

# SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE FOSFATO SOLÚVEL POR NATURAL NA IMPLANTAÇÃO DE *Eucalyptus benthamii* E *Eucalyptus dunnii* NO PLANALTO SUL CATARINENSE<sup>(1)</sup>

Luciana Patrícia Rosa Dias<sup>(2)</sup>, Luciano Colpo Gatiboni<sup>(3)</sup>, Paulo Roberto Ernani<sup>(3)</sup>, David José Miquelluti<sup>(3)</sup>, Djalma Miler Chaves<sup>(4)</sup> & Gustavo Brunetto<sup>(5)</sup>

## RESUMO

A adubação fosfatada é importante para o crescimento inicial do eucalipto, porque suplementa o solo na fase de maior demanda da cultura. O fosfato solúvel (FS) é a fonte comumente utilizada para esse fim, pois apresenta dissolução rápida no solo; contudo, tem custo mais elevado que os fosfatos naturais (FNs), que por sua vez têm dissolução mais lenta. Este trabalho objetivou avaliar o uso de FN como substituinte parcial do FS para o fornecimento de P para *Eucalyptus benthamii* e *E. dunnii*. Foram conduzidos dois experimentos no campo, um com cada espécie, no município de Otacílio Costa, SC, no período de novembro de 2010 a dezembro de 2011. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com três repetições. Na parcela principal, testou-se a presença ou ausência do FN (0 ou 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, usando a fonte FN de Bayovar) e nas subparcelas testaram-se as doses de FS (0, 75; 150; e 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, usando a fonte superfosfato triplo). Foram realizadas medidas de diâmetro à altura do colo e altura das árvores aos 340 dias, após a aplicação das fontes de P. Os resultados evidenciaram que a adubação fosfatada aumentou o crescimento em diâmetro e altura e incrementou o volume das plantas de *E. benthamii* e *E. dunnii*, durante o primeiro ano de cultivo. O *E. benthamii* foi mais exigente à adubação fosfatada, mas permitiu a substituição parcial da dose de fosfato solúvel por fonte de menor solubilidade. Não houve resposta do *E. dunnii* à aplicação de fosfato natural, devendo a adubação ser realizada com fosfato solúvel.

**Termos de indexação:** eucalipto, adubação de plantio, fosfatos naturais, fosfatos de rocha.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Recebido para publicação em 9 de julho de 2013 e aprovado em 21 de novembro de 2013.

<sup>(2)</sup> Estudante de doutorado do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Recursos Naturais, UDESC. Av. Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro. CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: lupatidias@hotmail.com

<sup>(3)</sup> Professor, Departamento de Solos e Recursos Naturais, UDESC. E-mail: lgatiboni@gmail.com, paulo.ernani@udesc.br, dmiguell@gmail.com

<sup>(4)</sup> Pesquisador e consultor da Klabin S/A. Av. Olinkraft, 6602, Bairro Igaras. CEP 8840-000 Otacílio Costa (SC). E-mail: dm.chaves@terra.com.br

<sup>(5)</sup> Professor, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria. Av. Roraima, 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: brunetto.gustavo@gmail.com

**SUMMARY: PARTIAL SUBSTITUTION OF SOLUBLE PHOSPHATE BY ROCK PHOSPHATE IN THE PLANTING OF *Eucalyptus benthamii* AND *Eucalyptus dunnii* IN SOUTHERN BRAZIL**

*Phosphorus fertilization is important for the initial growth of eucalyptus. Soluble phosphate (SP) sources are commonly used for this purpose because they offer fast dissolution in the soil, but these sources have higher costs than rock phosphate (RP), which has lower solubility. The aim of this study was to evaluate the use of RP as a partial substitute for SP for the initial supply of P to *Eucalyptus benthamii* and *E. dunnii*. Two field experiments were carried out (one with each species) in the municipality of Otacílio Costa, SC, Brazil, from November 2010 to December 2011. A randomized block experimental design in a split plot arrangement with three replications was used. In the main plot, the presence or absence of RP (0 or 60 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> using Bayovar as a P source) was tested, and in the subplots, application rates of SP (0, 75, 150 and 300 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, using triple superphosphate) were tested. The diameter was measured at the root collar as well as tree height at 340 days after applying the P sources. The results showed that P fertilization promoted plant growth in diameter and height, increasing the volume of *E. benthamii* and *E. dunnii* during the first year of cultivation. *E. benthamii* was more demanding in P, but allowed partial replacement of soluble phosphate by a source with lower solubility. There was no response from *E. dunnii* to the application of rock phosphate, and fertilization should be performed only with soluble phosphates.*

*Index terms: eucalyptus, fertilization at planting, phosphate fertilizers, rock phosphates.*

## INTRODUÇÃO

Atualmente, a região Sul do Brasil possui a segunda maior concentração de florestas plantadas com pinus e eucalipto do país, sendo o eucalipto, principalmente, destinado à produção de celulose de fibra curta (ABRAF, 2012). A eucaliptocultura nos últimos anos vem sendo desenvolvida nessa região em razão das boas características de adaptabilidade, crescimento e produtividade das espécies de eucalipto.

