

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Relações entre atributos do solo e qualidade da madeira de clone de
Eucalyptus grandis para produção de celulose**

José Luiz Gava

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais. Área de concentração: Recursos Florestais, com opção em Manejo de Florestas de Produção

Piracicaba

2005

José Luiz Gava
Engenheiro Florestal

Relações entre atributos do solo e qualidade da madeira de clone de *Eucalyptus grandis* para produção de celulose

Orientador:

Prof. Dr. **JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais. Área de concentração: Recursos Florestais, com opção em Manejo de Florestas de Produção

Piracicaba

2005

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Gava, José Luiz

Relações entre os atributos do solo e a qualidade da madeira de clone de *Eucalyptus grandis* para produção de celulose / José Luiz Cava. - - Piracicaba, 2005.
54 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

1. Celulose 2. Eucalipto 3. Madeira – Qualidade 4. Polpação 5. Solos – Propriedades físico-químicas I. Título

CDD 676.12

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Agradecimentos

Ao professor José Leonardo de Moraes Gonçalves, por todo o ensinamento, o apoio, o incentivo e a amizade, que têm contribuição significativa em minha vida acadêmica e profissional;

ao Professor Francides e ao Engenheiro Florestal Augusto Milanez pelos esclarecimentos prestados sobre o processo de produção de celulose;

aos colegas da Cia. Suzano, pelo apoio na fase de amostragem, em especial ao Ivan, ao Sérgio e ao Fábio, e aos demais colegas pelo incentivo e pelas sugestões oferecidas.

à Cia. Suzano Papel e Celulose, pela oportunidade de participação no Curso de Pós-Graduação, de realização deste trabalho e por todo o apoio prestado;

aos colegas da Embrapa Floresta de Colombo-PR, pelos ensinamentos, pela amizade de longa data e pelo apoio dos amigos Renato Dedecek e Itamar Bognola;

aos Professores do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ, pelo apoio e pelos ensinamentos;

à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais da ESALQ/USP.

Aos meus pais Fermínio (*i.m.*) e Maria Izabel, aos meus irmãos Izabel Cristina, Marco Antônio, Márcio Adriani e Fermínio Cesar (*i.m.*), aos meus filhos Natália, Carolina e Gabriel, e à minha esposa Claudete, pelo convívio e apoio.

DEDICO

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABELAS.....	7
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 DESENVOLVIMENTO.....	14
2.1 Revisão de literatura.....	14
2.1.1 Relação entre a qualidade da madeira e a qualidade do sítio.....	14
2.1.2 Relação entre a produtividade de madeira e os atributos do solo.....	15
2.1.3 Relação entre a qualidade da madeira e a fertilização mineral.....	17
2.1.4 Relação entre a produção de celulose e a qualidade da madeira.....	19
2.2 Material e métodos.....	21
2.3 Resultados e discussão.....	27
2.3.1 Relação entre a produtividade, a nutrição mineral e os atributos do solo.....	27
2.3.2 Relação entre a qualidade da madeira e os atributos do solo.....	33
3 CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização dos municípios no Estado de São Paulo onde estão as áreas experimentais.....	21
Figura 2 -	Perfis de solos ocorrentes nas áreas experimentais: a) Neossolo Quartzarênico Órtico típico (Itatinga e Angatuba), b) Latossolo Amarelo Distrófico (Alambari) e c) Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (São Miguel Arcanjo).....	23
Figura 3 -	Incremento médio anual de madeira (IMA) associado às diferentes classes de solo e de textura - Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.....	28
Figura 4 -	Relações entre o volume sólido (a) e a massa (b) de lenho, o volume (c) e a massa (d) de casca e a variável combinada DAP ² ALTURA.....	29
Figura 5 -	Relação entre a massa de folha e a variável combinada DAP ² ALTURA.....	30
Figura 6 -	Relações entre o incremento médio anual do volume sólido (a) e da massa de madeira com o teor de argila (camada 0 a 20 cm).....	31
Figura 7 -	Relação entre a água disponível no solo (capacidade de campo, -0,01 MPa, menos o ponto de murcha permanente, -1,5 MPa) e o teor de argila (camada 0 a 20 cm)....	31
Figura 8 -	Relações entre IMA e atributos químicos do solo (camada 0 a 20 cm) matéria orgânica (a), P (b), K (c), Ca (d), Al (e) e CTCe (f).....	32
Figura 9 -	Relações entre os teores foliares de P (a), K (b), Ca (c) e B (d) e os teores de argila (camada 0 a 20 cm).....	33
Figura 10 -	Valores médios e desvio padrão da densidade básica da madeira associada à classe de solo (a) e à classe de DAP (b) - Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade.....	34
Figura 11 -	Relação entre a densidade básica da madeira e o volume da árvore.....	35
Figura 12 -	Variação radial da densidade básica da madeira, avaliada pelo método da densitometria de raios X, para as classes de DAP 1 (a), 2 (b), 3 (c), e 4 (d), nos diferentes solos – O DAP aumenta da classe 1 para a classe 4.....	36
Figura 13 -	Valores médios e desvio-padrão dos teores de holocelulose (a e b), de extrativos (c e d) e de lignina total (e e f), respectivamente, conforme as classes de solo e de DAP das árvores - Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade.....	38
Figura 14 -	Relação entre os teores de holocelulose (a) e a lignina total (b) com o teor de argila no solo (camada 0 a 20 cm).....	39
Figura 15 -	Relação entre o rendimento de celulose depurada e o teor de argila no solo (camada 0 a 20 cm).....	39
Figura 16 -	Relação entre o incremento de celulose depurada e o teor de argila (camada 0 a 20 cm).....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Balanço hídrico do solo, segundo Thorntwaite & Mather (1995), nas áreas experimentais dos diferentes municípios, onde T, PP, ETP, EXC e DEF são, respectivamente, a temperatura, a precipitação pluviométrica, a evapotranspiração potencial, o excedente e o déficit hídrico médios anuais (período de 1990 a 2004) Foi admitida uma capacidade de armazenamento de água no solo de 125 mm.....	22
Tabela 2 -	Atributos físicos dos diferentes solos (camada 0 a 20 cm).....	23
Tabela 3 -	Atributos químicos dos diferentes solos (camada 0 a 20 cm).....	24
Tabela 4 -	Índices de crescimento dos povoamentos de <i>E grandis</i> nos diferentes locais.....	28

RESUMO

Relações entre atributos do solo e qualidade da madeira de clone de *Eucalyptus grandis* para produção de celulose.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de atributos físicos e químicos do solo na qualidade da madeira, estabelecendo correlações com as variáveis do processo de polpação celulósica. Para tanto, foram selecionadas cinco áreas no planalto ocidental do Estado de São Paulo, plantadas com um mesmo clone de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden (Coff's Harbour), com idades variando entre 6,5 e 7,0 anos de idade, pertencentes à Suzano Papel e Celulose. Foram coletadas amostras de solo deformadas para fins de análises físicas e químicas. Amostras não deformadas foram utilizadas para análises físico-hídricas. Em cada uma das cinco áreas, foram demarcadas, aleatoriamente, 3 parcelas com 100 plantas cada. Em cada parcela, foram medidos os diâmetros à altura de 1,3 m (DAP) e a altura de todas as árvores. Os dados foram classificados em quatro classes de DAP e obtidos os DAPs médios de cada classe. Foi coletada uma árvore de cada classe e de cada parcela, mensuradas e estimadas as massas de lenho, casca, folha e galhos. Os troncos de cada árvore foram picados, individualmente, em picador industrial. Uma amostra dos cavacos foi utilizada para a análise de extrativos e componentes da madeira, de acordo com os métodos estabelecidos pela TAPPI e ABTCP. As condições de polpação foram estabelecidas, fixando-se o número kappa em $17 \pm 0,5$, a temperatura de cozimento em 165 °C, o tempo de elevação da temperatura em 90 minutos, o tempo à máxima temperatura em 60 minutos e a sulfidez do licor de cozimento em 24%. A carga de álcali foi variável e necessária para se atingir o número kappa desejado. Buscou-se descrever as relações entre os atributos do solo, a produtividade e a qualidade da madeira. Os resultados mostraram que os atributos físicos do solo, sobretudo o teor de argila, diretamente relacionado à quantidade de água disponível, foram os que mais afetaram a produtividade e a qualidade da madeira. A densidade básica da madeira não se alterou nas diferentes classes de solo. Por outro lado, aumentou exponencialmente com o volume das árvores, independentemente do solo em que cresceram. O teor de lignina total diminuiu e o de holocelulose aumentou exponencialmente, com o aumento do teor

de argila do solo (até cerca de 35 a 40% de argila). O teor de extrativos não foi afetado pelos atributos do solo. Atribuiu-se à compensação entre o aumento do teor de holocelulose e a diminuição do teor de lignina total a não-variação da densidade básica da madeira nos diferentes solos. O rendimento de celulose depurada relacionou-se exponencialmente com o teor de argila do solo. No solo com textura muito argilosa (LVd2), o rendimento foi 6% maior do que no solo de textura arenosa (RQ).

Palavras-chave: Eucalipto; Solo; Qualidade da madeira; Celulose

ABSTRACT

Relation between soil attributes and the quality of timber from a *Eucalyptus grandis* clone for pulp production.

The objective of this work was to evaluate the effect of soil physical and chemical attributes on timber quality, and to establish correlations with cellulose pulping process variables. To achieve this, five areas were selected at the Western Plateau of the State of São Paulo, planted with the same *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden (Coff's Harbour) clone, with ages ranging between 6.5 and 7.0 years, owned by Cia. Suzano Papel e Celulose. Deformed soil samples were collected for physical and chemical analysis purposes. Non-deformed samples were used in the physical and moisture analyses. Three plots containing 100 plants each were demarcated at random in each of the five areas. The diameters at a 1.3 m height (DBH) and heights of all trees were measured for each plot. The data were classified into four DBH classes and the mean DAP values for each class were obtained. One tree was collected from each class and each plot, and its wood, bark, leaf, and branch masses were measured and estimated. The trunks of each tree were individually chopped in a tree chopper. A sample from the chips was used in the analysis of wood extractives and components, according to methods established by TAPPI and ABTCP. The pulping conditions were established by fixing the Kappa number at 17 ± 0.5 , cooking temperature at 165 °C, temperature ramp time at 90 minutes, time at maximum temperature at 60 minutes, and cooking liquor sulfidity at 24%. The alkali load was variable and adjusted as needed to reach the desired Kappa number. We sought to describe the relations between soil attributes and wood productivity and quality. The results showed that the soil physical attributes, especially clay content, which is directly related to the amount of available water, affected wood productivity and quality the most. Basic wood density did not change for different soil classes. On the other hand, it increased exponentially with tree volume, regardless of the soil where they were grown. Total lignin content decreased, and holocellulose content exponentially increased as soil clay content increased (until about 35 to 40% clay). The extractives content was not affected by soil attributes. The compensation between the increase in holocellulose content and the decrease in total

lignin content was attributed to the lack of basic wood density variation in different soils. Screened cellulose yield exponentially increased with soil clay content. In the very clayey-textured soil (LVd2), yield was 6% higher than in the sandy-textured soil (RQ).

Keywords: Eucalyptus; Soil; Wood quality; Pulp

1 INTRODUÇÃO

A indústria de celulose e papel no Brasil é abastecida por uma área florestada com cerca de cinco milhões de hectares, dos quais cerca de três milhões de hectares são plantações de eucalipto. Essas plantações foram destinadas à produção de 5,5 milhões de toneladas de celulose no ano de 2000 (BRACELPA, 2001). Visando a ser mais competitiva nacional e internacionalmente, a indústria de celulose e papel prima cada vez mais pelo aumento da produtividade e pela melhoria da qualidade de seus produtos: da produção da madeira à qualidade do papel.

A pesquisa florestal tem direcionado esforços no sentido de aumentar a produtividade de madeira, com qualidade compatível com as necessidades das indústrias de celulose e papel. Por exemplo, os trabalhos de melhoramento genético, que classicamente tinham como foco o ganho em produtividade da madeira, se voltaram para a qualidade da madeira dos genótipos selecionados, evidenciando a possibilidade de se obterem ganhos de rendimento no processo de produção de polpa celulósica (Wright, 1991). Todavia, os estudos com foco na qualidade da madeira têm sido mais comuns para a densidade básica (Zobel & Jett, 1995), sendo os aspectos químicos, anatômicos e físicos da madeira também importantes para a produção de celulose (Alencar, 2002).

Além do foco que recebe dos programas de melhoramento genético, a qualidade da madeira tem sido estudada quanto à sua relação com os aspectos ambientais, tais como as condições climáticas, os atributos químicos e físicos do solo e a nutrição das árvores. Os resultados evidenciam efeitos ambientais significativos sobre a qualidade da madeira (Ferreira et al., 1978; Tomazello Filho, 1985; Vale et al., 1995; Andrade et al., 1994).

