

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

LUCIANA PATRICIA ROSA DIAS

**USO DE FOSFATOS SOLÚVEIS E NATURAIS NO
CRESCIMENTO INICIAL DE *Eucalyptus dunni* e *Eucalyptus
benthamii* NO PLANALTO SUL CATARINENSE.**

LAGES, SC

2012

LUCIANA PATRICIA ROSA DIAS

**USO DE FOSFATOS SOLÚVEIS E NATURAIS NO
CRESCIMENTO INICIAL DE *Eucalyptus dunni* e *Eucalyptus
benthamii* NO PLANALTO SUL CATARINENSE.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Co-orientador: Ph. D. Paulo Roberto Ernani
Co-orientador: Dr. Gustavo Brunetto

LAGES, SC

2012

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14^a Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Dias, Luciana Patricia Rosa

Uso de fosfatos solúveis e naturais no crescimento inicial de *Eucalyptus dunni* e *Eucalyptus benthami* i no Planalto Sul Catarinense. / Luciana Patricia Rosa Dias ; orientador: Luciano Colpo Gatiboni. – Lages, 2012. 79f.

Inclui referências.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC.

1. Adubação fosfatada.
2. Eficiência relativa .
3. *Eucalyptus* .
4. Crescimento inicial. I. Título.

CDD – 634.97342

LUCIANA PATRICIA ROSA DIAS

**USO DE FOSFATOS SOLÚVEIS E NATURAIS NO CRESCIMENTO
INICIAL DE *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* NO PLANALTO
SUL CATARINENSE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Aprovada em _____ / _____ / _____

Homologada em: _____ / _____ / _____

Banca examinadora:

Orientador/presidente: Dr. Luciano Colpo Gatiboni (UDESC/Lages - SC)

Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado
em Manejo do Solo (UDESC/Lages - SC)

Co-orientador/membro: Ph. Dr. Paulo Roberto Ernani (UDESC/Lages - SC)

Dr. Leo Rufato
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (UDESC/Lages - SC)

Co-orientador/membro: Dr. Gustavo Brunetto (UFSC/Florianópolis - SC)

Membro: Márcia Aparecida Simonete (Klabin S/A./Otacílio Costa - SC)

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral Dias
Diretor Geral do Centro de Ciências Agroveterinárias (UDESC/Lages - SC)

Lages, Santa Catarina, 23 de fevereiro de 2012.

*Dedico às minhas filhas LARYSSA DIAS
MEIMBERG e LAÍS DIAS ROVÊDA.*

*Ofereço aos meus pais JOÃO MARIA DIAS E
LÚCIA APARECIDA ROSA DIAS.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, maior mestre de todos os tempos por sempre iluminar meus caminhos e mostrar por onde seguir.

Aos meus pais, João Maria Dias e Lucia Dias pela confiança em minhas decisões e pelo apoio para a realização deste sonho.

As minhas filhas Laryssa e Laís, motivos da minha vida e dos meus esforços, pela compreensão e pelo amor nos momentos de dificuldades e ausências.

Aos meus irmãos Marcos, Júlio, João e Fernando pelo carinho e incentivo, e a toda minha família que de alguma forma apoiou esta conquista.

Ao professor Dr. Luciano Colpo Gatiboni pela orientação, amizade e exemplo de grande mestre ao qual procurarei seguir em minha trajetória profissional.

Aos professores Dr. Paulo Roberto Ernani, Dr. Gustavo Brunetto e Dra. Márcia Aparecida Simonete pela orientação, amizade e participação na banca de avaliação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo, pela atenção e pelos conhecimentos adquiridos e aos funcionários (as) do CAV/UDESC pelo profissionalismo.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação, pela amizade e carinho, em particular ao Clovisson, Evandro, Bruna Bicarato, Bruna Arruda, Daniel e Mara pelo auxílio na realização deste trabalho.

À UDESC por disponibilizar ensino de qualidade.

À FAPESC pela oportunidade da bolsa e incentivo à pesquisa científica.

À Klabin pelo incentivo, em especial a Márcia, Leonardo e a equipe de campo pela atenção, amizade e seriedade na condução dos experimentos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização do meu aprimoramento pessoal e profissional.

Mas... não se esqueça... SONHE...

“Há Quem diga que todos as noites são de sonhos.

Mas há também quem garanta que nem todas... só as de verão.

*Mas no fundo, isso não tem muita importância.
O que interessa mesmo não são as noites em si,
mas os sonhos.*

Sonhos que o homem sonha sempre, em todos os lugares e em todas as épocas do ano, dormindo ou acordado.”

Shakespeare

RESUMO

DIAS, Luciana Patrícia Rosa. **Uso de fosfatos solúveis e naturais no crescimento inicial de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* no Planalto Sul Catarinense.** 2012. 79f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2012.

O eucalipto é uma planta de rápido crescimento e alta resposta à adubação fosfatada na fase de implantação do povoamento, necessitando de altas doses de fertilizantes. Devido ao alto custo do fósforo (P), propõe-se que parte do fertilizante solúvel seja substituída por fontes de menor custo, os fosfatos naturais (FNs). O trabalho objetivou avaliar a resposta à adubação fosfatada e a eficiência relativa (ER) de FNs em solo sem e com calagem em casa de vegetação e o uso do FN como substituinte parcial dos adubos solúveis para o fornecimento de P para *E. benthamii* e *E. dunnii* em condições de campo. Para isso, foram conduzidos dois experimentos em casa-de-vegetação e dois a campo. Em casa-de-vegetação, foram testadas as fontes de P Bayovar, Gafsa, Djebel e SFT além de uma testemunha, em solo sem e com adição de calcário. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em arranjo fatorial 5 x 2, com quatro repetições. As plantas foram cultivadas por 110 dias, medidos mensalmente os parâmetros dendrométricos e após a colheita, determinados a matéria seca produzida e o acúmulo de P no tecido vegetal. A campo foram conduzidos dois experimentos, um para cada espécie, testando o uso ou não de FN, na dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (parcela principal) e doses de 0, 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de SFT (subparcelas). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em parcelas subdivididas com 3 repetições. Foram realizadas medições bimestrais de diâmetro e altura das plantas para obtenção da curva de crescimento no período de 12 meses. Para os experimentos em casa-de-vegetação, todas as fontes de P apresentaram comportamento semelhante entre si, diferenciando-se apenas da testemunha. Em geral, a ER média dos FNs foi maior em solos sem calagem, sendo o FN Djebel a fonte mais eficiente. Para solos com calagem, a melhor resposta foi observada com o uso do FN Bayovar. Para os experimentos de campo, o *E. benthamii* respondeu ao uso de FN podendo este ser usado na adubação de plantio, enquanto que o *E. dunnii* não respondeu ao uso de FNs, devendo ser preferido o uso de fontes solúveis para esta espécie. O valor de 90% do máximo crescimento das plantas obtido pelo uso de fosfatos foi alcançado com a dose média de 35 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel para o *E. benthamii* e com 84 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel para o *E. dunnii*.

Palavras-Chave: Adubação fosfatada; eficiência relativa; *Eucalyptus*; crescimento inicial.

ABSTRAT

DIAS, Luciana Patricia Rosa. **Use of superphosphate and rock phosphates in the initial growth of *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus benthamii* in Southern Brazil.** 2012. 79f. Dissertation (Master in Soil Management) – University of the State of Santa Catarina. Graduate Program in Agricultural Sciences, Lages, SC. 2012.

The eucalyptus is a plant with rapid growth and high response to phosphorus in the initial growth, requiring high doses of fertilizers. Due to the high cost of phosphorus (P), it is proposed that part of the soluble fertilizer could be replaced by lower-cost sources as rock phosphates (RPs). The study was carried out to evaluate the relative efficiency (RE) of RPs in soils with and without liming and to evaluate the use of RP as a partial substituent of soluble fertilizers to supply P for *E. benthamii* and *E. dunnii*. For this, two experiments were conducted in greenhouse and two in the field conditions. In greenhouse, were tested the following P sources: triple Superphosphate, Bayovar, Gafsa, and Djebel plus a control treatment in soils with and without liming. The experimental design was completely randomized in a 5 x 2 factorial arrangement with four replications. Plants were grown for 110 days. The dendrometric parameters were measured monthly. After harvest dry matter yield and P accumulation in plant tissue were determined. In the two field experiments it was used the same species, testing the use or absence of RP in a dose of 60 kg ha⁻¹ P₂O₅ (main plot) and doses of 0, 75, 150 and 300 kg ha⁻¹ P₂O₅ in the form of SFT (subplots). The experimental design was a randomized block in split plot with three replications. Plant diameter and plant height were taken bimonthly to obtain the curve of growth in the period of 12 months. For the experiments in greenhouse, all P sources were similar, differing only from control treatment. In general, the average RE of RPs was higher in non limed, being the most efficient source Djebel. In soils with lime, applications the best response was observed with the use of RP Bayovar. For field experiments, for *E. benthamii* the use of RP may be considered in substitution to soluble phosphate, while for *E. dunnii* should be preferred to the use of soluble sources. 90% of maximum growth was obtained with a mean dose of 35 kg ha⁻¹ P₂O₅ for *E. benthamii* and 84 kg ha⁻¹ P₂O₅ for *E. dunnii*.

Keywords: phosphorus, relative efficiency, Eucalyptus, grow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Interação dos tratamentos com os níveis de calagem para a altura medida aos 60 dias (ALT60) após plantio de mudas de <i>E. benthamii</i>	31
Figura 2 -	Interação dos tratamentos com os níveis de calagem para altura medida aos 30 dias (ALT30) após plantio de mudas de <i>E. dunnii</i>	33
Figura 3 -	Interação dos tratamentos com os níveis de calagem para matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule e ramos (MSCR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) para as mudas de <i>E. dunnii</i> após 110 dias de cultivo.....	37
Figura 4 -	Interação dos tratamentos como os níveis de calagem para o acúmulo de P acumulado em caule e ramos (CR) e parte aérea (PA) de mudas de <i>E. dunnii</i> após cultivo por 110 dias.....	41
Figura 5 -	Interação dos tratamentos com os níveis de calagem para o P extraído do solo pelo método de Mehlich 1 (M1) em solo cultivado com mudas de <i>E. dunnii</i> após 110 dias de cultivo.....	44
Figura 6 -	Caracterização das “covetas” laterais e da aplicação localizada das fontes de P.....	53
Figura 7 -	Diâmetro do caule à altura do colo (cm) de <i>E. benthamii</i> submetido às fontes e doses de P. Resposta das plantas em cada dose de P solúvel e época de avaliação.....	55
Figura 8 -	Diâmetro do caule à altura do colo (cm) de <i>E. benthamii</i> submetido às fontes e doses de P. Resposta das plantas às doses de P solúvel em relação	

