

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA- UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM
HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE EUCALIPTO**

**Camila Capodifoglio Rosim
Engenheira Agrônoma**

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA- UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM
HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE EUCALIPTO**

Camila Capodifoglio Rosim

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Cesar de Paula

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas).

Rosim, Camila Capodifoglio
R819e Eficiência de utilização de nutrientes em híbridos interespecíficos
de eucalipto / Camila Capodifoglio Rosim. -- Jaboticabal, 2013
viii, 40 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Rinaldo Cesar de Paula
Banca examinadora: Bruno Ettore Pavan, Gustavo Vitti Moro
Bibliografia

1. Eficiência nutricional. 2. Sustentabilidade. 3. Alocação de
biomassa. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 634.0.2:631.52

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

CAMILA CAPODIFOGGIO ROSIM - nascida em 28 de agosto de 1989 em Pirassununga, SP, é Engenheira Agrônoma formada pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal em fevereiro de 2012. Em março do mesmo ano iniciou o Mestrado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) sendo bolsista da CAPES de Março de 2012 a Agosto de 2013.

O segredo é não correr atrás das borboletas...
É cuidar do jardim para que elas venham até você
(Mario Quintana)

*Ao meu querido pai **Luiz Carlos** e minha mãe **Maria José**, pelo exemplo de vida e luta, por todo amor e apoio em todas as minhas decisões,
e ao meu irmão **Caio**.*

Aos meus avós Juvenal, Catarina e José (in memoriam) e Maria por ensinamentos de tamanha sabedoria.

Aos meus padrinhos Dirce e Sérgio pelo amor e presença em todos os momentos de minha vida.

DEDICO

AGRADEÇO.....

A Deus, pelas bênçãos da vida;

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP/ Jaboticabal, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) e seus docentes pela oportunidade de realização do mestrado e contribuição em minha formação profissional;

Ao Professor Rinaldo Cesar de Paula pela excelente orientação, pela paciência, confiança, dedicação e exemplo de profissionalismo na realização das atividades de ensino e pesquisa;

À Professora Nádia Figueiredo de Paula, por todo auxílio.

Aos companheiros de trabalho Claudia Denise, Tseng Yao Hsing, Hélio Junqueira e João Prieto.

Aos técnicos de laboratório Sidnéia e Mauro por todo o suporte na realização das análises.

Às minhas amigas e companheiras de apartamento Ana Rita e Maria Beatriz pela demonstração de amizade durante nossas rotinas.

Ao meu namorado Luiz Francisco pelo incentivo, companheirismo e compreensão em todos os momentos.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

OBRIGADA!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 O Gênero <i>Eucalyptus</i>	3
2.2 O híbrido <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>	3
2.3 Nutrientes	4
2.4 Eficiência Nutricional	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
4 RESULTADOS E DICUSSÃO	14
4.1 Produção de Biomassa	14
4.2 Teores de Nutrientes	16
4.3 Conteúdo de Nutrientes.....	19
4.4 Eficiência de Utilização de Nutrientes	27
5 CONCLUSÕES	32
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE EUCALIPTO

RESUMO - Este trabalho objetivou avaliar a eficiência de utilização de nutrientes em híbridos interespecíficos de eucalipto como subsídios para o desenvolvimento de programas de melhoramento florestal para áreas com limitações nutricionais. Para isso, foram avaliados cinco clones de híbridos resultantes do cruzamento de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* (C1, C2, C3, C4 e C5), aos 2,25 anos de idade. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas de uma planta ("Single Tree Plot") e 35 repetições. Para este estudo, foram abatidas quatro árvores (repetições) de desempenho médio de cada tratamento (clone), determinando-se a biomassa, os teores, conteúdos e a eficiência de utilização de N, P, K, Ca e Mg no lenho, casca, folhas e galhos. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observou-se que a alocação média de biomassa foi maior para madeira (66,33%), seguida de galhos (13,14%), folhas (11,04%) e casca (9,49%). Em termos gerais, o componente da árvore com maiores teores de nutrientes é a folha e o com menores teores é a madeira, na qual o clone C4 apresentou a maior concentração de K, Ca e Mg. Apesar dos baixos teores de nutrientes no lenho, este componente é responsável pelos maiores conteúdos de P e K, com 45 e 40% da biomassa aérea total, respectivamente. Os clones C2 e C5 destacaram-se pela maior eficiência de utilização de N, P, K, Ca e Mg, na madeira. O uso de clones eficientes na utilização de nutrientes, principalmente no caso das florestas energéticas, é essencial para a sustentabilidade do ecossistema florestal visto que a copa e a casca, em geral, não são mantidas no campo.

Palavras-chave: Eficiência nutricional; sustentabilidade; alocação de biomassa; florestas energéticas; madeira.

NUTRIENT USE EFFICIENCY IN INTERSPECIFIC HYBRIDS OF EUCALYPT

ABSTRACT – This research was carried out to evaluate the nutrient utilization efficiency in interspecific hybrids of eucalypt as subsidies for the development of forest breeding programs for sites with nutrient limitation. For this, were evaluated five clones of interspecific hybrids of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* (C1, C2, C3, C4 and C5). The experimental design was randomized blocks, in a single tree plot with 35 replications. For this study were sampled at 2.25 years old, four trees with medium performance from each treatment (clone), dry samples of the leaves, wood, bark and branches were milled for macronutrients determination. Obtained the concentration nutrient and dry biomass of these components, the content and the nutrient utilization efficiency were calculated. It was observed that the allocation mean was higher for wood biomass (66.33%), followed branches (13.14%), leaves (11.04%) and bark (9.49%). In general, a tree component with higher concentrations of nutrients is the leaf and the lowest content is the wood, that the clone C4 had the highest concentration of K, Ca and Mg. Despite low levels of nutrients in the wood, this component is responsible for the higher contents of P and K, with 45 and 40% of the total aerial biomass, respectively. Clones C2 and C5 have higher N, P, K, Ca and Mg use efficiency in wood. The use of clones with higher nutrient utilization efficiency, especially in energy forests is essential for the forest ecosystem sustainability as the trees canopy and the barks, in general, are not maintained in the field.

Keywords: Nutritional efficiency; sustainability; biomass allocation; energy forests; wood.

1 INTRODUÇÃO

O relatório da FAO (2010) indica expectativa de crescimento populacional da ordem de 34% até 2050. Com isto a demanda por alimentos e produtos de origem vegetal, de uma forma geral, aumentará. Por exemplo, para atender à demanda por alimentos, estima-se que a produção agrícola deverá crescer 70% até meados desse século. Isto também ocorrerá com a demanda por produtos de origem florestal, a exemplo de madeira para produção de energia e celulose. Portanto, além de aumento da produtividade, novas áreas deverão ser incorporadas à produção agrícola, principalmente nos continentes americano e africano. Parte destas áreas são pastagens abandonadas, caracterizadas pelo baixo uso de insumos, solos altamente intemperizados, grau médio a elevado de acidez, níveis tóxicos de Al e baixa disponibilidade de nutrientes (PARENTONI et al., 2011).

No Brasil, tem-se verificado nos últimos anos, aumento na área cultivada com floresta, principalmente com eucalipto. Em 2012, por exemplo, a área de plantios de *Eucalyptus* totalizou 5.102.030 ha, representando crescimento de 4,5% (228.078 ha) em relação a 2011. Este aumento deve-se principalmente, ao estabelecimento de novos plantios para atendimento à demanda futura dos projetos industriais do segmento de papel e celulose (ABRAF, 2013).

As novas áreas de expansão florestal no Brasil, à semelhança das atualmente já ocupadas com plantios de eucalipto, apresentam baixa fertilidade natural dos solos. A fertilização mineral é, portanto, uma prática importante e necessária nos plantios de eucalipto, devendo esta ser ajustada para cada genótipo, de forma a proporcionar alta produtividade pelo menor custo e com menores impactos sobre o ambiente (SILVA et al., 2012), visto que a correção de solos e a adição de fertilizantes é uma prática essencial para garantir a boa produtividade. Não obstante, é de interesse do setor a identificação de genótipos com baixa exigência nutricional, desde que a produtividade não seja prejudicada. Assim, busca-se nos programas de melhoramento florestal a obtenção de genótipos que, além de boa produtividade, apresentem alta eficiência de absorção e de uso de nutrientes.

As florestas de rotações curtas, associadas à elevada utilização de recursos do local tem levantado questões relacionadas ao impacto ecológico das plantações

e a sustentabilidade da produção de madeira pela floresta (STAPE et al., 2004), que é determinada dentre outros fatores, pelo balanço de nutrientes no sistema solo-planta (SANTANA et al., 2008). O eucalipto é o gênero mais plantado nas regiões tropicais, mas a sustentabilidade dessas plantações é uma das grandes preocupações dos pesquisadores, uma vez que estas florestas são normalmente estabelecidas em solos de baixa fertilidade, ocorrendo grandes exportações de nutrientes a cada 6-7 anos com a remoção de biomassa pela colheita florestal (LACLAU et al., 2010). Portanto, o uso de insumos é cada vez maior no setor florestal para equilibrar a saída de nutrientes por época da colheita.

Diante disto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência de utilização de nutrientes em plantas jovens de clones de eucalipto como subsídios para o desenvolvimento de programas de melhoramento florestal para áreas com limitações nutricionais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Gênero *Eucalyptus*

O eucalipto é uma árvore nativa da Austrália, do Timor e da Indonésia,. Os primeiros plantios datam do início do século XVIII, na Europa, na Ásia e na África. Já no século XIX, começou a ser plantado em países como Espanha, Índia, Brasil, Argentina e Portugal (FAO, 1981).

As principais espécies cultivadas atualmente no Brasil incluem o *Eucalyptus grandis*, o *Eucalyptus camaldulensis*, o *Eucalyptus saligna* e o *Eucalyptus urophylla*, entre outras. Além disso, foram desenvolvidos cruzamentos entre as espécies, resultando em híbridos, como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* X *E. urophylla*).

O gênero *Eucalyptus* encontrou, no Brasil, as condições ideais para seu crescimento. A produtividade desses plantios em terras brasileiras chega a ser até dez vezes superior à produção florestal de países como Finlândia, Portugal e Estados Unidos. Em algumas empresas florestais do País, que, na década de 70, produziam uma média de 20 m³/ha/ano, hoje é possível atingir de 40 m³(haano)⁻¹ a 50 m³(haano)⁻¹ com o uso de material genético melhorado e das tecnologias silviculturais atualmente disponíveis. Já não é mais surpresa ver, no Brasil, áreas produzindo em torno de 70 m³/ha/ano. Mesmo em comparação com a Austrália, país de origem da espécie, a produtividade brasileira é muito superior, o que se atribui às nossas condições climáticas e aos investimentos em melhoramento genético e em tecnologias silviculturais (CIB, 2008).