A influência do ambiente sobre a qualidade da madeira merece ainda estudos mais aprofundados, extensivos ao processo de produção de celulose. Os benefícios práticos disso estão relatados em vários trabalhos (Retief et al., 1997; Du Toit, 2001; Alencar, 2002). Na maioria deles, a influência do ambiente sobre a qualidade da

madeira para a produção de celulose foi caracterizada por variáveis muito genéricas, relacionadas à qualidade do sítio. Da mesma forma, estudos que tratam da influência dos tratos culturais (por exemplo, a fertilização) sobre a qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, em sua maioria, avaliam genericamente a influência ou não dessa prática (Higgs & Rudman, 1973; Wilkins & Kitahara, 1991) ou da adoção de uma ou outra fonte fertilizante (Bamber, 1982; Andrade et al., 1994).

Assim, faz-se necessário identificar variáveis mais específicas do sítio, como os atributos do solo, que determinem a qualidade da madeira. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de atributos físicos e químicos do solo na qualidade da madeira, estabelecendo correlações com as variáveis do processo de polpação celulósica.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão de literatura

2.1.1 Relação entre a qualidade da madeira e a qualidade do sítio

A influencia do sítio¹ não ocorre apenas sobre a produtividade florestal. Bouvet et al. (1999), estudando os efeitos genéticos e ambientais sobre o crescimento e sobre a qualidade da madeira de dois híbridos de eucalipto (*E.urophylla* x *E.grandis* e *E.urophylla* x *E.pellita*) no Congo, observaram correlação positiva entre a qualidade do sítio e a densidade básica da madeira. Variações nesta característica, influenciadas por condições edafoclimáticas, foram também observadas por vários autores (Brasil et al., 1977; Foelkel et al., 1975; Rocha et al., 1983; Migliorini et al., 1988; Souza et al., 1986; Tomazello Filho, 1985; Sturion et al.; 1987; Vale et al., 1995). Tais resultados evidenciam a importância da densidade básica para a qualidade da madeira, e de sua correlação com outros atributos da madeira, como o rendimento industrial na produção de celulose e papel (Ferreira & Kageyama, 1978 e Busnardo et al., 1987). Entretanto, Barrichelo & Foelkel (1983) lembram que, quando se enfatiza a qualidade da madeira, deve-se atentar não somente para a densidade básica, pois outros fatores também exercem grande influência na qualidade da madeira, como as características das fibras, do parênquima e dos vasos, bem como os teores de celulose, lignina, pentosanas e extrativos.

Vignerón et al. (1995) comentam que a influência do crescimento da árvore na qualidade da madeira é bem documentada. No entanto, os resultados são

¹O termo sítio é usado para designar uma unidade de área indivisível em termos de produtividade florestal, a qual é o reflexo da ação conjunta de fatores que afetam o crescimento das árvores: clima, topografia, solo e atributos bióticos (Spurr & Barnes, 1980; Gonçalves et al., 1990). O índice de sítio é um indicador da qualidade do sítio, ou seja, do seu potencial produtivo (Davis, 1966).

inconsistentes, notadamente pelo fato de que, às vezes, o crescimento mais rápido da árvore diminui a densidade básica da madeira e, outras vezes, aumenta. Numa linha mais específica, Brasil & Ferreira (1971), analisando o comportamento das espécies de eucaliptos mais plantadas no estado de SP, concluíram que, em regiões mais férteis e com maior taxa de crescimento das árvores, a densidade básica da madeira é menor. O mesmo resultado foi confirmado por Ferreira et al. (1978), mostrando que, em sítios mais produtivos, com maior potencial de crescimento da floresta, a madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta menor densidade básica.

O efeito do sítio sobre a qualidade da madeira tem reflexo no processo de produção de celulose (Retief et al., 1997). Esses autores encontraram relação significativa entre a qualidade do sítio – aferida pelo índice de sítio – e o processo de produção de polpa celulósica: nos melhores sítios, observaram efeitos positivos sobre o rendimento de celulose, menor número kappa e baixos teores de extrativos totais e de lignina.

2.1.2 Relação entre a produtividade de madeira e os atributos do solo

As principais áreas utilizadas para reflorestamentos no Brasil estão sobre Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos (Gonçalves, 2002). Tais solos apresentam, normalmente, propriedades físicas favoráveis, profundidades adequadas e não apresentam impedimento para o desenvolvimento de raízes (Lopes, 1984). Dentre os atributos físicos, a textura é o mais estável (Foth, 1984) e apresenta estreita relação com a capacidade de retenção de água e troca de cátions (Lopes, 1984).

O regime hídrico do solo é essencial para o crescimento de espécies de eucalipto (Melo et al., 1995 & Leite, 1996). A disponibilidade de água no solo é o fator que mais determina o crescimento das árvores (Gonçalves et al., 1990). A existência de impedimentos físicos no solo, que dificultem a penetração de raízes, aumenta os riscos de estresse hídrico das plantas (Gatto et al., 2003). Sob déficit hídrico, vários processos

metabólicos nas plantas são afetados, tais como a perda de água e a fixação de CO₂ (Nobel, 1974), em decorrência do fechamento precoce dos estômatos (Levitt, 1980). Nesse aspecto, o *Eucalyptus grandis* é considerada uma espécie que se previne contra a seca, fechando os estômatos antes que se possa verificar murchamento visível (Façanha & Oliva, 1983).

O fechamento dos estômatos está associado a vários efeitos colaterais na planta, principalmente, diminuição na produção de fotoassimilados, que leva à redução no crescimento da planta (Larcher, 1975; Kozlowski, 1982). Sucessivos déficits hídricos podem provocar um aumento da resistência difusa ao vapor d'água em *E. grandis*, resultando em diminuição da transpiração e na produção de fotoassimilados (Façanha & Oliva, 1983). Todavia, quando há disponibilidade hídrica no solo, há condições de maior absorção de nutrientes (Sands & Mulligan, 1990), favorecendo o crescimento da planta.

A capacidade do solo em armazenar água e torná-la disponível às plantas está diretamente associada às suas características físicas e morfológicas, como a profundidade, a textura e a estrutura (Amaral, 2000). Desses, a textura e o arranjo das partículas são os que determinam a retenção de água no solo (Fietz, 1999). Aumentos no crescimento têm sido associados aos aumentos nos teores das frações texturais mais finas do solo (silte e argila), nos horizontes superficiais e subsuperficiais (Bowersox & Ward, 1972 e Gonçalves et al., 1990). Aumentos naqueles teores, quando acompanhados de aeração deficiente, podem ter relação negativa com o crescimento (Hannah, 1971).

Efeitos benéficos, todavia, podem ser verificados pela presença de areia nos horizontes subsuperficiais, dado que podem melhorar a estrutura do solo e a retenção e a disponibilidade de água (Grespan, 1997). Além da importância dos teores das frações texturais do solo para o crescimento das plantas, destacam-se também a relação entre silte e argila e o grau de flocculação. Em trabalho sobre estas variáveis em sítios

florestais, Braga et al. (1999) verificaram que elas estavam entre as oito que explicaram a capacidade produtiva dos sítios, relacionando-se positivamente com os melhores sítios. A relação entre silte e argila é importante também para inferir sobre as condições químicas do solo (Brady, 1989), pois tem relação com o grau de intemperismo do solo e, conseqüentemente, com o seu potencial produtivo (Santana, 1986).

O teor de bases trocáveis no solo é um dos principais atributos da fertilidade deste que limita o crescimento do eucalipto (Bowersox & Ward, 1972; Grespan, 1997). Tanto as relações entre as bases Ca e Mg no solo (Braga et al., 1995) como os teores de Ca, Mg e K (Gatto et al., 2003) são fatores limitantes para a produtividade do *E. grandis*. Gonçalves (2003), em estudo sobre mapeamento de solo e produtividade de *E. grandis* no oeste do Estado de São Paulo, verificou que o incremento médio anual (IMA) das plantas apresentou correlações positivas com os teores de Ca e Mg disponíveis no solo.

O K tem sido citado como um dos nutrientes mais limitantes para o crescimento do eucalipto. Solos com teores de K de 0,2 até 1,0 mmol_c de K dm⁻³ de solo necessitam de altas doses de K para o *Eucalyptus* atingir boas produtividades (Barros et al., 1990; Stape & Zani Filho, 1990; Galo, 1993; Scatolini et al., 1996; Valeri et al., 1996; Gava, 1997). Essa alta demanda por K ocorre, principalmente, em solos de textura média a arenosa (Quadros, 1996). A falta de K provoca maiores taxas de transpiração e redução na taxa de fotossíntese por unidade foliar. Em conseqüência da combinação desses fatores, há redução nas reservas de carboidratos da planta, gerando menor crescimento (Pretty, 1982).

2.1.3 Relação entre a qualidade da madeira e a fertilização mineral

Na grande maioria dos plantios de eucalipto no Brasil, a fertilização mineral é uma prática necessária para aumentar ou manter os índices de produtividade. A ocorrência de deficiências e desequilíbrios nutricionais em plantios de *Eucalyptus spp*

está comumente associada às condições químicas e físicas do solo, ou às práticas inadequadas de fertilização (Barros et al., 1981; Valeri et al., 1993). Deficiências e desequilíbrios nutricionais reduzem a biomassa foliar das árvores e, conseqüentemente, a eficiência fotossintética e a atividade das gemas apicais, proporcionando menor suprimento de carboidratos e hormônios para a região cambial (Brix, 1971). Isso pode influenciar a formação e as características da madeira, dependentes da atividade cambial e da diferenciação dos xilemas, os quais são controlados pela produção de hormônios nas gemas apicais e pelo transporte de carboidratos das folhas para o câmbio (Barrichelo & Shimoyama, 1994).

Jian Ju et al. (1998) estudaram o efeito de cinco tratamentos de adubação - testemunha, N, P, NP e NPK + micronutrientes - sobre a qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* com 9 anos de idade. Constataram que as adubações nitrogenada, fosfórica e potássica não influenciaram nos teores de celulose e lignina, mas elevaram significativamente os teores de extrativos e pentosanas em relação à testemunha.

Em estudo sobre o efeito da aplicação de N, P, K e calcário sobre a qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna*, Mello (1968) verificou que os macronutrientes primários não afetaram a densidade básica da madeira, a espessura e o comprimento das fibras. O tratamento com calcário (2 t ha^{-1}) reduziu significativamente o comprimento das fibras. Corroborando esses resultados, Andrade et al. (1994) constataram reduções significativas no comprimento das fibras e aumento no teor de extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis*, devido à aplicação de calcário calcítico (2 t ha^{-1}). Eles também verificaram que a aplicação de gesso e fosfato reduziu a presença de extrativos na madeira.

Epstein (1975) e Malavolta (1980) relatam que a deficiência de Ca provoca alterações na composição química e na estrutura da lamela média, bem como, aumenta a permeabilidade da membrana celular. Ainda em relação ao Ca, Sgarbi et al. (2000) observaram que a deficiência deste macronutriente em clone híbrido de *E. grandis* e *E.*

urophylla proporcionou madeira com menor concentração de lignina e fibras mais curtas, quando comparada com o tratamento completo e com as deficiências de N, P, K e Mg.

2.1.4 Relação entre a produção de celulose e a qualidade da madeira

A qualidade da madeira afeta o rendimento do processo de produção de celulose (Silva et al., 1993), assim como a qualidade da celulose obtida (Silva et al., 1997). Esses autores citam a densidade básica da madeira como uma das características que mais influenciam a produtividade do digestor, o consumo volumétrico de madeira e a quantidade de rejeitos. Clarke (1990) afirma que madeiras de alta densidade básica são negativamente relacionadas com o rendimento de polpa celulósica, pois possuem maiores teores de lignina e extrativos.

Madeiras com alta densidade básica podem acarretar a formação de celulose que dá origem a papéis menos resistentes, com estrutura mais aberta, maiores valores de porosidade, opacidade e aspereza (rugosidade) da superfície (Demuner et al., 1991). Segundo estes autores, isso tende a ocorrer quando a fibra apresenta maior espessura de parede, em função do aumento da densidade básica. O comprimento médio da fibra, por não ter relação direta com a densidade básica, pode não apresentar correlação com papéis com aquelas características (Campinhos Jr. et al., 1990).

Barrichelo & Brito (1983) afirmam que características químicas, anatômicas e físicas da qualidade da madeira estão intimamente ligadas ao rendimento do processo de produção de celulose. Eles afirmam que o aumento dos teores de extrativos e de lignina não é desejável para a produção de celulose, pois contribuem para o aumento do consumo de reagentes químicos usados no processo. Todavia, Queiroz & Gomide (2003), estudando o processo de produção de celulose da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, não encontraram relação entre a demanda de álcali e o rendimento do processo com a constituição química da madeira, mas sim com a densidade básica da madeira.

Alterações no processo de produção de celulose podem ser causadas pelo aumento da entrada de nutrientes minerais contidos na madeira. Tais alterações dependerão da espécie e da disponibilidade do nutriente no solo (Foelkel & Assis, 1995). O *Eucalyptus grandis*, relativamente a outras espécies, tem uma baixa concentração de nutrientes na madeira e tende a causar menos problemas na fábrica (Freddo et al., 1999). Devido aos problemas que os metais podem causar no processo de produção de celulose, a sua quantificação na madeira é útil como fonte de subsídios, visando a medidas preventivas (Brasileiro, et al., 2001). Porém, no caso da sílica, foi verificado que sua presença no processo de polpação não tem origem nos teores encontrados na madeira, mas na adesão de partículas do solo nas toras, durante os seus manuseios (Freddo et al., 1999).