à última época de avaliação.....	56
Figura 9 - Diâmetro do caule à altura do colo (cm) de <i>E. benthamii</i> em função do FN em diferentes épocas de avaliação, média de todas as doses de P solúvel.....	57
Figura 10 - Altura das plantas (cm) de <i>E. benthamii</i> submetido às fontes e doses de P. (a) Resposta das plantas nas diferentes épocas de avaliação às doses de P solúvel sem o uso de FN associado. (b) Respostas das plantas nas diferentes épocas de avaliação às doses de P solúvel com o uso de FN associado.....	59
Figura 11 - Altura das plantas (cm) de <i>E. benthamii</i> em relação à última época de avaliação submetidos às doses de P solúvel sem e com o uso de FN associado.....	60
Figura 12 - Diâmetro do caule à altura do colo (cm) de <i>E. dunnii</i> submetido às fontes e doses de P. Resposta das plantas em cada dose de P solúvel e época de avaliação.....	62
Figura 13 - Diâmetro do caule à altura do colo (cm) de <i>E. dunnii</i> submetido às fontes e doses de P. Respostas das plantas às doses de P solúvel em relação à última época de avaliação.....	63
Figura 14 - Altura das plantas (cm) de <i>E. dunnii</i> submetido às fontes e doses de P. Resposta das plantas em cada dose de P solúvel e época de avaliação.....	64
Figura 15 - Altura das plantas (cm) de <i>E. dunnii</i> submetido às fontes e doses de P. Resposta das plantas às doses de P solúvel em relação à última época de avaliação.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características do Cambissolo Húmico coletado na camada de 0-20 cm de profundidade utilizado em experimento em casa-de-vegetação.....	26
Tabela 2 -	Valores de pH em água obtidos no solo cultivado com mudas de <i>E. benthamii</i> e <i>E. dunnii</i> após 110 dias de cultivo e submetidos à aplicação de fontes de P e de calcário.....	29
Tabela 3 -	Atributos relacionados ao crescimento das plantas, diâmetro à altura do colo (DM) e altura total (ALT) mensurados aos 30, 60, 90 e 110 dias após plantio das mudas de <i>E. benthamii</i> , em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.....	30
Tabela 4 -	Atributos relacionados ao crescimento, diâmetro à altura do colo (DM) e altura total (ALT) mensurados aos 30, 60, 90 e 110 dias após plantio das mudas de <i>E. dunnii</i> , em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.....	32
Tabela 5 -	Matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule e ramos (MSCR), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) de mudas de <i>E. benthamii</i> em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.....	34
Tabela 6 -	Matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule e ramos (MSCR), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) de mudas de <i>E. dunnii</i> em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.....	35
Tabela 7 -	Fósforo acumulado no tecido de folhas (F), caule e ramos (CR), raízes (R), parte aérea (PA) e total (T) em mudas de <i>E. benthamii</i> após 110 dias de	

cultivo em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.....	39
Tabela 8 - Fósforo acumulado no tecido de folhas (F), caule e ramos (CR), raízes (R), parte aérea (PA) e total (T) em mudas de <i>E. dunnii</i> após 110 dias de cultivo em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.....	40
Tabela 9 - Teores de P extraído pelos métodos de Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) e Resina Trocadora de Ânions (RTA) em solos cultivados com <i>E. benthamii</i> e <i>E. dunnii</i> submetidos às fontes de P e os níveis de calagem.....	43
Tabela 10 - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre o acúmulo de fósforo total nas plantas (ACPT) e matéria seca total (MST) e os teores de P extraídos do solo pelos métodos de Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) e Resina Trocadora de Ânions (RTA) em mudas de <i>E. benthamii</i> e <i>E. dunnii</i> após 110 dias de cultivo.....	45
Tabela 11 - Eficiência relativa (ER) média de fosfatos naturais em relação a matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) para mudas de <i>E. benthamii</i> e <i>E. dunnii</i> após 110 dias de cultivo.....	46
Tabela 12 - Característica do Cambissolo Húmico coletado na camada de 0 – 20 cm de profundidade na área experimental com <i>E. benthamii</i> e <i>E. dunnii</i>.....	52
Tabela 13 - Análise de variância para a variável de diâmetro do colo (cm) em relação das doses de P₂O₅ solúvel, da presença/ausência de fosfato natural e do tempo de medição para <i>E. benthamii</i> conduzido pelo período de 365 dias em condições de campo.....	55
Tabela 14 - Análise de variância de altura (cm) em relação das doses de P₂O₅ solúvel, da presença/ausência de fosfato natural e do tempo de medição para <i>E. benthamii</i> conduzido pelo período de 365 dias em condições de campo.....	58
Tabela 15 - Análise de variância para a variável de diâmetro do colo (cm) em relação das doses de P₂O₅ solúvel, da presença/ausência de fosfato natural e do tempo de medição para <i>E. dunnii</i> conduzido pelo período de 365 dias em condições de campo.....	61
Tabela 16 - Análise de variância para a variável de altura (cm) em relação das doses de	

P ₂ O ₅ solúvel, da presença/ausência de fosfatos naturais e do tempo de medição para <i>E. dunnii</i> conduzido pelo período de 365 dias em condições de campo.....	64
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 CAPÍTULO I – EFICIÊNCIA RELATIVA DE FOSFATOS NATURAIS NA ADUBAÇÃO DE PLANTIO DE MUDAS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus benthamii</i> EM SOLO SEM E COM CALAGEM.....	22
2.1 RESUMO.....	22
2.2 ABSTRAT.....	22
2.3 INTRODUÇÃO.....	23
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
2.5.1 Reação do solo cultivado com <i>E. benthamii</i> e <i>E. dunnii</i> à calagem.....	28
2.5.2 Atributos de crescimento do <i>E. benthamii</i> e do <i>E. dunnii</i> submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem.....	29
2.5.3 Matéria seca do <i>E. benthamii</i> e do <i>E. dunnii</i> submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem.....	33
2.5.4 Fósforo acumulado no <i>E. benthamii</i> e do <i>E. dunnii</i> submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem.....	38
2.5.5 Fósforo extraído do solo por diferentes métodos em <i>E. benthamii</i> e <i>E. dunnii</i> submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem.....	41
2.5.6 Correlação entre os métodos de extração de P do solo e acúmulo de P nos tecidos de <i>E. benthamii</i> e <i>E. dunnii</i>	45
2.5.7 Eficiência relativa média dos fosfatos naturais para <i>E. benthamii</i> e <i>E. dunnii</i>	46
2.6 CONCLUSÕES.....	46
3 CAPÍTULO II – SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE FOSFATOS SOLÚVEIS POR NATURAIS NA IMPLANTAÇÃO DE POVOAMENTOS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus benthamii</i>.....	48
3.1 RESUMO.....	48
3.2 ABSTRAT.....	48
3.3 INTRODUÇÃO.....	49
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
3.5.1 Resposta do <i>Eucalyptus benthamii</i> à adubação fosfatada.....	54
3.5.2 Resposta do <i>Eucalyptus dunnii</i> à adubação fosfatada.....	61

3.5.3 Teores de P disponíveis no solo.....	66
3.6 CONCLUSÕES.....	67
4 CONCLUSÕES GERAIS.....	68
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
APÊNDICES.....	75

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do Brasil sempre esteve ligado ao sistema Agroindustrial Florestal, pois fatos históricos demonstram que muitas cidades e atividades econômicas se desenvolveram a partir da exploração florestal. Atualmente, se observa um desenvolvimento crescente neste setor onde atuam principalmente empresas de celulose e papel que demonstram interesse em intensificar suas atividades. No caso da eucaliptocultura, a capacidade produtiva em nosso País provém do clima e das condições de solo que oferecem possibilidades para o desenvolvimento da planta.

Os primeiros estudos sobre o eucalipto foram desenvolvidos nos anos 60, através do Engenheiro Agrônomo Edmundo Navarro de Andrade, que iniciou a implantação da espécie no Brasil para sua utilização como matéria-prima. Entre suas aplicações comerciais e industriais pode ser citada a produção de carvão, a produção de celulose e papel, painéis de madeira e outros subprodutos como tecido sintético, cápsulas de remédios, produtos de limpeza, alimentos, perfumes, medicamentos e ainda como auxiliar na proteção às florestas nativas.

Com uma área territorial correspondente a 6,77% do território brasileiro, a região Sul possui a segunda maior concentração de florestas plantadas do País, equivalente a 27% da área cultivada com pinus e eucalipto, onde o gênero é utilizado principalmente para a produção de celulose de fibra curta. Somente o Estado de Santa Catarina (SC), no ano de 2009, atingiu o montante de mais de 650 mil hectares florestados sendo, aproximadamente, 101 mil hectares com eucalipto (ABRAF, 2010).

Em termos climáticos o País possui duas regiões para o cultivo do eucalipto, sendo uma tropical e outra subtropical. O Planalto Sul Catarinense está localizado em uma região subtropical onde as espécies indicadas para plantio são o *Eucalyptus dunni*, por apresentar resistência parcial à geadas, por ser uma espécie de rápido crescimento, boa forma das

árvores (HIGA et al., 1997) e indicada para plantios em altitudes que variam de 500 a 1000 m acima do nível do mar (EMBRAPA, 1986), e o *Eucalyptus benthamii*, que segundo Higa et al. (2000) é uma espécie indicada para plantios em áreas com geadas severas, apresentando boa produtividade, boa forma de fuste, intensa rebrota, fácil produção de sementes e requerente de volume alto de precipitação anual.

De acordo com as características de solos que grande parte do Sul do Brasil apresenta, se faz necessário que nutrientes sejam fornecidos em quantidades suficientes para o adequado desenvolvimento das plantas. Vários estudos demonstram que o eucalipto é exigente em nutrientes e responde positivamente a adubação, principalmente à fosfatada. Para que a produção desse gênero seja estabelecida em escala comercial se faz necessário à utilização de práticas de fertilização, onde critérios para a definição de que tecnologias e quais nutrientes devem ser aplicadas sejam adequados.

As características e quantidades de adubos a aplicar dependerão das necessidades nutricionais das espécies florestais, da fertilidade do solo, da forma de reação dos adubos com o solo, da eficiência dos adubos e de fatores de ordem econômica. Vale ressaltar ainda que as técnicas de fertilização devem ser definidas em nível regional com o objetivo de estabelecer classes de fertilidade do solo e de resposta das plantas à adubação aplicada (GONÇALVES, 1995)

Trabalhos científicos demonstram que as espécies e genótipos têm apresentado comportamento diferencial com relação à nutrição e crescimento das árvores. Baseado nestas constatações se faz necessário à busca e utilização de genótipos mais eficientes no aproveitamento da adubação bem como na eficiência ao uso da fertilização fosfatada. Para isso se faz necessário o conhecimento de características e respostas das espécies de interesse comercial.

De acordo com Novais et al. (1982), a exigência do eucalipto pelo fósforo (P) diminui com o aumento da idade, em razão disso, o nível crítico de P no solo é mais alto na fase inicial de desenvolvimento e relata ainda, que nesta fase, o nível crítico de P por Mehlich 1 para solo arenoso e argiloso é de 80 e 60 mg dm⁻³, respectivamente, diminuindo drasticamente na fase de manutenção da floresta. Esses valores denotam a importância de fornecer altos teores de P às plantas na adubação de plantio, podendo para isso ser utilizado fontes como os superfosfatos para que o plantel se estabeleça de forma mais efetiva já no seu início.

A aplicação de P é essencial em programas de adubação para a eucaliptocultura, uma vez que a quantidade presente na maioria dos solos não é suficiente para atender a demanda de florestas de alta produtividade (BELLOTE, 1979). Além disso, a maioria dos solos brasileiros apresentam elevada capacidade de adsorção com as partículas reativas de solos cultivados com o eucalipto (BARROS E NOVAIS, 1996).