A correta nutrição de mudas de eucalipto é fator essencial para o estabelecimento de florestas de alta produtividade (Gonçalves, 1995; Silva et al., 2004; 2007), bem como para elevar o rendimento das culturas (Ernani et al., 2000). Nesse sentido, o eucalipto é uma espécie exigente em fósforo (P) no período inicial de plantio. Entretanto, é importante ressaltar que apresenta elevado nível crítico no solo até o sexto mês de implantação do florestamento (Herbert, 1983; Barros & Novais, 1990; Gonçalves, 1995;), comprovando ser um nutriente de fundamental importância para a otimização do crescimento da floresta (Paiva & Gomes, 1993; Grant et al., 2001; Silva et al., 2007). Essa alta demanda inicial pelo P (Novais et al., 1982), aliada à frequente baixa disponibilidade do nutriente em solos brasileiros, causa limitação do crescimento das plantas, sendo normalmente necessário o seu fornecimento via adubação (Franco, 1984; Novais et al., 2007).

Os fosfatos solúveis (FSs) são as fontes de P mais utilizadas em razão da rápida solubilização no solo. Contudo, isso causa elevado custo no momento da implantação da floresta. Uma alternativa aos FSs são os fosfatos naturais (FNs), que são materiais de menor custo; entretanto, sua dissolução é mais lenta que os FSs e, ainda, é variável entre os diversos tipos de FNs

disponíveis no mercado (Sousa & Lobato, 2003; Horowitz & Meurer, 2004).

Os FNs de origem ígnea e metamórfica normalmente são de baixa solubilidade, enquanto os fosfatos de origem sedimentar, conhecidos como fosforitas, têm se apresentado mais reativos e têm sido utilizados na agricultura com maior frequência (Kaminski & Peruzzo, 1997). Os FNs reativos se caracterizam por apresentarem solubilidade intermediária entre os fosfatos acidulados e os FNs brasileiros, o que lhes confere capacidade de liberação gradual de P no solo. Essa liberação ocorre por meio de processos semelhantes àqueles que controlam a solubilização dos FNs brasileiros, porém de forma mais intensa (Novais & Smyth, 1999; Horowitz & Meurer, 2004).

Desde as primeiras observações dos trabalhos que abordam a nutrição mineral de plantas, constatou-se que os fertilizantes solúveis em água eram mais eficientes; em contrapartida, deve-se considerar que a fácil dissolução deixa os nutrientes sujeitos a perdas e insolubilização, principalmente em relação ao P (Novais & Smyth, 1999; Alcarde, 2007). Para a cultura do eucalipto, os FSs têm sido recomendados, porque incrementam a produtividade e são economicamente viáveis, em relação às fontes de P poucos solúveis, embora essas sejam teoricamente indicadas para culturas de ciclo longo (Barros et al., 1990; Gonçalves, 1995). Isso ocorre porque as respostas aos FNs como única fonte de P para florestamentos com eucaliptos têm sido, por vezes, pouco ou não compensadoras em razão da alta demanda inicial da planta, mas podem ser alternativa positiva quando associados com fontes solúveis de P (Rezende et al., 1982; Leal et al., 1988).

Como a adubação fosfatada é realizada no ano de implantação do povoamento e, geralmente, não são feitas adubações complementares durante o ciclo

vegetativo das plantas, que dura sete ou mais anos, dependendo da finalidade, os teores de P naturais do solo e os aportados via adubação devem ser suficientes para atender a demanda da planta em todo o seu ciclo. Nesse sentido, o fator tempo de cultivo pode ser usado como um aliado no uso eficiente de fertilizantes, principalmente no que tange à solubilização lenta dos FNs (Novais & Smith, 1999).