2.2 Material e métodos

Para a elaboração deste trabalho, foram selecionadas cinco áreas florestadas com um clone de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden (procedência Coff's Harbour), com idades variando entre 6,5 e 7,0 anos. Essas áreas pertencem à Cia Suzano Papel e Celulose, e estão localizadas em diferentes municípios (Figura 1): duas áreas em São Miguel Arcanjo (23° 51'LS e 47° 54'LO, 725 m), SP; uma área em Alambari (23° 33'LS e 47° 53'O, 650 m),SP; uma área em Angatuba (23° 00'LS e 48° 52'LO, 740 m), SP, e uma área em Itatinga (23° 06'LS e 48° 36'LO, 700 m), SP. Segundo a classificação de Köppen, o clima das áreas é do tipo Cfa, ou seja, mesotérmico úmido, sem estiagem, em que a temperatura do mês mais quente é maior que 22°C. A Tabela 1 apresenta o balanço hídrico do solo das diferentes áreas experimentais.



Figura 1- Localização dos municípios no Estado de São Paulo, onde estão as áreas experimentais

Tabela 1- Balanço hídrico do solo segundo Thorntwaite & Mather (1995), nas áreas experimentais dos diferentes municípios, onde T, PP, ETP, EXC e DEF são, respectivamente, a temperatura, a precipitação pluviométrica, a evapotranspiração potencial, o excedente e o déficit hídrico médios anuais (período de 1990 a 2004)

Foi admitida uma capacidade de armazenamento de água no solo de 125 mm

Município	T	PP	ETP	EXC	DEF
	°C	-----mm-----			
ANGATUBA E ITATINGA	20	1492	968	528	3,9
ALAMBARÍ	21	1486	1017	472	3,3
SÃO MIGUEL ARCANJO	21	1472	1024	459	10,9

Em cada uma das 5 áreas, foram demarcadas, aleatoriamente, 3 parcelas com 100 plantas cada (10 plantas na linha de plantio e 10 plantas na entrelinha de plantio), perfazendo uma área de 600 m² por parcela (30 x 20 m). Foram medidos os diâmetros à altura de 1,3 m (DAP) e a altura de todas as árvores. Em seguida, os dados de DAP foram classificados em quatro classes.

Os solos foram classificados segundo critérios preconizados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999). Os solos que ocorrem nas áreas experimentais de São Miguel Arcanjo foram classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura argilosa a muito argilosa (respectivamente, LAd1 e LVAd2), relevo plano a suave ondulado; o de Alambari, como Latossolo Amarelo Distrófico textura média, relevo plano a suave ondulado (LAd), e os de Itatinga e Angatuba, como Neossolo Quartzarênico Distrófico textura arenosa, relevo plano a suave ondulado (RQ1 e RQ2, respectivamente) (Figura 2). Nas Tabelas 2 e 3, estão relacionados alguns atributos físicos e químicos desses solos.

Os atributos químicos e físicos do solo foram determinados na camada de 0-20 cm. Foram coletadas dez amostras simples de solo, por parcela, em um transecto diagonal à área útil da parcela, nas entrelinhas de plantio. Essas amostras deram origem a uma amostra composta por parcela. As amostras compostas foram secas ao ar, homogeneizadas, destorroadas e peneiradas (peneira de 2 mm). Foram avaliados: pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, C orgânico, P extraível, S-SO₄²⁻, Ca, Mg, K e Al trocável, segundo métodos descritos por Raij et al. (2001). A análise granulométrica foi realizada conforme Camargo et al. (1986).

Para determinar a capacidade de retenção de água dos solos, foram coletadas cinco amostras simples por parcela, em um transecto diagonal à área útil da parcela, nas entrelinhas de plantio. Foram usados anéis com 50mm de diâmetro por 50mm de altura, retirados da camada 10-30cm. Essas amostras, depois de saturadas com água, foram submetidas aos potenciais de $-0,01$ e $-1,5$ MPa, utilizando pressões aplicadas em câmaras com placas porosas, conforme Klute (1986). Cessada a drenagem e atingido o equilíbrio hidráulico aparente, as amostras foram pesadas e, em seguida, secas em estufa a $\pm 105^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, para determinar-se a densidade do solo (Blake & Hartge, 1986).

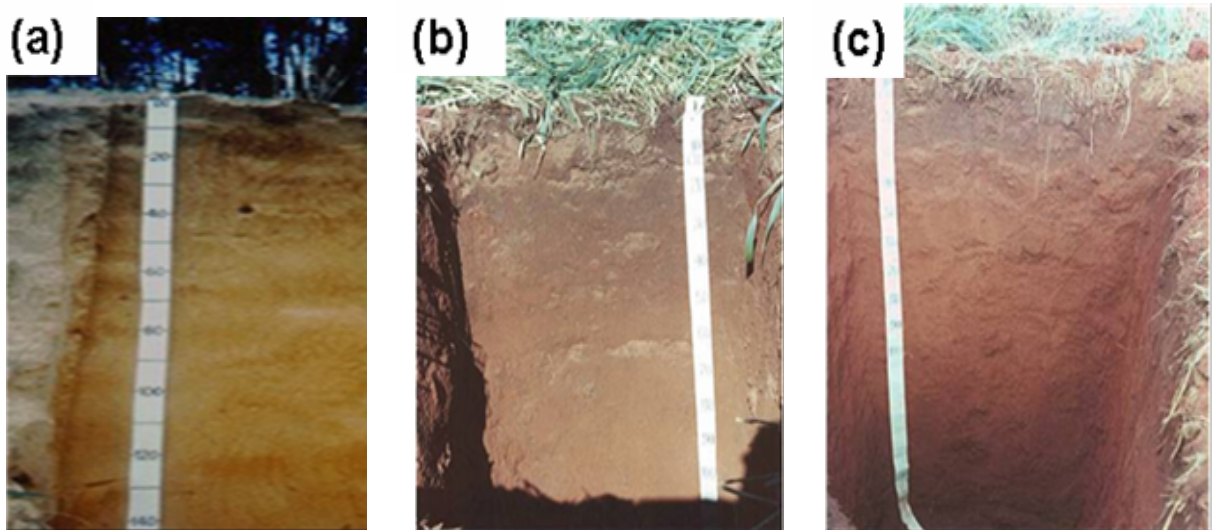


Figura 2- Perfis de solos ocorrentes nas áreas experimentais: a) Neossolo Quartzarênico Órtico típico (Itatinga e Angatuba), b) Latossolo Amarelo Distrófico (Alambari) e c) Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (São Miguel Arcanjo)

Tabela 2 - Atributos físicos dos diferentes solos (camada 0 a 20 cm)

Solo	Areia	Silte	Argila	Densidade do solo	Porosidade total	Retenção de água ¹
	----- % -----			g cm^{-3}	%	----- $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ -----
RQ1	93	3	4	1,50	43	0,04
RQ2	86	6	8	1,54	51	0,06
LAd	72	10	19	1,53	46	0,10
LVA _{d1}	47	10	44	1,16	74	0,09
LVA _{d2}	24	13	63	0,90	58	0,14

⁽¹⁾ Intervalo entre a capacidade de campo ($-0,01$ MPa) e o ponto de murcha permanente ($-1,5$ MPa).

Tabela 3 - Atributos químicos dos diferentes solos (camada 0 a 20 cm)

Solo	pH CaCl ₂	M.O. ¹ g kg ⁻¹	P-resina ² mg dm ⁻³	K ²	Ca ²	Mg ²	Al ³	SB	CTCe
				-----mmol _c dm ⁻³ -----					
RQ1	3,8	10,9	4,0	0,2	2,6	0,7	10,2	3,4	13,7
RQ2	3,8	15,9	8,2	0,3	3,5	0,9	16,5	4,7	21,2
LAd	3,9	12,0	4,8	0,7	3,6	1,6	16,6	5,8	22,5
LVAAd1	3,7	38,4	5,1	0,5	3,9	2,2	28,6	6,6	35,2
LVAAd2	3,9	46,6	4,2	0,6	2,9	1,2	31,5	4,8	36,2

Extratores: ⁽¹⁾ Oxi-Redução; ⁽²⁾ Resina; ⁽³⁾ KCl.

Foi abatida uma árvore média de cada classe de DAP por parcela. Em todas as árvores abatidas, foram realizadas avaliações dendrométricas: altura comercial (até o diâmetro mínimo de 6 cm) e total do tronco; DAP; altura e diâmetro da copa. Foram cortados 12 discos do tronco com espessura aproximada de 2,5 cm. Dois discos foram obtidos nas extremidades (base e topo), um disco a 1,3 m de altura (DAP) e nove discos a cada 10% da altura comercial da árvore. Para cada disco, fizeram-se medições do diâmetro (com e sem casca) e determinada a densidade básica pelo método da balança hidrostática (ABTCP,1970). Para cada disco do DAP foi determinada a variação radial da densidade básica da madeira pelo método da densitometria de raios X (Amaral, 1994; Amaral & Tomazello Filho, 1998).

A partir das informações de medições realizadas a cada 10% da altura comercial da árvore, calculou-se o volume total de cada árvore, através da fórmula de Smalian: $V_t = \pi/8L [D_1^2 + D_n^2 + 2(D_2^2 + D_3^2 + \dots + D_{n-1}^2)]$, onde V_t é o volume total; L , o comprimento da tora e D , o diâmetro da tora. A massa seca de lenho e de casca foi obtida multiplicando-se as densidades básicas obtidas para os discos pelo volume calculado.

Uma amostra de folha de toda a copa, de cada árvore, com aproximadamente 1kg, foi coletada e determinada sua massa fresca. Em seguida, as amostras de folha foram acondicionadas em sacos de papel e destinadas ao laboratório, onde foram secas em estufa (65°C) até massa constante. Conhecendo-se as massas fresca e seca das amostras e a massa fresca total de folhas da copa, estimou-se a massa seca total das copas de cada árvore. Para as análises do conteúdo de nutrientes, uma outra

amostra de folhas foi coletada no terço superior de cada árvore. Essa amostra, juntamente com as amostras de casca e de serragem coletadas dos discos removidos do tronco, foram acondicionadas individualmente em sacos de papel e destinadas ao laboratório para a realização das análises químicas. Determinaram-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn, Mn e Fe, conforme métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

Os troncos de cada árvore foram picados, individualmente, em picador industrial. Classificaram-se os cavacos obtidos em espessuras variando de 2 a 5mm e comprimento variando entre 2,5 a 3,0cm. Para cada parcela, compôs-se uma amostra, contendo porções de cavacos relativas às frequências das árvores abatidas, de acordo com a classe de DAP.

A deslignificação das amostras seguiu o processo Kraft, em digestor modelo M&K, com circulação forçada, dotado de dois reatores individuais de 10 litros cada. Foi utilizada uma massa absolutamente seca de 1000 g de cavacos por cozimento. Estabeleceram-se as condições do cozimento fixando-se o número kappa em $17 \pm 0,5$, numa temperatura máxima de cozimento de 165 °C. O tempo para a elevação de temperatura foi de 90 minutos, alcançando-se a temperatura máxima em 60 minutos. A sulfidez do licor de cozimento foi de 24%, e a carga de álcali foi variável e necessária para se atingir o número kappa desejado. Em seguida, por meio de depuração em depurador com fenda de 0,2 mm, os rejeitos foram separados da polpa celulósica produzida e, em seguida, secos em estufa a 105 °C. A relação percentual entre o peso seco de rejeitos e o peso seco de madeira forneceu o teor de rejeitos. Determinou-se o rendimento depurado de celulose pela diferença entre o rendimento bruto e o teor de rejeitos.

Uma amostra composta e seca (ao ar) de cavacos de cada árvore foi separada e moída em moinho Wiley. A serragem resultante foi classificada em peneiras para obter-se uma amostra na fração entre 40 a 60 "mesh". Para cada amostra, foram efetuadas, para cada árvore, as seguintes análises químicas: a) Extrativos em álcool/tolueno (TAPPI,1992); b) Lignina Klason insolúvel (Gomide & Demuner, 1986); c)

Lignina Klason solúvel (Goldschmid, 1971); d) Lignina total: lignina insolúvel + lignina solúvel e e) Holocelulose: $100 - (\% \text{ extrativos} + \% \text{ lignina total})$.

Os dados foram submetidos, quando conveniente, à análise estatística descritiva, à análise de variância (ANOVA) e à análise de regressão. A seleção das equações de regressão baseou-se nos valores do coeficiente de determinação ajustado (r^2), no erro-padrão residual (s) e na análise gráfica dos resíduos. Os programas estatísticos usados nas análises foram o SAS (1996) e o SIGMAPLOT (2002).

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Relação entre a produtividade, a nutrição mineral e os atributos do solo

Os índices de crescimento dos povoamentos de *E grandis* são apresentados na Tabela 4. Constatou-se que a variação de produtividade foi diretamente associada à variação das classes de solo e de textura (Figura 3). A menor produtividade foi encontrada no Neossolo Quartzarênico e a maior, no Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso. A textura do solo tem sido relatada como o atributo de maior importância para explicar seu potencial produtivo (Braga et al., 1999). Constatou-se que o volume e as massas de lenho, de casca e de folha apresentaram alta relação com o tamanho das árvores, expresso em termos de DAP e altura, nos diferentes locais (Figuras 4 e 5). Reis et al. (1985) encontraram resultados semelhantes.

