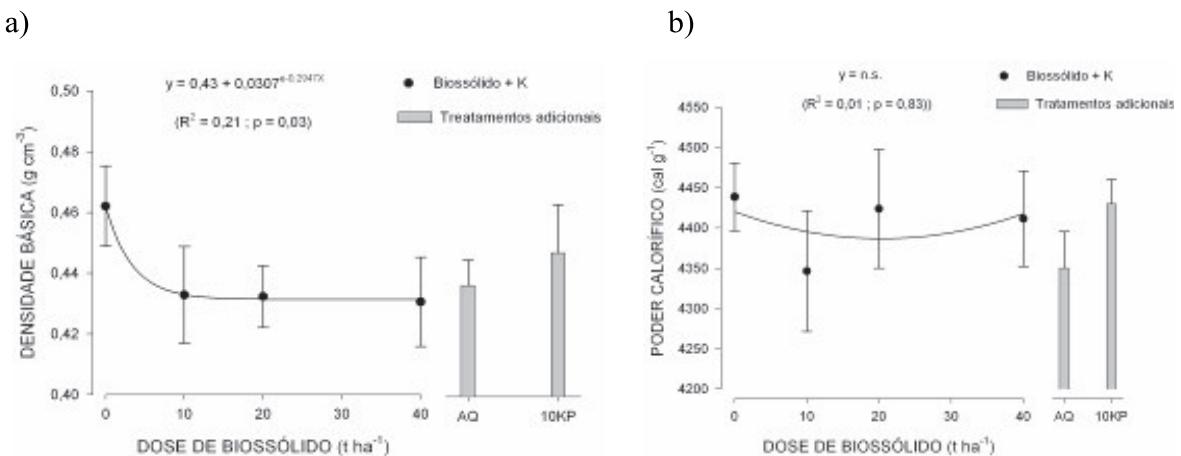
A densidade básica da madeira diminuiu com o aumento da taxa de crescimento (Figuras 1 e 2), o que pode ser explicado pelo fato de ser uma característica resultante, entre outras características, das dimensões celulares (PANSHIN e ZEEUW, 1980). A espessura da parede e a largura da fibra tenderam a diminuir com

a aplicação de biofertilizante, o que pode ser atribuído ao aumento na taxa de crescimento e à não-existência de madeira madura.

A densidade básica da madeira ( $0,438 \text{ g cm}^{-3}$ ) de *Eucalyptus grandis* com 5 anos foi semelhante à dos tratamentos AQ e dos que receberam biofertilizante (FREDDO et al., 1999). A densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus* é, normalmente, acima de  $0,500 \text{ g cm}^{-3}$ , com a maioria apresentando densidade entre  $0,465$  e  $0,490 \text{ g cm}^{-3}$  (GOMIDE et al., 2005). Isso indica que as empresas têm priorizado valores de densidade próximos a  $0,500 \text{ g cm}^{-3}$ , com tendência para densidades ligeiramente inferiores.

O poder calorífico da madeira testada foi maior que o obtido com aplicação de N, P, K e Ca, valor médio de  $4.641 \text{ cal g}^{-1}$  para o *Eucalyptus grandis* com 7 anos de idade (VALE et al., 2000), e sem diferenças entre os tratamentos. O valor de  $4.790 \text{ cal g}^{-1}$  de madeira de *E. grandis* aos 10 anos de idade (JARA, 1989) foi semelhante aos de folhosas, entre  $4.600$  e  $4.800 \text{ cal g}^{-1}$  de madeira (HOWARD, 1973). Os valores encontrados foram menores (Figura 2b), mas estavam dentro da faixa de Brito (1993), com valores de  $3.500$  a  $5.000 \text{ cal g}^{-1}$  de madeira.

As correlações entre os atributos físicos, químicos e anatômicos e o poder calorífico da madeira foram muito baixos ou não-significativos.



**Figura 2** – Densidade básica (a) e poder calorífico (b) da madeira das árvores de *Eucalyptus grandis* aos 5 anos de idade, nos diferentes tratamentos. As barras nas médias são os desvios-padrão.