Assim, a hipótese foi que uma mistura de FSs, responsáveis pela disponibilidade imediata de P para as plantas durante a fase inicial de crescimento, e FNs, responsáveis pela liberação lenta de P para as plantas durante o resto do seu ciclo vegetativo, possa ser alternativa viável para a nutrição adequada da cultura do eucalipto pelo P em solos da região do Planalto Sul de Santa Catarina, SC. O trabalho objetivou avaliar, em condições de campo, a eficiência do uso de FN como substituinte parcial do fertilizante FS para o fornecimento de P para *Eucalyptus benthamii* e *E. dunnii*.

## MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram implantados com as espécies *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage e *E. dunnii* Maiden, em locais adjacentes, sendo as coordenadas geográficas de latitudes e longitudes 33° 58' 49,2328" S, 27° 39' 55,775" S e 49° 45' 14,1401" W, 49° 45' 56,950" W, respectivamente, no município de Otacílio Costa, SC, em área pertencente à empresa Klabin S/A. Mudanças clonais de *E. benthamii* (clone 116) e de *E. dunnii* (clone KS-25) foram plantadas no espaçamento 2,5 × 2,5 m. A área anteriormente era utilizada para o cultivo de *Pinus taeda* que se encontrava no terceiro ciclo de plantio. O solo do experimento um Cambissolo Húmico (Embrapa, 2006) foi caracterizado segundo Tedesco et al. (1995) (Quadro 1).

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Na parcela principal, os tratamentos foram: ausência ou presença de FN na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; e nas subparcelas as doses de FS de 0, 75, 150 e 300 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As parcelas principais possuíam 625 m<sup>2</sup> de área útil que continham 100 plantas. O fosfato natural utilizado foi o FN Bayovar, com 34 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total e 16 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico, determinados segundo método do MAPA (Brasil, 2007). A fonte de P solúvel utilizada foi o superfosfato triplo (SFT), com 44 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total e 42 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água. A adubação fosfatada foi realizada unicamente na época de plantio, e o FS foi aplicado em duas covas distantes cerca de 10 cm nas laterais de cada planta. Os tratamentos com uso de FNs também foram aplicados em duas covas distantes, cerca de 10 cm, nas laterais de cada planta, em sentido perpendicular à aplicação do FS.

O plantio das mudas em cada experimento foi realizado no mês de novembro de 2010, momento em que foi realizada a adubação de base com KCl (30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) e ureia (15 kg ha<sup>-1</sup> de N), ambos aplicados na superfície e em área total, juntamente com calcário na dose de 1,0 t ha<sup>-1</sup> (Filler, PRNT de 98,1 %) para suprimento de Ca e Mg, tendo como base o manejo florestal utilizado em algumas áreas de florestamento da região. A adubação de cobertura foi realizada em superfície, com aplicação na projeção da copa das plantas. Foram aplicados 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, parcelados em duas épocas (aos cinco e aos 10 meses após o plantio).

Os dados dendrométricos de diâmetro à altura do colo (cm) e altura das árvores (m) foram coletados com auxílio de paquímetros e de réguas graduadas, respectivamente. As medições foram realizadas aos 340 dias após a aplicação das fontes de P nas 100 árvores da área útil de cada experimento. Para

**Quadro 1. Características químicas médias da camada de 0,00-0,20 m do Cambissolo Húmico da área experimental**

Característica	<i>Eucalyptus benthamii</i>	<i>Eucalyptus dunnii</i>
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	240	243
Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	52	54
pH (H <sub>2</sub> O) (1:1)	4,3	4,1
H+Al	33,9	35,9
Índice SMP	4,3	4,2
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,5	0,5
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,3	0,2
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,9	8,5
P Mehlich-1 (mg dm <sup>-3</sup> )	5,1	4,9
K Mehlich-1 (mg dm <sup>-3</sup> )	40,0	47,0
CTC <sub>efetiva</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,8	9,2
CTC <sub>pH 7,0</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	34,8	36,6
Saturação por bases (%)	2,9	2,0
Saturação por alumínio (%)	88,2	91,9