Foram verificadas relações exponenciais entre o crescimento médio anual (IMA) de volume sólido e de massa de madeira e o teor de argila (Figura 6). A produtividade aumentou acentuadamente até 35 a 40% de argila, depois tendeu à estabilidade. Correlações significativas entre a produtividade florestal e o teor de argila no solo têm sido constatadas por vários pesquisadores (Bowersox & Ward, 1972; Gonçalves et al., 1990; Braga et al., 1999). A influência positiva do teor de argila sobre a produtividade é decorrente, principalmente, do aumento do teor de água disponível no solo (Figura 7). Lopes (1977), estudando os atributos físicos e químicos de diferentes solos dos cerrados, observou que a disponibilidade de água aumentou em função do teor de argila, alcançando valores máximos com teores de argila entre 35 e 60%.

O consumo de água tem sido relatado como uma importante característica relacionada às espécies de *Eucalyptus* de rápido crescimento (Lima & Zakia, 1998). Por isso, o regime hídrico do solo é um dos principais determinantes de sua capacidade produtiva (Melo et al., 1995; Leite, 1996). Os menores incrementos de produtividade, relacionados ao teor de argila, foram observados nos solos de textura arenosa e média, que apresentaram acentuada drenagem interna e baixa capacidade de retenção de água, portanto mais suscetíveis à deficiência hídrica (Gonçalves, 2002).

Tabela 4 – Índices de crescimento dos povoamentos de *E grandis* nos diferentes locais

MUNICÍPIO	SOLO ¹	DAP ²		ALTURA COMERCIAL ³		VOLUME SÓLIDO ⁴		MASSA DE LENHO	
		média	s	média	s	média	s	média	s
		----- cm -----		----- m -----		-- m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹ --		--- t ha ⁻¹ ano ⁻¹ ---	
Angatuba	RQ1	15,2	± 2,6	18,8	± 3,2	34,2	± 1,1	14,6	± 0,5
Itatinga	RQ2	16,1	± 2,7	21,9	± 3,3	56,0	± 2,2	24,8	± 1,2
Alambari	LAd	15,3	± 2,3	22,0	± 2,8	50,2	± 2,4	24,0	± 1,2
São Miguel Aranjó	LVd1	17,1	± 3,1	22,5	± 4,2	62,7	± 5,4	27,3	± 2,6
São Miguel Aranjó	LVd2	18,9	± 3,4	24,6	± 3,8	71,7	± 4,0	32,1	± 2,0

(¹) RQ1 e RQ2=Neossolo Quartzarênico; LAd=Latossolo Amarelo Distrófico textura média; LVd1=Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura argilosa; LVd2=Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura muito argilosa.

(²) Diâmetro da árvore à altura do peito (1,3m).

(³) Altura da árvore até o diâmetro de 6 cm.

(⁴) Volume sólido de madeira sem casca.

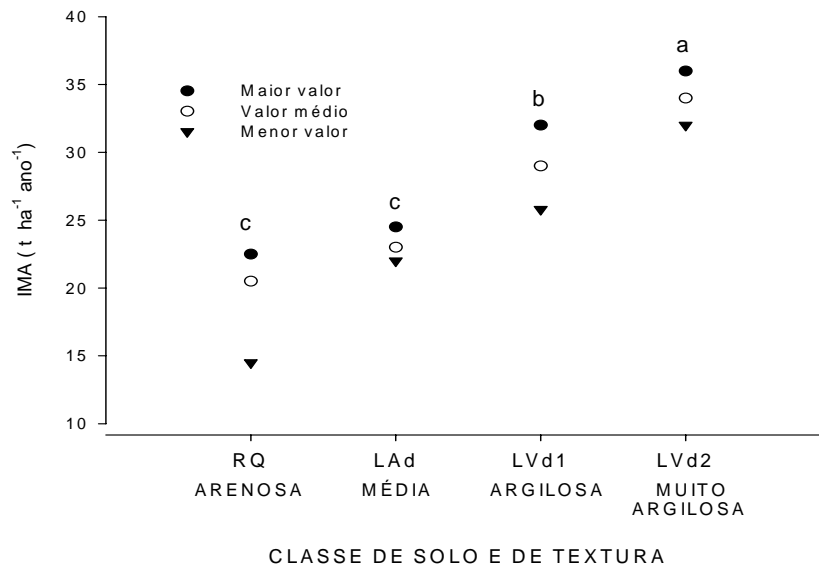


Figura 3 - Incremento médio anual de madeira (IMA), associado às diferentes classes de solo e de textura. Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

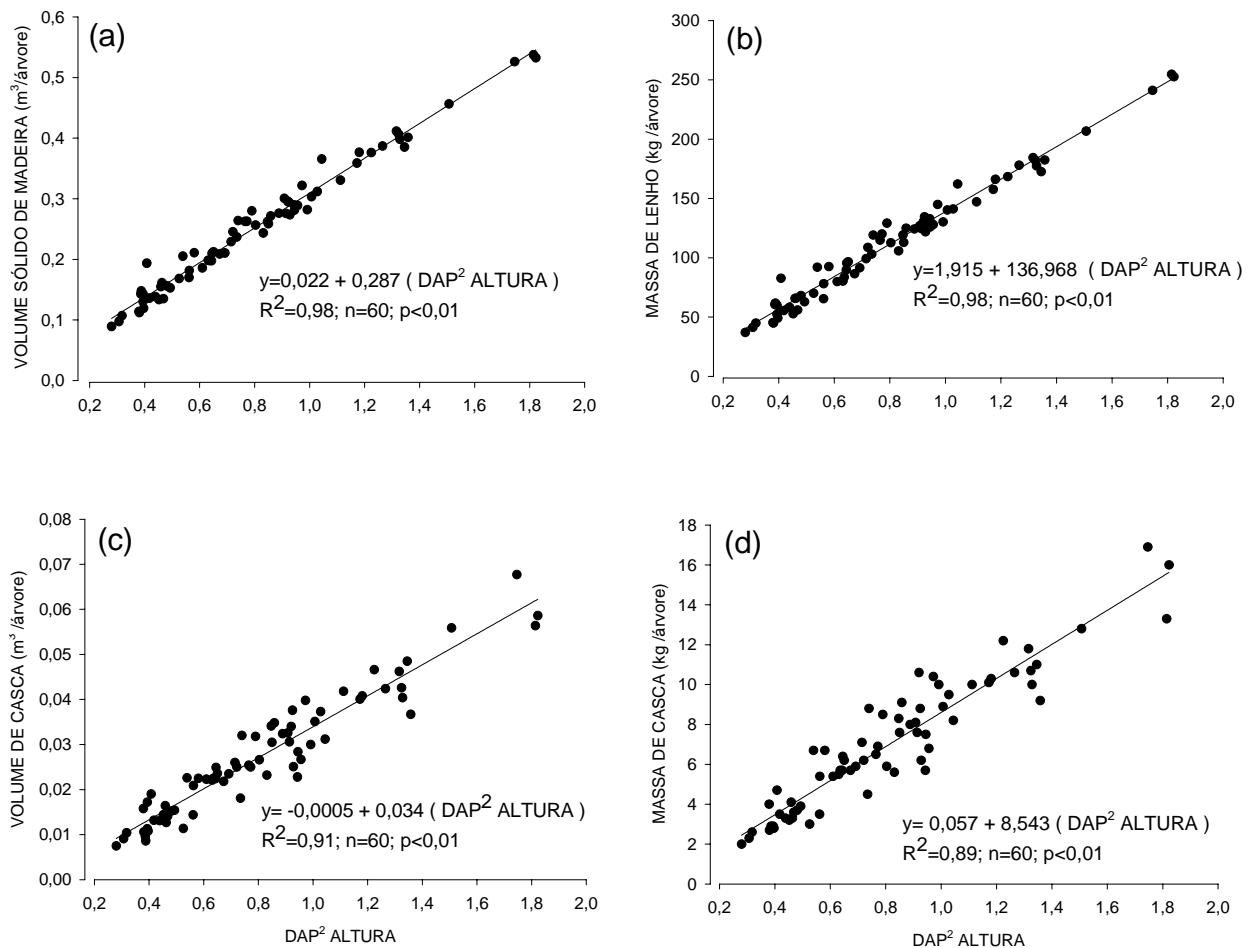


Figura 4 – Relações entre o volume sólido (a) e a massa (b) de lenho, o volume (c) e a massa (d) de casca e a variável combinada DAP² ALTURA

As relações entre o incremento médio de massa de madeira e os atributos químicos do solo são apresentadas na Figura 8. Não se verificou relação significativa entre o IMA e a massa de madeira e os teores de P e Ca no solo. O K relacionou-se significativamente, porém o coeficiente de determinação foi baixo ($R^2 = 0,38$). As melhores relações foram obtidas com matéria orgânica, Al trocável e CTC efetiva, que normalmente têm alta correlação com os teores de argila do solo (Adámoli et al., 1986; Schimel & Parton, 1986).

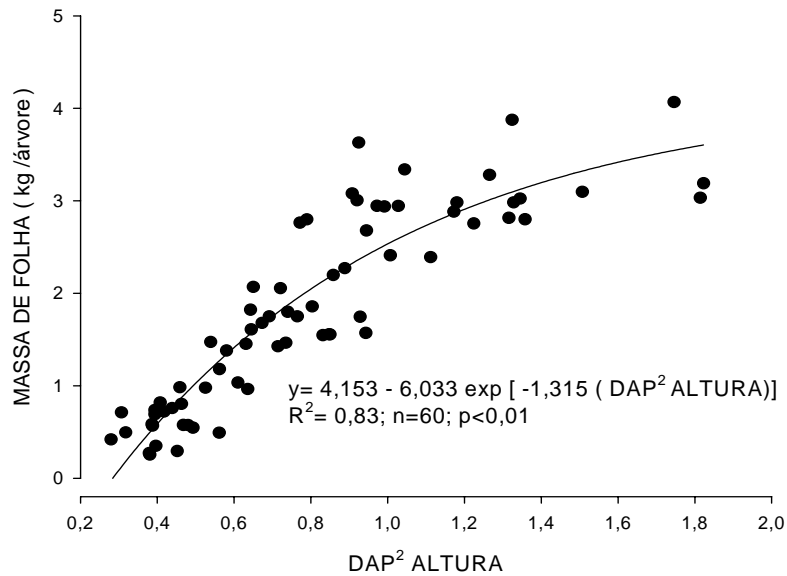


Figura 5 – Relação entre a massa de folha e a variável combinada DAP² ALTURA

Os teores foliares de P, Ca, K e B são apresentados na Figura 9. Os teores de Ca e K decresceram exponencial e rapidamente até valores entre 30 a 40% de argila, enquanto o teor de P decresceu linearmente. Provavelmente, ocorreu o efeito de diluição, pois o crescimento das árvores aumentou até teores semelhantes de argila. O efeito de diluição, em função de aumentar o crescimento das árvores, foi relatado por Bellote & Ferreira (1993). Ao contrário, o teor foliar de B aumentou exponencialmente com o teor de argila. Nos solos mais arenosos, os teores foliares de B foram menores, certamente porque as disponibilidades de B nesses solos eram menores, bem como a disponibilidade de água para a absorção deste nutriente. As ocorrências de deficiências de B em eucalipto, principalmente durante as estações secas, têm sido relatadas há décadas (Balloni, 1977; Carvalho et al., 1980; Dell et al., 1995).