2.2 O híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

As técnicas de produção de mudas de híbridos de eucalipto têm evoluído substancialmente, aumentando a possibilidade de uso de elevado número de material clonal para plantio. Esses clones, no entanto, precisam ser eficientemente avaliados sob disponibilidade limitada de recursos de crescimento, principalmente,

no que se refere a mecanismos eficiência de utilização de nutrientes e tolerância ao déficit hídrico.

No Brasil, especialmente na Região Sudeste, o eucalipto que vem se destacando no cenário silvicultural é o *Eucalyptus urograndis*, desde a década de 1980. O *Eucalyptus urograndis* é um híbrido desenvolvido no Brasil, através do cruzamento do *E. grandis* x *E. urophylla*. O objetivo do cruzamento destas duas espécies é obter plantas com um bom crescimento, características do *E. grandis* e um leve aumento na densidade da madeira e melhorias no rendimento e propriedades físicas da celulose e resistência ao cancro, características do *E. urophylla*. A rusticidade, propriedades da madeira e tolerância ao déficit hídrico do *E. urophylla* também fazem parte deste interesse no cruzamento de *E. grandis* e *E. urophylla* (AGROTECA TANABI, 2008).

A primeira plantação com *E. urograndis* ocorreu no estado do Espírito Santo em 1979, mas foi na década de 1990 que esse híbrido impulsionou o ritmo de crescimento florestal, bem como a qualidade mais homogênea das florestas plantadas (LOPES, 2008). De acordo com Montari (2007), o *E. urograndis* apresenta boas características quanto à adaptação aos diferentes sítios florestais e, além disso, é mais produtivo e apresenta melhor característica da madeira.

2.3 Nutrientes

A produtividade das plantações comerciais de eucalipto no Brasil é bastante variável (15 a 80 m³(haano)⁻¹ de madeira) e dependente da disponibilidade de água e de nutrientes (BARROS; COMEFORD, 2002).

Considerando que o eucalipto é mais comumente plantado para atender finalidades industriais, a grande maioria das áreas de florestamento ocupadas por esta espécie está sobre solos muito intemperizados e lixiviados, portanto, com baixa disponibilidade de nutrientes. Contudo, graças às baixas exigências de fertilidade do solo e também ao programa de melhoramento genético conduzido no Brasil, em que se procura adaptar as espécies às condições edafoclimáticas da região, as florestas de eucalipto têm se mostrado produtivas, mesmo com recomendações de adubação bem abaixo daquelas utilizadas para as culturas agrícolas (GONÇALVES, 1995).

A deficiência mais comum nos diferentes tipos de solo é de nitrogênio (N). A necessidade de um fornecimento contínuo de N à planta reflete um grande paradoxo da natureza, pois, apesar da atmosfera terrestre ser constituída por 78% (v/v) de N₂, este elemento na forma molecular é inaproveitável pelas plantas. A maioria dos organismos vivos somente pode assimilar nitrogênio após a quebra da ligação tripla por oxidação ou redução para formar nitrato (NO³⁻) ou amônio (NH⁴⁺) (MARENCO; LOPES, 2009)

O eucalipto pode responder à fertilização, particularmente com N, aumentando a área foliar, com conseqüente aumento de volume de tronco (SMETHURST et al., 2003). Exceto a seca, nenhuma deficiência é tão dramática em seus efeitos quanto a de N., cujos sintomas são clorose generalizada, hábito estiolado, crescimento retardado e lento. As partes mais maduras da planta são as primeiras a se tornarem afetadas, pois o N transloca-se de regiões mais velhas para as mais jovens, que crescem ativamente (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Depois do N, o fósforo (P) é o elemento que mais limita o crescimento dos vegetais na maioria dos solos. Considerando a baixa fertilidade dos solos florestais, a aplicação de fósforo tem sido essencial para o aumento e manutenção da produtividade das florestas implantadas. O fósforo faz parte estrutural dos ésteres de carboidratos, fosfolípídeos das membranas celulares, coenzimas e ácidos nucleicos (MALAVOLTA et al., 1997).

As plantas absorvem fósforo na forma de H₂PO₄⁻ e HPO₄⁻². Após a absorção, 80 a 90% do fósforo é rapidamente incorporado a compostos orgânicos, principalmente na forma de hexose fosfato e uridina fosfato (MARSCHNER, 1997).

Segundo Silveira e Gava (2004), são necessárias medidas para aumentar a eficiência da adubação fosfatada, como selecionar genótipos mais eficientes na absorção e utilização de fósforo, determinar a dose adequada e econômica em função do tipo de solo (acidez do solo, quantidade e qualidade das argilas) e do material genético, estabelecer a melhor fonte de fósforo em função dos aspectos técnicos e econômicos, determinar a melhor forma e época de aplicação, determinar a resposta à aplicação de fósforo (dose, fonte e forma) em brotação e em florestas deficientes.

Normalmente, o potássio (K) é o segundo ou terceiro nutriente mais acumulado pelo *Eucalyptus*, ficando às vezes abaixo do nitrogênio e do cálcio. Em trabalho realizado por Bellote (1979), a quantidade acumulada de potássio aos 6 anos em *E. grandis* foi de 245 kg ha⁻¹, enquanto que a quantidade dos demais macronutrientes por hectare foi de: 518 kg para Ca; 472 kg para N, 160 kg para S; 125 kg para magnésio e 30 kg para fósforo. Resultados similares foram obtidos por Araújo et al. (2001) para clones de eucalipto na região sul da Bahia, onde a extração de nutrientes aos 7 anos de idade obedeceu a seguinte ordem: Ca > N > K > Mg > P > S.

O potássio não faz parte de nenhum composto orgânico, não desempenhando função estrutural na planta. Um grande número de enzimas é dependente ou ativada pelo potássio, além de estar envolvido da síntese de proteínas (MALAVOLTA et al., 1997). O potássio está envolvido na fotossíntese. Na carência de K, verifica-se redução na taxa fotossintética por unidade de área foliar, e também maior taxa de respiração. A combinação desses fatores pode reduzir as reservas de carboidratos da planta (PRETTY, 1982). Um suprimento inadequado de potássio também faz com que os estômatos não se abram regularmente, podendo ocorrer menor assimilação de CO₂ nos cloroplastos, diminuindo conseqüentemente a taxa fotossintética. O decréscimo da fotossíntese em condições de estresse hídrico é menor quando as plantas estão bem supridas de potássio (MARSCHNER, 1997).

Em trabalho realizado em cinco sítios florestais do estado de São Paulo (Angatuba, Itapetininga, Paraibuna, São Miguel Arcanjo e São José dos Campos), foi constatado que os nutrientes mais limitantes à produtividade no próximo ciclo seriam o potássio e o cálcio. Em todos esses sítios, com exceção de São José dos Campos, o conteúdo de potássio disponível no solo não seria suficiente para um número médio de cortes superior a 2, ou seja, aproximadamente 13 anos (SILVEIRA; GAVA, 2004).

A adubação potássica na maioria dos solos florestais é essencial, uma vez que esses solos são altamente intemperizados e caracterizados por baixo conteúdo trocável de K, textura arenosa, baixo teor de matéria orgânica e baixa capacidade de troca catiônica. Isso faz com que o efeito residual da adubação seja pequeno,

havendo a necessidade de várias aplicações durante o ciclo de produção (SILVEIRA; GAVA, 2004).

O cálcio tem função estrutural, sendo que mais de 70% do Ca está presente na parede celular. É também responsável pelo maior alongamento das raízes e maior integridade da membrana celular, confere maior resistência a pragas e doenças e propicia maior teor de lignina.

As concentrações de Ca nas folhas de um clone de *E. grandis* x *E. pellita* se correlacionaram positivamente tanto com a altura quanto com o DAP. Essa relação confirma o papel do Ca na manutenção da integridade funcional da plasmalema e a importância desse nutriente para o desenvolvimento da árvore (MATOS et al., 2012), uma vez que segundo Faria et al. (2002) o Ca é o elemento em maior quantidade no tronco.

O magnésio tem função estrutural como átomo central da molécula da clorofila, com importante papel em várias das reações da fotossíntese e ativa mais enzimas que qualquer outro nutriente mineral. Os nutrientes cálcio e magnésio são mais lentos e fixos na planta e acabam ficando mais nos restos vegetais, concentrando-se na serapilheira das florestas de eucalipto, visto que a casca, galhos e folhas, em geral, são mantidos no campo após a operação de colheita da madeira (HIGASHI; SILVEIRA, 2004).

Considerando as médias das concentrações foliares de nutrientes, os clones de *Eucalyptus* apresentaram a seguinte ordem decrescente para os macronutrientes: N > K > Ca > Mg > P (MATOS et al., 2012). Este padrão foi semelhante ao encontrado por Macedo et al. (1996) para oito espécies de *Eucalyptus* com 36 meses de plantadas em Cuiabá, Mato Grosso.

2.4 Eficiência Nutricional

Existem diversos conceitos para eficiência nutricional de plantas. Enfatizando a produtividade, eficiência nutricional pode ser definida como a capacidade da planta em produzir alto rendimento em um meio que possua características que afetem diretamente a produção-padrão (MACHADO et al., 2001). Já sob ponto de vista do requerimento interno de determinado nutriente na planta, geralmente a eficiência é

conceituada como a biomassa produzida por unidade de nutriente aplicada no solo, que depende de dois componentes principais: a eficiência de aquisição e a eficiência de utilização (BAILIAN et al., 1991). O primeiro componente depende das eficiências de absorção e de enraizamento. Já o segundo componente depende das eficiências de translocação e de conversão em biomassa.

Para a caracterização da eficiência de utilização de nutrientes, um índice bastante aceito foi proposto por Siddiqi e Glass (1981), através da equação: (matéria seca produzida)² (unidade do nutriente absorvido)⁻¹. Deste modo, reúne-se num mesmo indicador eficiência de utilização e o crescimento. O uso deste índice para classificação de genótipos para eficiência nutricional evita que plantas eficientes, mas de baixa produção de biomassa sejam selecionadas. Do ponto de vista fisiológico, a eficiência de uso de nutrientes tem sido definida como a produção de matéria seca (produtividade primária líquida) por unidade de nutriente acumulada pela planta. Porém, sob o enfoque agrônomico, tem-se considerado apenas a biomassa de um produto ou compartimento da planta dividido pela quantidade de nutriente acumulado pela planta e, nestas situações o termo coeficiente de uso biológico de nutriente (CUB) tem sido considerado mais apropriado. Além destas, outras maneiras de cálculo para a eficiência de uso de nutrientes podem ser encontradas (FAGERIA, 2000).