obtenção do volume total de madeira com casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ), foi aplicada a equação matemática, sendo: Volume cilíndrico =  $H [(\pi \cdot \text{DAC}^2)/4]$ , em que DAC é o diâmetro medido à altura do colo e H, a altura total das árvores. Após o cálculo, extrapolou-se o volume para um hectare, usando o *stand* de plantas. Em razão de a adubação fosfatada ter sido realizada em covas, não foi feita amostragem de solo após a sua aplicação para determinação dos teores de P no solo.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando detectados efeitos significativos dos tratamentos, foram ajustadas equações de regressão, utilizando-se o programa estatístico SAS® (SAS, 2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No experimento com o *Eucalyptus benthamii*, observou-se resposta significativa à adubação fosfatada e ao uso do FN associado às doses de FS para o diâmetro à altura do colo e altura total das plantas (Quadro 2). Nas figuras 1a,b e 2a, os pontos representam as respostas das plantas em cada dose de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel na presença e ausência de FN. Observou-se que a aplicação de doses de P solúvel provocou aumento no diâmetro do *E. benthamii*, tanto com como sem a adição de FN (Figura 1a). Na testemunha, o diâmetro médio das plantas foi de 3,3 cm aos 340 dias após o plantio (DAP), enquanto, nos tratamentos adubados,

os diâmetros situaram-se entre 4,9 e 5,9 cm. De forma semelhante, na testemunha, a altura média das plantas aos 340 dias foi de 1,8 m, enquanto nos tratamentos adubados as alturas situaram-se entre 2,6 e 2,9 m (Figura 1b). Assim, a aplicação de doses de FS associadas a uma dose adicional de FN evidenciou-se efetiva, aumentando o diâmetro e a altura das plantas após 340 DAP (Figura 1a,b), principalmente o diâmetro. Embora sem grandes incrementos, a resposta ao uso do FN se apresentou mais efetiva quando associada às maiores doses de FS (150 ou 300  $\text{kg ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$  na forma de FS com a adição de 60  $\text{kg ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$  na forma de FN). Entretanto, quando se integrou as variáveis de diâmetro e altura e obtido o volume de madeira com casca, em  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , os resultados foram mais claros e estão apresentados na figura 2a (os pontos representam as respostas das plantas em cada dose de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel na presença e ausência de FN). Para essa variável, também se identificou resposta significativa ao uso de FS e FN, sem interação entre os fatores (Quadro 2).

Os resultados demonstraram que a aplicação de qualquer dose de P solúvel associado à aplicação de FN promoveu aumento no volume de madeira de *E. benthamii*. Na testemunha, o volume foi de 2,8  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , enquanto nos tratamentos adubados os volumes situaram-se entre 7,7 e 12,7  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  (Figura 2a). Nas doses mais baixas (0 ou 75  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na forma de FS com a adição de 60  $\text{kg ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$  na forma de FN), embora com volume produzido semelhante, pôde ser observado que o uso da fonte solúvel foi ligeiramente superior quando associada ao FN. O uso associado de uma dose fixa de FN e as doses de FS se apresentaram efetivas no aumento do volume de *E. benthamii*, principalmente quando associadas às maiores doses de FS (150 ou 300  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na forma de FS com a adição de 60  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na forma de FN), sendo observado incremento de 28 % com o uso de FN associado à maior dose de FS, em relação ao tratamento com maior dose de FS sem adição de FN.

No experimento com *E. dunnii*, observou-se resposta significativa somente às doses de P como FS, não havendo resposta das plantas ao uso ou não de FN para o diâmetro à altura do colo e para a altura total da planta (Quadro 2). Na figura 1(c,d), os pontos representam as médias das doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel na presença e ausência do FN, bem como estão representadas as respostas das plantas em cada dose de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel. Na figura 1c, observa-se que a resposta das plantas foi crescente com o aumento da dose de P, partindo de 3,5 cm de diâmetro no tratamento testemunha para 4,3 cm com a maior dose de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (300  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na forma de FS com a adição de 60  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na forma de FN). Na testemunha, a altura das plantas foi de 1,7 m, aumentando até 2,3 m no tratamento com maior dose de P (Figura 1d). Para ambas as variáveis, os dados dendrométricos foram muito semelhantes quando se compara os tratamentos com e sem uso de FN dentro da mesma dose de FS (Figura 1c,d).

**Quadro 2. Análise de variância de diâmetro do colo, altura e volume de madeira para *Eucalyptus benthamii* e *E. dunnii*, em relação às doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  solúvel e da presença/ausência de fosfato natural em condições de campo**

Fonte de variação	<i>E. benthamii</i>	<i>E. dunnii</i>
	Diâmetro do colo (cm)	
Presença/ausência FN	15,0**	0,1 <sup>ns</sup>
Dose de $\text{P}_2\text{O}_5$ solúvel	14,3**	3,4*
Pres/Aus. FN x Dose	2,5 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>
CV (%)	9,0	12,4
	Altura (m)	
Presença/ausência FN	12,0**	0,7 <sup>ns</sup>
Dose de $\text{P}_2\text{O}_5$ solúvel	13,3**	7,2*
Pres/Aus. FN x Dose	2,1 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>
CV (%)	7,5	9,1
	Volume ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )	
Presença/ausência FN	15,6 *	0,1 <sup>ns</sup>
Dose de $\text{P}_2\text{O}_5$ solúvel	14,6**	5,0*
Pres/Aus. FN x Dose	1,4 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>
CV (%)	18,7	28,3

\*\* e \* P-valor significativo a 1 e 5 % pelo Teste F, respectivamente. <sup>ns</sup> = P-valor não significativo nos níveis testados. CV: coeficiente de variação.