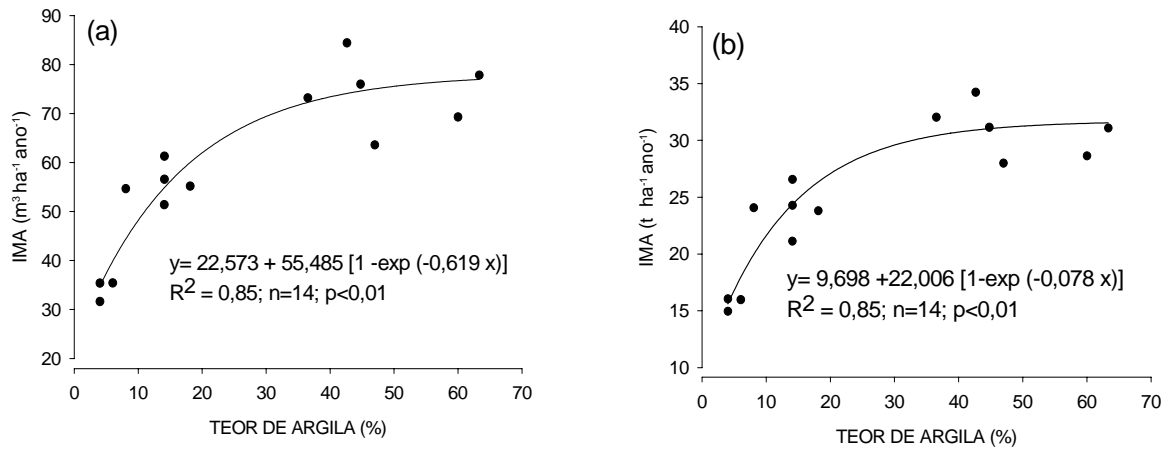


Figura 6 - Relações entre o incremento médio anual do volume sólido (a) e da massa de madeira com o teor de argila (camada 0 a 20 cm)

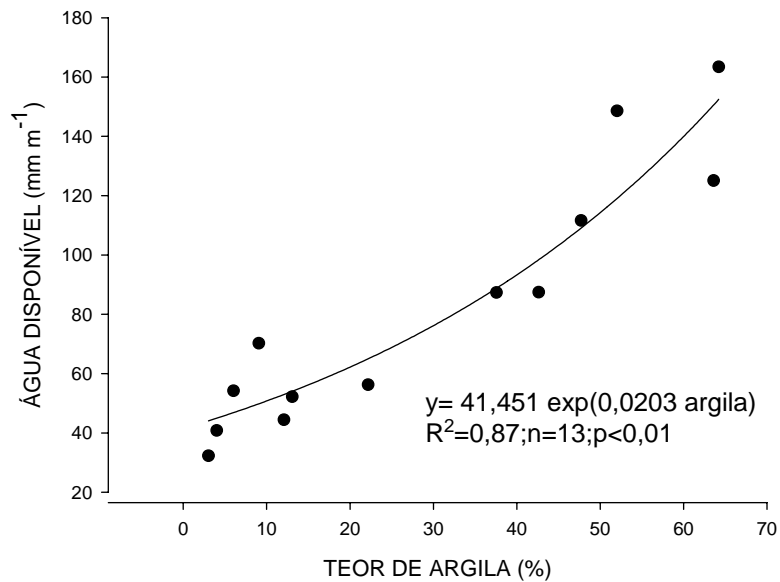


Figura 7 - Relação entre a água disponível no solo (capacidade de campo, -0,01 MPa, menos o ponto de murcha permanente, -1,5 MPa) e o teor de argila (camada 0 a 20 cm)

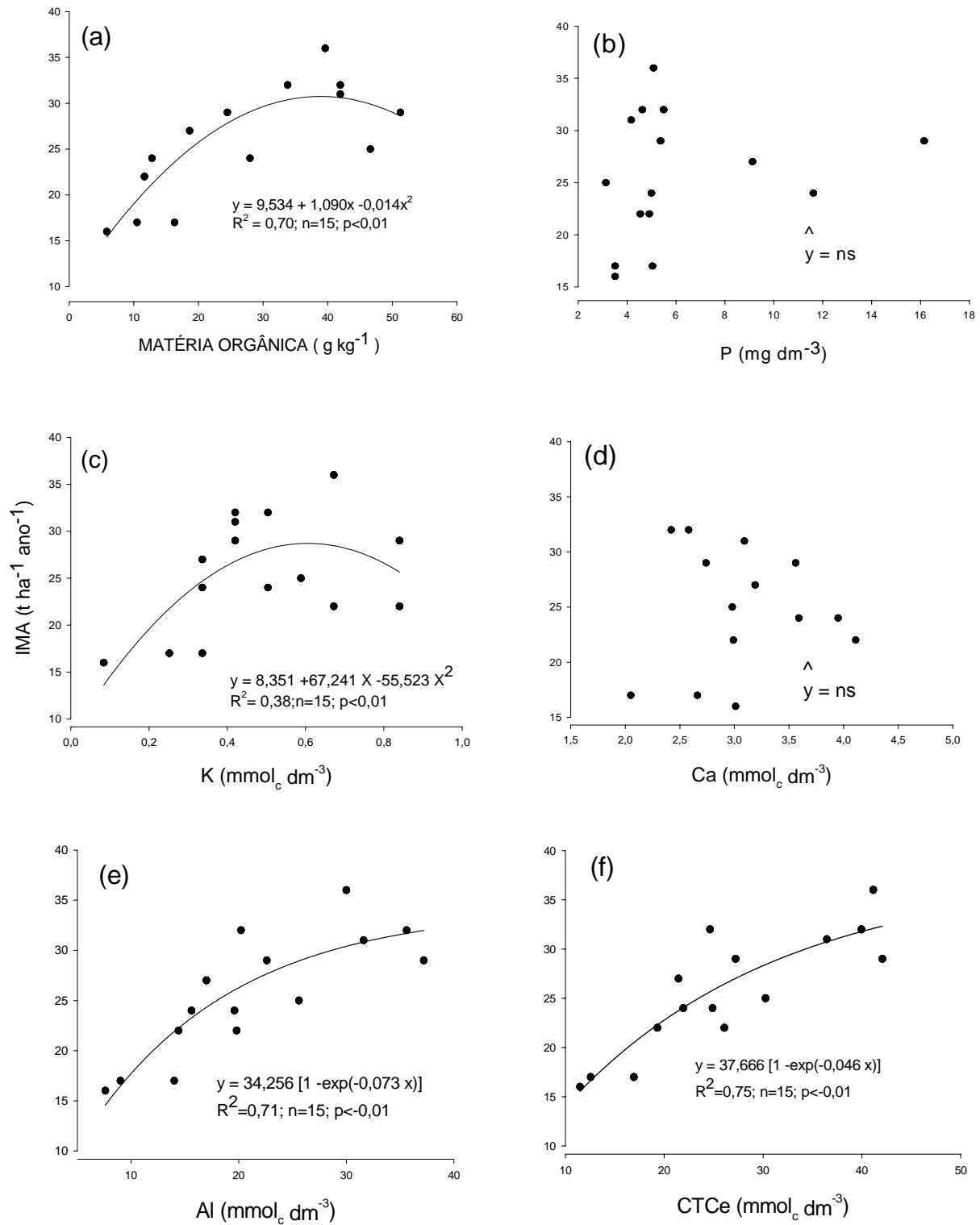


Figura 8 - Relações entre o IMA e os atributos químicos do solo (camada 0 a 20 cm) matéria orgânica (a), P (b), K (c), Ca (d), Al (e) e CTCe (f)

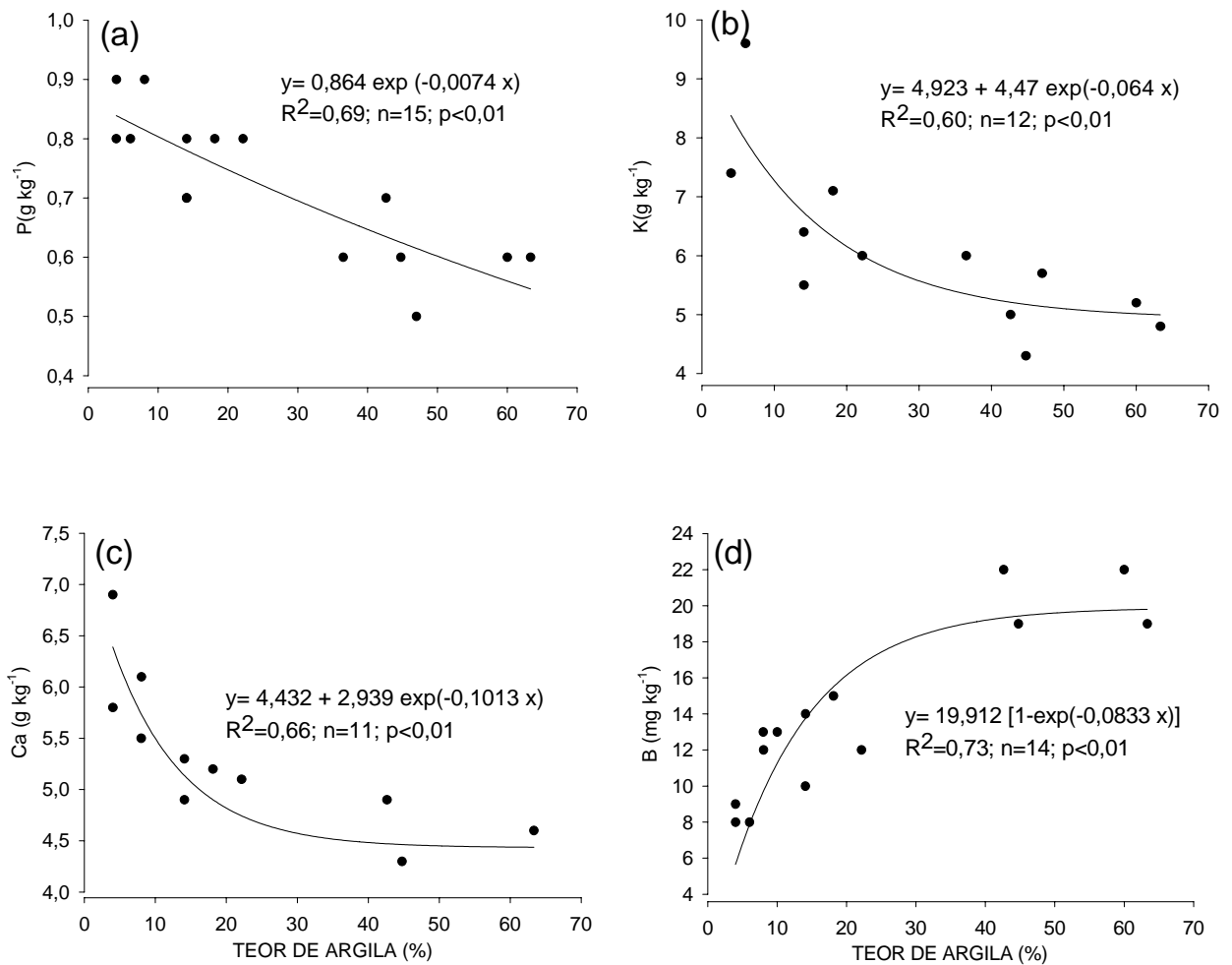


Figura 9 - Relações entre os teores foliares de P (a), K (b), Ca (c) e B (d) e teores de argila (camada 0 a 20 cm)

2.3.2 Relação entre a qualidade da madeira e os atributos do solo

A densidade básica média da madeira variou pouco (0,44 a 0,45 g cm⁻³) entre as classes de solo (Figura 10). Retief et al. (1997) verificaram que a qualidade do sítio não influenciou a densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis*, corroborando os resultados obtidos neste trabalho.

Por outro lado, constatou-se relação exponencial entre a densidade básica da madeira e o tamanho das árvores (Figura 11). Assim, o maior crescimento da árvore influenciou positivamente a densidade básica, independentemente do tipo de solo.

Zobel & Van Buijtenen (1989) também verificaram aumento da densidade básica da madeira eucalipto, à medida que as árvores apresentavam maior taxa de crescimento. Segundo Ferreira (1972) e Shimoyama (1991), o aumento da densidade da madeira deve-se ao maior comprimento de fibras, com paredes celulares mais espessas, o que pode ser resultante da maior absorção de água e nutrientes (Florsheim et al. 2000; Rocha et al. 2002).

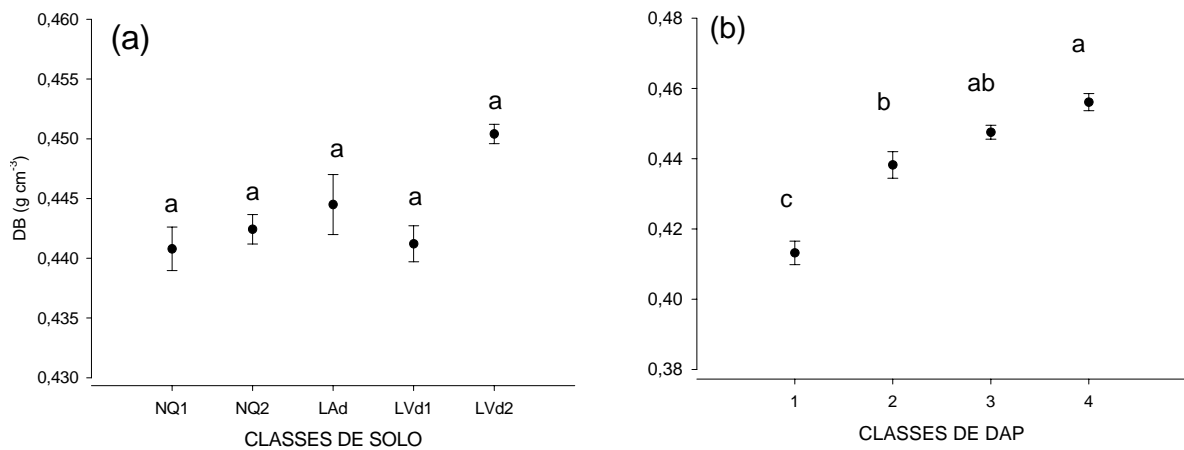


Figura 10 – Valores médios e desvio padrão da densidade básica da madeira, associada à classe de solo (a) e à classe de DAP (b)

Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade

O DAP aumenta da classe 1 para a classe 4

A densidade básica da madeira aumentou no sentido medula-casca, independentemente da classe de diâmetro (Figura 12), corroborando resultados observados por diversos autores (Foelkel et al., 1983; Carpim & Barrichello, 1984; Barrichello et al. 1983; Tomazello Filho, 1985; Evans et al., 1997). Assim sendo, as árvores com diâmetros maiores e, conseqüentemente, com maiores volumes, apresentaram maiores volumes de madeira com densidade maior, o que resultou em maior densidade básica média.