Procurando elevar a sustentabilidade do ecossistema florestal, a partir da década de 90, diversos programas de melhoramento genético de *Eucalyptus* spp no Brasil passaram a considerar a eficiência de uso de nutrientes como critério para a seleção de genótipos superiores, além da produtividade, da qualidade da madeira, da forma da árvore e da resistência a doenças (SANTANA et al., 2000). A sustentabilidade do ecossistema florestal depende, entre outros fatores, da estabilidade no balanço de nutrientes a curto, médio e longo prazo. Em função disso, práticas de manejo que tornem as plantas mais eficientes no uso de água e nutrientes são cada vez mais importantes para se manter a capacidade produtiva do sítio florestal ao longo das rotações (ALMEIDA, 2009).

Devido às diferenças genotípicas que podem ocorrer e à interação genótipo-ambiente, a capacidade de absorção, transporte e utilização dos nutrientes pelas plantas podem alterar-se (MARSCHNER, 1997). Portanto, cada genótipo tem

habilidade diferenciada de uso dos nutrientes absorvidos (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000). A eficiência de utilização de nutrientes (EUN) pode variar à medida que a disponibilidade de nutrientes no solo se altera; em geral, maior EUN pela planta ocorre com a redução da disponibilidade dos nutrientes no solo (BARROS, 1986).

Em decorrência da menor disponibilidade de K e P no solo, em determinados sítios esses nutrientes foram utilizados com maior eficiência na produção de madeira e, para os sítios com os maiores teores do elemento no solo, verificou-se maior acúmulo de K e P na parte aérea, o que resultou em menores coeficientes de utilização biológica - CUB (MELO et al., 1995). Gonçalves e Mello (2005) sugerem que em condições de menor disponibilidade de água e nutriente a densidade de raízes finas seria ampliada, permitindo que um maior volume de solo fosse explorado, aumentando a aquisição de água e nutrientes pelas árvores.

No caso das florestas energéticas, que são plantações caracterizadas por um ciclo muito curto (2 a 4 anos) com objetivo final de exploração das árvores inteiras, ou seja, tronco, folhas, galhos e, às vezes, até raízes, o manejo intensivo dessas florestas pode aumentar significativamente a produção de biomassa, mas ao mesmo tempo provocar maior remoção de nutrientes do sítio (POGGIANI et al., 1979).

Considerando que a correção de solos e a adição de fertilizantes é uma prática essencial para garantir a boa produtividade, é de interesse do setor florestal a identificação de genótipos com baixa exigência nutricional, desde que a produtividade não seja prejudicada. Assim, como comentado anteriormente, buscase nos programas de melhoramento florestal a obtenção de genótipos que, além de boa produtividade, apresentem alta eficiência de absorção e de uso de nutrientes (TOMAZ; AMARAL, 2008).

A busca por maior produtividade no setor florestal tem demandado pesquisas à procura de materiais genéticos mais produtivos e adaptados às diferentes condições ambientais. Frequentemente, as plantas se encontram sob condições desfavoráveis ao seu desenvolvimento, sendo que a intensidade e os efeitos prejudiciais às mesmas dependerão da duração (FLEXAS et al., 1999) e da severidade dessas condições (FLEXAS et al., 2002), do estágio de desenvolvimento e do genótipo utilizado. (TARDIEU; SIMONNEAU, 1998), dentre outros fatores.

Dos fatores ambientais que podem ocasionar estresse em uma planta tais como radiação solar, disponibilidade hídrica e temperatura, a água é o mais limitante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (PAIVA et al., 2005), visto que sua deficiência ocasiona também, indisponibilidade de nutrientes do solo para as plantas. Segundo Flexas et al. (2002), o estresse hídrico é a principal causa de perdas na produtividade agrônômica e florestal. Contudo, em campo os fatores estressantes não ocorrem isoladamente, mas associados a outros, tornando complexa a resposta das plantas e dificultando o estudo dos seus efeitos. Neste sentido, a disponibilidade hídrica no solo é fator primordial para extração de nutrientes, e tem maior importância em nutrientes absorvidos pelo mecanismo de fluxo de massa, como o N (SGARBI, 2002).

Queiroz et al. (2009), trabalhando com plantio de sete materiais genéticos de eucalipto aos 18 meses de idade no Rio de Janeiro, observaram que *Eucalyptus urophylla*, *E. grandis* e o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* destacaram-se quanto ao crescimento e estabelecimento no campo em detrimento de *E. camaldulensis*, *E. saligna*, *E. pellita* e *Corymbia citriodora*. Segundo esses autores as maiores concentrações foliares de macronutrientes foram encontradas para *E. grandis*. Para Wadt et al. (1999) diferenças nutricionais entre espécies sobre as mesmas condições climáticas e de fertilidade do solo são atribuídas às particularidades nutricionais de cada material genético, que podem estar relacionadas a diferentes eficiência de utilização e capacidades de absorção de nutrientes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em 27 de abril de 2010, em área localizada a 21°13'55" S e 48°16'48" O e altitude média de 604 m no município de Jaboticabal-SP, com cinco híbridos comerciais de eucalipto, resultantes de cruzamento entre *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* (C1, C2, C3, C4 e C5). O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com parcelas de uma planta ("Single Tree Plot") e 35 repetições, no espaçamento de 3,5 x 2 m. Segundo a classificação climática de Köeppen o clima é de transição entre os tipos CWA (quente e inverno seco) e AW (tropical de inverno seco), com valores médios anuais de precipitação de 1425 mm, temperatura de 22,2 °C e 75% de umidade relativa. de acordo com VENTURA et al. (1965/66). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, típico, textura argilosa (SOUSA NETO et al., 2008). O preparo do solo constituiu da eliminação da cultura anterior, gradagem e abertura de sulcos. Após a análise química do solo (Tabela 1), realizou-se a adubação de plantio que consistiu na aplicação de 100 g de superfosfato simples por planta. Aos 180 dias após o plantio aplicou-se em cobertura, 50 g de cloreto de potássio e 50 g de ureia por planta.

Tabela 1. Resultados da análise química de uma amostra composta de solo (0 – 20 cm) coletado no local do experimento.

pH (CaCl ₂)	MO (g.dm ⁻³)	P resina (mg.dm ⁻³)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	T	V
			(mmol.c.dm ⁻³)							%
6,5	17	29	1,4	44	24	12	0	69,0	81,0	85

Para este estudo foram amostradas, aos 2,25 anos de idade, quatro árvores (repetições) de desempenho médio de cada tratamento (clone), determinado a partir da avaliação do diâmetro à altura do peito (DAP, 1,30 m do solo) de todas as árvores do experimento. Estas árvores foram abatidas e os componentes de tronco (casca e lenho), galhos e folhas foram separados e, ainda no campo determinou-se a biomassa fresca total de galhos e folhas, separadamente, e amostras destes componentes foram retiradas e acondicionadas em sacos de plásticos hermeticamente fechados, e conduzidas ao laboratório onde foram novamente

pesadas (biomassa fresca da amostra) e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada, a 65 °C por 96 h, para determinação da biomassa seca das amostras. De posse destes valores, por regra de três, obteve-se a biomassa seca total de folhas e galhos. Ainda no campo, após o abate das árvores, determinou-se o comprimento do fuste até o diâmetro mínimo de 4 cm com casca e, posteriormente o fuste foi seccionado de metro em metro, e tomadas as medidas de diâmetro com e sem casca, para a cubagem rigorosa. O volume do fuste com e sem casca foi obtido pelo uso da formula de Smallian (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2006):

$$V_{fuste} = \frac{\pi}{8} \cdot l \cdot \left[\sum d_e^2 + 2 \left(\sum d_i^2 \right) \right] + \frac{\pi}{8} \cdot l_n \cdot (d_{n-1}^2 + d_n^2),$$

Em que:

d_e = diâmetro nas extremidades (ou externos, ou extremos);

d_i = diâmetros internos (ou intermediários)

l = comprimento dos toretes (1 m)

l_n = comprimento do último torete.

Posteriormente, amostras de discos com casca foram retiradas na posição do DAP e na base (0%), a 25, 50, 75 e 100% do comprimento do fuste. Destes discos foi separada a casca e retirada uma cunha do lenho para a determinação da densidade básica. Tanto a densidade básica da casca quanto a da madeira foram determinadas pelo método da imersão em água, seguindo as recomendações de Vital (1984). Uma vez determinadas a densidade básica da casca e da madeira, e o volume do fuste com e sem casca, determinou-se a biomassa seca de madeira e da casca. Para a determinação dos nutrientes, amostras de folhas, madeira, galhos e cascas após secas a 65 °C, até massa constante, foram moídas e cada árvore (repetição) deu origem a duplicatas, no caso da determinação do nitrogênio (N), e triplicatas para a determinação dos demais nutrientes.

O teor de N foi obtido através do método de digestão sulfúrica com sais catalisadores. Para quantificação de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio

(Mg), as amostras moídas foram submetidas à digestão nítrico-perclórica. O método utilizado para obtenção dos teores de P foi o de Colorimetria do metavanadato (fósforo total) e os teores de K, Ca e Mg por absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1997).

Com os dados dos teores de nutrientes e da biomassa seca de folhas, galhos, madeira e casca obteve-se o conteúdo (teor x biomassa) e a eficiência de utilização de nutrientes nestes componentes das árvores pelo método de Siddiqi e Glass (1981), através da equação: (matéria seca produzida)² (unidade do nutriente absorvido)⁻¹

Os dados foram submetidos à análise de variância, no delineamento de blocos ao acaso e as médias de clones comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando o software Sisvar (FERREIRA, 2000). Os dados foram transformados em $X^{0,5}$ para atendimento a normalidade, mas nas tabelas são apresentadas as médias originais (sem transformação).