A demanda de nutriente pela planta depende de sua taxa de crescimento e da eficiência com que ela converte o nutriente absorvido em biomassa. Para a cultura do eucalipto aplicações de P têm mostrado resultados positivos sobre o desempenho do crescimento inicial e de produtividade em resposta a adubação mineral, onde os maiores ganhos advém da aplicação de fertilizantes fosfatados (BARROS et al., 1992).

Novais et al. (2007) considerou que a incorporação de novas áreas de florestamentos, a baixa disponibilidade de P nos solos, preços inferiores por tonelada ao dos superfosfatos e as facilidades atuais de importação de fosfatos naturais de maior reatividade têm feito com que a utilização de fosfatos *in natura* seja um atrativo.

A ocorrência de jazimentos fosfáticos na natureza faz com que seja possível a obtenção de concentrados apatíticos (do grupo das apatitas) conhecidos como fosfatos naturais (FN), que normalmente possuem teores baixos de P_2O_5 solúvel e total e necessitam de beneficiamento industrial para que possam ser utilizados como fertilizantes com teores de P mais adequados (FN concentrado) (KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

Os FNs possuem reatividade bastante distinta, sendo que muitos são considerados praticamente inertes quando utilizados como fonte de P, esse é o caso da maioria dos fosfatos de origem ígnea e metamórfica. Outros como os FN de origem sedimentar, têm mostrado resultados positivos para o fornecimento de P para as plantas (Goedert & Souza, 1984; Kaminski, 1983)

Os FNs podem ser classificados em duas categorias distintas. Os FNs “duros”, como são classificados a maioria dos fosfatos brasileiros por ter origem ígnea ou metamórfica de baixa hidrolisação e os FNs “moles”, de origem sedimentar que podem ser facilmente hidrolisáveis e são conhecidos como FNs reativos (KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

O FN reativo de Gafsa, originário da Tunísia (28% de P_2O_5 total), o Djebel Onk, originário da Argélia (29% de P_2O_5 total) e o Bayovar com origem no Peru (34% de P_2O_5 total) são exemplos de FNs de origem sedimentar, originados de rochas fosfáticas

denominadas de francolitas ou fosforitas (HAMMOND, 1977) e são utilizados no setor agrícola e florestal como substitutos parciais ou totais dos fosfatos solúveis.

Pesquisas têm mostrado que as respostas aos FNs de baixa reatividade como única fonte de P às vezes são pouco eficientes ou não compensadoras para florestamentos com eucalipto por apresentar na maioria dos casos baixa reatividade e lenta liberação de P para as plantas (REZENDE et al., 1982; LEAL et al., 1988).

Vários autores avaliaram a eficiência agronômica de FNs e mostraram em seus trabalhos a baixa eficiência relativa dos FNs apatídicos em relação às fontes solúveis, além da grande variabilidade destes fosfatos como fonte de P para as plantas, principalmente devido a origem do fosfato e sua consequente diferença de solubilidade. Também denotam que a incerteza da disponibilidade do P do fosfato reativo no momento em que a planta necessita é elevada, aumentando com isso os riscos do insucesso da fertilização. Contudo o uso do fosfato reativo apenas seria justificável se o valor do quilo desses fosse tal que permitisse uma dose mais elevada do produto a fim de garantir as variações de tamponamento na liberação do P.

A utilização eficiente de FNs *in natura*, como possível fonte eficiente de P para as plantas é dependente de condições relacionadas com o próprio fosfato (origem, reatividade), com o solo onde são aplicados e com a planta cultivada (NOVAIS et al., 1990).

Uma das vantagens do FN é a sua relativa baixa solubilidade quando comparada a fontes de fosfato solúvel, sendo uma fonte de P disponível às plantas à medida que crescem (DANTAS, 1988). Fato este observado por Novais & Smith (1999), que constataram que os FNs de baixa reatividade apresentam um efeito similar aos das fontes solúveis em água em longo prazo devido à perda do poder destes (menor efeito residual e maior fixação ao solo), exercendo um efeito compensatório quanto à eficiência dos FNs em cultivos de períodos mais longos. Entretanto, estes autores observaram ainda que o tempo de contato entre os FNs e o solo pode ser um agravante, pois a maior solubilidade a longo prazo não significa uma maior disponibilidade de P às plantas devido as reações de adsorção no solo.

Estudos demonstram que ocorreram decréscimos na produção de matéria seca e P acumulado pelas plantas quando da ocorrência de maior tempo de contato dos FNs em solos com sítios adsortivos de P. Quanto maior for a reatividade do fosfato, mais prejudicial será o efeito do tempo de contato com o solo sobre a disponibilidade deste nutriente às plantas. Contudo o maior contato das partículas de FNs com o solo poderia ser recomendado para

solos arenosos, solos orgânicos ou solos pouco intemperizados, uma vez que a solubilização seria sinônima de disponibilidade de P para a planta (NOVAIS et al., 1990).

Resultados obtidos por Gava (2003) mostram que o uso de FN reativo em povoamentos de eucaliptos deve ser repensado, principalmente, em solos que recebem calagem com o único objetivo de fornecimento de cálcio e magnésio. Pois nesses solos, a eficiência dos fosfatos deve ser muito pequena ou até nula. O mesmo autor ressalta ainda uma melhor resposta do eucalipto à aplicação de P na forma de superfosfato triplo quando na presença de calcário.

Apesar dessas considerações, deve-se considerar que vários trabalhos mostram o aumento de produtividade do eucalipto com a aplicação de FNs mesmo em presença da calagem para a manutenção de cálcio e magnésio do solo (LEAL et al., 1988; BARROS et al., 1992).

De acordo com a literatura científica, a utilização de FNs tem ocorrido mais como adubação corretiva da carência parcial de P do solo conjuntamente com uma fonte solúvel que ofereça uma disponibilidade imediata de P tendo como retorno respostas imediatas a fertilização fosfatada. Esta realidade foi constatada por Novais et al. (1982) e Barros et al. (1992), que relataram que o uso de FN tem sido promissor quando associado com fontes solúveis de P em virtude da alta demanda inicial do eucalipto por este nutriente, e indica realizar a adubação fosfatada com a aplicação da fonte solúvel por ocasião do plantio.

A rocha fosfática concentrada ou um concentrado fosfático se transforma em fosfato solúvel após receber tratamento químico na indústria para aumentar sua eficiência reativa quando em contato com o solo. Ataque sulfúrico para a fabricação do superfosfato simples ou ataque sulfúrico para a obtenção do ácido fosfórico e posterior produção do superfosfato triplo ou fosfatos de amônio. Deste modo, reage com maior intensidade no solo, disponibilizando P em curto prazo sendo mais eficazes quando comparados aos FNs (KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

A utilização do SFT como fonte padrão de P é constatada de forma geral no meio científico devido a sua disponibilidade satisfatória e imediata sob as mais variadas condições de solo, clima e culturas.

Kaminski & Peruzzo (1997) confirmam não só a maior eficiência do fosfato solúvel como fonte de P, mas também a sua maior eficácia na construção da fertilidade de solos com baixo P inicial, pois quando aplicado nas mesmas doses do FN, proporciona maiores

incrementos no P lábil do solo elevando a classe de disponibilidade ao nível médio ou próximo do suficiente. Também Goedert & Souza (1984), em seu trabalho, confirmam que os fosfatos solúveis reagem com maior intensidade no solo e fornecem P ao sistema em taxas maiores, sendo fontes mais eficientes do que os FN em curto prazo às plantas de eucalipto.

Devido ao nível crítico de P se dar na fase inicial de cultivo do eucalipto, a adubação de plantio deve ser efetuada de forma a tornar disponível este nutriente no momento em que as plantas necessitam. A adubação com fontes solúveis e FN tem sido utilizada para adequar o teor de P no solo necessário ao bom desenvolvimento do eucalipto e aumentar a velocidade de crescimento das plantas no estágio inicial do florestamento. Estudos comprovam que a fonte solúvel é a causa para a reposta inicial da planta devido à rápida disponibilização de P no solo, e que o uso dos FN como complemento a adubação fosfatada tem se mostrado uma solução adequada para atender a demanda inicial de P no plantel.

A importância da “adubação de arranque” ou de plantio para *Eucalyptus grandis* foi confirmada pelas pesquisas de Rezende et al., (1982), Dantas (1988) e Leal et al., (1988), que constataram que a exigência de P pelo eucalipto diminui com o aumento da idade das plantas, sendo o nível crítico de P muito maior nas fases iniciais do que na fase de manutenção das florestas (NOVAIS et al., 1982).

Informações sobre as exigências nutricionais de espécies florestais ainda devem ser esclarecidas, uma vez que cada espécie apresenta nível de exigência nutricional distinta. De acordo com esta constatação a realização de estudos sobre a nutrição das espécies e suas indicações para as condições edafoclimáticas do Planalto Sul Catarinense torna-se necessária para que programas de estratégias de manejo de fertilização de espécies como o *E. dunnii* e *E. benthamii* possam ser efetivos. Com o intuito de auxiliar no conhecimento da resposta inicial dessas espécies à adubação com P, foram conduzidos experimentos em casa-de-vegetação, para determinar a eficiência relativa de FN e a resposta à adubação fosfatada, e experimentos no campo, para avaliar o uso de FN como complemento a adubação solúvel em diferentes doses em plantios de *E. dunnii* e *E. benthamii*.

2 CAPÍTULO I – EFICIÊNCIA RELATIVA DE FOSFATOS NATURAIS NA ADUBAÇÃO DE PLANTIO DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus benthamii* EM SOLO SEM E COM CALAGEM.

2.1 RESUMO

O eucalipto possui uma grande exigência de fósforo (P) na fase de implantação do povoamento, e por isso, seu nível crítico é mais alto na fase inicial de desenvolvimento, diminuindo com o aumento da idade. O trabalho objetivou avaliar a resposta à adubação fosfatada e a eficiência relativa (ER) de fosfatos naturais (FNs) em solos sem e com calagem no crescimento inicial de eucalipto. Para isso, foram conduzidos dois experimentos em casa-de-vegetação, com mudas de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii*, utilizando os FNs Bayovar, Gafsa e Djebel, o SFT como fonte solúvel de P e uma testemunha (sem P), em solo sem e com calagem. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em arranjo fatorial 5 x 2, com quatro repetições. As plantas foram cultivadas por 110 dias e foram medidos os parâmetros dendrométricos, produção de matéria seca e acúmulo de P no tecido vegetal. Todas as fontes de P apresentaram comportamento semelhante entre si, diferenciando-se apenas da testemunha. Em geral, a ER média dos FNs foi maior em solos sem calagem, sendo o FN Djebel a fonte mais eficiente. Para solos com calagem, a melhor resposta foi observada com o uso do FN Bayovar.

Palavras-Chave: Adubação fosfatada; *Eucalyptus*; eficiência de fosfatos naturais; crescimento inicial.

