

Efeito da fertilização na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp.Effect of fertilization on the quality of the *Eucalyptus* spp. woodBianca Moreira Barbosa¹, Jorge Luiz Colodette², Carla Priscilla Távora Cabral³,
Fernando José Borges Gomes⁴ e Vanessa Lopes Silva⁵

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de dois níveis de adubação (NPK) na composição química e na massa específica básica da madeira de clones do gênero *Eucalyptus* spp., avaliando suas possíveis consequências na produção de polpa celulósica. Foram avaliados 4 clones, sendo 2 da espécie *Eucalyptus grandis* e 2 provenientes de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com idade de 72 meses. Os tratamentos avaliados foram: com adubação (sem irrigação ou irrigados) e o tratamento Controle, com 3 repetições cada tratamento totalizando 36 amostras. As características químicas analisadas foram associadas com o nível de adubação e o tipo de material genético em questão. Para a análise estatística foi utilizado o software STATISTICA 7.0, onde se procedeu a análise de variância e no caso de interação significativa houve o desdobramento pelo teste de Tukey, em nível de 5 % de probabilidade. Houve diferença significativa para as seguintes propriedades: massa específica, manganês, relação siringil/guaiacil e teor de grupos acetila. Para as demais propriedades analisadas tais como, teor de carboidratos, lignina total, ácidos urônicos, extrativos, cinzas, Fe, Ca e Mg, não foi observada diferença estatística. Conclui-se que a técnica de ferti-irrigação, apresentou alguns aspectos negativos no que tange à qualidade da madeira de certos clones de eucalipto, sendo relevante considerar os seus impactos no processo produtivo de fabricação de polpa celulósica.

Palavras-chave: Fertilização, química da madeira, eucalipto e massa específica básica.

Abstract

This study has the objective of evaluating the effect of two levels of fertilization (NPK) on the chemical composition and on the specific basic mass on the wood of clones from *Eucalyptus*, assessing its possible consequences in the production of cellulosic pulp. Four clones were evaluated, two of those being of *Eucalyptus grandis* and the other two from hybrids of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, at the age of 72 months. The assessed treatments were: with fertilization (without irrigation or being irrigated) and the Control treatment, with three replications, each treatment totalizing 36 samples. The analyzed chemical features were associated with the level of fertilization and the type of genetic material at stake. For the statistical analysis STATISTICA 7.0 software was used, with analysis of variance and, if there was significant interaction, decomposition through the Tukey test at 5% probability. There were significant differences for the following properties: specific mass, manganese, lignin syringyl/guaiacyl ratio (S/G) and acetyl group content. For the remaining analyzed properties such as carbohydrate content, total lignin, uronic acids, extractives, ashes, Fe, Ca and Mg, no statistical difference was found. We conclude that the technique of ferti-irrigation presented some negative aspects regarding the quality of the wood of certain eucalyptus clones. We deem it relevant to consider their impacts on the production process for manufacturing cellulose pulp.

Keywords: Fertilization, chemistry of wood, eucalyptus and specific basic mass.

¹Química, mestranda em Agroquímica. UFV- Universidade Federal de Viçosa - Viçosa - MG - 36570-000- E-mail: biancamoreirabarbosa@gmail.com

²Engenheiro Florestal, professor Doutor. UFV- Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Engenharia Florestal. Viçosa - MG - 36570-000- E-mail: colodett@ufv.br

³Engenheira Florestal, pós-doutoranda em Ciência Florestal. UFV- Universidade Federal de Viçosa - Viçosa - MG - 36570-000- E-mail: lcajir@yahoo.com.br

⁴Engenheiro Florestal, doutorando em Ciência Florestal. UFV- Universidade Federal de Viçosa - Viçosa - MG - 36570-000- E-mail: fernando.gomes@ufv.br

⁵Química, pós-doutoranda em Agroquímica. UFV- Universidade Federal de Viçosa - Viçosa - MG - 36570-000- E-mail: vanessaufv@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Para o setor de celulose e papel a qualidade da madeira tem sido descrita principalmente através de suas propriedades físicas, químicas e anatômicas, sendo estes considerados bons parâmetros de avaliação das suas características e de grande utilidade em programas de melhoramento genético florestal. Sendo assim, surge a necessidade de se estudar como estes fatores são afetados ao longo do crescimento da árvore. Em geral, verifica-se que as propriedades da madeira dependem da genética, das condições de crescimento e da idade da árvore (COOKE et al. 2005; MELLEROWICZ; SUNDBERG, 2008). Técnicas de adubação podem ser utilizadas durante o crescimento da árvore para melhorar o seu desenvolvimento, pois a formação da madeira é altamente sensível às mudanças ambientais.

As características naturais de um solo, bem como a adubação, são fatores que podem influenciar a qualidade da madeira. As alterações nas condições de crescimento, devido à aplicação de fertilizantes, são frequentemente associadas com importantes alterações na qualidade da madeira. Tal importância se refere a atributos físicos, químicos e anatômicos (PITRE et al., 2010). Porém, os efeitos da adubação são difíceis de prever, enquanto alguns estudos apontam aumento, outros, ao contrário, apontam declínio na qualidade da madeira (PUNCHES; COUNTRY, 2004; BARREIROS et al., 2007).

As recomendações de fertilizantes minerais utilizadas referem-se sempre aos elementos Nitrogênio, Fósforo e Potássio, mas muito raramente ao Boro e Zinco, sendo estes recomendados em aplicação no plantio ou em adubação de cobertura, aplicados 90 dias após o plantio (BARROS, 2012). Atualmente, a maioria dos plantios comerciais é adubada utilizando-se praticamente a mesma formulação N-P-K (6-30-6), independente da espécie, tipo de solo e época de plantio.

A adubação nitrogenada é uma das práticas que mais têm sido empregadas para atingir o aumento da produtividade (MACDONALD; HUBERT, 2002). O nitrogênio é frequen-

te limitante para o crescimento das plantas em ambientes terrestres, portanto, a adição de fertilizantes ricos em nitrogênio pode ter profundos efeitos sobre a fisiologia da árvore e acúmulo de biomassa (GESSLER et al., 2004; COOKE et al., 2005). Modificações em níveis anatômicos e composicional têm sido frequentemente descritas em relação a fertilização com N-P-K, o stress de água e os estímulos mecânicos. Porém, os efeitos da adubação sobre a qualidade da madeira são difíceis de prever.