Adicionalmente, com base no espaçamento de plantio e na conteúdo de nutriente por árvore, foram construídos gráficos de acúmulo de nutrientes na parte aérea (kg ha^{-1}) e da retenção (%) de nutrientes nos compartimentos da parte aérea (folhas, lenho, galhos e casca). De posse dos conteúdos de nutrientes por hectare, calculou-se a relação (%) de nutrientes no caule em relação a parte aérea e da casca em relação ao lenho. De forma semelhante, obteve o acúmulo de nutrientes (kg ha^{-1}) nos diferentes compartimentos da parte aérea, bem como a relação (%) dos nutrientes nestes diferentes compartimentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de Biomassa

Os clones C2, C4 e C5 produziram mais biomassa de madeira, de folhas e de casca que os clones C1 e C3, porém não houve diferenças entre os clones quanto à biomassa de galhos (Tabela 2). Na idade de avaliação (2,25 anos) a produtividade média da parte aérea dos cinco clones foi de 65,97 Mg ha⁻¹, cuja alocação média de biomassa foi maior para madeira (66,33%), seguida de galhos (13,14%), folhas (11,49%) e casca (9,49%). Os clones C2, C4 e C5 que alocaram biomassa de forma mais equilibrada entre galhos e folhas também alocaram maior proporção de biomassa para a madeira. O C1 e C3, com quase 20% de biomassa alocada para os galhos, apresentaram menor alocação para a madeira (60,46% e 60,98%, respectivamente). Por outro lado, o C1 é o que tem menor percentual de casca, 6,76%, contra 10,41% do C2.

Tabela 2. Biomassa seca (kg árvore⁻¹) de folhas, lenho, galhos e casca de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, aos 2,25 anos de idade.

Clones	Folha		Lenho		Galho	Casca	
C1	4,1	b	18,6	b	6,0	2,1	b
C2	5,7	a	38,7	a	5,5	5,8	a
C3	3,5	b	20,5	b	6,4	3,3	b
C4	6,0	a	33,8	a	6,5	5,2	a
C5	6,2	a	41,6	a	6,0	5,5	a
F	30,2**		19,6**		0,2 ^{ns}	21,7**	
CV%	4,6		8,1		17,6	8,7	
Média	5,1		30,6		6,1	4,4	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); ^{ns} - não significativo ($p \geq 0,05$). ** - significativo ($p < 0,01$), pelo teste F.

A alocação de biomassa nos diferentes componentes de árvores de *E. grandis*, no estado do Rio de Janeiro, aos 6 anos de idade e no espaçamento de 3 x 2 m, foi de 3,87% nas folhas, 5,26% nos galhos, 11,78% na casca e 79,09% no lenho (ZAIA; GAMA-RODRIGUES, 2004). A produtividade de sete híbridos de eucalipto no estado de Pernambuco, foi em média 88 Mg ha⁻¹ aos 4,5 anos de idade,

no espaçamento 3 x 2 m, sendo 70% desta biomassa alocada no lenho, 13% nos galhos, 9% na casca e 8% nas folhas (ALVES et al., 2007). A biomassa da parte aérea do povoamento de *Eucalyptus globulus* no Rio Grande do Sul aos 4 anos de idade e espaçamento 3 x 2 m foi de 83,2 Mg ha⁻¹, sendo 69% alocada no lenho, seguido de folhas, ramos e casca (SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001). Em estudo de monitoramento do acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis*, plantado no cerrado, Reis et al. (1985) relataram que na fase inicial de desenvolvimento do povoamento (15 meses de idade), a biomassa contida nos componentes madeira e casca era inferior a 45% da biomassa aérea total. Com o tempo esses componentes apresentaram crescente contribuição, até atingirem mais de 85% da biomassa aérea total, aos 73 meses de idade. Schumacher, Witschoreck e Calil (2011) também observaram que a alocação da biomassa de madeira, aos 2 anos de idade era 47% da biomassa total e na idade de 8 anos a mesma chegava a 74,4%. No mesmo trabalho, concluiu-se que a tendência de acúmulo de biomassa na madeira em função da idade das árvores quando realizada em florestas jovens, antes de 6 anos de idade, acarreta perda significativa no rendimento de madeira.

A biomassa foliar de *Eucalyptus* atingiu o pico aos dois anos após o plantio e cerca de 80% do incremento anual de biomassa foi acumulada no caule a partir de dois anos de idade (LACLAU et al., 2010). Um pico de biomassa foliar é classicamente observado em torno de dois anos de idade em plantações tropicais e subtropicais de eucalipto (ALMEIDA et al., 2007; du TOIT, 2008).

Durante a fase inicial do desenvolvimento de uma árvore, grande parte dos carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Posteriormente, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa de caule aumenta e a de folhas e ramos diminui, gradativamente (LARCHER, 2000). A distribuição de carboidratos e o padrão de crescimento estrutural dos diferentes componentes de uma árvore podem ser distintos em função dos fatores edafoclimáticos do sítio (KIMMINS, 1987), da espécie e da densidade de plantio (SCHUMACHER; WITSCHORECK; CALIL, 2011).

4.2 Teores de Nutrientes

Nas Tabelas 3, 4, 5 e 6 encontram-se os resultados das análises de variância e testes de médias para os teores de nutrientes nas folhas, lenho, galhos e casca dos cinco clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, respectivamente.

Quanto aos teores foliares (Tabela 3), não houve diferenças entre os clones apenas para Ca e Mg. Para os demais nutrientes, os clones apresentaram comportamentos diferenciados entre si conforme o nutriente considerado, sendo que os clones 2 e 3 se destacaram como de maiores teores foliares para N, P e K. Assim, o clone 1 apresentou o menor teor de N dentre os cinco clones; para o P o clone 2 foi superior aos clones 1 e 5, porém não houve diferenças do clone 1 em relação aos clones 3 e 4, assim como os clones 1, 3, 4 e 5 não diferiram entre si. O estado nutricional dos clones de eucalipto aos 18 meses de idade no nordeste do Pará, avaliados pela concentração de nutrientes foliares, variou em função do material genético, segundo o trabalho realizado por Matos et al. (2012).

Os teores foliares de N, P, K, Ca e Mg foram 11,50; 1,29; 9,90; 8,70 e 3,90 g kg⁻¹, respectivamente aos 3 anos de idade em *E. grandis* e 11,50; 1,33; 8,70; 7,50 e 4,30 g kg⁻¹ para *E. urophylla* (MACEDO et al., 1996). Segundo Zaia e Gama-Rodrigues (2004), o teor de N, P, K, Ca e Mg em *E. grandis* aos 6 anos de idade foram, respectivamente, 16,60; 9,00; 8,80; 7,00 e 2,50 g kg⁻¹. Para Gonçalves (1995) o teor de N, P, K, Ca e Mg em plantas adultas é considerado adequado quando situado entre 13,50 e 18,00; 0,90 e 1,30; 9,00 e 13,00; 6,00 e 10,00; 3,50 e 5,00 g kg⁻¹, respectivamente. Portanto, com base nestes trabalhos, pode-se considerar que os resultados aqui obtidos, enquadram-se na faixa de teores adequados.

O teor de K, Ca e Mg no lenho foi significativamente diferente entre os clones, sendo que o C4 apresentou, em termos absolutos, a maior concentração desses nutrientes enquanto que para os demais nutrientes, não foi possível diferenciar os clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. Assim, o clone 4 apresentou teor de K no lenho superior aos clones 1 e 3, não havendo diferenças entre os demais clones; para o Ca, o menor teor foi observado no clone 2; para o Mg o clone 4 apresentou teor superior aos clones 1, 2 e 5, não havendo diferenças entre os demais clones (Tabela 4).

Tabela 3. Teores de nutrientes (g kg^{-1}) em folhas de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clone	N		P		K		Ca		Mg
C1	16,64	b	1,50	b	9,92	a	8,92	3,32	
C2	20,19	a	1,79	a	9,07	ab	8,05	3,30	
C3	19,77	a	1,61	ab	9,62	ab	7,62	3,32	
C4	20,26	a	1,65	ab	7,47	c	7,05	3,25	
C5	19,70	a	1,45	b	8,22	bc	7,77	3,85	
F	10,4**		4,6*		7,9**		0,9 ^{ns}	2,3 ^{ns}	
CV%	2,5		3,8		4,1		9,1	4,7	
Média	19,32		1,60		8,86		7,88	3,41	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); ^{ns} - não significativo ($p \geq 0,05$); * e ** - significativos, respectivamente ($p < 0,05$) e ($p < 0,01$), pelo teste F.

Tabela 4. Teores de nutrientes (g kg^{-1}) no lenho de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clones	N		P		K		Ca		Mg
C1	0,57	0,45	1,72	b	0,96	a	0,31	b	
C2	0,59	0,44	1,96	ab	0,43	b	0,22	b	
C3	0,62	0,49	1,89	b	0,91	a	0,33	ab	
C4	0,82	0,40	2,42	a	1,32	a	0,44	a	
C5	0,57	0,34	2,04	ab	0,84	a	0,27	b	
F	1,3 ^{ns}	1,9 ^{ns}	6,0**		9,2**		9,0**		
CV%	14,8	9,4	5,2		12,6		8,5		
Média	0,63	0,42	2,01		0,89		0,31		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); ^{ns} - não significativo ($p \geq 0,05$); ** - significativo ($p < 0,01$), pelo teste F.

Tabela 5. Teores de nutrientes (g kg^{-1}) nos galhos de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clones	N		P		K		Ca		Mg
C1	2,39	a	0,68	ab	3,79	4,05	ab	0,87	
C2	1,48	b	0,80	a	3,82	3,40	b	0,93	
C3	2,06	ab	0,62	ab	3,42	5,10	a	0,81	
C4	2,01	ab	0,55	ab	3,34	4,31	ab	0,91	
C5	1,96	ab	0,52	b	3,42	4,47	ab	0,59	
F	2,9 ^{ns}		4,1*		0,2 ^{ns}	3,5*		2,2 ^{ns}	
CV%	9,9		8,6		13,7	7,9		11,7	
Média	1,98		0,63		3,56	4,27		0,82	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); ^{ns} - não significativo ($p \geq 0,05$); * - significativo ($p < 0,05$), pelo teste F.

Tabela 6. Teores de nutrientes (g kg^{-1}) na casca de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clones	N		P		K		Ca		Mg	
C1	2,68	a	0,93	a	4,65	bc	18,88	a	3,78	a
C2	2,32	ab	0,63	ab	6,55	a	12,46	b	3,31	a
C3	2,31	b	0,93	a	4,22	c	16,49	ab	3,30	a
C4	2,18	b	0,80	ab	5,56	ab	14,22	ab	3,86	a
C5	1,78	c	0,56	b	5,77	ab	13,14	ab	2,25	b
F	18,5**		5,9**		9,6**		4,2*		9,5**	
CV%	3,4		9,2		5,6		8,4		6,6	
Média	2,25		0,77		5,35		15,04		3,30	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); * e ** - significativos, respectivamente ($p < 0,05$) e ($p < 0,01$), pelo teste F.