2.2 ABSTRACT

The eucalyptus has a great demand for phosphorus (P) in the initial growth, and therefore, its critical level is higher in the early stage of development, decreasing with increasing age. The study was carried out to evaluate the response to fertilization and relative

efficiency (RE) of rock phosphates (RPs) in the initial growth of eucalyptus. For this, two experiments were conducted in greenhouse, with *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus benthamii* using the following phosphorus source: Bayovar, Gafsa, Djebel and triple superphosphate plus a control in soils with and without liming. The experimental design was completely randomized in a 5 x 2 factorial arrangement with four replications. Plants were grown for 110 days. It was determined the growth parameters, dry matter productivity and P accumulation in plant tissue. All P sources were similar, differing only from control treatment. In general, the average RE of RPs was higher in no limed soil, being Djebel the most efficient source in this situation. For soils with lime use, the best response among RPs was observed using Bayovar phosphate.

Keywords: Phosphate fertilizers; *Eucalyptus*; efficiency of rock phosphates; grow.

2.3 INTRODUÇÃO

O Brasil possui em seu território características de solo e clima propícios à silvicultura, o que lhe atribui vantagens para o melhor desenvolvimento da atividade florestal.

A finalidade principal da adubação de plantio é promover o arranque inicial no crescimento das mudas, fase que se estende até o sexto mês a partir da implantação do florestamento. Isso ocorre porque através dela é fornecido ao solo quantidades de nutrientes destinados a atender a demanda nutricional inicial das mudas sendo que sua importância será maior quanto maior for a deficiência de nutrientes no solo (GONÇALVES, 1995). A importância da “adubação de arranque” para *Eucalyptus grandis* foi confirmada pelas pesquisas de Rezende et al. (1982), Dantas (1988) e Leal et al. (1988).

Os florestamentos e reflorestamentos de eucalipto no Brasil, em geral estão localizados em áreas com solo de baixa fertilidade natural que dependem cada vez mais da utilização de fertilizantes corretivos, sendo a baixa disponibilidade de fósforo (P) nos solos uma das causas mais limitantes do crescimento e da produção florestal (FRANCO, 1984). O eucalipto na maioria dessas áreas, responde positivamente à adubação fosfatada (GAVA, 2003), sendo que o aumento do teor de P no solo constitui-se um fator essencial para a correta nutrição das mudas desse gênero permitindo um rápido crescimento inicial, devido ao acelerado ritmo de crescimento nesta fase e um adequado estabelecimento das florestas de alta produtividade (SILVA et al., 2007).

Os fosfatos naturais (FNs) podem ser classificados em duas categorias distintas. Os FNs “duros”, como são classificados a maioria dos fosfatos brasileiros por ter origem ígnea ou metamórfica de baixa hidrolisação e os FNs “moles”, de origem sedimentar que podem ser facilmente hidrolisáveis e são conhecidos como FNs reativos (KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

Os FNs reativos que em suma são importados de outros países, são obtidos a partir de rochas fosfáticas denominadas fosforitas e são comercializados no mercado como FNs reativos (KAMINSKI & PERUZZO, 1997). Na região do Planalto Sul Catarinense os principais produtos comercializados são os de Gafsa, da Tunísia (28% de P₂O₅ total), o Djebel Onk, da Argélia (29% de P₂O₅ total) e o Bayovar, do Perú (34% de P₂O₅ total), entre outros fosfatos de origem sedimentar que são utilizados nos solos destinados à produção florestal.

Alguns trabalhos relatam que as respostas das mudas de eucaliptos aos FNs, como única fonte de P, as vezes são poucas ou não compensadoras para florestamentos e reflorestamentos (REZENDE et al., 1982; LEAL et al., 1988). Entretanto, o uso de FNs tem sido promissor quando associados com fontes solúveis de P, em virtude da alta demanda inicial do eucalipto por este nutriente (NOVAIS et al., 1982). Em contrapartida, de acordo com Novais et al. (1982), os FNs de baixa reatividade apresentam um efeito similar aos das fontes solúveis em água em longo prazo e o eucalipto, por ter um ciclo longo, teria a disponibilidade de P do FN durante o desenvolvimento das plantas com um efeito residual geralmente maior que o das fontes solúveis. Desde modo, os FNs reativos seriam uma alternativa para a adubação fosfatada em substituição parcial aos fosfatos solúveis para culturas de ciclo longo (FEITOSA et al., 1978).

Deve-se consideração que as fontes solúveis quando adicionadas ao solo aumentam rapidamente a concentração de P na solução, mas tem sua eficiência diminuída ao longo do tempo devido aos processos de “adsorção” e “fixação” que ocorrem ao longo do tempo às partículas reativas do solo na maioria dos solos brasileiros (NOVAIS & SMITH, 1999).

Estudos comprovam que o eucalipto é uma espécie pouco sensível a solos ácidos, e em condições de pH baixo a dissolução dos FNs é favorecida aumentando sua eficiência e promovendo maior disponibilidade de P na solução. O pH ácido aumenta a solubilização dos FNs, em consequência, aumenta a disponibilidade de P para as mudas de eucalipto, por outro lado, um pH mais elevado aumenta a disponibilidade de P oriundo dos fosfatos solúveis, tornando o P mais disponível às plantas nesta condição (ERNANI, 2008).

Os fosfatos de rocha são fontes de P passível de utilização em solos com acidez moderada, porém, com a aplicação de calcário, aumenta a eficiência das fontes solúveis e

reduz o desempenho das fontes naturais (GATIBONI et al., 2003). Em pH natural 4,3 sem a aplicação de calagem, o suprimento de P disponível pelos FNPs não reativos foi similar aos fosfatos solúveis, porém com a aplicação de calagem e elevação do pH para 5,4, os FNPs foram menos solubilizados, diminuindo a disponibilidade de P (YOST et al., 1982).

Não há informações sobre a eficiência dos FNPs nos solos ácidos da região do Planalto Sul catarinense e, por isso, o presente trabalho objetivou avaliar a resposta à adubação fosfatada e a eficiência relativa dos FNPs de Gafsa, Djebel e Bayovar, em solos sem e com calagem cultivados com duas espécies de eucaliptos.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram realizados dois experimentos com mudas clonais de *E. benthamii* (clone 116), e de *E. dunnii* (clone KS - 25), em casa-de-vegetação no Departamento de Solos da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages (SC) no período de outubro de 2010 a fevereiro de 2011.

Para a implantação do experimento foi utilizado solo classificado como Cambissolo Húmico, coletado na camada de 0-20 cm, na fazenda FL099, pertencente a empresa Klabin S/A, localizada no município de Correia Pinto (SC), cultivado anteriormente com *Pinus sp.* Logo após a coleta o solo foi passado em peneira com malha de 4 mm e seco em estufa de circulação forçada de ar a 60° C.

No tratamento com calagem, foi aplicada a quantidade de 9,6 t ha⁻¹ de calcário, dose calculada pelo índice SMP para elevar o pH em água até 5,5 (CQFS-RS/SC, 2004), considerado para isso a existência de 2.000.000 kg de solo por hectare da camada arável. Os tratamentos sem aplicação do corretivo de acidez foram mantidos a pH natural de 4,2. A caracterização química e física do solo utilizado está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Características do Cambissolo Húmico coletado na camada de 0-20 cm de profundidade utilizado no experimento.

Atributos	Valores
pH $\text{H}_2\text{O}^{(2)}$ (1:1)	4,2
Índice SMP ⁽²⁾	4,7
$\text{Ca}^{(2)}$ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,5
$\text{Mg}^{(2)}$ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,4
$\text{Al}^{(2)}$ ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	4,1
P Mehlich ⁽²⁾ (mg dm^{-3})	1,3
K ⁽²⁾ (mg dm^{-3})	56
MO (g kg^{-1})	2,8
CTC efetiva ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	5,1
CTC pH 7,0 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	35,5
Saturação por bases (g kg^{-1})	2,8
Saturação por Al (g kg^{-1})	80,2
Argila (g kg^{-1})	32

⁽¹⁾Determinado pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997);⁽²⁾ Metodologia utilizada por Tedesco et al., (1995); MO: matéria orgânica.

As fontes de P utilizadas foram o FN reativo de Gafsa, originário da Tunísia (28% de P_2O_5 total), o FN reativo Bayovar, originário do Peru (34% de P_2O_5 total), o FN reativo Djebel, originário da Argélia (29% de P_2O_5 total), superfosfato triplo (fosfato solúvel com 42% de P_2O_5 total) e um tratamento testemunha (sem P), as quais foram previamente moídas e tamizadas em peneira tipo USS 50 Tyler 48 de 0,3 mm de diâmetro de malha para homogeneização da granulometria.

A dose de P foi de $52,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de P_2O_5 , a qual foi aplicada e misturada ao solo dos vasos, juntamente com a adubação com KCl ($41,5 \text{ mg kg}^{-1}$ K_2O), e com uréia ($13,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de N), mais o corretivo de acidez (calcário Filler 98,11% PRNT), aplicado apenas nos vasos com correção de pH.

Os tratamentos dos dois experimentos, um para cada espécie estudada, foram constituídos de solo sem e com calagem e quatro tipos de adubação fosfata (FNs Gafsa, Bayovar, Djebel e SFT) além de uma testemunha, arranjados em delineamento experimental inteiramente casualizado, em um fatorial 5 x 2, com quatro repetições.

Para o cultivo, as amostras de solo foram acondicionadas em vasos com capacidade para 8 litros, cobertos com um saco plástico. Os sacos plásticos foram usados para evitar a perda de solo e água por lixiviação. Após a aplicação dos tratamentos, foi plantada uma muda de eucalipto por vaso e cultivada por 110 dias. A umidade do solo foi mantida próxima a 80% da capacidade de campo, por meio de irrigações diárias com água deionizada para repor a água perdida por evapotranspiração, efetuando-se monitoramente semanal através de pesagem

dos vasos, momento que também eram tomadas as medidas dendrométricas (diâmetro à altura do colo e altura total) de cada planta.

Por ocasião da colheita, foi realizado o corte da parte aérea das plantas rente à superfície do solo e, em seguida, foram separadas as folhas, caule e ramos e raízes. Posteriormente, estas partes foram armazenadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C por 72h, para a quantificação da produção de matéria seca.

Para as raízes, foi quantificada a matéria seca juntamente com o solo rizosférico, que depois de separada deste, foram lavadas com HCl 0,5 mol L⁻¹, água destilada e novamente secas em estufa de circulação forçada de ar a 60° C por 72h, para a determinação da matéria seca. Foi considerada mais adequada a utilização dos valores provenientes das raízes limpas, por ter havido correlação direta significativa entre as massas das mesmas (Apêndices A).

As amostras da parte aérea foram moídas, submetidas à digestão sulfúrica segundo Tedesco et al. (1995), em seguida o extrato foi preparado para a determinação dos teores totais de P no tecido vegetal, segundo a metodologia de Murphy & Riley (1962).

Após remoção das plantas e das raízes, as amostras de solo de cada vaso foram coletadas, acondicionadas em sacos plásticos e secas em estufa de circulação forçada de ar a 60° C por 48h. Após, foram moídas e preparadas para a determinação de teores de P disponível pelos métodos de Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Ânios (RTA) em lâminas, descritos respectivamente por Mehlich (1953); Mehlich (1984) e Tedesco et al. (1995).

Para a extração através do Mehlich 1 e Mehlich 3, pesou-se 3g de solo em tubo de centrífuga de 50 ml com tampa-rosca no qual se adicionou 30 ml da solução extratora. A seguir, agitou-se por um período de cinco minutos, em aproximadamente 200 rpm em agitador orbital, deixando em repouso por 16 horas. Posteriormente, retirou-se uma alíquota do sobrenadante para a determinação do P disponível.