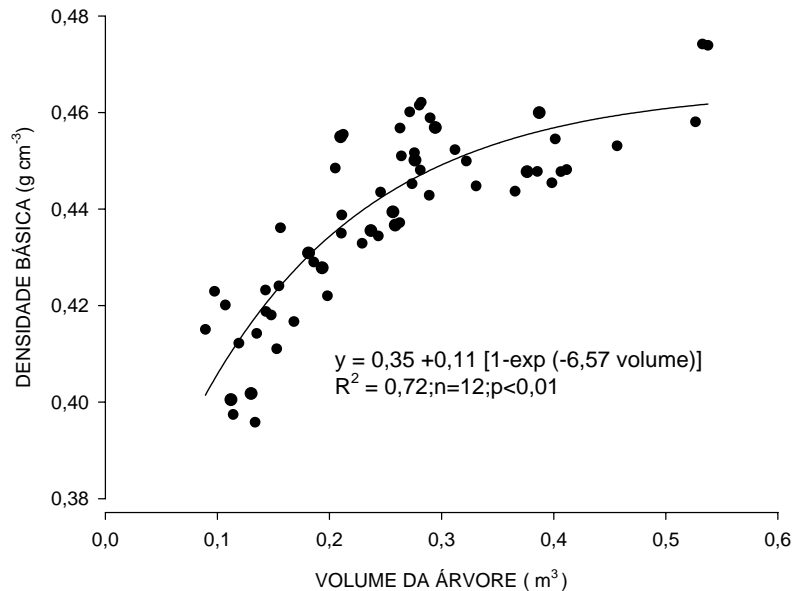


Figura 11 - Relação entre a densidade básica da madeira e o volume da árvore

Os teores médios de holocelulose, de extrativos e de lignina total evidenciaram comportamentos distintos em relação às classes de solo e de DAP das árvores (Figura 13). Verificou-se que os teores de holocelulose e de lignina total relacionaram-se significativamente com as classes de solo, e que os teores de extrativos não variaram entre as classes de solo e de DAP. O teor de holocelulose aumentou em cerca de quatro pontos percentuais entre o solo de textura arenosa e o de textura muito argilosa, enquanto o teor de lignina total diminuiu em cerca de três pontos percentuais. Considerando que a holocelulose e a lignina total são os componentes da madeira que, associados aos espaços vazios, determinam a sua densidade básica, depreende-se que as variações em sentido inverso desses componentes justificam a não variação da densidade básica média da madeira em relação às classes de solo.

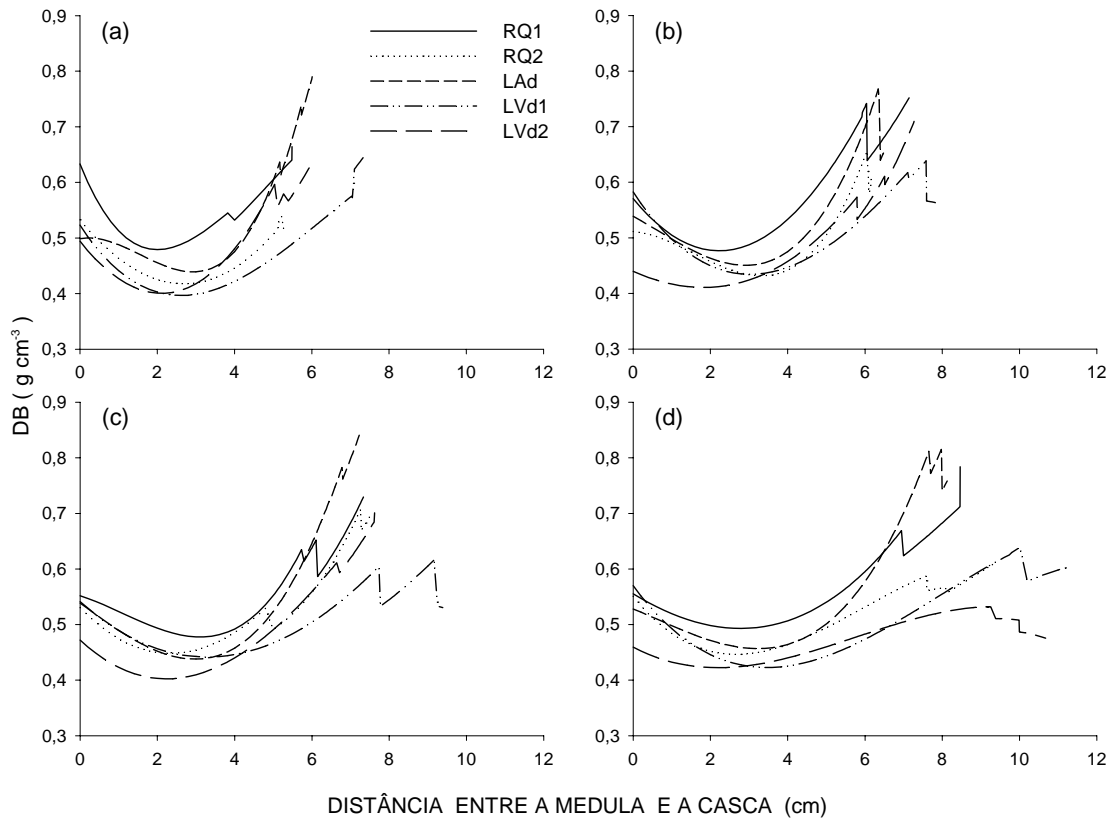


Figura 12 – Variação radial da densidade básica da madeira, avaliada pelo método da densitometria de raio X, para as classes de DAP 1 (a), 2 (b), 3 (c), e 4 (d), nos diferentes tipos de solo
O DAP aumenta da classe 1 para a classe 4

Como verificado, para a produtividade de madeira, os teores de holocelulose e de lignina total relacionaram-se exponencialmente com o teor de argila do solo (Figura 14). O teor de holocelulose aumentou e o de lignina diminuiu com o aumento do teor de argila, característica diretamente relacionada com a disponibilidade de água no solo. Segundo Larcher (1975) e Kozłowski (1982), a disponibilidade de água regula a produção de fotoassimilados, por meio do grau de abertura dos estômatos. Assim, quanto maior a disponibilidade hídrica no solo, maior o metabolismo cambial e maior a produção de fotoassimilados (Kriedemann & Cromer, 1996), como a holocelulose.

A formação de madeira aumenta com a atividade cambial, pois requer maior síntese de vasos xilemáticos e fibras (Ridoutt & Sands, 1994), processo fortemente

influenciado pela disponibilidade de água em árvores de eucalipto (Zahner, 1968). Segundo Kriedemann & Cromer, (1996), a lignina é um componente-chave dos tecidos de transporte de água, portanto de extrema importância para a adaptação da planta ao estresse hídrico. Isso sugere que, em condições de restrição hídrica, deve haver maior produção de lignina, como no presente estudo, tanto para aumentar a condutividade hídrica das árvores (Kriedemann & Cromer, 1996), como para reforçar a estrutura da árvore, protegendo-a da penetração de agentes externos (Davin & Lewis, 2000), como as pragas e as doenças.

As relações observadas entre a disponibilidade de água e as variações nos teores de lignina e holocelulose podem estar associadas ao processo de alongamento celular, o qual é função da capacidade da célula em absorver água para se expandir (Cosgrove, 1997). A lignina formada na parede celular remove água da matriz e constitui uma rede hidrofóbica, que se liga firmemente à celulose e impede a expansão da parede (Cosgrove, 2004). Isso sugere que, quando há água e outras condições favoráveis à expansão da parede celular, a planta deva produzir menos lignina, visando a facilitar o processo de crescimento. De outra forma, em condições de restrição hídrica, a maior produção de lignina pode ser interessante para restringir a expansão da célula e, conseqüentemente, o consumo de água. Depreende-se que a maior ou menor disponibilidade de água e de recursos de crescimento, condicionada pela textura do solo, poderia determinar a síntese de lignina, o alongamento e o espessamento da parede celular, alterando a relação entre a lignina e a holocelulose na madeira.

O rendimento de celulose depurada relacionou-se positiva e exponencialmente com o teor de argila do solo (Figura 15). O rendimento de celulose aumentou até 35 a 40% de argila, repetindo os resultados verificados para o IMA e a massa de lenho. Retief et al. (1997) encontraram relação exponencial entre o rendimento depurado de celulose e o índice de sítio, variável estreitamente relacionada com a qualidade do solo. Estes autores, contudo, não especificaram qual atributo do sítio foi responsável pelo efeito verificado.

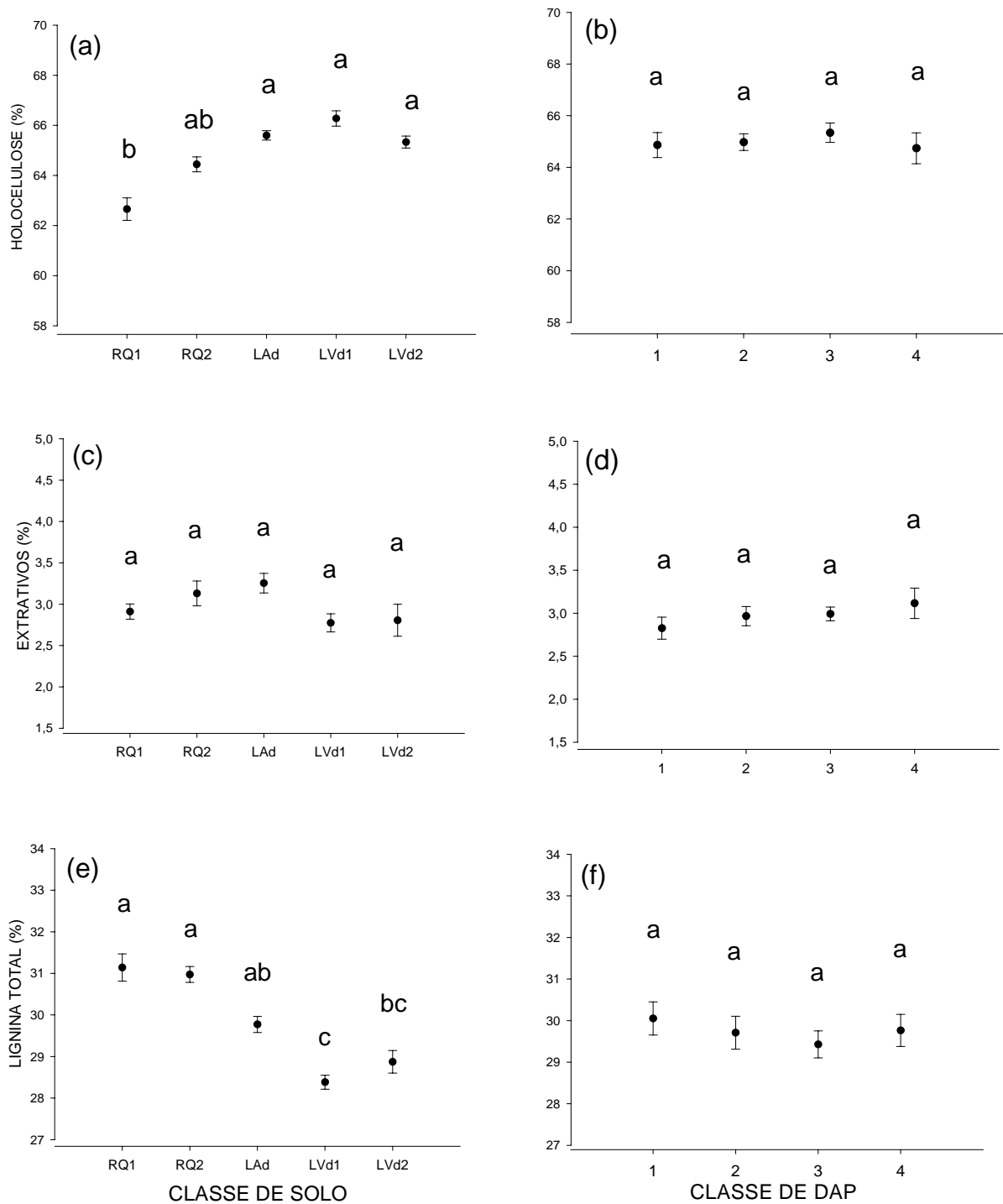


Figura 13 – Valores médios e desvio-padrão dos teores de holocelulose (a e b), de extrativos (c e d) e de lignina total (e e f), respectivamente, conforme as classes de solo e de DAP das árvores. Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade.