Para a indústria de celulose e papel, uma avaliação adequada da massa específica básica fornece indicações bastante precisas acerca da impregnação dos cavacos e rendimento do processo e geralmente está associada às características de qualidade e de resistências físico-mecânicas da polpa. Ainda são poucos os estudos que relacionam diretamente a interferência dos atributos do solo sobre a qualidade de espécies florestais (RIGATTO et al., 2005). Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação na composição química e na massa específica básica da madeira de *Eucalyptus* spp.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram avaliados dois níveis de adubação, o Tradicional (sem irrigação) e o Fertilizado (com irrigação), além de, um tratamento denominado Controle, no qual não foi utilizado nenhum tipo de adubo ou irrigação. As aplicações de fertilizantes foram realizadas por adubação de cobertura, aplicadas em 3 doses por ano para os primeiros 3 anos. A irrigação foi testada apenas para o tratamento Fertilizado, onde foram procedidas irrigações, afim de, manter uma umidade média do solo em torno 15-30 mm. Esse procedimento foi realizado duas vezes a cada 7 dias, de modo a manter a umidade de precipitação e compensar a evapotranspiração durante os primeiros 3 anos.

Na Tabela 1, são apresentados os tipos de tratamentos e suas respectivas quantidades de elementos químicos por hectare. O tratamento Controle não foi adicionado na tabela, por não ter havido a adubação e a irrigação.

Tabela 1. Condições nutricionais em Kg/ha, utilizadas para os tratamentos, onde foi procedida a adubação.
Table 1. Nutritional conditions in Kg/ha, used for the treatments, where fertilization took place.

Tratamentos	Adubação					
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Boro
T/NI	86	40	171	705	120	3
F/I	732	145	570	918	180	8

* Sendo, T/NI - adubação tradicional não irrigada; F/I - fertilizada irrigada.

As espécies de eucalipto utilizadas foram: *Eucalyptus grandis* (clones A e B) e híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (clones A e B), oriundos da cidade de Guanhanês, no estado de Minas Gerais. As árvores utilizadas tinham 72 meses de idade e foram retiradas de uma mesma parcela de plantio de 30 x 30 m, com espaçamento de plantio de 3,0 x 3,0 m cultivadas em latossolo vermelho. Foram amostradas três árvores para cada clone, com toretes de aproximadamente 50 cm retirados do DAP e à 25, 50, 75 e 100 % da altura comercial, considerando cada nível de adubação e o tratamento Controle, totalizando 36 amostras.

Os toretes de eucalipto amostrados foram transformados em cavacos em um picador laboratorial, modelo Chogokukikai, equipado com 3 facas e duas telas (40 e 13 mm). Os cavacos foram misturados em um misturador rotativo de 260 m³ e as amostras foram selecionadas de acordo com o procedimento SCAN-CN 40:94. Os cavacos retidos nas peneiras de 3 mm e 7 mm foram recolhidos e novamente misturados, secos ao ar a cerca de 15% de umidade e armazenados em sacos de plástico. Os cavacos foram utilizados para a determinação da massa específica básica e após redução em serragem para as análises químicas.

As amostras de madeira para as análises químicas foram coletadas após sua redução em serragem, em moinho laboratorial Willey, sendo posteriormente, classificadas em peneiras de 40 e 60 mesh. As amostras foram climatizadas e acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados e seus teores de umidade determinados. Todas as análises químicas foram realizadas em duplicata

Após o preparo das amostras, foram realizadas as seguintes análises: conteúdo de carboidratos (WALLIS et al., 1996); ácidos urônicos (SCOTT, 1979), grupos acetilas (SOLÁR et al., 1987); lignina insolúvel em ácido TAPPI T 222 om-11 (TAPPI, 2011a); lignina solúvel em ácido (GOLDSCHMIDT, 1971); lignina total (lignina insolúvel + lignina solúvel em ácido); relação siringil/guaiacil (S/G) da lignina (LIN; DENCE, 1992); teor de cinzas TAPPI T 211 om-12 (TAPPI, 2012); extrativos totais da madeira TAPPIT 264 cm-07 (TAPPI, 2007); massa específica básica da madeira TAPPI T 258 om-11 (TAPPI, 2011b) e conteúdo de metais - Ca, Mg, Mn e Fe TAPPI T 266 om-11 (TAPPI, 2011c).

Delineamento experimental

O experimento foi montado em um delineamento inteiramente casualizado disposto em arranjo fatorial 3 x 4. Sendo três níveis de adubação (Controle, Tradicional e Fertilizado) e quatro clones, sendo 2 de *Eucalyptus grandis* e 2 híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com 3 repetições, totalizando 12 tratamentos e 36 amostras.

Os resultados foram analisados por meio da análise de variância e, constatando a presença de interação significativa, os resultados foram comparados pelo teste Tukey em nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software STATISTICA 7.0 e para a confecção dos gráficos em formato 3D foi utilizado o software MATLAB R2011b.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito da adubação para os quatro clones estudados com 72 meses de idade foi avaliado, com base na composição química da madeira, quantificando o conteúdo de carboidratos (glicanas, xilanas, galactanas, mananas, arabinaas), grupos acetila, ácidos urônicos, lignina total, relação S/G, cinzas, teor de extrativos, além da propriedade massa específica básica e conteúdo de metais (Ca, Mg, Fe, Mn).

As médias de todas as análises da composição química, com exceção do conteúdo de metais, para os dois clones: *Eucalyptus grandis* (clones A e B) e dos híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (clones A e B) estão dispostos no Tabela 2.

Carboidratos

As glicanas, que são os principais carboidratos presentes da madeira, mantiveram seus teores estatisticamente iguais para todos os tratamentos avaliados (Tabela 2), assim como Jian Ju et al. (1998) estudando o efeito de 5 tratamentos de adubação de *Eucalyptus urophylla* com 108 meses de idade, notaram que a adubação não influenciou significativamente o teor de carboidratos. Semelhantemente, Miranda e Pereira (2002) estudando a qualidade da madeira de *Eucalyptus globulus*, com 24, 36 e 72 meses de idade, não mostrou diferenças significativas entre a testemunha e o tratamento que recebeu fertilização.