Para a extração pelo método da RTA, pesou-se 0,5 g de solo em tubo de centrífuga de 30 ml com tampa-rosca e adicionou-se 10 ml de água destilada e uma lâmina de resina saturada com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹. Em seguida, os tubos foram agitados por 16 horas em agitador tipo Wagner a 33 rpm, com temperatura constante de 25° C. Após este período, cada lâmina foi retirada e colocada em tubo para centrífuga de 30 ml com tampa rosca com 10 ml de HCl 0,5 mol L⁻¹ e deixada em repouso por 60 minutos, com a tampa aberta para a liberação do CO₂. Passado este período, as resinas foram levadas à agitação em agitador orbital a 130 rpm por 30 minutos e retirou-se uma alíquota de sobrenadante para determinação de P disponível.

Os teores de P dos extratos foram determinados por espectrofotometria em comprimento de onda 882 nm, após redução do complexo fosfo-molibdato com ácido ascórbico (MURPHY E RILEY, 1962).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ($P<0,05$). Para a correlação entre os parâmetros de teor de P acumulado na planta e os teores de P disponível no solo foi aplicado o teste de Correlação Simples de Pearson ($P<0,05$). As análises foram conduzidas usando-se o software SAS[®] (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2003).

A eficiência relativa dos FN's foi calculada a partir dos dados obtidos de matéria seca de parte aérea e matéria seca total, usando a equação:

$$ER(\%) = \frac{MS_{fonte} - M_{test}}{MS_{sft} - M_{test}} \times 100$$

Onde:

MS_{fonte} : matéria seca no tratamento com o uso da fonte

M_{test} : matéria seca no tratamento testemunha

MS_{sft} : matéria seca no tratamento superfosfato triplo

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Reação do solo cultivado com *E. benthamii* e *E. dunnii* à calagem

Na tabela 2 são apresentados os valores de pH em água nos diferentes tratamentos. Observa-se que a aplicação de calcário não foi efetiva para elevar o valor de pH em água até o esperado (5,5). Mesmo com a não elevação ao pH desejado, pode ser constatada a ocorrência de diferenças significativas entre os solos sem e com calagem para os dois experimentos, onde os solos com calagem apresentaram pH maior (em média pH 5,0) que os solos sem calagem (pH médio de 4,2). Não houve diferenças de valores de pH para as diferentes fontes de P testadas e não ocorreu interação entre os tratamentos e os níveis de calagem (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de pH em água obtidos no solo cultivado com mudas de *E. benthamii* e *E. dunnii* a pós 110 dias de cultivo e submetidos a aplicação de fontes de P e de calcário.

FATOR	Espécies	
	<i>E. benthamii</i>	<i>E. dunnii</i>
Tratamentos (1)	pH em água	
Bayovar	4,5	4,7
Gafsa	4,6	4,6
Djebel	4,6	4,7
SFT	4,5	4,7
Testemunha	4,6	4,6
Valor F	0,5 ^{ns}	0,3 ^{ns}
Calagem (2)		
Sem	4,1b	4,4b
Com	5,0a	5,0a
Valor F	96,3**	24,0**
Interação (1x2)	0,5 ^{ns}	0,3 ^{ns}
CV (%)	5,99	8,24

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas minúsculas diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

Inexistências de letras significam ausência de diferenças estatísticas.

** = Significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo para os níveis testados.

Bayovar, Gafsa e Djebel = fosfatos naturais reativos.

SFT = superfosfato triplo.

Testemunha = sem adição de P.

2.5.2 Atributos de crescimento do *E. benthamii* e do *E. dunnii* submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem

As variáveis dendrométricas de diâmetro à altura do colo (DM) e altura total (ALT) das plantas de *E. benthamii*, mensurados aos 30, 60, 90 e 110 dias após o plantio não foram afetadas pela aplicação de fontes de P e pela correção do solo (Tabela 3).

Houve interação entre os tratamentos e a calagem somente para a variável altura medida aos 60 dias para o *E. benthamii* (ALT60) (Tabela 3).

Tabela 3 – Atributos relacionados ao crescimento das plantas, diâmetro à altura do colo (DM) e altura total (ALT) mensurados aos 30, 60, 90 e 110 dias após plantio das mudas de *E. benthamii*, em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.

FATOR	DM30	DM60	DM90	DM110	ALT30	ALT60	ALT90	ALT110
Tratamentos (1)	(cm)							
Bayovar	0,3	0,5	0,9	1,0	47,9	78,8	113,0	121,0
Gafsa	0,3	0,6	0,9	1,0	48,5	77,4	114,4	122,5
Djebel	0,4	0,6	1,0	1,1	45,3	79,9	113,5	123,6
SFT	0,3	0,6	0,9	1,0	51,1	74,9	119,0	130,5
Testemunha	0,3	0,6	1,0	1,1	48,9	78,5	110,9	119,5
Valor F	1,5 ^{ns}	2,4 ^{ns}	2,3 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1,2 ^{ns}
Calagem (2)								
Sem	0,33	0,58	0,91	1,02	49,0	76,7	115,5	124,6
Com	0,3	0,6	1,0	1,1	47,7	79,1	112,9	122,3
Valor F	0,2 ^{ns}	0,8 ^{ns}	3,2 ^{ns}	2,1 ^{ns}	0,5 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,4 ^{ns}
Interação (1x2)	1,2 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,8 ^{ns}	1,0 ^{ns}	2,9*	1,2 ^{ns}	1,1 ^{ns}
CV (%)	10,9	10,76	12,14	15,43	11,98	10,14	9,56	8,68

Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas.

* = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo nos níveis testados.

Bayovar, Gafsa, Djebel, = fosfatos naturais reativos.

SFT = superfosfato triplo.

Testemunha = sem adição de P.

A interação ocorrida está demonstrada na Figura 1, onde para os solos sem calagem o FN reativo Bayovar se mostrou mais eficiente em relação ao SFT. Os FNs de Gafsa, Djebel e testemunha mostraram mesmo comportamento que o FN Bayovar e o SFT. Nos solos com calagem, todas as fontes de P e a testemunha foram semelhantes entre si (Figura 1).

A baixa eficiência do SFT em solos ácidos é constantemente reportada nos trabalhos científicos e pode ser constatado na Figura 1, este comportamento se deve a alta solubilidade do P, que faz com que o nutriente solubilizado seja rapidamente adsorvido ao solo por ocorrência da protonação dos sítios de adsorção, diminuindo a disponibilidade para as plantas (NOVAIS et al., 2007).

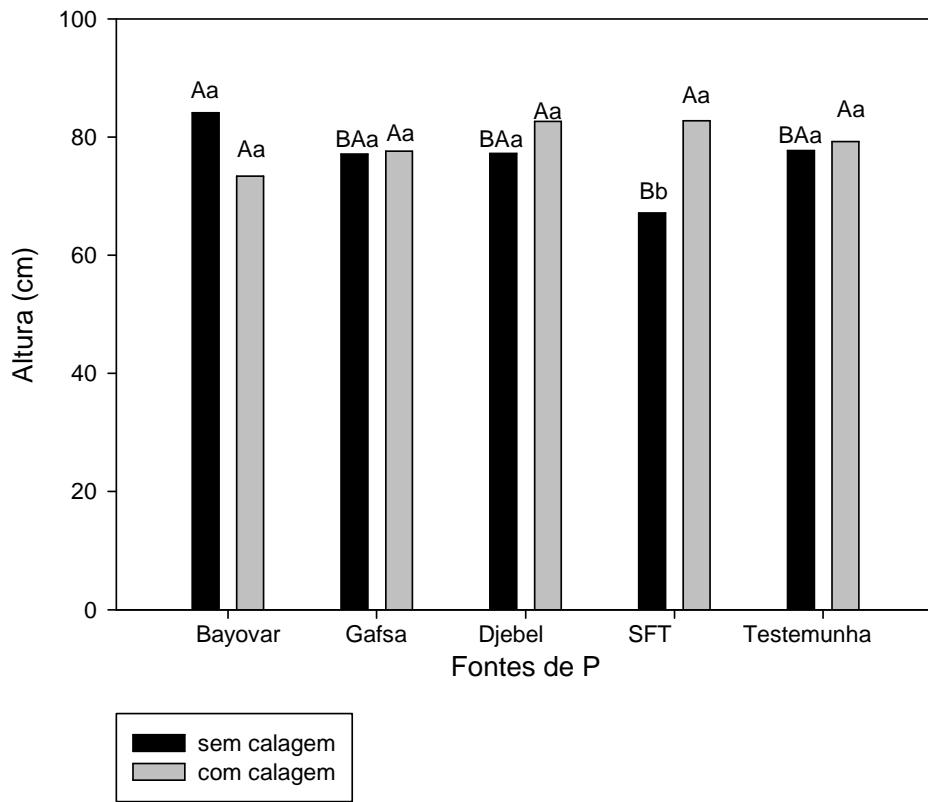


Figura 1 – Interação dos tratamentos com os níveis de calagem para altura medida aos 60 dias (ALT60) após plantio de mudas de *E. benthamii*.

Médias das fontes de P seguidas de letras maiúsculas ou minúsculas distintas, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

Letras maiúsculas compararam os tratamentos nos níveis de calagem (sem e com calagem). Letras minúsculas compararam os níveis de calagem dentro de cada tratamento.

Analizando os resultados da interação de ALT60 para os níveis de calagem dentro de cada tratamento, observa-se que apenas para a fonte solúvel (SFT) ocorreu variação, sendo a maior altura atingida no solo com calagem (82,7 cm) em relação ao sem calagem (67,1 cm), sendo este resultado esperado devido a maior disponibilidade das fontes solúveis em pH mais elevados (ROBINSON & SYERS, 1990).

Segundo Barrow (1985), em solos ácidos o uso de calagem é uma estratégia para aumentar a disponibilidade de P para as plantas quando se utiliza fosfatos solúveis, uma vez que, com o acréscimo do pH, há um aumento na densidade de cargas negativas nas superfícies dos colóides do solo, o que acarreta maior repulsão (menor adsorção) entre o fosfato e a superfície adsorvente.

Para o *E. dunnii*, pode-se observar que somente houve respostas aos diferentes tratamentos para ALT60, onde o SFT foi superior ao FN de Gafsa (Tabela 4).

A resposta aos níveis de calagem ocorreu para DM60 e ALT60, onde os tratamentos sem calagem foram superiores aos tratamentos com calagem. Ocorreu interação entre os tratamentos e os níveis de calagem somente para ALT30 (Tabela 4).

Tabela 4 – Atributos relacionados ao crescimento das plantas, diâmetro à altura do colo (DM) e altura total (ALT) mensurados aos 30, 60, 90 e 110 dias após plantio das mudas de *E. dunnii*, em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.