Quanto ao teor de nutrientes nos galhos (Tabela 5), o clone 1 diferiu do clone 2 devido ao teor mais elevado de N. O clone 5 apresentou teor de P inferior ao clone 2, sem diferenças entre os demais clones. O clone 2 apresentou teor de Ca inferior ao clone 3, sem diferenças entre os demais clones.

Os clones diferiram quanto aos teores de N, P, K, Ca e Mg na casca (Tabela 6), com destaques para o clone 5 que apresentou o menor teor de N e de Mg e estando entre os clones de menores teores de P, o clone 3 que encontra-se entre os de menores teores de K e para o clone 1, que esteve dentre os de maiores teores de N, P, Ca e Mg.

Em termos gerais, o componente da árvore com maiores teores de nutrientes é a folha e o com menores teores é a madeira. Já os galhos e cascas possuem valores considerados intermediários. A tendência de maior concentração da maioria dos nutrientes nas estruturas mais novas da planta é devida às folhas possuírem maior atividade metabólica. Além disso, nessas regiões é que se encontram a maioria das células vivas, responsáveis pela fotossíntese e pela transpiração (VIERA, 2012). Esta tendência, também, foi observada no presente estudo, com exceção do Ca e do Mg que, em geral, acumula-se em maior quantidade na casca.

4.3 Conteúdo de Nutrientes

Os resultados das análises de variância e testes de médias para os conteúdos de nutrientes nas folhas, lenho, galhos e casca dos cinco clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, encontram-se nas Tabelas 7, 8, 9 e 10, respectivamente.

Os clones C2, C4 e C5 apresentaram conteúdos de N e P superiores aos observados para os clones 1 e 3. Também, o clone 5 encontra-se entre os de maiores conteúdos de Mg (Tabela 7). Por outro lado, os clones 3 e 1 encontraram-se entre aqueles de menores conteúdos nas folhas, para a maioria dos nutrientes. Associando-se estes resultados com os de produção de biomassa (Tabela 2) e de teores de nutrientes nas folhas (Tabela 3), verifica-se que os clones 2, 4 e 5, em geral, foram os que produziram maior biomassa de folhas e apresentaram os maiores teores de nutrientes neste compartimento da árvore.

De maneira geral, os clones C2, C4 e C5 que produziram mais biomassa de madeira (Tabela 2) também apresentaram os maiores conteúdos de nutrientes no lenho (Tabela 8). Também, de forma geral, os clones C2, C4 e C5 obtiveram maior conteúdo de nutrientes na casca (Tabela 10), quando comparados com C1 e C3.

Tabela 7. Conteúdo de nutrientes (g planta⁻¹) em folhas de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clones	N		P		K		Ca		Mg	
C1	67,67	b	6,07	b	40,49	bc	36,18	ab	13,44	c
C2	115,82	a	10,28	a	52,00	a	46,07	a	18,94	b
C3	68,84	b	5,58	b	33,55	c	26,73	b	11,59	c
C4	122,62	a	9,89	a	44,84	ab	42,28	a	19,51	ab
C5	121,63	a	8,93	a	50,59	a	48,02	a	23,74	a
F	29,0**		66,0**		12,9**		6,2**		30,7**	
CV%	5,6		3,4		4,9		9,2		5,2	
Média	99,32		8,15		44,29		39,86		17,44	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); ** - significativo ($p < 0,01$), pelo teste F.

Tabela 8. Conteúdo de nutrientes (g planta⁻¹) no lenho de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clones	N		P		K		Ca		Mg	
C1	10,78	b	8,50	b	32,14	b	17,95	b	5,78	c
C2	23,07	ab	17,47	a	75,74	a	16,50	b	8,57	bc
C3	12,68	ab	9,96	b	38,05	b	18,05	b	6,77	bc
C4	27,77	a	13,50	ab	82,19	a	45,74	a	15,03	a
C5	23,44	ab	14,42	ab	85,21	a	34,87	a	11,51	ab
F	5,1*		5,9**		26,8**		11,1**		11,4**	
CV%	17,8		11,8		8,5		14,3		11,6	
Média	19,55		12,73		62,66		26,62		9,53	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); * e ** - significativos, respectivamente ($p < 0,05$) e ($p < 0,01$), pelo teste F.

Tabela 9. Conteúdo de nutrientes (g planta⁻¹) nos galhos de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clones	N		P		K		Ca		Mg	
C1	14,36		3,93		21,77		24,23		4,97	
C2	7,65		4,29		18,55		18,59		4,78	
C3	12,93		4,00		21,70		32,25		5,11	
C4	13,59		3,65		22,01		28,42		6,00	
C5	11,60		2,99		19,71		28,42		3,48	
F	1,3 ^{ns}		0,6 ^{ns}		0,2 ^{ns}		1,0 ^{ns}		1,7 ^{ns}	
CV%	20,3		17,5		15,2		21,0		15,4	
Média	12,03		3,77		20,75		26,38		4,87	

^{ns} - não significativo ($p \geq 0,05$) pelo teste F..

Tabela 10. Conteúdo de nutrientes (g planta⁻¹) na casca de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clones	N		P		K		Ca		Mg	
C1	5,53	d	1,95	b	9,62	b	40,25	a	7,84	b
C2	13,47	a	3,70	a	38,03	a	72,73	a	19,16	a
C3	7,60	cd	3,08	ab	14,04	b	54,26	a	11,04	b
C4	11,24	ab	4,11	a	28,81	a	72,96	a	20,21	a
C5	9,85	bc	3,10	ab	31,88	a	72,82	a	12,53	ab
F	19,2**		5,4**		27,2**		3,6*		9,9**	
CV%	7,7		11,7		10,5		13,6		12,3	
Média	9,54		3,19		24,48		62,60		14,16	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); * e ** - significativos, respectivamente ($p < 0,05$) e ($p < 0,01$), pelo teste F.

As diferenças observadas nos conteúdos de nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores podem ser extrapoladas para a remoção de nutrientes por hectare. Assim, considerando-se o espaçamento 3,5 x 2 m usado no experimento, a produção de biomassa por árvore (Tabela 2) e os conteúdos de nutrientes em cada compartimento (Tabelas 6 a 9) obtém-se um acúmulo de cerca de 200 kg ha⁻¹ de N, 40 kg ha⁻¹ de P, 217 kg ha⁻¹ de K, 222 kg ha⁻¹ de Ca e 66 kg ha⁻¹ de Mg, sendo que os resultados de acúmulo dos nutrientes por clone estudado estão apresentados na Figura 1. A média de conteúdo de nutrientes nos componentes das árvores de *E. grandis* aos 78 meses de idade foi de 281; 27,8; 262; 490 e 69,6 kg ha⁻¹ para N, P, K, Ca e Mg, respectivamente (SANTANA; BARROS; NEVES, 1999).

Da quantidade de nutrientes (kg ha⁻¹) imobilizadas na parte aérea (Figura 2; Tabela 11), observa-se que o caule (lenho + casca) é responsável pelo acúmulo de 20% do N, 57% do P e do Ca, 55% do K e 51% do Mg. Somente a casca retém cerca de 40 e 30% de todo o Ca e Mg, respectivamente, na parte aérea, apesar de ter pequena participação na biomassa da parte aérea (9,5%). Da mesma forma ocorreu em estudo realizado por Schumacher e Caldeira (2001) em *Eucalyptus globulus* aos 4 anos de idade, no qual a casca foi o componente que acumulou as maiores quantidades de cálcio (55,3% do total). O descascamento no campo é recomendável, pois, além de maior proteção ao solo, adiciona cerca de 14t/ha de biomassa, evitando a exportação, em média, de 58% do cálcio e 47% do magnésio (SANTANA; BARROS; NEVES, 1999). Tal fato é intensificado pela relação casca/lenho (Tabela 12), sendo que 266,8% do Ca e 153,1% do Mg está presente na casca do lenho.

As folhas, mesmo contribuindo com pequena porcentagem na biomassa aérea (11,5%) retém 70% de todo o N na parte aérea, 29% de P, 30% de K, 26% de Ca e 38% de Mg. Resultados semelhantes foram encontrados em *Eucalyptus urograndis* aos 18 meses de idade, no município de Piratini-RS (VIERA et al., 2012), pois nas folhas ficaram retidos 70% de todo o N, 53% do P, 38,19% de K, 23,41% de Ca e 35,98% de Mg.

No presente estudo a estimativa média de nutrientes no lenho foi de 27,9; 18,2; 89,5; 38 e 13,6 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente (Tabela 13).

Apesar dos baixos teores de nutrientes no lenho, de uma forma geral, este componente é responsável pelos maiores conteúdos de P e K, com 45 e 40%, respectivamente. Já aos 18 meses de idade, 15,79 e 21,27% do P e K contido na biomassa total da parte aérea estava retido na madeira, segundo estudo de Viera et al. (2012). Do total dos elementos na árvore, na madeira do tronco aos 4 anos de idade foram encontrados 29; 29; 40; 12,5 e 34% de N, P, K, Ca e Mg respectivamente (SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001).

Considerando o acúmulo de nutrientes na parte aérea dos clones estudados (Figura 1), os clones 2, 4 e 5 ocasionariam maior remoção de nutrientes do sítio florestal no caso de produção de eucalipto para fabricação de *pellets*, a qual visa à colheita de toda a parte aérea das plantas. Isso porque foram os clones com maior produção de biomassa quando comparados aos clones 1 e 3, os quais proporcionariam maior rendimento industrial.

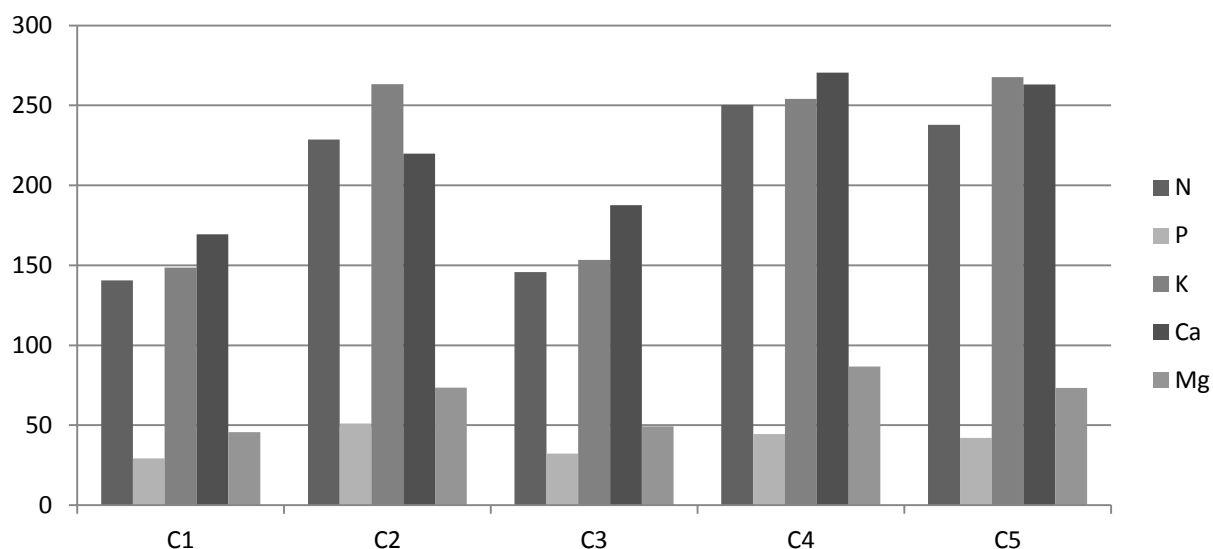


Figura 1. Acúmulo de nutrientes (kg ha⁻¹) na parte aérea de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, aos 2,25 anos de idade.