Em geral, foi observado que apesar de iguais, estatisticamente, a realização de adubação apresenta uma leve tendência de aumento do conteúdo

do de glicanas. Na prática, apesar dessas mudanças não serem significativas do ponto de vista estatístico, para a indústria de celulose, o acréscimo de 1 ponto percentual pode representar um ganho significativo para o lucro da empresa, uma vez que a mesma opera em larga escala de produção.

Os conteúdos de ácidos urônicos e de hemiceluloses não apresentaram diferenças significativas para todos os tratamentos avaliados, mostrando não haver influência da adubação para esses constituintes no presente estudo (Tabela 2).

Grupos acetila

Já o conteúdo de grupos acetila, grupamentos laterais das hemiceluloses, não foi possível observar diferenças significativas entre os tratamentos quanto ao efeito da adubação, indicando não ter sido influenciado pelo uso dessa técnica. Porém, foi observada diferença significativa entre os clones, mostrando que existe influência do material genético para esta propriedade. Dentre os clones testados o clone A do *Eucalyptus grandis* apresentou os maiores teores de grupos acetila em relação aos demais. Os resultados encontrados encontram-se ligeiramente abaixo da faixa de referência da literatura de

3 - 5% (KLOCK et al., 2005), entretanto, no trabalho realizado por Gomide et al. (2005) foram obtidos resultados que estão de acordo com os dados apresentados neste trabalho, com médias variando de 2,6% a 3,1%.

Lignina Total

A lignina, segundo maior constituinte quantitativo da madeira, teve seu teor determinado somando-se os valores das partes solúveis em ácido e lignina insolúvel em ácido. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos avaliados para o conteúdo de lignina total (Quadro 1). Os resultados encontrados neste trabalho estão de acordo com Andrade et al. (1994), Jian Ju et al. (1998) e Miranda e Pereira (2002), que estudando o efeito da adubação para *Eucalyptus* sp. não observaram influência sobre o conteúdo de lignina total.

Relação S/G

As ligninas são divididas em função da sua estrutura em duas classes principais, sendo elas: lignina guaiacil (predominante em coníferas) e lignina siringil/guaiacil (predominante em folhosas).

Tabela 2. Valores médios da composição química da madeira, em função do tratamento silvicultural, dos clones e das 2 espécies do gênero *Eucalyptus*.

Table 2. Mean values of wood chemical composition, functioning as silvicultural treatment, from the clones and the 2 species of the *Eucalyptus* spp.

Espécie	Tratamento	Glicanas (%)	Xilanas (%)	Galactanas (%)	Mananas (%)	Arabinanas (%)	Ácidos urônicos (%)	Grupos Acetila (%)	Lignina total (%)	Relação S/G	Cinzas (%)	Extrativos (%)
<i>Eucalyptus grandis</i> (Clone A)	C/NI	47,7 ± 0,03 (a)	10,8 ± 0,01 (a)	1,9 ± 0,08 (a)	1,2 ± 0,10 (a)	0,3 ± 0,10 (a)	3,1 ± 0,07 (a)	2,8 ± 0,02 (ab)	30,1 ± 0,03(a)	2,8 ± 0,04 (abc)	0,1 ± 0,35 (a)	1,6 ± 0,32 (a)
	T/NI	48,6 ± 0,03 (a)	11,2 ± 0,04 (a)	1,7 ± 0,07 (a)	1,4 ± 0,18 (a)	0,3 ± 0,20 (a)	3,2 ± 0,17 (a)	2,9 ± 0,04 (a)	28,8 ± 0,04 (a)	3,1 ± 0,03 (a)	0,2 ± 0,01 (a)	1,7 ± 0,33 (a)
	F/I	49,7 ± 0,03(a)	10,8 ± 0,03 (a)	1,7 ± 0,07 (a)	1,4 ± 0,09 (a)	0,3 ± 0,20 (a)	3,2 ± 0,10 (a)	2,9 ± 0,02 (a)	29,1 ± 0,03 (a)	2,8 ± 0,04 (abc)	0,2 ± 0,01 (a)	1,9 ± 0,13 (a)
<i>Eucalyptus grandis</i> (Clone B)	C/NI	49,7 ± 0,01 (a)	11,4 ± 0,04 (a)	1,9 ± 0,08(a)	1,3 ± 0,08 (a)	0,3 ± 0,10 (a)	3,4 ± 0,04 (a)	2,6 ± 0,01 (bc)	28,5 ± 0,01 (a)	2,3 ± 0,04 (e)	0,2 ± 0,25 (a)	1,7 ± 0,28 (a)
	T/NI	49,0 ± 0,02 (a)	11,1 ± 0,03 (a)	1,8 ± 0,11 (a)	1,4 ± 0,08 (a)	0,2 ± 0,22 (a)	3,2 ± 0,08 (a)	2,6 ± 0,01 (bc)	28,9 ± 0,02 (a)	2,3 ± 0,04 (e)	0,2 ± 0,25 (a)	1,5 ± 0,13 (a)
	F/I	50,1 ± 0,03 (a)	11,0 ± 0,06 (a)	1,8 ± 0,10 (a)	1,3 ± 0,04 (a)	0,3 ± 0,22 (a)	3,1 ± 0,11 (a)	2,6 ± 0,01 (bc)	28,2 ± 0,01 (a)	2,4 ± 0,04 (de)	0,3 ± 0,01 (a)	1,6 ± 0,06 (a)
<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> (Clone A)	C/NI	49,0 ± 0,03 (a)	11,3 ± 0,04 (a)	1,9 ± 0,10 (a)	1,3 ± 0,04 (a)	0,3 ± 0,00 (a)	3,4 ± 0,06 (a)	2,6 ± 0,03 (bc)	28,8 ± 0,02 (a)	2,7 ± 0,04 (bcd)	0,2 ± 0,35 (a)	1,6 ± 0,04 (a)
	T/NI	50,0 ± 0,04 (a)	10,7 ± 0,04 (a)	1,8 ± 0,08 (a)	1,2 ± 0,08 (a)	0,3 ± 0,22 (a)	2,7 ± 0,10 (a)	2,5 ± 0,02 (c)	28,3 ± 0,08 (a)	2,8 ± 0,04 (abc)	0,1 ± 0,35 (a)	1,5 ± 0,07 (a)
	F/I	48,8 ± 0,02 (a)	11,1 ± 0,03 (a)	1,8 ± 0,04 (a)	1,4 ± 0,12 (a)	0,3 ± 0,22 (a)	2,9 ± 0,12 (a)	2,6 ± 0,03 (bc)	29,7 ± 0,02 (a)	3,0 ± 0,09 (ab)	0,2 ± 0,01 (a)	1,6 ± 0,34 (a)
<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> (Clone B)	C/NI	49,2 ± 0,02 (a)	10,6 ± 0,01 (a)	1,8 ± 0,04 (a)	1,2 ± 0,17 (a)	0,2 ± 0,20 (a)	3,2 ± 0,11 (a)	2,5 ± 0,03 (c)	29,1 ± 0,04 (a)	2,6 ± 0,01 (cde)	0,1 ± 0,35 (a)	2,6 ± 0,13 (a)
	T/NI	49,9 ± 0,02 (a)	11,2 ± 0,04(a)	1,8 ± 0,03 (a)	1,3 ± 0,04 (a)	0,3 ± 0,10 (a)	3,0 ± 0,01 (a)	2,4 ± 0,03 (c)	28,5 ± 0,01 (a)	2,8 ± 0,01 (abc)	0,2 ± 0,01 (a)	2,4 ± 0,22 (a)
	F/I	50,6 ± 0,01 (a)	10,9 ± 0,02 (a)	1,9 ± 0,06 (a)	1,2 ± 0,16 (a)	0,2 ± 0,25 (a)	2,9 ± 0,04 (a)	2,6 ± 0,04 (bc)	27,6 ± 0,05 (a)	2,8 ± 0,01 (abc)	0,2 ± 0,01 (a)	2,0 ± 0,20 (a)

*Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste Tukey.

A relação S/G é a quantidade de unidades derivadas dos alcoóis sinapílico (monômeros siringila) em referência ao conteúdo de álcool coniferílico (monômeros guaiacila) da lignina (KLOCK et al., 2005). A lignina siringil apresenta uma estrutura mais reativa, assim, acredita-se que madeiras com alta relação S/G sejam mais fáceis de deslignificar.

Neste trabalho, para a relação S/G da lignina houve diferença estatística significativa entre os clones avaliados, indicando haver influência do material genético. No trabalho realizado por Magaton et al. (2006), foi encontrado um valor médio de 2,0 para a relação S/G do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

O Clone B do *Eucalyptus grandis* foi o que obteve os menores valores, sendo que esse comportamento não é desejável para o processo de conversão da madeira em polpa celulósica, pois dificulta o processo de deslignificação da madeira, uma vez que a lignina encontra-se mais condensada (GOMES, 2008). Pode-se inferir que a menor relação S/G acarrete em maior dificuldade de deslignificação, maior consumo de reagentes e menores rendimentos de polpa.

Cinzas

Os principais componentes minerais da madeira são Ca, K e Mg, sendo o Ca o elemento em maior quantidade, chegando a representar até 50%, seguido respectivamente, pelo K, Mg, Mn, Na, P entre outros (CUTTER; MURPHY, 1978).

Algumas espécies florestais possuem em sua constituição, como material de reserva, cristais de oxalato, fosfato e silicato, além de outros, os mesmos fazem ligações com os ácidos carboxílicos dos componentes químicos da parede celular. Estes cristais estão presentes frequentemente em células parenquimáticas, na forma de drusas, ocupando o lume como material de reserva (SJÖSTRÖM, 1993).

Nas espécies do gênero *Eucalyptus*, essas formações cristalinas são mais raras, porém, nessas espécies florestais as formações de oxalatos, principalmente, o de cálcio pode ser uma consequência de vários fatores, dentre eles a deficiência mineral. Em solos com alta acidez, elevada precipitação, baixa quantidade de nutrientes disponíveis e lixiviação de cátions, acarretam o armazenamento pela planta desse mineral, como forma de manter o seu desenvolvimento normal durante os períodos sazonais de crescimento (GONZALEZ et al., 2009; CUMMING et al., 2001).

Para as espécies avaliadas no presente trabalho, o teor de cinzas não apresentou diferença significativa para os tratamentos avaliados (Tabela 2). Os teores de cinzas encontrados ficaram na faixa de 0,1 a 1,0% base madeira seca, estando esses valores em concordância com os encontrados por outros autores, tais como Neves et al. (2011), Oliveira et al. (2012).

Extrativos

Os extrativos da madeira que compreendem um grande número de componentes, os quais, ao contrário da maioria dos polissacarídeos e da lignina, podem ser extraídos por meio de solventes orgânicos, apresentaram resultados estatisticamente significativos para os clones estudados (Tabela 2). Os resultados indicam haver influência do material genético e não foi observado efeito da adubação no conteúdo de extrativos para os clones, assim como Miranda e Pereira (2002) que também observaram em seus estudos não haver efeito da adubação no conteúdo de extrativos.

Massa específica básica

Uma das propriedades que mais restringe o uso da madeira é a massa específica, sendo um dos mais importantes parâmetros para sua destinação. Na indústria de celulose e papel, por exemplo, através da massa específica básica do povoamento, estima-se a quantidade de carga de álcali que será utilizada, exemplo do processo Kraft, além da estimativa do rendimento.

A massa específica básica está fortemente associada a anatomia da madeira, sendo que as menos densas em geral, apresentam maior diâmetro de poros, o que facilita em parte a penetração dos reagentes, durante os processos de desconstrução química da madeira.

Na Figura 1 podem ser observados os valores de massa específica básica, para os 4 clones e seus respectivos tratamentos.

Por meio da análise da Figura 1, observa-se que as médias para a variável massa específica básica do tratamento Fertilizado, houve uma tendência das mesmas serem menores em comparação a dos outros dois tratamentos, Controle e Tradicional. Este fato pode ser explicado, pelo maior crescimento das árvores, quando sujeitas a um estímulo causado pela maior disponibilidade de nutrientes no solo.