FATOR	DM30	DM60	DM90	DM110	ALT30	ALT60	ALT90	ALT110
Tratamentos (1)	(cm)							
Bayovar	0,3	0,5	0,8	0,9	40,5	64,6ba	83,8	94,0
Gafsa	0,3	0,5	0,8	0,9	40,0	61,2b	80,8	94,4
Djebel	0,4	0,5	0,8	0,9	39,8	65,7ba	81,3	95,8
SFT	0,3	0,5	0,8	0,9	44,9	68,3a	87,9	99,6
Testemunha	0,4	0,5	0,8	0,8	40,3	64,1ba	87,6	96,5
Valor F	1,7 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,7 ^{ns}	1,6 ^{ns}	2,6*	1,0 ^{ns}	0,7 ^{ns}
Calagem (2)								
Sem	0,35	0,51a	0,78	0,89	42,5	66,7a	84	95,8
Com	0,3	0,47b	0,8	0,9	39,7	62,8b	84,5	96,3
Valor F	0,6 ^{ns}	5,7*	0,0 ^{ns}	1,3 ^{ns}	3,6 ^{ns}	7,6*	0,0 ^{ns}	0,0 ^{ns}
Interação (1x2)	0,4 ^{ns}	2,5 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,7 ^{ns}	3,0*	1,2 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,7 ^{ns}
CV (%)	10,04	9,96	10,11	9,42	11,55	7,05	11,49	8,01

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas.

* = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo nos níveis testados.

Bayovar, Gafsa, Djebel = fosfatos naturais reativos.

SFT = superfosfato triplo.

Testemunha = sem adição de P.

Houve interação entre os tratamentos com os níveis de calagem apenas para ALT30 para o *E. dunnii*, onde para os solos sem calagem a maior altura foi obtida no tratamento com SFT (50,5 cm), sendo que os tratamentos com FN e a testemunha foram semelhantes entre si apresentando incrementos em altura menores que a fonte solúvel. Para os solos com calagem todos os tratamentos foram semelhantes entre si (Figura 2).

Quando analisado o comportamento dos níveis de calagem dentro de cada tratamento, houve resultado somente para o tratamento com SFT, onde os solos sem calagem apresentaram maior incremento em altura aos 30 dias de medição (50,5 cm) em comparação aos solos com calagem (39,3 cm) (Figura 2). Este comportamento não era esperado, já que em pH ácido espera-se uma menor dissolução das fontes solúveis de P e uma maior

potencialidade das fontes naturais de P (ROBINSON & SYERS, 1990). Contudo, foi um efeito temporário, pois na medição realizada aos 60 dias este efeito não foi observado.

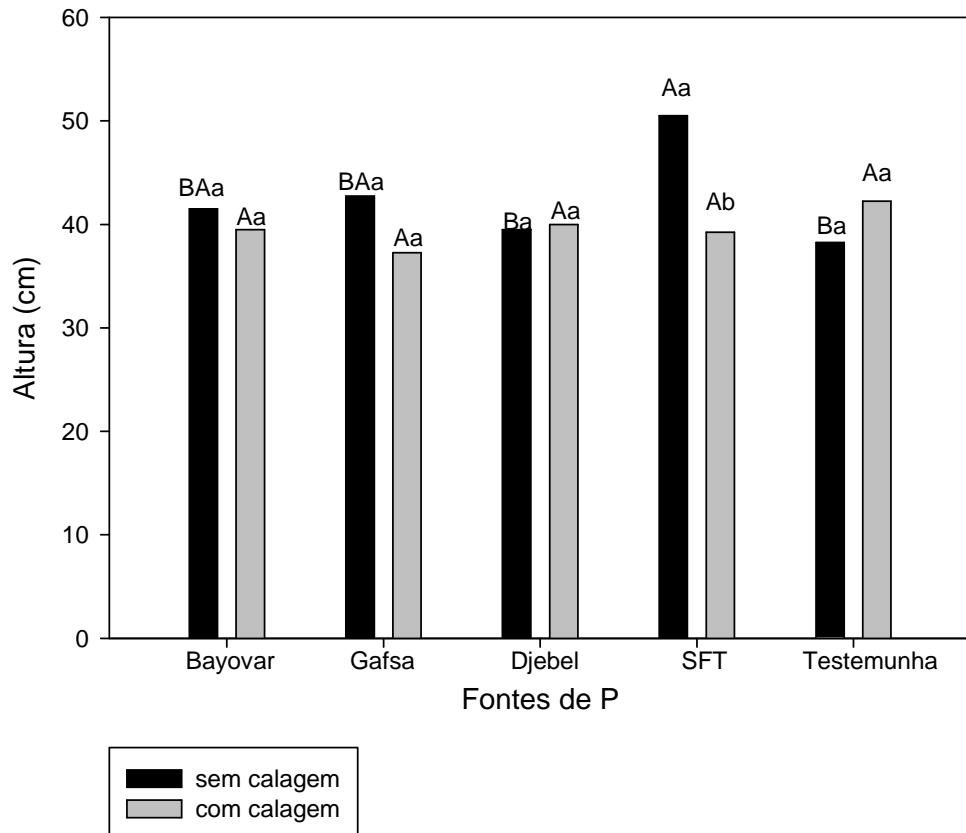


Figura 2 – Interação dos tratamentos com os níveis de calagem para altura medida aos 30 dias (ALT30) após plantio de mudas *E. dunnii*.

Médias das fontes de P seguidas de letras maiúsculas ou minúsculas distintas, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

Letras maiúsculas comparam os tratamentos nos níveis de calagem (sem e com calagem). Letras minúsculas comparam os níveis de calagem dentro de cada tratamento.

De um modo geral, as fontes de P e a correção do solo não alteraram significativamente o incremento das variáveis dendrométricas medidas nas espécies utilizadas (*E. benthamii* e *E. dunnii*) até os 110 dias de cultivo em casa-de-vegetação. Foi observado apenas que os tratamentos com aplicação do fosfato solúvel mostraram um desempenho ligeiramente superior no período de 30 a 60 dias de cultivo.

2.5.3 Matéria seca do *E. benthamii* e do *E. dunnii* submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem

Para o *E. benthamii* os tratamentos não apresentaram diferenças na quantidade de matéria seca folhas (MSF) e matéria seca de raízes (MSR). Entretanto, os tratamentos diferiram para matéria seca de caule e ramos (MSCR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) (Tabela 5).

Em relação à MSPA, o SFT e os FN de Gafsa e Djebel apresentaram semelhança entre si e foram os tratamentos com melhor produção de matéria seca. O FN Bayovar mostrou comportamento semelhante entre os FN de Gafsa e Djebel, porém não diferiu também da testemunha (tratamento com menores valores de matéria seca quando comparado aos demais). Não foi observado efeito de calagem e não houve interação entre os tratamentos e os níveis de calagem para os parâmetros de produção de matéria seca de *E. benthamii* (Tabela 5).

Para esta espécie o incremento na produção de MSPA e na MST foi proporcionado principalmente pela produção obtida com o caule e ramos (MSCR), pois este foi o componente que representou a maior massa dentro do fracionamento da planta realizado (Tabela 5).

Tabela 5 – Matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule e ramos (MSCR), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) de mudas *E. benthamii* em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.

FATOR	MSF	MSCR	MSR	MSPA	MST
Tratamentos (1)	(g vaso ⁻¹)				
Bayovar	17,4	21,3b	8,3	38,7cb	40,0ba
Gafsa	19,3	21,8ba	9,3	41,1ba	50,4ba
Djebel	19,9	23,0ba	9,9	42,9ba	52,7ba
SFT	20,5	25,8a	9,6	46,3a	55,9a
Testemunha	16,7	16,7c	9,3	33,4c	42,7b
Valor F	2,8 ^{ns}	10,1**	0,3 ^{ns}	7,5**	4,2*
Calagem (2)					
Sem	18,7	21,5	9,6	40,2	49,7
Com	18,8	22	9,0	40,8	49,8
Valor F	0,0 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,0 ^{ns}
Interação (1x2)	0,3 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,2 ^{ns}
CV (%)	16,0	13,5	32,0	12,3	14,1

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas

* = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F.

** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo para os níveis testados

Bayovar, Gafsa, Djebel = fosfatos naturais reativos.

SFT = superfosfato triplo.

Testemunha = sem adição de P.

Para o *E. dunnii*, não houve resposta aos tratamentos na produção de MSR, em contrapartida, este foi o único parâmetro que apresentou resposta aos níveis de calagem, onde a ausência de calagem proporcionou um incremento na produção de MSR em comparação a presença de calagem. Para os demais parâmetros não houve resposta para os níveis de calagem (Tabela 6).

Houve respostas aos diferentes tratamentos para MSF, MSCR, MSPA e MST. Em relação à MSPA, foi observado que todas as fontes de P tiveram o mesmo comportamento, sendo que o FN Djebel se assemelhou à testemunha. Para esta espécie, a MSF foi o parâmetro que mais auxiliou no incremento à produção de MSPA e MST (Tabela 6).

Tabela 6 – Matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule e ramos (MSCR), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) de mudas *E. dunnii* em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.

FATOR	MSF	MSCR	MSR	MSPA	MST
Tratamentos (1)	(g vaso ⁻¹)				
Bayovar	30,3a	20,4a	7,5	50,8a	58,2a
Gafsa	28,3ba	19,0a	6,8	47,3a	54,1ba
Djebel	26,5ba	18,8a	7,5	45,4ba	52,9ba
SFT	29,1a	21,2a	7,8	50,3a	58,2a
Testemunha	24,6b	15,2b	6,8	39,9b	46,7b
Valor F	4,8*	11,9**	0,5 ^{ns}	9,4**	6,6**
Calagem (2)					
Sem	27,3	19,3	8,2a	46,6	55,0
Com	28,2	18,6	6,2b	46,9	53,0
Valor F	1,0 ^{ns}	1,2 ^{ns}	13,6**	0,0 ^{ns}	1,4 ^{ns}
Interação (1x2)	3,7*	6,4**	3,0 ^{ns}	6,1**	5,8**
CV (%)	10,4	9,9	25,7	8,7	9,59

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas

* = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F.

** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo para os níveis testados

Bayovar, Gafsa, Djebel = fosfatos naturais reativos.

SFT = superfosfato triplo.

Testemunha = sem adição de P.

A interação ocorrida entre os tratamentos e os níveis de calagem para MSF, MSCR, MSPA e MST estão apresentados na Figura 3, onde os tratamentos sem calagem tiveram melhores respostas que os tratamentos com calagem e uso concomitante dos FNs de Gafsa e Djebel.

No tratamento com FN Bayovar, os melhores resultados foram obtidos nos solos com calagem em todas as interações (Figura 3). Este comportamento pode ser justificado levando em conta a quantidade de P solúvel em ácido cítrico contido neste fosfato (16% de P₂O₅), o que o torna superior aos demais FNs (média de 9% de P solúvel em ácido cítrico) e mais próximo aos fosfatos solúveis, por tanto, com maior possibilidade de incremento de eficiência da adubação com a correção da acidez do solo. No tratamento testemunha foi observada, em todas as interações, uma maior produção de matéria seca no solo com correção, indicando que na ausência de fertilização fosfatada, a calagem melhora o ambiente edáfico e isso decorre do fato da correção do solo favorecer melhorias na disponibilidade de nutrientes às plantas (ERNANI, 2008), inclusive P.