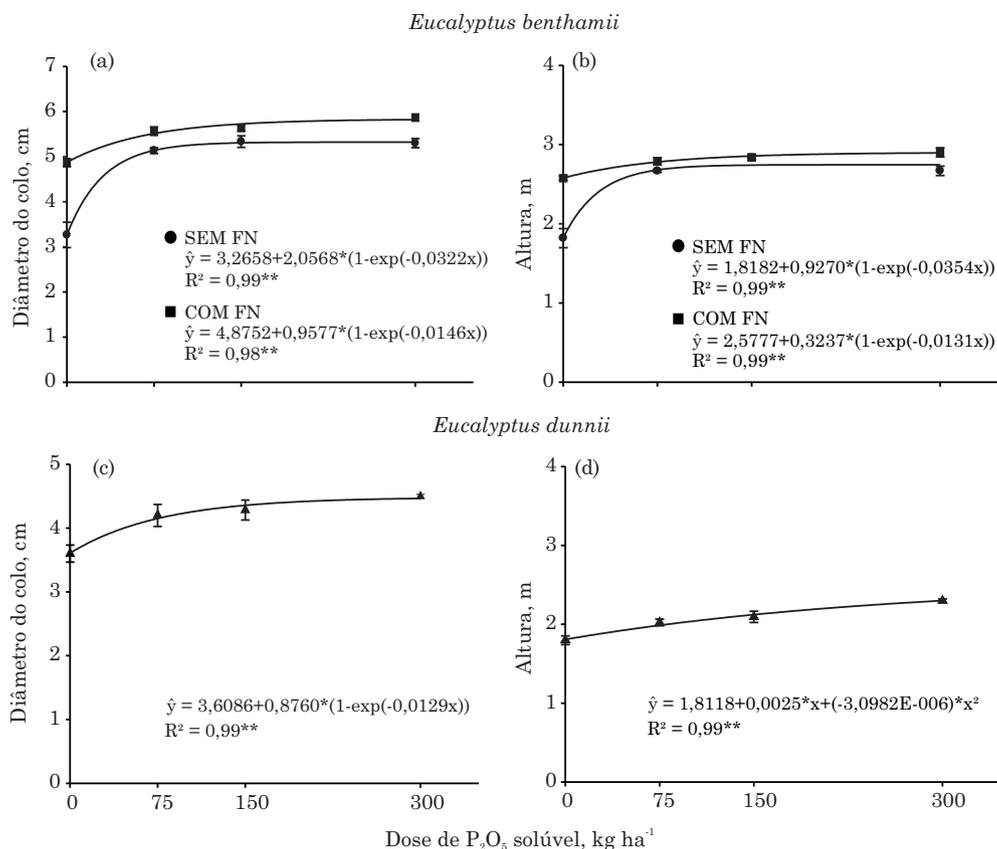


Figura 1. Diâmetro do caule à altura do colo e altura das plantas de *Eucalyptus benthamii* (a,b) e de *Eucalyptus dunnii* (c,d) submetidas às fontes e doses de P. \*\* significativo a 1 % pelo teste F.