A variação da massa específica não está ligada somente ao fator adubação, outros fatores, tais como, variação genética, disponibilidade de água e luz, localização da árvore no povoamento e es-

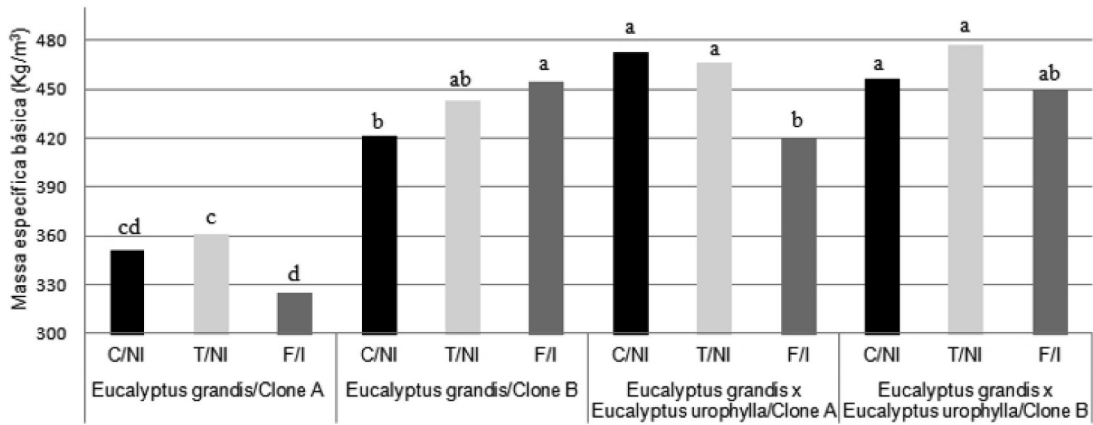


Figura 1. Valores médios da massa específica básica dos clones em Kg/cm³, em função dos tratamentos, sendo: C/NI = Controle sem irrigação; T/NI = Tradicional sem irrigação e F/I = Fertilizado com irrigação. Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade (Tukey, p > 0,05).
Figure 1. Mean values of specific basic mass of clones in Kg/cm³, related to treatments, where: C/NI = Control without irrigation; T/NI = Traditional fertilization without irrigation and F/I = Fertilized without irrigation. Bars followed by the same small letter don't differ among themselves at 5% probability (Tukey, p > 0,05).

paçamento entre indivíduos, também afetam a massa específica básica. Em trabalhos anteriores, também foi observada a influência da adubação na massa específica, onde a mesma diminuiu com a utilização de fertilizantes (BERGER, 2002).

Na Figura 1, observa-se que para o Clone A da espécie *Eucalyptus grandis*, a variação na massa específica entre os tratamentos Controle e Fertilizado foi de 8%, já para os Clones A e B do híbrido *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* foi de 11,2 e 1,3%, respectivamente, sendo estes valores próximos daqueles encontrados nos trabalhos citados por Berger (2002).

No Clone B da espécie *Eucalyptus grandis*, não foi observado decréscimo na massa específica e sim um aumento da mesma, este fato pode estar relacionado ao tipo de material genético dos indivíduos deste clone. Vital (1990) cita em seus trabalhos resultados conflitantes, desde a diminuição até o aumento da massa específica, causado pela fertilização.

Conteúdo de Metais

A maior quantidade dos minerais encontram-se na casca, podendo esta quantidade exceder até 10 vezes a quantidade presente na madeira. Entre os minerais que ocorrem em maior quantidade podemos citar o cálcio, o potássio e o magnésio, seguidos respectivamente, pelo Mn, Na, P e Cl (ANDRADE, 2011).

A principal forma de absorção do manganês pelas plantas é como Mn²⁺, sendo absorvido pela raiz e translocado pelo xilema, juntamente com outros elementos minerais dissolvidos na seiva. Em solos ácidos tropicais ocorre maior disponibilidade do mesmo, sendo esta característica reduzida com o aumento de pH do solo (BERTOLAZI et al., 2010).

Na Figura 2, observa-se a relação entre a massa específica e a concentração de manganês (Mn) e magnésio (Mg), onde estão representados os clones para o tratamento Controle, sendo estes desprovidos de fertilização e irrigação.

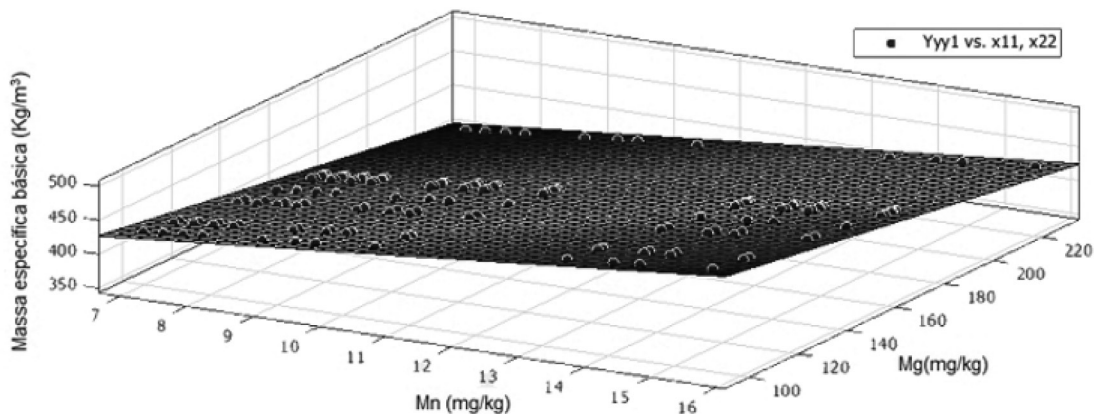


Figura 2. Gráfico da relação entre os valores de massa específica (kg/m³), concentração de manganês (mg/Kg) e magnésio (mg/Kg) na madeira das duas espécies testadas, para o tratamento Controle.
Figure 2. Graph of the relationship between the values of specific mass (kg/m³), manganese concentration (mg/Kg) and magnesium (mg/Kg) in the wood of two tested species compared to the Control.