Analisando cada tratamento, houve diferença nos níveis de calagem para o FN de Gafsa nos parâmetros de MSF, MSCR, MSPA e MST e para o FN Djebel nos parâmetros de MSCR e MST, onde os solos sem calagem ocasionaram maiores incrementos quando comparados aos solos com calagem. Para a testemunha, na MSCR, MSPA e MST o maior incremento na produção ocorreu nos solos com calagem, isso certamente se deve ao fato da calagem atribuir melhorias na disponibilidade de nutrientes ao solo como já citado anteriormente (Figura 3).

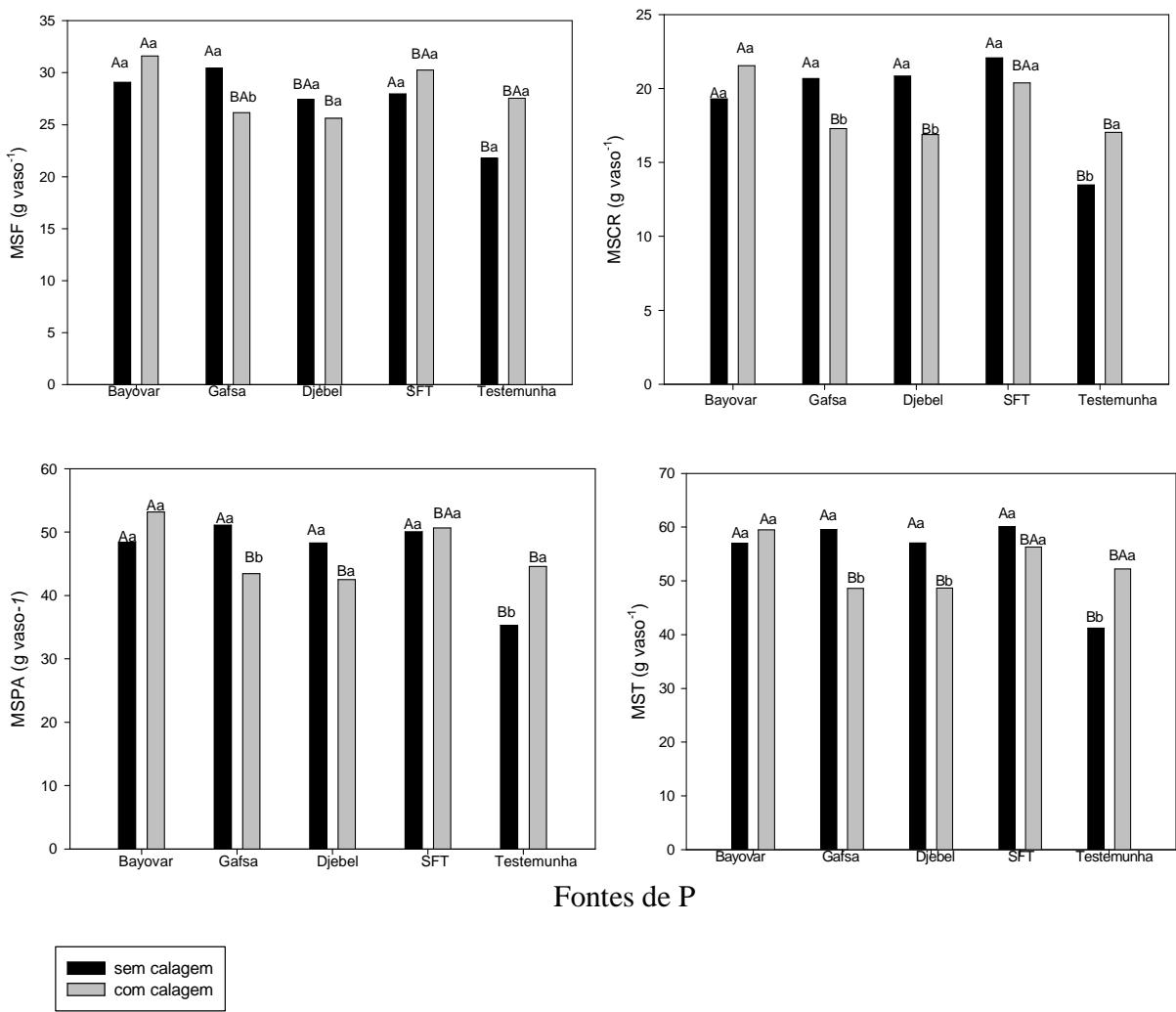


Figura 3 – Interação dos tratamentos com os níveis de calagem para a matéria seca de folhas (MSF), caule e ramos (MSCR), da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) para *E. dunnii* após 110 dias de cultivo.

Médias das fontes de P seguidas de letras maiúsculas ou minúsculas distintas, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

Letras maiúsculas comparam os tratamentos nos níveis de calagem (sem e com calagem).

Letras minúsculas comparam os níveis de calagem dentro de cada tratamento.

A resposta do eucalipto à prática da calagem é rara, apesar dos solos cultivados com este gênero no Brasil apresentarem elevada acidez. Isso foi comprovado através dos dados obtidos neste trabalho para as espécies de *E. benthamii* e *E. dunnii*. Em solos ácidos, o uso de FN pode ocasionar respostas satisfatórias em comparação aos solos com calagem, onde a produção de matéria seca pode ser comprometida devido a baixa solubilização destas fontes (SILVA, 1986).

Os resultados deste trabalho mostraram ainda que para o *E. dunnii* o melhor incremento na produção de matéria seca foi ocasionado pela fonte solúvel e pelo FN Bayovar

em solos com calagem quando comparado aos FN_s reativos para o período de 110 dias de cultivo, o que comprova que a reatividade dos FN_s no solo ocorre de forma mais lenta e prolongada quando aplicados em solos com pHs mais elevados, proporcionando um déficit de P no início do desenvolvimento da floresta (NOVAIS et al. 1990).

De modo geral, para as espécies de *E. benthamii* e *E. dunnii*, todas as fontes de P utilizadas mostraram comportamentos semelhantes entre si em relação à produção de MSPA e, ainda, foi observado que o uso de fertilizante fosfatado é mais importante que a correção do pH do solo, embora para SFT e FN Bayovar o efeito de ambos pareça ser aditivo.

2.5.4 Fósforo acumulado no *E. benthamii* e do *E. dunnii* submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem

Os valores médios dos percentuais de P no tecido estão expressos no apêndice B, tem sido aqueles valores usados para calcular, juntamente com a produção de matéria seca, o teor de P acumulado pelas plantas. Para o *E. benthamii* o tipo de tratamento utilizado não ocasionou diferenças no acúmulo de P nas raízes (R), porém, estas diferenças foram observadas no acúmulo de P das folhas (F), do caule e ramos (CR), da parte aérea (PA) e total (T). O maior acúmulo de P foi observado nas folhas (F) em comparação ao P acumulado no caule e ramos (CR) (Tabela 7).

Em relação ao acúmulo de P na PA, todos os tratamentos com fontes de P mostraram respostas semelhantes entre si, diferenciando-se apenas da testemunha (tratamento com menores resultados). Somente para as variáveis de F e PA a variação nos níveis de calagem foram significativas, sendo que as melhores respostas foram resultantes dos solos com calagem, provavelmente porque a calagem melhorou a disponibilidade de P no solo e propiciou uma melhor absorção pelas plantas. Não foi observada interação entre os tratamentos e os níveis de calagem para o *E. benthamii* (Tabela 7).

Tabela 7 – Fósforo acumulado no tecido de folhas (F), caule e ramos (CR), parte aérea (PA) e total (T) em mudas de *E. benthamii* após 110 dias de cultivo em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.

FATOR	F	CR	R	PA	T
Tratamentos (1)		(mg vaso ⁻¹)			
Bayovar	16,4a	12,9ba	7,1	29,3a	36,4b
Gafsa	18,2a	11,77b	10,4	29,9a	40,4ba
Djebel	16,7a	13,2ba	9,3	29,9a	39,3ba
SFT	19,9a	16,9a	11,5	36,7a	48,3a
Testemunha	10,7b	7,3c	6,0	18,0b	24,9c
Valor F	8,3**	10,6**	2,7 ^{ns}	10,8**	10,7**
Calagem (2)					
Sem	14,5b	12,2	9,4	26,7b	36,1
Com	18,2a	12,6	8,3	30,9a	39,2
Valor F	11,8**	0,2 ^{ns}	0,8 ^{ns}	5,1*	1,6 ^{ns}
Interação	1,7 ^{ns}	2,1 ^{ns}	1,6 ^{ns}	1,9 ^{ns}	0,3 ^{ns}
CV (%)	20,87	24,01	44,9	20,2	20,8

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas.

* = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F.

** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo para os níveis testados.

Bayovar, Gafsa, Djebel = fosfatos naturais reativos.

SFT = superfosfato triplo.

Testemunha = sem adição de P.

Semelhante ao ocorrido para o *E. benthamii*, não houve diferenças no acúmulo de P em R quanto aos diferentes tratamentos utilizados para o *E. dunnii*. Entretanto, houve diferença entre os tratamentos para as variáveis F, CR, PA e T (Tabela 8).

O tratamento com SFT e FN Bayovar foram os tratamentos que resultaram maior acúmulo de P em relação a PA, os FNs de Gafsa e Djebel mostraram semelhança entre si (acúmulo médio de P de 37,2 mg vaso⁻¹ na PA), sendo a testemunha o tratamento com o menor teor de P acumulado (24 mg vaso⁻¹). Não ocorreram respostas aos níveis de calagem do solo para esta espécie, mas houve interação entre os tratamentos e os níveis de calagem para as variáveis CR e PA (Tabela 8 e Figura 4).

Tabela 8 – Fósforo acumulado no tecido de folhas (F), caule e ramos (CR), parte aérea (PA) e total (T) em mudas de *E. dunnii* após 110 dias de cultivo em função dos tratamentos e dos níveis de calagem.

FATOR	F	CR	R	PA	T
Tratamento (1)		(mg vaso ⁻¹)			
Bayovar	33,6ba	13,9a	7,2	47,5a	54,7ba
Gafsa	27,4cb	10,6a	5,4	38,0b	43,4c
Djebel	26,0c	10,5a	7,5	36,5b	44,0cb
SFT	34,9a	13,2a	10,9	48,2a	59,0a
Testemunha	18,7d	5,2b	5,8	24,0c	29,8d
Valor F	15,7**	12,4**	2,5 ^{ns}	21,9**	17,3**
Calagem					
Sem	26,8	11,4	8,5	38,2	46,8
Com	29,4	10,0	6,2	39,4	45,6
Valor F	3,1 ^{ns}	2,5 ^{ns}	3,7 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,2 ^{ns}
Interação	2,6 ^{ns}	3,8*	1,8 ^{ns}	4,2*	2,4 ^{ns}
CV (%)	16,5	25,6	52,68	15,3	16,7

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Inexistência de letras significa ausência de diferenças estatísticas.

* = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F.

** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo para os níveis testados.

Bayovar, Gafsa, Djebel = fosfatos naturais reativos.

SFT = superfosfato triplo.

Testemunha = sem adição de P.

Na interação, todos os tratamentos com P foram semelhantes entre si e superiores à testemunha nos solos sem calagem. Para os solos com calagem, o FN Bayovar foi superior aos demais, tendo comportamento semelhante ao SFT, conforme discutido anteriormente (Figura 4).