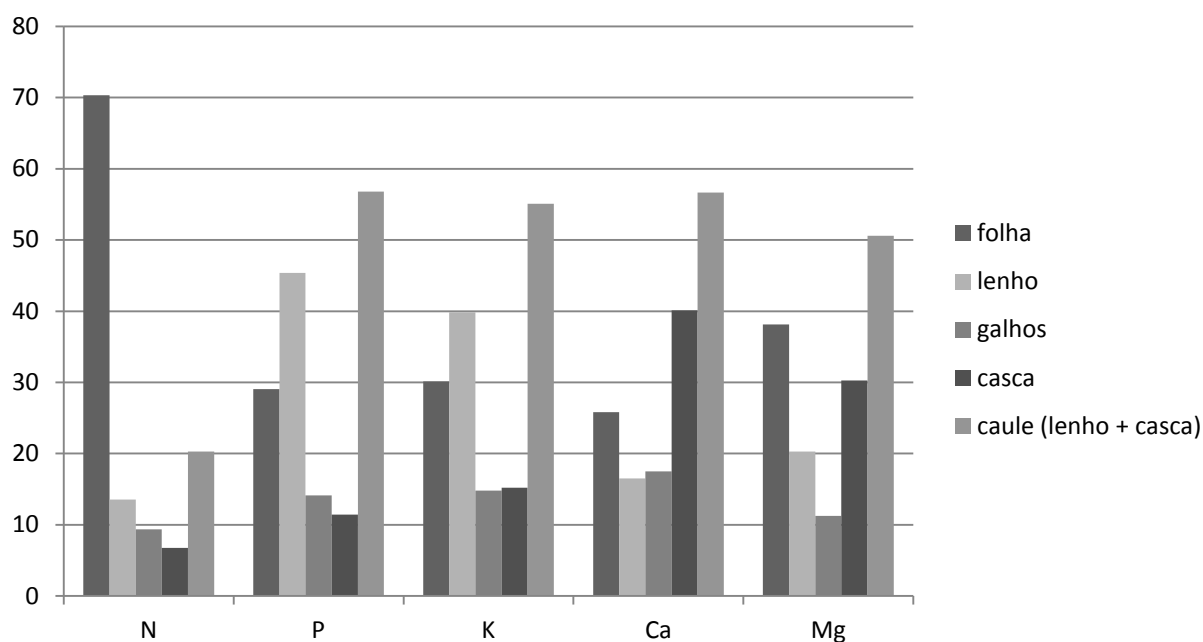


Figura 2. Retenção (%) de nutrientes nos compartimentos da parte aérea (Relação compartimento/parte aérea total), em cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, aos 2,25 anos de idade.

Tabela 11. Relação caule/total (%) de nutrientes em cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clones	N	P	K	Ca	Mg
C1	16,6	51,1	40,1	49,1	42,5
C2	22,8	59,2	61,7	58,0	53,9
C3	19,9	57,6	48,5	55,1	51,6
C4	22,3	56,5	62,4	62,7	58,0
C5	20,0	59,5	62,5	58,5	46,9
Media	20,3	56,8	55,1	56,7	50,6

Tabela 12. Relação casca/lenho (%) de nutrientes em cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clones	N	P	K	Ca	Mg
C1	51,3	22,9	29,9	224,2	135,6
C2	58,4	21,2	50,2	440,8	223,6
C3	59,9	30,9	36,9	300,6	163,1
C4	40,5	30,4	35,1	159,5	134,5
C5	42,0	21,5	37,4	208,8	108,9
Media	50,4	25,4	37,9	266,8	153,1

Os clones apresentaram tendência semelhante de acúmulo de nutrientes nos diferentes compartimentos da parte aérea das plantas (Figuras 3 e 4). Porém, é possível observar os clones 1 e 3 acumularam mais N, P e K nos galhos com relação aos clones 2, 4 e 5, os quais apresentaram maior porcentagem de N, P e K no lenho e N nas folhas, sendo os clones de maior produção de biomassa de madeira e folhas. Com relação ao Ca e Mg presentes na casca, os clones 2, 3 e 5 apresentaram mais Ca enquanto que os clones 2 e 3 destacaram-se devido ao maior conteúdo de Mg.

Tabela 13. Acúmulo de nutrientes (kg ha^{-1}) nos compartimentos da parte aérea de 5 clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*.

Clones	N	P	K	Ca	Mg
Folhas					
C1	96,7	8,7	57,8	51,7	19,2
C2	165,5	14,7	74,3	65,8	27,1
C3	98,3	8,0	47,9	38,2	16,6
C4	175,2	14,1	64,1	60,4	27,9
C5	173,8	12,8	72,3	68,6	33,9
Média	141,9	11,6	63,3	56,9	24,9
Lenho					
C1	15,4	12,1	45,9	25,6	8,3
C2	33,0	25,0	108,2	23,6	12,2
C3	18,1	14,2	54,4	25,8	9,7
C4	39,7	19,3	117,4	65,3	21,5
C5	33,5	20,6	121,7	49,8	16,4
Média	27,9	18,2	89,5	38,0	13,6
Galhos					
C1	20,5	5,6	31,1	34,6	7,1
C2	10,9	6,1	26,5	26,6	6,8
C3	18,5	5,7	31,0	46,1	7,3
C4	19,4	5,2	31,4	40,6	8,6
C5	16,6	4,3	28,2	40,6	5,0
Média	17,2	5,4	29,6	37,7	7,0
Casca					
C1	7,9	2,8	13,7	57,5	11,2
C2	19,2	5,3	54,3	103,9	27,4
C3	10,9	4,4	20,1	77,5	15,8
C4	16,1	5,9	41,2	104,2	28,9
C5	14,1	4,4	45,5	104,0	17,9
Média	13,6	4,6	35,0	89,4	20,2

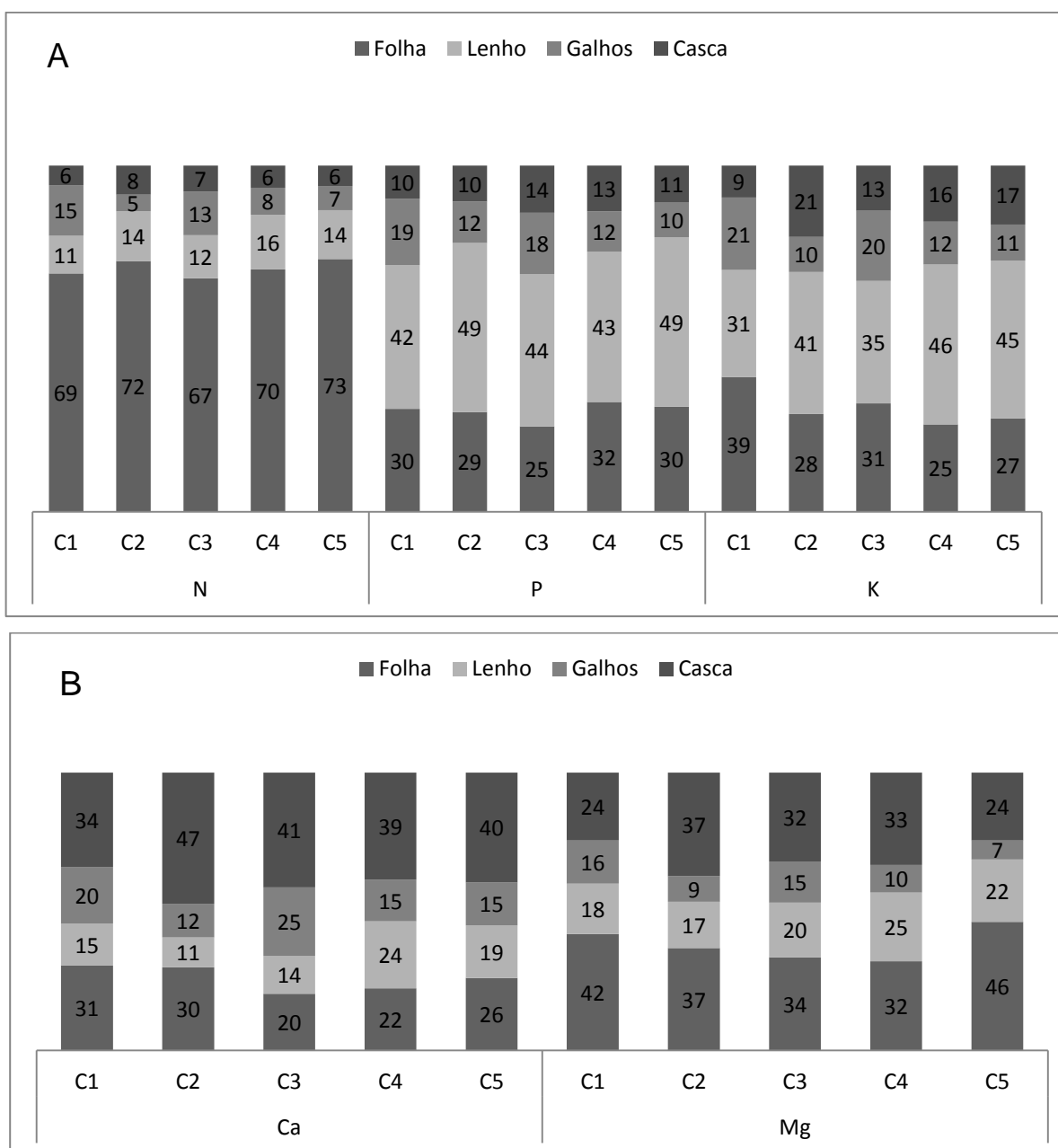


Figura 3. Acúmulo de nutrientes (%) nas folhas, lenho, galhos e casca de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, aos 2,25 anos de idade. A) Acúmulo de N, P e K. B) Acúmulo de Ca e Mg.