Na Figura 2 a medida que a massa específica aumenta para os clones do tratamento Controle, observa-se que ocorre também um aumento da quantidade do elemento Mn e uma redução do elemento Mg. Este fato pode estar relacionado a uma provável competição entre os elementos Mn e Mg, sendo que o primeiro inibe a absorção de certos nutrientes pelas plantas, dentre eles o Mg (MUKHOPADHYAY; SHARMA, 1991; CORREIA; DURIGAN, 2009).

Na Figura 3 estão representados, graficamente, os valores para a relação entre a massa específica e a concentração de manganês (Mn) e magnésio (Mg) na madeira dos 4 clones, do tratamento Fertilizado.

Observa-se na Figura 3, que ocorreu uma diminuição da massa específica associada ao aumento do elemento Mn e uma diminuição do Mg. As árvores com maior crescimento, tendem a apresentar uma menor massa específica associada a uma maior absorção de nutrientes. O Mn como é um elemento que apresenta menor mobilidade na planta, tende a ser absorvido em maiores quantidades e acumular-se em deter-

minadas partes do lenho, ocasionando por conseguinte, uma redução também na absorção do Mg, uma vez que os mesmos competem entre si (MUKHOPADHYAY; SHARMA, 1991; CORREIA; DURIGAN, 2009; BERTOLAZI et al., 2010). Segundo Bertolazi et al. (2010) uma das formas de aumentar a disponibilidade de manganês no solo, está associada a aplicação de fertilizantes.

Na Figura 4 estão representados, graficamente, os valores para a relação entre a massa específica e a concentração de ferro (Fe) e cálcio (Ca) na madeira dos 4 clones, do tratamento Controle.

Analisando a Figura 4 é possível observar que houve um aumento na massa específica acompanhado de um aumento na quantidade de ferro e redução na quantidade de cálcio considerando os valores para as duas espécies.

Os solos de origem das espécies analisadas foi o latossolo vermelho, que possui um baixo pH, aliado a uma alta quantidade de alumínio, o que aumenta sua toxidez para as plantas. O acúmulo de cálcio pelas árvores em solos com baixa disponibilidade de nutrientes, aliado ao baixo pH, favorece o armazenamento do mes-

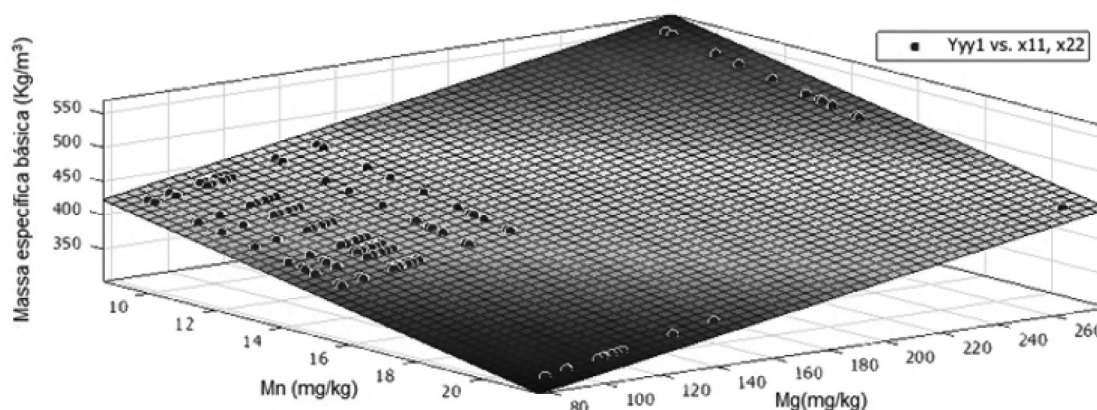


Figura 3. Gráfico da relação entre os valores de massa específica (kg/m^3), concentração de manganês (mg/Kg) e magnésio (mg/Kg) na madeira das duas espécies testadas, para o tratamento Fertilizado.

Figure 3. Graph of the relationship between specific mass values (kg/m^3), manganese concentration (mg/Kg) and magnesium (mg/Kg) in the wood of two tested species, compared to the Fertilized treatment.

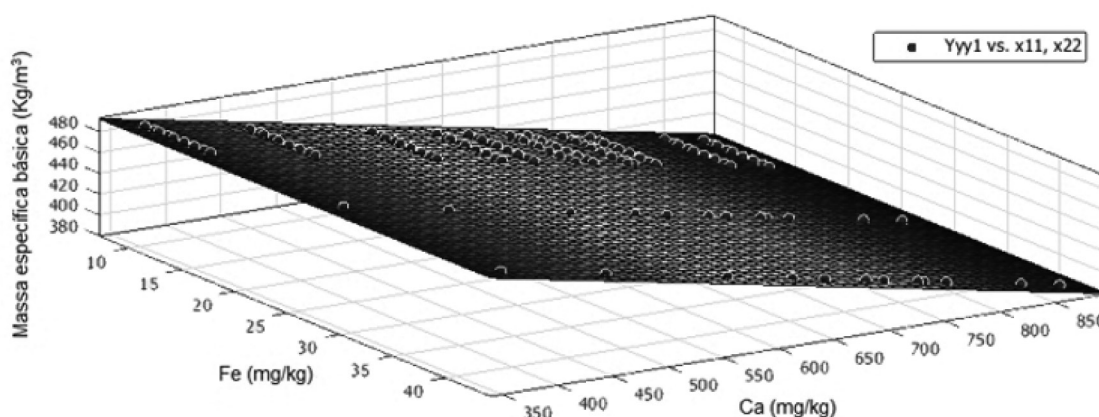


Figura 4. Gráfico da relação entre os valores de massa específica (kg/m^3), concentração de Fe (mg/Kg) e Ca (mg/Kg) na madeira das duas espécies testadas, para o tratamento Controle.

Figure 4. Graph of the relationship between the specific mass (kg/m^3), concentration of Fe (mg/Kg) and Ca (mg/Kg) in the wood of two tested species compared to the Control treatment.

mo pela planta, como nutriente de reserva, para que esta possa completar seu desenvolvimento em épocas inóspitas (GONZALEZ et al., 2009).

Uma possível explicação para o alto conteúdo de ferro está no conteúdo de manganês. O mesmo para madeiras com alta massa específica apresenta-se em quantidade inferior, em comparação àquelas com baixa massa específica, sendo o elemento Mn, como já citado, anteriormente, concorrente com o Fe.