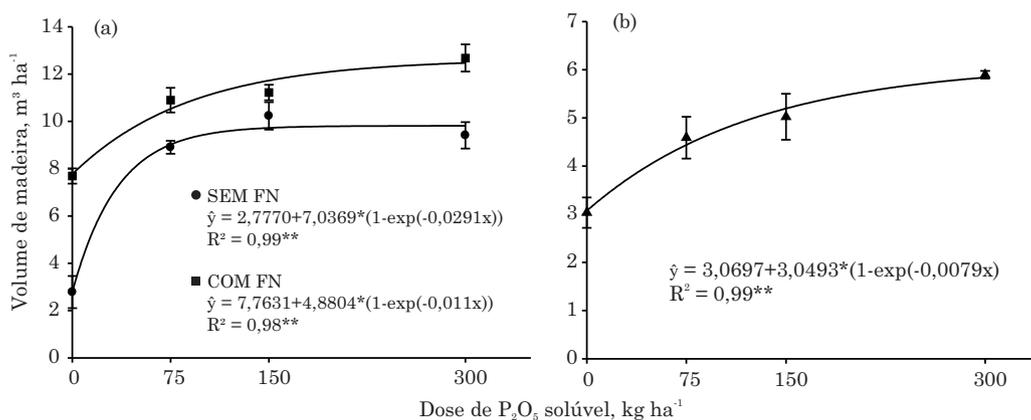


Figura 2. Volume de madeira com casca de *Eucalyptus benthamii* (a) e de *Eucalyptus dunnii* (b), submetido às fontes e doses de P. \*\* significativo a 1 % pelo teste F.

De maneira análoga ao observado para o diâmetro do colo e altura das plantas, o volume de madeira das plantas de *E. dunnii* apresentou resposta somente à adubação com P solúvel, não havendo resposta das plantas à presença ou ausência do FN (Quadro 2). Esses resultados estão representados na figura 2b (os pontos representam as médias das doses de FS na presença e ausência de FN). Na testemunha, o volume

foi de  $2,6\ m^3\ ha^{-1}$ , chegando a  $6,6\ m^3\ ha^{-1}$  no tratamento que apresentou o maior volume de madeira.

Os resultados mostram que o *E. benthamii* é exigente e responsivo à adubação fosfatada. Isso pode ser constatado, primeiramente, pela resposta do *E. benthamii* à aplicação de FN. Contudo, a resposta ao FN aconteceu principalmente na maior dose, em que a soma de FS e FN chegou a  $360\ kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$

(Figuras 1a,b e 2a). No *E. dunnii*, não houve resposta ao uso de FN (Quadro 2), evidenciando que o uso unicamente de FS foi suficiente para o suprimento da cultura (Figuras 1c,d e 2b). Observou-se que nas duas espécies as plantas da testemunha foram prejudicadas pela falta de P, já que as equações ajustadas foram exponenciais, com exceção do diâmetro do colo do *E. dunnii* que foi ajustado por uma equação quadrática.

A resposta diferencial das espécies à adubação fosfatada também pode ser constatada pela magnitude das respostas obtidas com a adubação fosfatada. Para *E. benthamii*, a maior dose de P causou aumento de 2,6 vezes no diâmetro do colo, de 1,1 vez na altura das plantas e de 9,9 vezes no volume de madeira por hectare, em relação à testemunha. Já para o *E. dunnii*, a adubação trouxe incrementos de até 0,8 vez no diâmetro do colo, 1,0 vez na altura das plantas e 4,0 vezes no volume de madeira, após 340 dias da aplicação dos tratamentos.

Para o *E. benthamii*, o FN foi eficiente em suprir pelo menos parte do P necessário durante o período do experimento. Esse comportamento do FN Bayovar pode estar relacionado ao seu elevado valor de P solúvel em ácido cítrico (16 % de  $P_2O_5$ ), o que o torna superior a média dos demais FNs reativos disponíveis no mercado (de 9 a 12 % de P solúvel em ácido cítrico). Ressalta-se que no *E. benthamii* o uso do FN Bayovar aumentou significativamente o crescimento das plantas, principalmente diâmetro e volume de madeira; no tratamento com a aplicação de apenas FN (na dose de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), a resposta foi ligeiramente inferior ao tratamento  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  de FS (sem uso de FN), indicando que o FN teve elevada eficiência relativa ao FS, havendo viabilidade técnica do seu uso no período de condução do experimento, inclusive para o suprimento de P na fase inicial de implantação da floresta de *E. benthamii*.

O diâmetro do caule é o fator que mais influencia o incremento médio anual volumétrico da floresta de eucalipto (Alves et al., 2012) e, de acordo com os resultados em volume de madeira com casca, ficou evidente que somente com o adequado aporte de P na adubação de plantio o incremento esperado é alcançado (Silva et al., 2007). Salienta-se que esse comportamento foi demonstrado pelas duas espécies de eucaliptos testadas, demonstrando que a adubação fosfatada é um fator de fertilidade limitante para essas culturas (Novais & Smith, 1999).