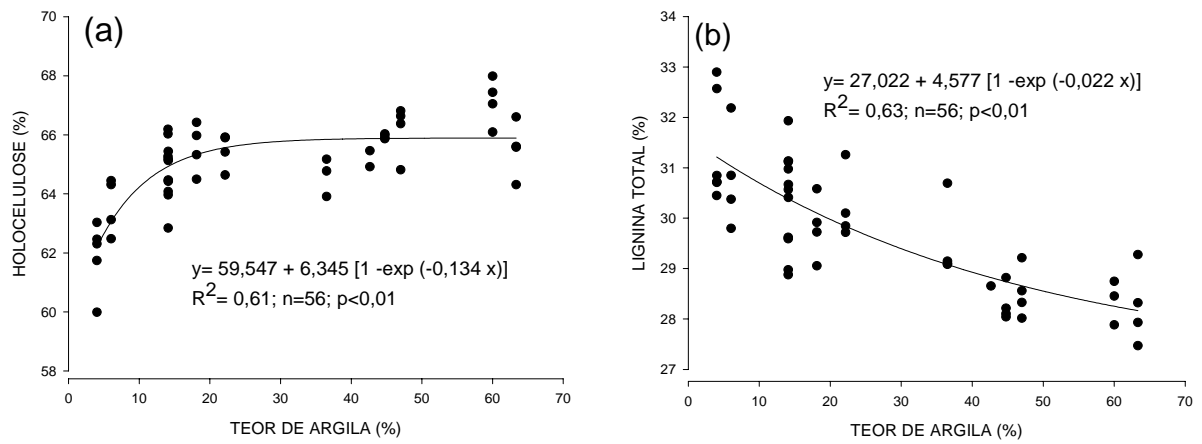


Figura 14 - Relação entre os teores de holocelulose (a) e de lignina total (b) com o teor de argila no solo (camada 0 a 20 cm)

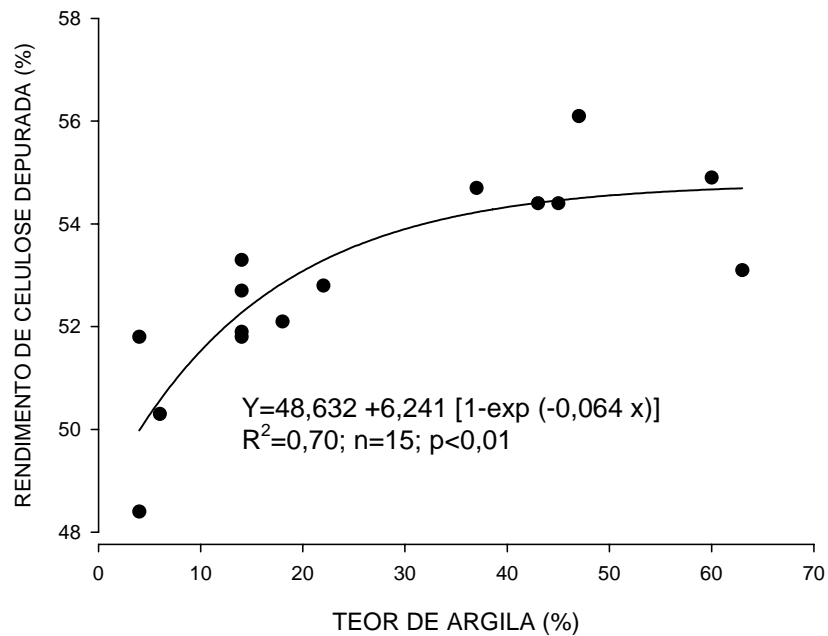


Figura 15 – Relação entre o rendimento de celulose depurada e o teor de argila no solo (camada 0 a 20 cm)

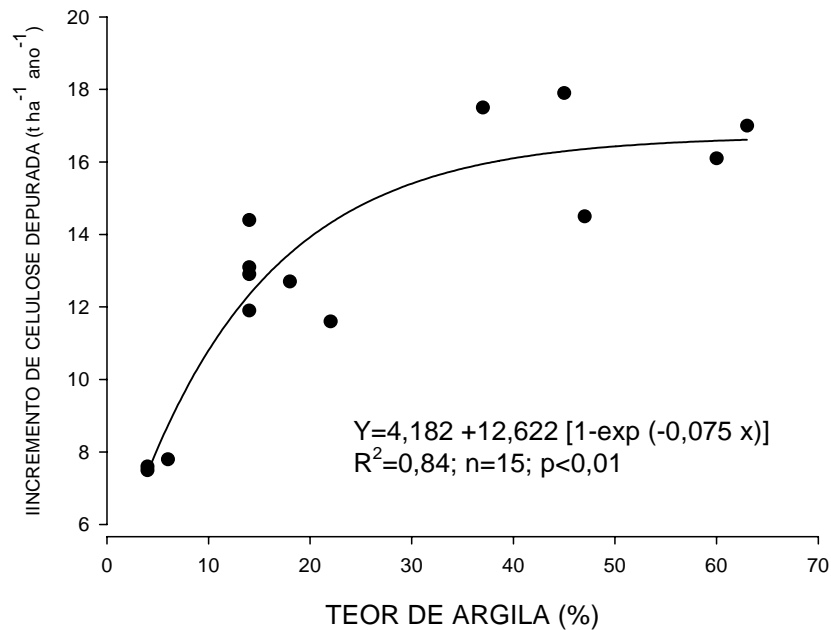


Figura 16 - Relação entre o incremento de celulose depurada e o teor de argila (camada 0 a 20 cm)

O incremento de celulose depurada por hectare (ICD) também se relacionou exponencialmente com o teor de argila (Figura 16). Com base na equação ajustada, constatou-se que os solos de textura argilosa e muito argilosa (teor médio de argila de 47%) produziram, em média 10%, a mais de celulose depurada por hectare do que os solos de textura média (teor médio de argila de 25%), e estes, 55% a mais do que os solos de textura arenosa (teor médio de argila de 8%).

Esse aumento pode ser explicado pelo aumento no teor de holocelulose e pela conseqüente diminuição no teor de lignina, que também se correlacionaram com o teor de argila. De outra forma, o rendimento de celulose depurada não se correlacionou com a densidade básica da madeira e pode ter sido influenciado positivamente pela redução do teor de lignina (Barrichelo & Brito, 1983), com o aumento do teor de argila do solo.

3 CONCLUSÕES

1 Os atributos físicos do solo, sobretudo o teor de argila, diretamente relacionado à quantidade de água disponível, foram os que mais afetaram a produtividade e a qualidade da madeira;

2 A densidade básica da madeira não se alterou nas diferentes classes de solo. Por outro lado, aumentou exponencialmente com o volume das árvores, independentemente do solo em que cresceram;

3 O teor de lignina total diminuiu e o de holocelulose aumentou exponencialmente com o aumento no teor de argila do solo (até cerca de 35 a 40% de argila). O teor de extrativos, no entanto, não foi afetado pelos atributos do solo. Atribuiu-se à compensação entre o aumento do teor de holocelulose e a diminuição do teor de lignina total a não-variação da densidade básica da madeira nos diferentes solos;

4 O rendimento de celulose depurada aumentou exponencialmente com o teor de argila do solo. No solo com textura muito argilosa (LVd2), o rendimento foi 6% maior do que no solo de textura arenosa (RQ).

REFERÊNCIAS

ADÂMOLI, J. Caracterização da região dos cerrados. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1986. p. 33-74.

ALENCAR, G.S.B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada a precocidade na seleção de um híbrido *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla***. 73p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

AMARAL, A.C.B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira**. 155p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* L. segundo a microdensitometria de raios X. **Revista de Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v.6, n.11/12, p.17-23, 1998.

AMARAL, G. **Características químicas e físicas de diferentes classes de solo da zona metalúrgica mineira e produtividade de eucalipto**. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

ANDRADE, A.M; VITAL, B.R.; BARROS, N.F.; 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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA E CELULOSE E PAPEL. **M14-70: Métodos de ensaio**. São Paulo. 1974.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE PAPEL E CELULOSE. **Relatório estatístico florestal**. São Paulo, 2001. 60p.

BALLONI, E.A. Deficiência de boro em povoamentos florestais implantados. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v.5, n.14, p.49-65, 1977.

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

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. Celulose sulfato de madeiras de diferentes espécies de eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v.8, p.734-738, 1983.

BARRICHELO, L.E.G.; FOELKEL, C.E.B. Processo nítrico-acético para maceração de madeiras. **Silvicultura**, São Paulo, v.28, n.28, p.732-733, 1983.

BARRICHELO, L.E.G.; SHIMOYAMA, V.R.S. Importância da adubação na qualidade da madeira e celulose. In: SÁ, M.E.; BUZETTI, S. (Ed.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Cone, 1994. cap.9, p.153-160.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Ed.). **Relação Solo- Eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. cap.4, p.127-186.

BARROS, N.F.; BRAGA, J.M.; BRANDI, R.M.; DEFELIPO, B.V. Produção de eucalipto em solos de cerrado em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista Árvore**, Viçosa, v.5, n.1, p.90-103, 1981.

BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A. Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis*, na região de cerrado, no Estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.26/27, p.17-28, 1993.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis – physical and mineralogical methods**. Madison: America Society of Agronomy, 1986. p.363-375.

BOUVET, J.M.; BOUILLET, J.P.; VIGNERON; P.; OGNOUABI, N. Genetic and environmental effects on growth and wood basic density with two *Eucalyptus* hybrids. In: CONECTERING BETWEEN SILVICULTURE AND WOOD QUALITY THROUGH MODELLING APPROACHES AND SIMULATION SOFTWARE, Johannesburgo, 1999. **Proceedings**. Johannesburgo: s. ed., 1999. p.5-12.

BOWERSOX, T.W.; WARD, W.W. Prediction of oak site in the ride and valley region of Pennsylvania. **Forest Science**, Bethesda, v. 18, n.3, p.192-195, 1972.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.

BRAGA, F.A.; VALE, F.R.; MUNIZ, J.A. Movimentação de nutrientes no solo, crescimento e nutrição mineral do eucalipto, em função de doses de gesso e níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.69-77, 1995.

BRAGA, F.A.; BARROS, N.F.; SOUZA, A.L.; COSTA, L.M. Características ambientais determinantes da capacidade produtiva de sítios cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, n.2, p.291-298. 1999.

BRASIL, M.A.B.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos 5 anos de idade em função do local e do espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p.129-149, 1971.

BRASIL, M.A.B.; VEIGA, R.A.A.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica nas secções transversais do caule da base do tronco para copa de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n.15, p.73-82. 1977.

BRASILEIRO, L.B.; COLODETTE, J.L.; VELOSO, D.P.; Utilização de peróxidos na deslignificação e no branqueamento de polpas celulósicas. **Química Nova**, São Paulo, v.24, p.819-829, 2001.

BRIX, H. Effects of nitrogen fertilization on photosynthesis and respiration in Douglas Fir. **Forest Science**, Bethesda, v.17, p.407-414, 1971.

BUSNARDO, C. A., GONZAGA, J. V., FOELKEL, C. E. B., MENOCELLI, S. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose. IV. Altura ideal de amostragem para avaliação da densidade média para árvores de *E. grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 20, 1987, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABCP, 1987. p.17-33.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Método de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 1986. 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).

CAMPINHOS JUNIOR, E.; CLÁUDIO-DA-SILVA JUNIOR, E. Desenvolvimento do eucalipto no futuro. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 16, 1990, São Paulo. **Anais**. São Paulo: SBS, 1990. p.83-88.

CARPIM, M.A.; SOUZA, B.R.; BARRICHELLO, L.E.G. Comparação das características da madeira de *E. grandis* e *E. saligna* de diferentes procedências. In: CONGRESSO NACIONAL ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 18, São Paulo, 1985. **Anais**. São Paulo: ABCP, 1985. p.57-68.

CARVALHO, C.M.; CORSO, G.M.; VIEIRA, R.A.A.; COUTINHO, C.J.; BAENA, E.S. Aspectos sintomatológicos, morfológicos e anatômicos da deficiência de B em plantações de *Eucalyptus*. In: SYMPOSIUM AND WORKSHOP ON GENETIC, IMPROVEMENT AND PRODUCTIVITY OF FAST GROWING TREE SPECIES, 1980, Águas de São Pedro. **Anais**. Águas de São Pedro: s. ed., 1980. p.8. (mimeografado).

CLARKE, C.R.E. **The estimation of genetic parameters of pulp and paper properties in *E. grandis* Hill ex Maiden and their implications for tree improvement**, 120 p. Thesis (Magister Scientiae) University of Natal, Pietermaritzburg, 1990.

COSGROVE, D.J. Relaxation in a high-stress environment: the molecular bases of extensible cell walls and cell enlargement. **Plant Cell**, n. 9, p. 1031-1041, 1997.

COSGROVE, D.J. Cell walls: structure, biogenesis, and expansion. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Ed.). *Plant Physiology*. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. p. 313-338.

DAVIN, L.B.; LEWIS, N.G. Dirigent proteins and dirigent sites explain the mystery of specificity of radial precursor coupling in lignan and lignin biosynthesis. **Plant Physiology**, Rochville, n. 123, p. 453-461, 2000.

DAVIS, H.P. **Forest management, regulation and evaluation**. New York: Mc. Graw Hill, 1966. 519p.

DELL, B.; MALAJCZUK, N.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1995. 104p.