Na Figura 5 estão representados, graficamente, os valores para a relação entre a massa específica e a concentração de ferro (Fe) e cálcio (Ca) na madeira dos 4 clones, do tratamento Fertilizado.

No gráfico da Figura 5, pode-se observar que com a redução dos valores da massa específica, ocorreu um aumento para o conteúdo de ferro e uma diminuição para o conteúdo de cálcio na madeira dos clones para as duas espécies.

Com a fertilização associada a irrigação aumenta-se a disponibilidade e a mobilidade de nutrientes no solo, favorecendo uma maior absorção dos mesmos pelas plantas, e consequentemente, um maior desenvolvimento. Árvores com rápido desenvolvimento, em geral, apresentam redução em sua massa específica e baixo acúmulo de cálcio (GONZALEZ et al., 2009).

Observa-se na Figura 5 que o conteúdo de ferro aumentou com a diminuição da massa específica, fato que provavelmente, pode estar associado a concorrência do manganês com o ferro e também pela ocorrência de uma maior quantidade de Fe^{2+} no solo, o qual é solúvel e pode ser absorvido pela planta em maior quantidade, principalmente, em cultivos irrigados (MENDONÇA et al., 2005).

Outros fatores, tais como, as características genéticas e as condições edafoclimáticas, tam-

bém podem influenciar a concentração dos elementos nos diferentes tecidos vegetais, gerando modificações na eficiência do uso dos nutrientes (SILVA, 2011).

CONCLUSÕES

No geral os clones apresentaram uma redução na massa específica básica, para o tratamento Fertilizado, em comparação aos demais tratamentos. Dentre os clones avaliados, o clone B da espécie *Eucalyptus grandis*, seria o mais adequado para proceder a fertilização devido ao aumento da massa específica.

A relaçãoiringil/guaiacil, conteúdo de manganês e o teor de grupos acetilas foram influenciados pelo tipo de material genético, não havendo efeito da fertilização sobre tais propriedades.

A técnica de ferti-irrigação, apresentou alguns aspectos negativos no que tange à qualidade da madeira de certos clones de eucalipto, sendo relevante considerar os seus impactos no processo produtivo de fabricação de polpa celulósica.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à FAPEMIG pelo apoio financeiro e a Celulose Nipo-Brasileira Cenibra pela a disponibilização do material utilizado neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. M.; VITAL, B. R.; BARROS, N. F. de; DELLA LUCIA, R. M.; CAMPOS, J. C. C.; VALENTE, D. 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, 1994.

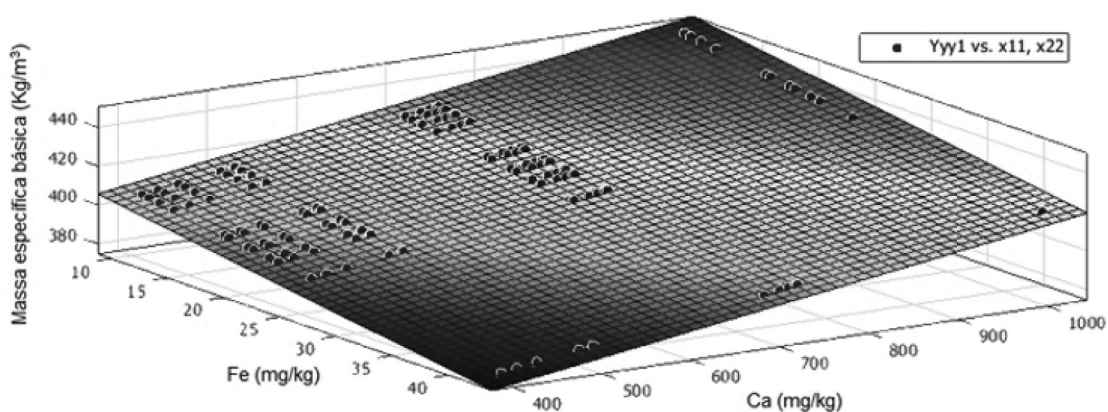


Figura 5. Gráfico da relação entre os valores de massa específica (kg/m^3), concentração de Fe (mg/Kg) e Ca (mg/Kg) na madeira das duas espécies testadas, para o tratamento Fertilizado.

Figure 5. Graph of the relationship between specific mass values (kg/m^3), concentration of Fe (mg/Kg) and Ca (mg/Kg) in the wood of two tested species compared to the Fertilized treatment.