Para o *E. benthamii*, a maior resposta do tratamento  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  na forma de FS com a adição de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  na forma de FN (somando  $210 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  aplicados), em relação ao tratamento  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  na forma de FS com a adição de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  na forma de FN ( $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  aplicados), apresenta que além da resposta à dose de P, parece haver benefício do uso associado da fonte de pronta liberação com outra de solubilidade menor, o que pode estar relacionado com a solubilidade gradual do P e um provável melhor

aproveitamento do nutriente pelas plantas durante o primeiro ano de crescimento da floresta. Essa resposta corrobora com Villanueva et al. (2006), que afirmou que em solos de baixa disponibilidade e alta capacidade de sorção de P é recomendada a aplicação de fonte natural junto com uma fonte solúvel de P, para melhorar e manter a produtividade do eucalipto.

Os resultados deste trabalho corroboram com os obtidos por Barros & Novais (1990), os quais relataram que em florestas plantadas de eucalipto não há dúvidas quanto ao fato de ser o P o principal nutriente a limitar o crescimento das árvores. Também Alves et al. (2012) demonstraram que a adubação fosfatada proporcionou maior crescimento em diâmetro e altura das plantas em comparação com o tratamento testemunha, o que foi comprovado ao final de um ano de condução dos experimentos conduzidos com *E. benthamii* e *E. dunnii*, evidenciando a importância do P no desenvolvimento inicial do eucalipto, para solos com teores muito baixos do nutriente. Contudo, vários trabalhos têm constatado diferenças na eficiência nutricional entre espécies de eucalipto (Morais et al., 1990; Furtini Neto et al., 1996; Santana et al., 2002), bem como diferenças na eficiência nutricional entre clones da mesma espécie (Grespan, 1997; Neves, 2000; Lima et al., 2005); essas diferenças podem representar fator importante na economia ou no emprego mais racional de fertilizantes.

A produção de biomassa é determinada pelas características genéticas da espécie e maiores produtividades estão associadas a maiores exportações de nutrientes do sítio (Santana et al., 2002). Nesse contexto, o cultivo de espécies com maior eficiência absorviva e, ou, utilização de nutrientes permitiria a otimização do uso dos nutrientes do solo (Barros et al., 1990; Molica, 1992).

Os materiais genéticos de eucalipto apresentam diferentes capacidades de absorção, translocação e uso de P, conforme verificado por Furtini Neto et al. (1996). Essa observação ficou evidente neste trabalho, em que o *E. benthamii* respondeu ao uso de FN e também apresentou crescimento significativo com o uso de menores doses de FS, apresentando maior produção de biomassa e resposta ao P. Já para o *E. dunnii*, não houve resposta ao uso de FN e o incremento de crescimento com o uso de doses de P solúvel foi menor que o observado para a outra espécie, indicando que o *E. dunnii* foi menos exigente que o *E. benthamii* na disponibilidade de P.

Utilizando as equações ajustadas para volume de madeira em ambas as espécies, foi possível quantificar as doses de  $P_2O_5$  para atingir o máximo rendimento teórico em volume (máxima eficiência técnica - MET), bem como as doses necessárias para atingir 90 % do rendimento máximo (máxima eficiência econômica teórica - MEE teórica). Para o *E. benthamii*, sem a utilização do FN, a dose de  $P_2O_5$  para a MET seria de  $301$  e  $68 \text{ kg ha}^{-1}$  para a MEE teórica, produzindo volumes de madeira de  $9,8$  e  $8,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , respectivamente.

Para a produção em volume de *E. benthamii*, com a adição de FN, a MET seria atingida aos 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (FS+FN) e produção de 12,6 m<sup>3</sup> de madeira. Já a MEE teórica foi atingida com o volume de 11,37 m<sup>3</sup> na dose de 122 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Para o *E. dunnii*, utilizando a equação exponencial ajustada para o volume de madeira, a MET foi alcançada na dose de 700 kg ha<sup>-1</sup> e a MEE teórica com 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, produzindo um volume de madeira de 5,5 m<sup>3</sup>.

Esses resultados foram obtidos aos 340 dias de cultivo do eucalipto; maior detalhamento sob o comportamento das espécies estudadas por maior período de tempo deve ser considerado para a verificação da correlação juvenil-adulto ao longo do ciclo de cultivo do eucalipto, no que se refere ao padrão de aproveitamento do P e da produção de biomassa.

## CONCLUSÕES

1. A adubação fosfatada aumentou o crescimento em diâmetro e altura e incrementou o volume das plantas de *Eucalyptus benthamii* e *E. dunnii*, durante o primeiro ano de cultivo.

2. O *E. benthamii* foi mais exigente à adubação fosfatada e permitiu a substituição parcial da dose de fosfato solúvel por fontes de menor solubilidade.