4.4. Eficiência de Utilização de Nutrientes

Nas Tabelas 14, 15, 16 e 17 encontram-se os resultados das análises de variância e testes de médias para a eficiência de utilização de nutrientes nas folhas, lenho, galhos e casca dos cinco clones de *E. grandis* x *E. urophylla*.

A eficiência de utilização dos nutrientes nas folhas variou entre os clones (Tabela 14), para todos os nutrientes. Os clones C2, C4 e C5, de uma forma geral, apresentaram maiores valores de eficiência de utilização de nutrientes nas folhas, assim como maiores valores de biomassa de folhas (Tabela 2) e conteúdo de nutrientes (tabela 4), em relação aos clones C1 e C3. Em termos absolutos, o C5 supera o C2 e C4 na eficiência de uso de N e P ao passo que o C4 tem maiores valores de eficiência de uso de K, Ca e Mg. É possível que em idades mais avançadas, quando o efeito competitivo entre as plantas e a ciclagem de nutrientes tornarem-se mais intensos, estes resultados sejam mais evidentes. A maior exigência de nutrientes pelo *E. grandis* e *E. pilularis* está no período até o fechamento do dossel e após o qual há um nivelamento (TURNER; LAMBERT, 2008).

Os clones também diferiram quanto à eficiência de utilização de nutrientes no lenho (Tabela 15), apresentando a mesma tendência observada para as folhas (Tabela 14).

Tabela 14. Eficiência de utilização de nutrientes ($\text{kg biomassa}^2 \text{ kg nutriente}^{-1}$) em folhas de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clone	N		P		K		Ca		Mg	
C1	245	b	2733	b	409	b	459	c	1235	bc
C2	286	ab	3215	abc	635	a	746	abc	1749	ab
C3	176	c	2178	c	363	b	469	bc	1049	c
C4	298	ab	3729	ab	818	a	886	a	1903	a
C5	315	a	4290	a	760	a	796	ab	1612	ab
F	21,5**		10,4**		21,9**		6,6**		8,0**	
CV%	4,8		8,1		7,6		11,7		8,4	
Média	264		3229		597		671		1510	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); ** - significativo ($p < 0,01$), pelo teste F.

Tabela 15. Eficiência de utilização de nutrientes ($\text{kg biomassa}^2 \text{ kg nutriente}^{-1}$) no lenho de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade. Valores divididos por 1000.

Clones	N	P	K	Ca	Mg
C1	35	44	11	20	62
C2	70	87	20	95	179
C3	34	42	11	24	63
C4	42	86	14	26	76
C5	81	120	20	50	155
F	5,6**	17,8**	8,3**	16,6**	17,3**
CV%	17,3	10,8	10,5	16,9	12,5
Média	52	76	15	43	107

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); ** - significativo ($p < 0,01$), pelo teste F.

Uma espécie eficiente do ponto de vista nutricional é aquela capaz de sintetizar o máximo de biomassa por nutriente absorvido (CALDEIRA; RONDON NETO; SCHUMACHER, 2004), de forma que quanto menor a quantidade de nutriente acumulado no componente arbóreo, maiores serão os valores dos coeficientes de uso biológico (MOURA et al., 2006).

As diferenças de eficiência de utilização de nutrientes entre espécies, procedências, progênies e clones de eucalipto, além de serem inerentes a capacidade de absorção, de translocação e de conversão dos nutrientes em biomassa de cada genótipo, são produto da interação genótipo por ambiente (ALMEIDA, 2009). Desse modo, a eficiência de utilização de nutrientes possibilita o reconhecimento de genótipos e de práticas de manejo que contribuam para a sustentabilidade florestal, visto que quando a eficiência no uso de um nutriente e a expectativa de produção de biomassa é conhecida, torna-se possível estimar a quantidade de nutrientes necessária para um adequado balanço nutricional do próximo ciclo (SAIDELLES et al., 2010). Fontes, Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2013) concluíram que a eficiência na aquisição ou na utilização de P pode ser usada como indicador de eficiência nutricional na distinção de espécies responsivas e no ajuste das doses adequadas de P para o crescimento das plantas.

Geralmente clones de híbridos interespecíficos de eucaliptos tendem a apresentar melhor capacidade de adaptação a diferentes regiões, o que é devido a combinações de características favoráveis dos seus genitores (BISON et al., 2009). VILLANUEVA et al. (2006) verificaram que híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* usaram o P do solo mais eficientemente do que qualquer das duas espécies parentais.

Estudando procedências de *E. grandis* e *E. saligna* aos 6,5 anos de idade, Santana, Barros e Neves (2002) verificaram diferenças quanto à eficiência de utilização de nutrientes para produção de biomassa de tronco, sendo que esta variou, também, com o sítio. Esses autores observaram que a eficiência de utilização decresceu na seguinte ordem: P > Mg > K > N > Ca, sendo esta a mesma tendência observada por Faria et al. (2008) e Lafetá (2012) em plantas de *Eucalyptus* spp. aos 4,75 e 8 anos de idade, respectivamente.

Diferenças significativas entre clones de *Eucalyptus urophylla*, aos oito meses de idade em condição de campo, quanto à eficiência de utilização de fósforo (EUP) foram observadas por Godoy e Rosado (2011). Segundo estes autores, além dos altos valores de herdabilidade encontrados conduzirem a ganhos genéticos de grande magnitude, a seleção em mudas no viveiro, para EUP, propiciaram os maiores valores de ganho indireto em altura das mudas no campo.

Os clones também não diferiram entre si quanto à eficiência de utilização de nutrientes nos galhos (Tabela 16). Este resultado se deve, em parte, à grande variabilidade nos dados o que pode ser notado pelos altos valores de coeficiente de variação experimental (CV), possivelmente, determinados pela permanência de galhos secos na copa, em função da pequena idade do experimento. O gênero *Eucalyptus* apresenta boa capacidade de desrama natural, em que o sombreamento dos galhos inferiores da copa, faz com que estes percam a atividade fisiológica e sejam facilmente eliminados da planta após secos. Isto, em geral, ocorre em plantios com idades mais avançadas, porém, neste experimento, observou-se que algumas plantas ainda mantinham galhos secos retidos ao tronco, o que pode ter contribuído para estes resultados.

Tabela 16. Eficiência de utilização de nutrientes ($\text{kg biomassa}^2 \text{ kg nutriente}^{-1}$) nos galhos de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clones	N	P	K	Ca	Mg
C1	2612	9573	1757	1514	7942
C2	4066	7040	1822	1655	6565
C3	3239	10230	1987	1258	8037
C4	3271	11855	1959	1511	7144
C5	3130	12019	1822	1299	10208
F	0,4 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,5 ^{ns}
CV%	20,9	20,7	26,8	18,0	24,7
Média	3264	10144	1869	1447	7979

^{ns} - não significativo ($p \geq 0,05$) pelo teste F.

Os clones C2, C4 e C5 apresentaram maiores valores de eficiência no uso dos nutrientes na casca, com ligeira superioridade para o C5, exceto para a eficiência de Ca em que o C2 apresentou maiores valores. Por outro lado, o C1 apresentou os menores valores de eficiência de uso de nutrientes neste componente da árvore (Tabela 17).

Tabela 17. Eficiência de utilização de nutrientes ($\text{kg biomassa}^2 \text{ kg nutriente}^{-1}$) na casca de cinco clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos de idade.

Clone	N	P	K	Ca	Mg					
C1	787	c	2234	c	457	b	113	b	555	d
C2	2501	a	9347	a	898	a	495	a	1758	b
C3	1435	bc	3725	bc	781	a	204	b	1027	c
C4	2406	ab	6609	ab	938	a	371	a	1339	ab
C5	3155	a	9924	a	967	a	423	a	2460	a
F	20,9 ^{**}	23,0 ^{**}	8,1 ^{**}	28,5 ^{**}	38,6 ^{**}					
CV%	11,1	12,3	10,0	10,3	8,7					
Média	2057	6368	808	321	1428					

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); ** - significativo ($p < 0,01$), pelo teste F.

A colheita e remoção do sítio somente da parte comercializável da planta é recomendada como forma de reduzir a exportação de nutrientes do sistema e, assim, manter a qualidade e a capacidade produtiva do solo. Assim, para a produção de carvão e outros usos, recomenda-se o descascamento do tronco e a

manutenção da casca na floresta, diminuindo a remoção de nutrientes, principalmente o Ca, que pela sua não remobilização interna pelas plantas de eucalipto, tende a se concentrar em maior quantidade na casca (ARIAS et al., 2011). Desta forma, genótipos eficientes na utilização do Ca são importantes na manutenção da produtividade dos sítios florestais, pois contribuem para a redução da exportação do Ca e para a economia no uso desse nutriente (PINTO et al., 2011).

Isto, também é válido para o magnésio e, em menor escala para os demais nutrientes, que por apresentarem maior mobilidade na planta, apresentam-se em porcentagens e quantidades maiores em outros componentes, como folhas e galhos. Em termos de teores de nutrientes, o lenho é o que tem os menores valores associados, porém sendo o componente mais abundante da árvore, torna-se o responsável pelas maiores exportações de nutrientes do sistema. Neste sentido, Santana et al. (2008), observaram que com o aumento da idade, os nutrientes alocados na copa tendem a reduzir e os nutrientes alocados no tronco tendem a aumentar.

Diante disto, o uso de genótipos eficientes na utilização de nutrientes é essencial para a sustentabilidade do ecossistema florestal, reduzindo a exportação de nutrientes proporcionalmente à biomassa produzida e conseqüentemente proporcionando menor uso de fertilizantes. Isto se torna mais importante em função do tipo de uso de algumas florestas, a exemplo daquelas destinadas a produção de *pellets*, em que toda a árvore é colhida, incluindo-se a casca e a copa. Também, a recomendação de genótipos eficientes no uso de nutrientes para sítios mais pobres em fertilidade do solo poderá otimizar a produtividade nestes locais.

5 CONCLUSÕES

Os clones diferem quanto à produção e alocação de biomassa e quanto à eficiência no uso de nutrientes nos diferentes compartimentos da parte aérea das árvores, porém não há um genótipo com desempenho superior em todas essas características.