- ANDRADE, M. C. N.; MINHON, M. T. A.; SANSÍGOLO, C. A.; ZIED, D. C.; SALES-CAMPOS, C. Estudo comparativo da constituição nutricional da madeira e casca de espécies e clones de eucalipto visando o cultivo de shiitake em toras. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 183-192, 2011.
- BARREIROS, R. M.; GONÇALVES, J. L. M.; SANSÍGOLO, C. A.; POGGIANI, F. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 103-111, 2007.
- BARROS, N. F. **Nutrição e adubação florestal**. Curso apresentado na Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: UFV, 2012.
- BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.
- BERTOLAZI, A. A.; CANTON, G. C.; AZEVEDO, I. G.; CRUZ, Z. M. A.; SOARES, D. N. E. S.; CONCEIÇÃO, J. M.; SANTOS, W. O.; RAMOS, A. C. O papel das ectomicorrizas na biorremediação dos metais pesados no solo. **Natureza on line**, Santa Teresa, v. 8, n. 1, p. 24-31, 2010.
- BRACELPA. ASSOCIAÇÃO DOS FABRICANTES DE CELULOSE E PAPEL. Disponível em: < <http://www.bracelpa.com.br> >. Acesso em: 10 mar. 2013.
- COOKE, J. E. K.; MARTIN, T. A.; DAVIS, J. M. Short-term physiological and developmental responses to nitrogen availability in hybrid poplar. **New Phytologist**, Oxford, v. 167, p. 41-52, 2005.
- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Glyphosate e adubação foliar com manganês na cultura da soja transgênica. **Planta daninha**, Viçosa, v. 27, p. 721-727, 2009.
- CUMMING, J. R.; SWIGER, T.; KURNIK, B. E.; PANNAZIONALE, G. Organic acid exudation by *Laccaria bicolor* and *Pisolithus tinctorius* exposed to aluminium in vitro. **Canadian Journal of Research**, Ottawa, v. 31, n. 4, p. 703-710, 2001.
- CUTTER, B. E.; MURPHY, W. K. Effects of potassium on growth and wood anatomy of *Populus* hybrid. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 9, n. 4, p. 282-288, 1978.
- GESSLER, A.; KOPRIVA, S.; RENNENBERG, H. Regulation of nitrate uptake at the whole tree level: interaction between nitrogen compounds, cytokinins and carbon metabolism. **Tree Physiology**, Victoria, v. 24, n. 12, p. 1313-1321, 2004.
- GOLDSCHMIDT, O. Ultraviolet Spectra Lignin: occurrence, formation, structure and reactions. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (Eds.). New York : **Wiley Interscience**, 1971. p.241-266.
- GOMES, F. J. B.; GOMES, A. F.; COLODETTE, J. L.; GOMES, C. M.; SOUZA, E.; MACEDO, A. M. L. Influência do teor e da relação S/G da lignina da madeira no desempenho da polpação Kraft. **O Papel**, São Paulo, v. 69, n. 12, p. 95-105, 2008.
- GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica para produção de celulose da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.
- GONZALEZ, J. A. Z.; COSTA, M. D.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; BORGES, A. C. Acúmulo de ácido oxálico e cristais de cálcio em ectomicorrizas de eucalipto. II – Formação de cristais de oxalato de cálcio induzida por fungos ectomicorrízicos em raízes laterais finas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 555-562, 2009.
- JIAN JU, L.; CAO, L.; LIN, J. A.; SHANHUA, W.; LUO, J. J.; YANG, J. L.; WEI, S. H. Effects of fertilization treatments on contents of wood chemical components of *Eucalyptus urophylla*. **Scientia-Silvae Sinicae**, Beijing, v. 34, n. 5, p. 96-102, 1998.
- KLOCK, U.; MUNIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Apostila de Química da Madeira**. 3.ed. Curitiba: UFPR, 2005.
- LIN, S. Y.; DENCE, C. W. **Methods in lignin chemistry**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 578 p.
- MACDONALD, E.; HUBERT, J. A review of the effects of silviculture on timber quality of Sitka Spruce. **Forestry**, Oxford, v. 75, n. 2, p.107-138, 2002.

- MAGATON, A. S.; OLIVEIRA, R.; LOPES, O. R.; MILAGRES, F. R.; PILÓ-VELOSO, D.; COLODETTE, J. L. Composição química da madeira de espécies de eucalipto. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29, 2006, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: SBQ. 2006.
- MELLEROWICZ, E. J.; SUNDBERG, B. Wood cell walls: biosynthesis, developmental dynamics and their implications for wood properties. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 11, n. 3, p. 293–300, 2008.
- MENDONÇA, R. J.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; OLIVEIRA, J. A. Capacidade de cultivares de arroz de modificar o pH de soluções nutritivas na presença de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 447-452, 2005.
- MIRANDA, I.; PEREIRA, H. The variation of chemical composition and pulping yield with age growth factors in young *Eucalyptus globules*. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 34, n. 1, p. 140-145, 2002.
- MUKHOPADHYAY, M. J.; SHARMA, A. Manganese in cell metabolism of higher plants. **Botanical Review**, Lancaster, v. 57, n. 2, p. 117-149, 1991.
- NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; VINÍCIUS SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.
- OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, M. F. V.; PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; VITAL, B. R. Avaliação de diferentes níveis de desbaste nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 59-68, 2012.
- PITRE, F. E.; LAFARGUETTE, F.; BOYLE, B.; PAVY, N.; CARON, S.; DALLAIRE, N.; POULIN, P.; OUELLET, M.; MORENCY, M.; WIEBE, N.; LIM, E. L.; URBAIN, A.; MOUILLE, G.; COOKE, J. E. K.; MACKAY, J. J. High nitrogen fertilization and stem leaning have overlapping effects on wood formation in poplar but invoke largely distinct molecular pathways. **Tree Physiology**, Victoria, v. 30, n. 10, p. 1273–1289, 2010.
- PUNCHES, J.; COUNTRY, D. **Tree growth, forest management and their implications for wood quality**. Roseburg: Pacific Northwest Extension Publication, 2004. 8 p.
- RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade do *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 701-709, 2005.
- SCAN - Scandinavian standard. SCAN-CM 40:94, Classificação dos cavacos. 1994
- SCOTT, R. W. Colometric determination of hexuronic acids in plant materials. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 51, n. 7, p. 936-941, 1979.
- SILVA, P.H. M. **Impactos das doses e do parcelamento da fertilização na produtividade, lixiviação e ciclagem de nutrientes em plantações de eucalipto**. Piracicaba. 2011. 116 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**; 2.ed. San Diego: Academic Press, 1993. 293 p.
- SOLÁR, R.; KACIK, F.; MELCER, I. Simple method for determination of O-acetyl groups in wood and related materials. **Nordic Pulp and Paper Research Journal**, Stockholm, v. 2, n. 4, p. 139-141, 1987.
- TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, **TAPPI standard T 222 om-11: Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp**. Atlanta, 2011a.
- TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI standard T 258 om-11: Basic Density and Moisture Content of Pulpwood**. Atlanta, 2011b.
- TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI standard T 266 om-11: Determination of Na, Ca, Cu, Fe, and Mn in Pulp and Paper by Atomic Absorption Spectroscopy**. Atlanta, 2011c.

TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, **TAPPI standard T 211 om-12**: Ash in Wood, Pulp, Paper, and Paperboard: Combustion at 525°C. Atlanta, 2012.

TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, **TAPPI standard T 264 cm-07**: Preparation of Wood for Chemical Analysis. Atlanta, 2007.

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: Folha de Viçosa, 1990. p. 323-330.

WALLIS, A.; WEARNE, R.; WRIGHT, P. Chemical Analysis of Polysaccharides in Plantation *Eucalyptus* wood and Pulps. **Appita Journal**, Melbourne, v. 49, p. 258-262, 1996.

Recebido em 26/04/2013
Aceito para publicação em 13/12/2013