3. A adubação deve ser realizada com fosfato solúvel, pois não houve resposta do *E. dunnii* à aplicação de fosfato natural.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES e ao CNPq, pelo financiamento das bolsas de pós-graduação; e à Klabin S/A, pelo financiamento do projeto.

## LITERATURA CITADA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTA - ABRAF. A849a Anuário Estatístico da ABRAF 2012, ano base 2011/ABRAF. Brasília, 2012. 150p.
- ALCARDE, J.C. Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.737-768.
- ALVES, H.E.F.; GODOY, L.J.G.; PINOTTI, E.B.; MANJI, M.; MARQUES, D.A. & SAKATA, S. Desenvolvimento inicial de mudas de eucalipto submetidas a doses de fertilizantes fosfatados. In: FETBIO 2012. A responsabilidade Socioambiental da Pesquisa Agropecuária. Maceió, AL. CD-ROM
- BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Relação solo-eucalipto. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. 430p.
- 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., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento - MAPA. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. Brasília, 2007. 141p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro nacional de Pesquisa em Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L. & CAMILLO, R.J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. R. Bras. Ci. Solo, 24: 537-544, 2000.
- FRANCO, A.A. Fixação de nitrogênio em árvores e fertilidade do solo. Pesq. Agropec. Bras., 19:253-261, 1984.
- FURTINI NETO, A.E.; BARROS, N.F.; GODOY, M.F. & NOVAIS, R.F. Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* em relação a fósforo. R. Árvore, 20:17-28, 1996.
- GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. Piracicaba, Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, 1995. 23p. (Documentos Florestais, 15)
- GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J. & SHEPPARD, S.C.A. Importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Inf. Agron., 95:1-16, 2001.
- GRESPLAN, S.L. Produção e eficiência nutricional de clones de eucalipto no Norte do Espírito Santo e suas relações com características do solo. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 81p. (Dissertação de Mestrado)
- HERBERT, M.A. The response of *Eucalyptus grandis* to fertilizing with nitrogen, phosphorus, potassium and dolomitic lime on a Mispah soil series. South Afr. For. J., 124:4-12, 1983.
- HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais. In: YAMADA, T. & ABDALA, S.R.S., eds. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba, Potafos, 2004. p.665-682.
- KAMINSKI, J. & PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3)
- LEAL, P.G.L.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & TEXEIRA, J.L. Biomassa e conteúdo de nutrientes em *Eucalyptus grandis* influenciados pela aplicação de fosfatos naturais em solos de cerrado. R. Árvore, 12:165-182, 1988.

- LIMA, A.M.N.; NEVES, J.C.L.; SILVA, I.R. & LEITE, F.P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K, Ca e Mg em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 29:903-909, 2005.
- MOLICA, S.G. Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1992. 120p. (Tese de Doutorado)
- MORAIS, E.J.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & BRANDI, R.M. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 14:353-362, 1990.
- NEVES, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e híbridos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campo dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)
- NOVAIS, R.F.; RÊGO, A.K. & GOMES, J.M. Níveis críticos de fósforo para eucalipto. R. Árvore, 6:29-37, 1982.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., ed. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.
- PAIVA, H.N. & GOMES, J.M. Viveiros florestais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 56p.
- REZENDE, G.V.; BARROS, N.F.; MORAES, T.S.A.; MENDES, C.J. & SUITER FILHO, W. Aplicação de fosfatos naturais em plantios de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. R. Árvore, 6:74-83, 1982.
- 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. R. Árvore, 26:447-457, 2002.
- SAS Institute Inc® 2003 SAS Ver. 9.1. 3. Cary, 2003.
- SILVA, M.R.; KLAR, A.E. & PASSOS, J.R. Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio nas características morfofisiológicas de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden). Irriga, 9:31-40, 2004.
- SILVA, C.A., RANGEL, O.J.P. & BELIZÁRIO, M.H. Interação calagem-adubação fosfatada e sua influência nos níveis críticos de P e crescimento do eucalipto. Sci. For., 73:63-72, 2007.
- SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. Inf. Agron., 102:1-16, 2003.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, planta e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- VILLANUEVA, F.C.A.; MURAOKA, T.; TREVISAM, A.R.; FRANZINI, V.I. & ROCHA, A.P. Improving phosphorus availability from Patos phosphate rock for eucalyptus: A study with <sup>32</sup>P radiotracer. Sci. Agric., 63:65-69, 2006.