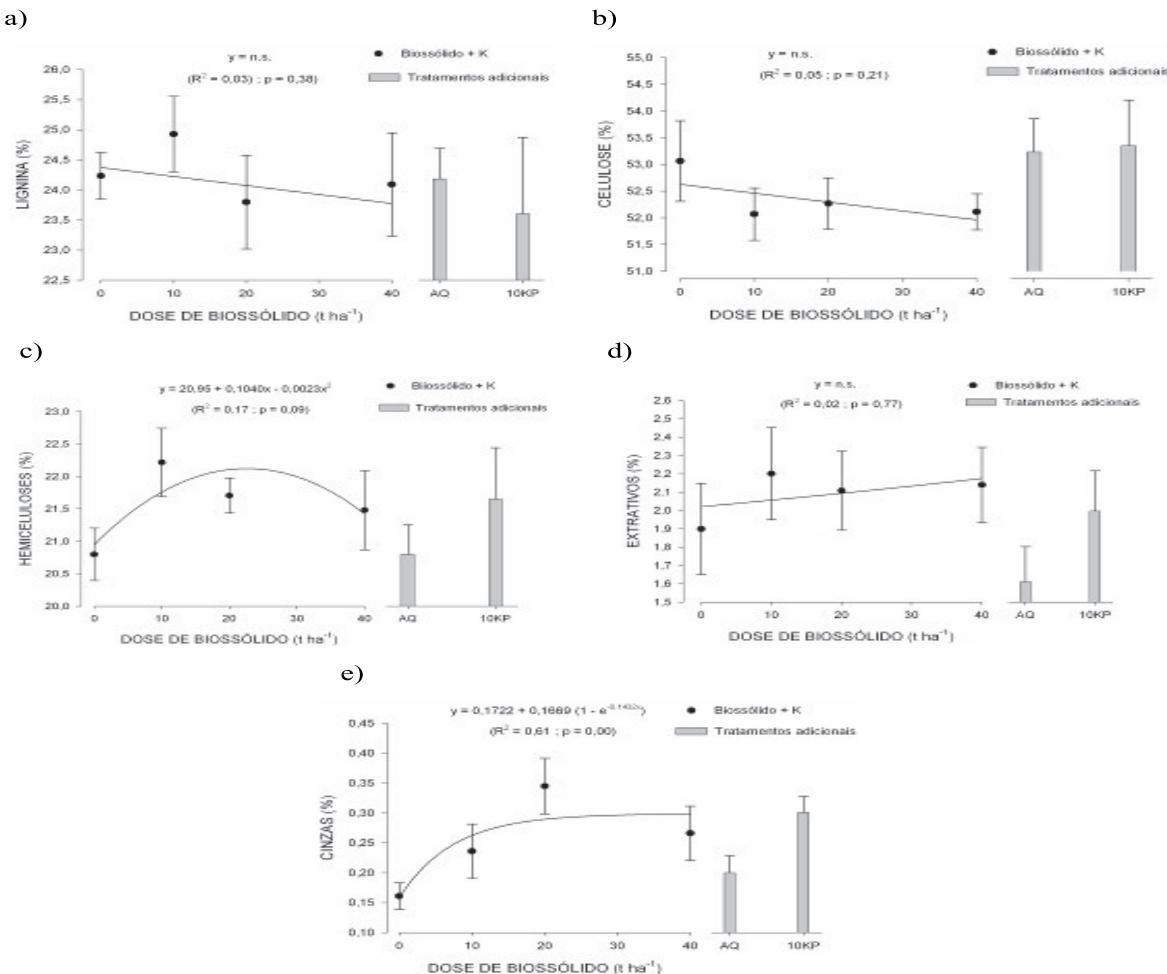
**Figure 2** – Wood basic density (a) and calorific power (b) of five-year-old *Eucalyptus grandis* trees in the different treatments. The bars represent the standard deviations.

### 3.1.2. Atributos químicos

Os teores de lignina, celulose e extractivos totais da madeira foram semelhantes com o aumento das doses de biossólido (Figura 3abd). Os tratamentos AQ e 10 B+KP apresentaram teores de celulose próximos entre si e da testemunha e maiores do que os que receberam 10 a 40 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (Figura 3b). O teor de extractivos totais foi menor com adubação química que nas doses de 0 a 40 t ha<sup>-1</sup> de biossólido (Figura 3d). Isso é semelhante ao relatado para teores de lignina de *E. grandis* com 6 anos de idade em resposta às

adubações fosfatadas e, ou, sulfatadas e à calagem (ANDRADE et al., 1994).