A colheita apenas da parte comercializável da árvore deverá ser incentivada visando-se a redução da remoção de nutrientes do sistema e, com isto, aumentar o nível de sustentabilidade dos plantios florestais.

Os clones C2, C4 e C5, com destaque para o C5, são superiores aos C1 e C3 quanto à produção de biomassa e eficiência de utilização de nutrientes nos diferentes compartimentos da parte aérea da árvore, podendo ser usados como alternativas promissoras para o desenvolvimento de programas de melhoramento florestal para áreas com limitações nutricionais.

É provável que em idades mais avançadas o balanço de nutrientes entre os diferentes compartimentos das árvores, assim como a intensificação da ciclagem bioquímica e biogeoquímica de nutrientes sejam alterados, modificando-se a eficiência de uso dos nutrientes no sistema.

6 REFERÊNCIAS

ABRAF. Associação brasileira de produtores de florestas plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2013. Ano base 2012.** Disponível em <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2013.

AGROTECA TANABI. Disponível em: http://www.agrotecatanabi.com.br/vendasmudas_eucalipto.html005 Acessado em 16 de julho de 2008.

ALMEIDA, J. C. R. **Nutrição, crescimento, eficiência de uso de água e de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* fertilizados com potássio e sódio.** 2009. 112 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais: Área de concentração em Silvicultura e Manejo Florestal) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ALMEIDA, A. C. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 251, p. 10-21, 2007.

ALVES, A. M. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; BARRETO, L. P. Quantificação da produção de biomassa em clones de eucaliptos com 4,5 anos, no Polo Gesseiro de Araripe-PE. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 48, p.161-173, 2007.

ARAÚJO, E. F.; SANTANA, M. A. M.; SOUZA, A. J. **Determinação da demanda nutricional de genótipos de *Eucalyptus* em áreas da Bahia Sul Celulose.** Relatório Final: COTEC – 087/01, 2001. 19 p.

ARIAS, D.; CALVO-ALVARADO, J.; RICHTER, D. de B.; DOHRENBUSCH, A. Productivity, aboveground biomass, nutrient uptake and carbon content in fast-growing tree plantations of native and introduced species in the Southern Region of Costa Rica. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, p. 1779-1788, 2011.

BAILIAN, L.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of lobeolly pine seedlings. **Forest Science**, Lawrence, v. 37, n. 2, p. 613-626 1991.

BARROS, N. F. Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 2, p. 112-120, 1986.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V. & COSTA, L. M. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.487-592.

BELLOTE, A. F. J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill ex maiden) em função da idade**. 1979. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1979.

BISON, O.; RAMALHO, M. A. P.; REZENDE, G. D.; AGUIAR, A. M.; RESENDE, M. D. V. Dialelo parcial entre clones de *Eucalyptus camaldulensis* e clones de *E. urophylla*, *E. grandis* e *E. saligna*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 395-402, 2009.

CALDEIRA, M. V. W.; RONDON NETO, R. M. SCHUMACHER, M. V. Eficiência do uso de micronutrientes e sódio em três procedências de acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p.39-47, 2004.

CIB. Conselho de Informações sobre Biotecnologia (2008). Guia do eucalipto. **Oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. Disponível em <http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/Guia_do_Eucalipto_junho_2008.pdf>. Acesso em: 20 set. 2013.

du TOIT, B. Effects of site management on growth, biomass partitioning and light use efficiency in a young stand of *Eucalyptus grandis* in South Africa. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 2324–2336, 2008.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. P. 215-243.

FAO. El eucalipto en la repoblación florestal. Roma, 1981. 723 p. (Colección FAO: Montes, 11)

FAO 2010: The Food and Agriculture Organization of the United Nations. **How to feed the world in 2050**. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2013.

FAGERIA, N. K. Eficiência do uso de potássio pelos genótipos de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2115-2120, 2000.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LIMA, J. C.; TEIXEIRA, J. L. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 577-584, 2002.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; CUNHA, L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In...45^a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos, SP, Julho de 2000. p.255-258.

FLEXAS, J, ESCALONA, J.M.; MEDRANO, H. Water stress inducee different photosynthesis and electrón transport rate regulation in grapevine. **Plant, Cell and Environment**, v. 121, p. 39-48, 1999.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; ESCALONA, J. M.; SAMPOL, B.; MEDRANO, H. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions. **Functional Plant Biology**, v. 29, p. 461-471, 2002.

FONTES, A. G; GAMA-RODRIGUES, A. C. GAMA-RODRIGUES, E. F. Eficiência nutricional de espécies arbóreas em função da fertilização fosfatada. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 09-18, 2013.

GODOY, T. G.; ROSADO, C. S. Efficiency of phosphorus use in young plants of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 17, n. 3, p. 303-308, 2011.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, SP, n. 15, p. 1-23, 1995.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M., O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V., Ed. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. P. 219-268.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A. **Fertirrigação em viveiros de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus* (2004)** Disponível em <http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/culturas/eucalipto_pinus/nutricao_eucalipto_5_1.pdf>. Acesso em 23 set. 2013.

KIMMINS, J. P. **Forest ecology**. New York: Collier Macmillan Canada, 1987. 531 p.

LACLAU, J. P.; RANGER, J.; De MORAES GONÇALVES, J. L.; MAQUÈRE, V.; KRUSCHE, A. V.; THONGO, M'BOU A.; NOUVELLON, Y., SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J. P.; De CASSIA PICCOLO, M.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1771-1785, 2010.

LAFETÁ, B. O. **Eficiência nutricional, área foliar e produtividade de plantações de eucalipto em diferentes espaçamentos estimados com redes neurais artificiais**. 2012. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal: Área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Minas Gerais, 2012.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531 p.

LOPES, J. L. W. **Qualidade de mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* VS. *Eucalyptus urophylla*, submetidas a diferentes regimes hídricos**. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 171p. 2008.

MACEDO, R. L. G.; SOARES, R. V. SOARES, A. R. "Status" nutricional de *Eucalyptus* (na fase juvenil) introduzidos na baixada cuiabana, MT. **Cerne**, Lavras, MG, v. 2, n. 2, p. 110-123, 1996.

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. C.; MACHADO, A. T. Índices de eficiência de variedades locais de melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 225-238, 2001.

MALAVOLTA, E. A.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Editora Potafós, 1997. 304 p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3. Ed., atual. Ampl., Viçosa: Ed. UFV, 2009, p. 273-274.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 889 p.

MATOS, G. S. B.; SILVA, G. R.; GAMA, M. A. P.; VALE R. S.; ROCHA, J. E. C. Desenvolvimento inicial e estado nutricional de clones de eucalipto no nordeste do Pará. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 4, p. 491-500, 2012.

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. **Circular Técnica**. IPEF, Piracicaba, n.48/49, p.8-17, 1995.

MONTARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, I. H. L. Níveis de resíduos de metalurgia e substratos na formação de mudas de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 59-66, 2007.

MOURA, O. N.; PASSOS, M. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; GONZAGA, S.; LIRA, M. A.; CUNHA, M. V. Conteúdo de nutrientes na parte aérea e eficiência nutricional em *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 1, n. único, p. 23-29, 2006.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 161-169, 2005.

PARENTONI, S. N.; MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M. Melhoramento para eficiência no uso de fósforo. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Eds.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Editora Suprema, 2011. p. 101-126.

PINTO, S. I. C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, N. V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivadas em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 523-533, 2011.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z. SIMÕES, J. W. Aspectos ecológicos das minirotações e do aproveitamento dos resíduos florestais. **Circular técnica**. IPEF, Piracicaba, n. 74, p. 1-7, 1979.

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

QUEIROZ, M. M.; LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; FERREIRA, M. A. Comportamento de materiais genéticos de eucalipto em Paty do Alferes, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 16, n. 1, p. 01-10, 2009.

REIS, M. das G. F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G. C. de; BARROS, N. F. de. 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.

SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BALBINOT, R.; SCHIRMER, W. N. Determinação do ponto de amostragem para a quantificação de macronutrientes em *Acacia mearnsii* de Wild. **Floresta**, Curitiba, PR v. 40, n. 1, p. 49-62, 2010.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 56, p. 155-169, 1999.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. COMERFORD, N. B. Aboveground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. **New Zealand Journal of Forest Science**, New Zealand, v. 30, n. 1/2, p. 225-236, 2000.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, número especial, p. 2724-2734, 2008.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.45-53, 2001.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17-22, 2011.

SGARBI, F. **Produtividade do *Eucalyptus* sp. em função do estado nutricional e da fertilidade do solo em diferentes regiões do Estado de São Paulo**. 2002. 114 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2002.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, p. 289-302, 1981.

SILVA, H. M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L. A.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 67-78, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.033>>.

SILVEIRA, R. L. V. A.; GAVA, J. L. Nutrição e Adubação Fosfatada em *Eucalyptus*. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Ed. Potafós, 2004. p. 1-17.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **Potafos – Informações Agrônômicas**, Piracicaba, v. 91, 12 p, 2000.

SMETHURST, P.; BAILLIE, C.; MARIA CHERRY, M.; HOLZ, G. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 176, p. 531-542, 2003.

SOARES, C. P. B.; PAULO NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 276p.

SOUSA NETO, E L.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 2, p.255-260, 2008.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, n. 193, p. 17-31, 2004.

TARDIEU, F.; SIMMONNEAU, T. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and anisohydric behaviours. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, p. 419-432, 1998.

TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. Eficiência nutricional em plantas. In: POLANCZYK, R. A. et al. (Coord.). **Estudos avançados em produção vegetal**. Alegre: Editora UFES, 2008. p.23-41.

TURNER, J.; LAMBERT, M. J. Nutrient cycling in ages sequences of two *Eucalyptus* plantation species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 1701-1712, 2008.

VIERA, M. **Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul – RS, Brasil**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal: Área de Concentração em Silvicultura) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2012.

VIERA, M.; BONACINA, D. M.; SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus urograndis* na Serra do Sudeste-RS. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, supl. 1, p. 2481-2490, 2012.

VILLANUEVA, F. C. A.; MURAOKA, T.; TREVIZAM, A. R.; FRANZINI, V. I.; ROCHA, A. P. Improving phosphorus availability from Patos phosphate rock for eucalyptus: A study with ³²P radiotracer. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 63, p. 65-69, 2006.

VENTURA, A.; BERENGUT, G.; VICTOR, M. A. M. Características edafo-climáticas das dependências do Serviço Florestal do Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v. 4-5, n. 4, p. 57-140, 1965/66.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p. (Boletim técnico, 1).

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 843-852, 2004.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E. Variações no estado nutricional de eucaliptos em função do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 10, p. 1797-1803, 1999.