DEMUNER, B. J.; VIANNA DORIA, E. L.; CLAUDIO-DA-SILVA Jr, E.; MANFREDI, V. As propriedades do papel e as características das fibras de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 1991, São Paulo. **Anais**. São Paulo: SBS, 1991. p.621-640.

DU TOIT, B.; ARBUTHNOT, A.; OSCROFT, D.; JOB, R. A.. The effects of remedial fertilizer treatments on growth and pulp properties of *Eucalyptus grandis* stands established on infertile soils of the Zululand coastal plain. **Southern African Forestry Journal**, Petroria, n.192, p.9-18, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**: São Paulo: EDUSP, 1975. 341p.

EVANS, R.; DOWNES, G.M.; RAYMOND, C.A.; HUDSON, I.L.; DEAN, G.H.; MICHELL, A.J.; SCHIMLEER, L.R.; MUNERI, A. **Sampling plantation *Eucalyptus***. Melbourne: CISRO, 1997. 124p.

FAÇANHA, J.G.V.; OLIVA, M.A. Germinação de *Eucalyptus* spp sob condições de stress hídrico. **Silvicultura**, São Paulo, v.8, n.28, p.276-277, 1983.

FERREIRA, C.A.; FREITAS, M.de; FERREIRA, M.A. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp, em função da idade e qualidade do local. **Boletim informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. b1-b19, nov. 1978.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. **IPEF**, Piracicaba, n.4,p.65-89, 1972.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento da densidade básica da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, v.26, n.20, p.1.14, 1978.

FIETZ, C.R. Efeito variabilidade do armazenamento de água no solo na qualidade da irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.150-153. 1999.

FLORSHEIM, S.M.B.; COUTO, H.T.Z.; SPEGIORIN, L.; ROCHA, F. Variação da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v.12, n.2, p.179-191, 2000.

FOELKEL, C.; ASSIS, T.F. **New pulping technology and *Eucalyptus* wood**: the role of soil fertility, plant nutrition and wood ion content. In: EUCALYPTUS PLANTATIONS: IMPROVING FIBRE YELD AND QUALITY, 1995, Hobart. **Proceeding**. Sandy Bay: Cooperative Research Centre for Temperate Hardwood Forestry, 1995. p.10-13.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G.; MILANEZ, A.F. Estudo comparativo da madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus tereticornis* para a produção de celulose sulfato. **IPEF**, Piracicaba, n.10, p.17-37, 1975.

FOELKEL, C.E.B.; BUSCANARDO, C.A. DIAS, C.; SCHIMIDT, C.; SILVA, R.M.R.; VESZ, J.B.V. Variabilidade radial da madeira de *E. saligna*. **Silvicultura**, São Paulo, v.8, n.28, p.728-791, 1983.

FOTH, H.D. **Fundamentals of soil science**. 7.ed. New York: John Willey, 1984. p.21-62.

FREDDO, A.; FOELKEL, C.E.B.; FRIZZO, S.M.B.; SILVA, M.C.M. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose Kraft branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.9, n.1, p.193-209, 1999.

GALO, M.V. **Resposta do eucalipto à aplicação de potássio em solo de cerrado**. Viçosa, 1993. 40p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

GATTO, A.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; COSTA, L.M.; NEVES, J.C.L. Efeito do método de preparo de solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.5, p.635-46, set/out. 2003.

GAVA, J.L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.11, n.30, p.84-94. 1997.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.L.; LUDWIG, C.H. (Ed.). Lignins. New York: Wiley-Interscience, 1971. p.241-206.

GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, v.47, n.8, p.36-38, 1986.

GONÇALVES, J.L.M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.). Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF, 2002. p.1-45.

GONÇALVES, J.L.M; COUTO, H.T.Z. do; DEMATTÊ, J.L.L. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n.43/44, p.24-39, 1990.

GONÇALVES, T.D. **Mapeamento de solos e de produtividade em plantações de *Eucalyptus grandis* na Estação Experimental de Itatinga, ESALQ, com uso de geoprocessamento.** 47p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GRESPLAN, S.L. Produção e eficiência nutricional de clone de eucalipto e suas relações com características do solo. 81p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

HANNAH, P.R. **Soil-site relationships for white, scotch and red pine plantation in Vermont.** Burlington: University of Vermont; Agriculture Experiment Station, 1971. 27p. (Bulletin, 667).

HIGGS, M.L.; RUDMAN, P. The effects of fertilizing and thinning on wood properties of *E.regnans*. **Appita**, Melbourne, v.27,n.1.p.51-55,1973.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geológico do Estado de São Paulo (Escala 1:500.000)**, v.1 e 2. São Paulo, 1981.

JIAN JU, L.; CAO, L.; LIN, J.A.; SHANHUA, W.; LUO, J.J.; CAO, L.; 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.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory Methods. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis – physical and mineralogical methods**. Madison: America Society of Agronomy, 1986. p. 635-660.

KOZLOWSKI, T.T. Water supply and tree growth: water deficits. **Forestry Abstracts**, Oxford, v.43, p.57-95, 1982.

KRIEDEMANN, P.E.; CROMER, R.N. The Nutritional Physiology of the Eucalyptus Nutrition and Growth. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Ed.). **Nutrition of Eucalypts**. Austrália: CSIRO, 1996. p.109-122.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. New York: Springer-Verlag, 1975. 252p.

LEITE, F.P. Relações hídricas em povoamento de eucalipto com diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, n.1, p.9-16, 1996.

LEVITT, J. Water, radiation, salt, and other stresses. In: LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. 2.ed. New York: Academic Press, 1980. 607p.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Indicadores hidrológicos em áreas florestais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.12, n.31, p.53-64, 1998.

LOPES, A.S. **Solos sob cerrado. Características, propriedade e manejo**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162p.

LOPES, A.S. **Available water, phosphorus fixation, and zinc levels in Brazilian cerrado soil in relation to their physical, chemical, and mineralogical properties**. 189p. Thesis (PhD) – North Carolina State University, Raleigh, 1977.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 319p.

MELLO, H.A. **Efeitos da adubação mineral sobre a qualidade da madeira**. Piracicaba: IPEF;ESALQ, 1968. 16p. (Relatório Técnico).

MELO, V.F.; NOVAIS, R.F; BARROS, N.F.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M. Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. **IPEF**, Piracicaba, n.48/49, p.8-17, 1995.

MIGLIORINI, A.J.; BARRICHELO, L.E.G.; KAGEYAMA, P.Y.; CAMARGO, F.R.A. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden em função de diferentes níveis de produtividade da floresta. In: CONGRESSO ANUAL DA ABPCP, 1988, São Paulo. Trabalhos apresentados. São Paulo: ABPCP, 1988. p.25-36.

QUADROS, R.M.B. **Avaliação nutricional em plantios de *Eucalyptus grandis*, em diferentes solos, no Estado de São Paulo**. 158p. Dissertação (Mestrado em Silvicultura)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

QUEIROZ, S.C.S.; GOMIDE, J.L. Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **O Papel**, São Paulo, v.64, n.5, p.79-84, jun.2003.

PRETTY, K.M. O potássio na qualidade dos produtos agrícolas. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), 1982, p.177-194.

RAIJ, B. VAN.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G. C.; BARROS, N. F. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 9, n. 2, p.149-162, 1985.

RETIEF, R.J; MALE, J.R; MALAN, F.S; DYER, S.T; CONRADIE, D; TURNER, P; HAVENGA, A; GAMA, D. **First report on the effect of site quality on the wood and pulp properties of Eucalyptus grandis clonal material**. Petroria: CSIR, Division of Water, Environment and Forestry Technology, 1997. 39p. Report ENV/P/197045.

RIDOUTT, B.G.; SANDS, R. Quantification of the processes of secondary xylem fibre development in *Eucalyptus globulus* at two height levels. **International Association of Wood Anatomists Journal**, Leiden, n.15, p. 417-424, 1994.

ROCHA, F.T.; FLORSHEIM, S.M.B.; COUTO, H.T.Z.; SPEGIORIN, L. Variação da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos sete anos. In: ENCONTRO SOBRE MADEIRAS E SOBRE ESTRUTURA DE MADEIRA, 2002, Uberlândia. **Anais**. Uberlândia: s. ed., 2002. p.10.

ROCHA, M.G.B.; BRUNE, A.; DELLA LUCIA, R.M. Variação da densidade básica e correlações entre progênies jovens de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, em duas etapas de crescimento. **Revista Árvore**, Viçosa, v.7, n.2, p.154-164, 1983.

SANDS, R.; MULLIGAN, D.R. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.30, p.91-111, 1990.

SANTANA, J.A.S. **Efeitos de propriedades do solo na produtividade de duas espécies de eucalipto na Região do Médio Rio Doce, MG**. 117p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

SAS Institute, 1996. SAS/STAT Software and Enhancement, Release 6.11 Edition. **SAS Institute**, Inc. Cary, NC.

SCATOLINI, F.M.; FIRME, D.J.; GARCIA, C.H.; GOMES, F.P.; CAMARGO, F.R. Parcelamento da adubação potássica em *E. grandis* em áreas de reforma da Votorantim Celulose e Papel (compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO

DE CIÊNCIA DO SOLO, 1996, 13, Águas de Lindóia. **Solo-suelo 96: trabalhos**. Piracicaba: SBCS/SLCS, 1996.

SCHIMMEL, D.S.; PARTON, W.J. Microclimatic controls of nitrogen mineralization and nitrification in shortgrass steppe soils. **Plant Soil**, Dordrecht, v.93, n.3, p.347-357, 1986.

SGARBI, F.; SILVEIRA, R.L.V.A.; BRITO, J.O. Características químicas e físicas e dimensões das fibras da madeira juvenil do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, cultivado na omissão da macronutrientes e boro em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 3, p.323-331, 2000.

SHIMOYAMA, V.R.S.; BARRICHELO, L.E.G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus spp.* In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24, 1991, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABTCP, 1991. p.23-36.

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

SILVA, D.J.; OLIVEIRA, R.C.; COLODETTE, J.L.; GOMIDE, J.L. Impacto da qualidade da madeira na deslignificação, no branqueamento e na qualidade da polpa kraft de eucalipto. **O Papel**, São Paulo, v.58, n.2, p.33-43, fev. 1997.

SILVA JUNIOR, F.G.; GOMES, I.M.B.; BARRICHELO, L.E.G.; ODA, S. Avaliação da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* visando a produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, 1993, Curitiba. **Anais**. São Paulo: SBS/SBEF, 1993. v.2, p.581-585.

SOUZA, V.R.; CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posição em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n.33, p.63-72, 1986.

SPURR, S.H.; BARNES, B.V. **Forest Ecology**. 3.ed. New York: John Wiley, 1980. 687p.

STAPE, J.L.; ZANI FILHO, J. Aumento da produtividade do *E. grandis* em Areias Quartzosas, através da fertilização de manutenção. In: CONGRESSO FLORESTAL

BRASILEIRO, 1990, Campos do Jordão. **Trabalhos**. Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 386-390.

STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; ALBINO, J.C.; MORITA, M. Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.14, p.29-38, 1987.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T264 -om-82**: Test methods. Atlanta, 1992.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n.29, p.37-45, 1985.

VALE, A.T.; MOURA, V.P.G.; MARTINS, I.S.; RESENDE, D.C.A. Densidade básica média em função da profundidade de penetração do pino do "pilodyn" e da classe diamétrica e variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.1, p.80-91, 1995.

VALERI, S.V.; AGUIAR, I.B.; CORRADINI, L.; ALVARENGAS, S.F. The effects of phosphorus and dolomitic lime on the production and volumetric conversion factors of *Eucalyptus grandis* wood. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n.164, p.55-57, 1993.

VALERI, S.V.; ISMAEL, J.J. TORRES, R.M.; CORRADINI, L. Efeito do potássio no crescimento e idade de corte de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em areia quartzosa e latossolo vermelho escuro (compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996, Águas de Lindóia. **Solo-suelo 96: trabalhos**. Piracicaba: SBCS/SLCS, 1996.

VIGNERON, P.; GERARD, J.; BOUVET, J.M. Relationship between basic density and growth in a fertilization trial with clones of *Eucalyptus* hybrids in Congo. In: EUCALYPT PLANTATIONS: IMPROVING FIBRE YIELD AND QUALITY, 1995, Hobart. **Proceedings**. Sand Bay: CRCTHF/IUFRO, 1995. v.1, p. 68-72.

WILKINS, A.P; KITAHARA, R. Silvicultural treatments and associated growth rates, growth strains and wood properties in 12.5-year-old *E. grandis*, **Australian Forestry**, Queen Vitoria, v.54, p. 99-104, 1991.

WRIGHT, J. A. Impact of wood quality assessments on future fibre resources in the pulp and paper-making industry. **South African Forestry Journal**, Petroria, n. 157, p. 96-99, jun. 1991.

ZAHNER, R. Water deficits and growth of trees. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. New York, London: Academic Press, 1968. p. 191-254.

ZOBEL, B.J.; VAN BUIJTENEN, J.P. **Wood variation, its causes and control**. Berlin Heidelberg New York: Springer, 1989. 363p.

ZOBEL, B.J.; JETT, J.B. **Genetics of wood production**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 369p.