Esses autores encontraram teores ligeiramente superiores de extractivos em resposta à calagem e a aumentos significativos dos teores de cinzas em resposta à aplicação de fosfato de Araxá (2 t ha<sup>-1</sup>) e calcário calcítico (2 t ha<sup>-1</sup>). No entanto, o teor de extractivos foi o mesmo que o de Haygreen e Bowyer (1982) com adubação mineral, e a adubação não afetou o teor de cinzas da madeira de *Eucalyptus grandis* (LARSON, 1968).



**Figura 3** – Teores de lignina (a), de celulose (b), de hemiceluloses (c), de extractivos (d) e de cinzas (e) da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 5 anos de idade, nos diferentes tratamentos. As barras nas médias são os desvios-padrão.

**Figure 3** – Lignin (a), cellulose (b), hemicelluloses (c), extractives (d) and ash contents of five-year-old *Eucalyptus grandis* wood in the different treatments. The bars represent the standard deviations.

O aumento na dose de biossólido resultou em relação quadrática com o teor de hemiceluloses e exponencial com o de cinzas da madeira (Figuras 3ce). No primeiro caso, o grau de relação entre as variáveis foi muito baixo ( $R^2 = 0,17$ ) e, médio no segundo ( $R^2 = 0,61$ ). Os teores de hemiceluloses e de cinzas da madeira aumentaram com o biossólido, o que não ocorreu no tratamento que só recebeu adubação química. O aumento no teor de hemiceluloses pode estar relacionado à diminuição no teor de celulose, embora não-significativa (Figura 3bc). Dentre as hemiceluloses, as xilanas são as mais presentes e importantes na madeira de eucalipto (COSTA et al., 2000). O aumento no teor de cinzas está relacionado à maior absorção de nutrientes, principalmente Ca, nos tratamentos com lodo de esgoto (Figura 3e).

Os valores de lignina (~24%), celulose (~53%), hemiceluloses (~22%) e extrativos (~2%) estão dentro da faixa esperada para o gênero *Eucalyptus* (CLARKE et al., 1997), os quais podem ser menores em árvores jovens (SANTOS e SANSÍGOLO, 2002), com 5 anos de idade. Baixos teores de extrativos tendem a ser priorizados pelas empresas de celulose, por serem substâncias potencialmente formadoras de "pitch" (GOMIDE et al., 2005), isto é, compostos presentes nos extrativos, bem como em alguns aditivos utilizados no processamento da polpa, que podem se depositar em várias partes dos maquinários e equipamentos das fábricas de polpa. A adubação pode ocasionar ligeiro aumento nos teores de lignina e extrativos e pequena redução no teor de celulose da madeira (VITAL, 1990). A adubação química também diminuiu o teor de extrativos, porém manteve os teores de lignina e celulose.

As correlações entre os atributos físicos e químicos e o teor de extrativos da madeira foram muito baixos ou não-significativos.

O teor de cinzas (~0,26%) está dentro da faixa considerada normal para o gênero *Eucalyptus*, entre 0,20 e 1,00% da massa seca de madeira (TSOUMIS, 1991), como relatado para o *E. grandis* de 5 anos de idade e teor de cinzas de 0,38% (FREDDO et al., 1999).

#### 4. CONCLUSÕES

Sob as condições experimentais, os resultados indicaram que:

O lodo de esgoto diminuiu a densidade básica da madeira, o que foi compensado pelo aumento na produtividade de madeira.

Os teores de celulose, lignina e extrativos e o poder calorífico da madeira não foram modificados, porém os de hemiceluloses e de cinzas aumentaram com a aplicação do lodo de esgoto tratado.

#### 5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.M. et al. Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v.18, n.1, p.69-78. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Normas técnicas NBR 8633**. Brasília: 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. **Métodos de ensaio**. São Paulo: 1974. 18p.

BAMBER, R.K.; HORNE, R.; GRAHAM-HIGGS, A. Effect of fast growth on the properties of *E. grandis*. **Australian Forest Research**, v.12, n.2, p.163-167, 1982.

BRITO, J.O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS, SBEF, 1993. p.280-282.

CLARKE, C.R.E.; GARBUTT, D.C.F.; PEARCE, J. Growth and wood properties of provenances and trees of nine Eucalypt species. **Appita**, v.50, n.2, p.121-130, 1997.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas**: critérios para projeto e operação. São Paulo: 1999. 35p. (Manual Técnico, norma P230).

COSTA, M.M. et al. Branqueamento ECF de baixo investimento para a produção de 1 milhão ADT/ano na CENIBRA. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL - CIADICYP, 1., 2000, Iguazú, Argentina. **Trabalhos...** Iguazú: 2000. CD-ROM.

FREDDO, A. et al. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose Kraft branqueada. **Ciência Florestal**, v.9, n.1, p.193-209, 1999.

GOMIDE, J.L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* no Brasil. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.129-137, 2005.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v.193, p.45-61, 2004.

GUEDES, M.C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biofertilizante. **Scientia Forestalis**, n.63, p.188-201, 2003.

HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. **Forest products and wood science: an introduction**. Ames: Iowa State University, 1982. 459p.

HENRY, C.L.; COLE, D.W.; HARRISON, R.B. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: the Pack Forest Sludge Research Program. **Forest Ecology and Management**, v.66, p.137-149, 1994.

HOWARD, E.T. Heat of combustion of various southern pine materials. **Wood Science**, v.5, n.3, p.194-197, 1973.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: IPI, 1989. 6p. (IPI. Comunicação Técnica, 1797).

LARSON, P.R. Assessing wood quality of fertilized coniferous tree. In: FOREST FERTILIZATION THEORY AND PRACTICE, 1967, Gainsville. **Proceedings ... Muscle Shoals: Tennessee Valey Authority**, 1968. p. 275-280.

LIMA, I.L. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de Eucalyptus grandis Hill ex-Maiden**. 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

MOLINA, M.V. **Nitrogênio e metais pesados em latossolo e eucalipto cinqüenta e cinco meses após a aplicação de biofertilizante**. 2004. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004.

PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722p.

POGGIANI, F. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta a aplicação de doses crescentes de biofertilizante. **Scientia Forestalis**, v.65, p.207-218, 2004.

PUNCHES, J.; COUNTRY, D. **Tree growth, forest management and their implications for wood quality**. Roseburg: Pacific Northwest Extension Publication, 2004. p.245-253.

RAIJ, B. van. et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAYMOND, C.A.; MUNERI, A. Effect of fertilizer on wood properties of *Eucalyptus globulus*. **Canadian Journal of Forest Research**, v.1, n.30, p.136-144, 2000.

SANSÍGOLO, C.A.; BARREIROS, R.M. Qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de celulose kraft. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 31., São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1998. p.417-429.

SANTOS, S.R.; SANSÍGOLO C.A. Designificação e resistências de polpas obtidas pelos processos kraft, kraft-aq, soda-aq e soda de madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL - CIADICYP, 2., 2002, Campinas, São Paulo. **Trabalhos...** Campinas: 2002. CD-ROM.

SHIMOYAMA, V.R.S.; BARRICHELO, L.E.G. Importância da adubação na qualidade da madeira e celulose. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO E QUALIDADE DE PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1., 1989, Ilha Solteira. **Anais...** Ilha Solteira: Universidade Estadual de São Paulo, 1989. p.61-76.

SIGMAPLOT software. Version, 8. ed. Chicago: SPSS, 2002.

SOARES, T.S.; CARVALHO, R.M.M.A.; VALE, A.B. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.689-694, 2003.

SOUZA, C.R. et al. Comportamento da *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em plantios experimentais na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, n.65, p.95-101, 2004.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **Test methods**. Atlanta: TAPPI Press, 1999. 573p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York: Van Nostrand Reinold, 1991. 494p.

VALE, A.T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Revista Cerne**, v.6, n.1, p.83-88, 2000.

VAZ, L.M.S.; GONÇALVES J.L.M. Uso de bioossólido em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.3, p.747-758, 2002.

VEIGA, R.A.A. **Dendrometria e inventário florestal**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1984. 108 p. (Boletim Didático, 1).

VITAL, B.R. Reflexos da fertilização mineral na qualidade e na utilização da madeira. In: BARROS N.F.; NOVAIS R.F. **Relação Solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.

WRIGHT, P.J.; WALLIS, A.F.A. Rapid determination of cellulose in plantation eucalypt woods to predict kraft pulps yields. **Tappi**, v.81, n.2, p.126-130, 1998.