Para a variável CR, nos solos com calagem, a fonte solúvel se assemelhou ao FN Djebel sendo que este teve comportamento igual ao FN de Gafsa e a testemunha que foi o tratamento que resultou em menor acúmulo de P no tecido. Dentro de cada tratamento, para a variável CR houve variação nos níveis de calagem para os FNs de Gafsa e Djebel, onde para solos sem calagem ocorreu maior acúmulo médio de P no tecido ($13,2 \text{ mg vaso}^{-1}$) quando comparado ao acúmulo de P obtido a partir dos solos com calagem ($7,8 \text{ mg vaso}^{-1}$ em média), (Figura 4).

Para o acúmulo de P na PA, houve semelhança entre os FNs Djebel, Gafsa e a testemunha nos solos com calagem (Figura 4).

Nos solos com calagem o SFT e o FN Bayovar foram estatisticamente iguais entre si e

os FNs de Gafsa e Djebel semelhantes à testemunha. A variação nos níveis de calagem dentro de cada tratamento mostrou que para os FNs de Gafsa e Djebel os solos sem calagem apresentaram maior acúmulo de P na PA que os solos com calagem e para o tratamento com SFT ocorreu o contrário, comportamento esse compatível com a variação da solubilidade destes fertilizantes com a variação do pH (Figura 4).

Para o parâmetro P acumulado pela planta, ficou mais evidente a interação negativa entre os FNs de Gafsa, Djebel e a calagem do que com os parâmetros dendrométricos e a produção de matéria seca.

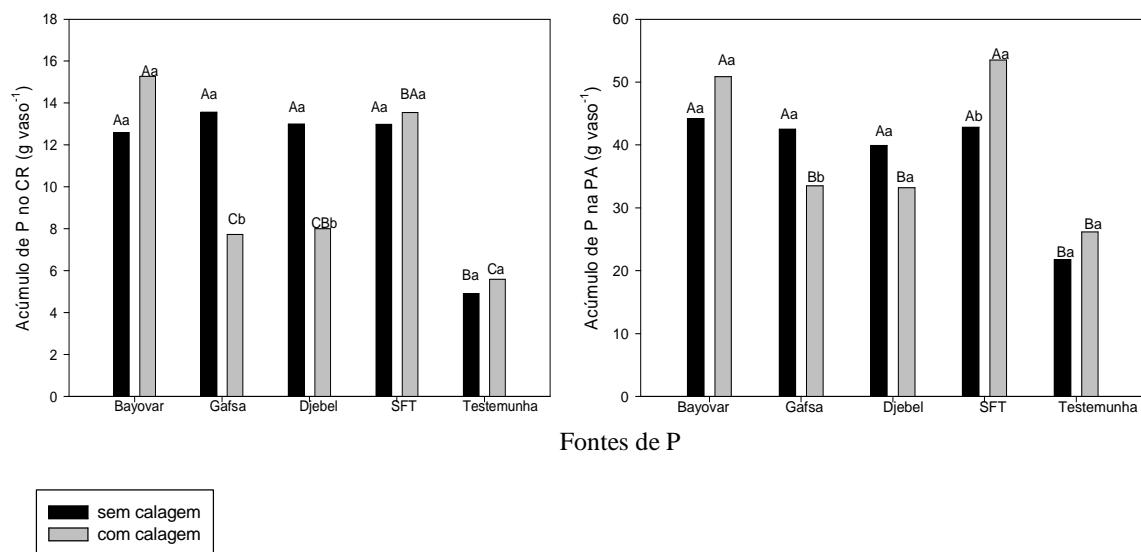


Figura 4 – Intereração dos tratamentos com os níveis de calagem para P acumulado em caule e ramos (CR) e parte aérea (PA) de mudas de *E. dunnii* após 110 dias de cultivo. Médias das fontes de P seguidas de letras maiúsculas ou minúsculas distintas, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

Letras maiúsculas comparam os tratamentos nos níveis de calagem (sem e com calagem).

Letras minúsculas comparam os níveis de calagem dentro de cada tratamento.

2.5.5 Fósforo extraído do solo por diferentes métodos em *E. benthamii* e *E. dunnii* submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem

Os dados obtidos para P extraído do solo pelos métodos Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) e Resina Trocadora de Ânions (RTA) para as duas espécies de eucalipto produzidas em solos sem e com calagem possibilitaram constatar que o M1 apresentou maior potencial de extração de P nos solos que receberam tratamento com FNs em comparação com o SFT e a

testemunha. Entretanto, isso não se traduziu em incrementos proporcionais de produção de matéria seca e acúmulo de P pelas plantas, conforme discutido anteriormente. Isso ocorre por causa da superestimação do teor de P extraído do solo por tal método devido a utilização de ácidos fortes pelo mesmo (MALAVOLTA, 2002) (Tabelas 9).

Os métodos de M3 e RTA extraíram teores de P semelhantes entre as fontes de P para as duas espécies avaliadas, diferenciando-se da testemunha, que foi o tratamento com menor teor de P extraído (Tabelas 9). Esse comportamento é mais correspondente ao ocorrido com o desempenho das plantas.

Houve diferenças de teores P extraídos para os níveis de calagem, onde para M1 ocorreu maior extração nos solos com calagem para ambas as espécies. Para o *E. benthamii*, o M3 extraiu maior teor de P dos solos sem calagem, sendo que para o *E. dunnii*, a RTA teve o mesmo comportamento (Tabelas 9). O efeito mais pronunciado da calagem sobre a capacidade de extração do M1 é devido ao modo de ação do extrator, que apresenta elevado índice de readsorção de P e com o aumento do P esta readsorção diminuiu.

Tabela 9 – Teores de P extraídos pelos métodos de Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) e Resina Trocadora de Ânions (RTA) em solos cultivado com *E. benthamii* e *E. dunnii* submetidos às fontes de P e aos níveis de calagem.

FATOR	<i>E. benthamii</i>			<i>E. dunnii</i>		
	M1	M3	Resina	M1	M3	Resina
Tratamento (1)						
Bayovar	36,1a	13,4a	25,0ba	34,4a	19,0a	21,3b
Gafsa	38,6a	10,8a	29,4ba	41,4a	14,0b	23,9ba
Djebel	46,2a	10,4a	20,5b	36,8a	16,1ba	23,5ba
SFT	17,4b	11,4a	30,1a	17,2b	15,3ba	31,5a
Testemunha	5,0b	4,7b	7,2c	5,1b	4,6c	6,7c
Valor F	20,1**	9,6**	17,5**	19,7**	25,8**	17,4**
Calagem (2)						
Sem	23,6b	11,6a	21,9	23,2b	12,5	23,4a
Com	33,7a	8,7b	22,0	30,8a	14,1	19,4b
Valor F	8,9*	9,8**	0,2 ^{ns}	5,9*	0,4 ^{ns}	4,2*
Interação (1x2)	2,8 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,7 ^{ns}	3,1*	0,9 ^{ns}	0,6 ^{ns}
CV (%)	37,23	29,13	28,15	36,05	21,97	28,64

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Inexistência de letras significam ausência de diferenças estatísticas.

* = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F.

** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo para os níveis testados.

Bayovar, Gafsa, Djebel = fosfatos naturais reativos.

SFT = superfosfato triplo.

Testemunha = sem adição de P.

Para a interação ocorrida entre os tratamentos e os níveis de calagem no método de extração de M1 para *E. dunnii*, observou-se que nos solos sem calagem, o FN de Gafsa e Bayovar proporcionaram maior extração de P do solo, sendo que os tratamentos com FN Djebel e SFT não se diferenciaram desta fonte de P (Figura 5).

Para os solos com calagem, o M1 extraiu maior teor de P dos tratamentos com FN, sendo estes tratamentos diferentes do SFT e da testemunha, que proporcionaram menor extração de P neste método. Somente ocorreu variação no teor de P extraído nos níveis de calagem para o tratamento com FN Djebel, onde ocorreu maior extração de P nos solos com calagem em comparação aos solos sem calagem (Figura 5).

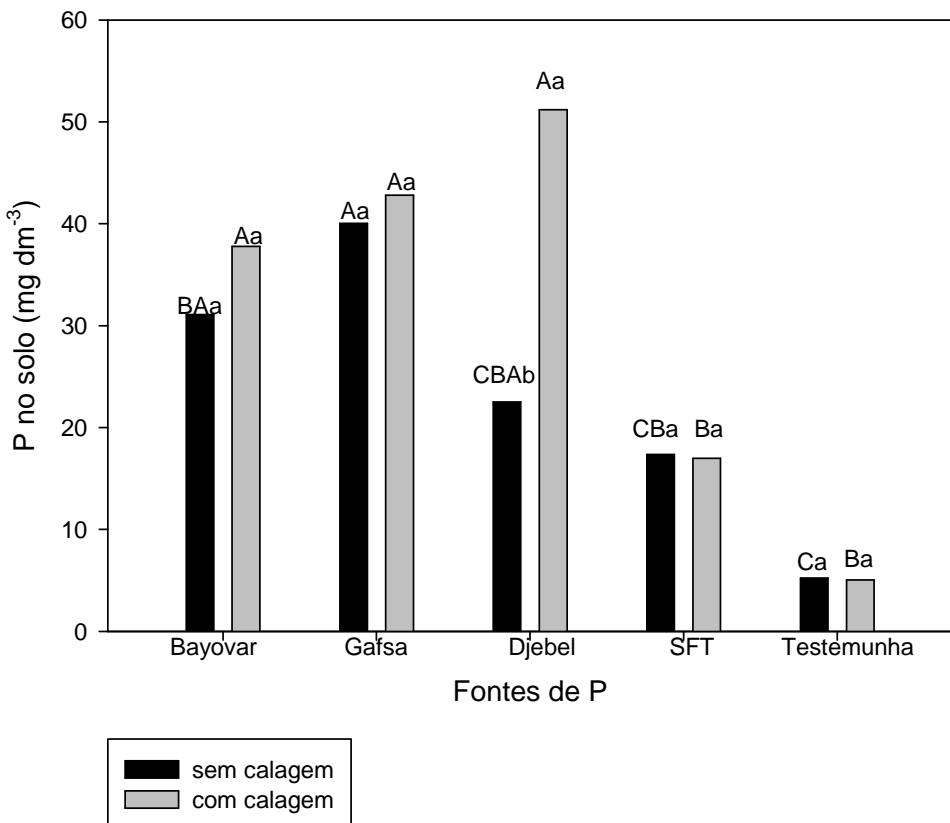


Figura 5 – Interação dos tratamentos com níveis de calagem para o P extraído do solo pelo método de Mehlich 1 (M1) em solo cultivado com mudas de *E. dunnii* após 110 dias de cultivo.

Médias das fontes de P seguidas de letras maiúsculas ou minúsculas distintas, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

Letras maiúsculas comparam os tratamentos nos níveis de calagem (sem e com calagem). Letras minúsculas comparam os níveis de calagem dentro de cada tratamento.

Para solos fertilizados com FN, o M1 é considerado inadequado para a avaliação da disponibilidade de P para as plantas, uma vez que este método utiliza dois ácidos fortes, sendo considerado como o método mais agressivo de extração de P do solo. O maior teor de P extraído pelo método M1 em solos com calagem ocorre devido ao seu caráter ácido, o que ocasiona solubilização do fosfato de cálcio do fertilizante, fornecendo valores superestimados de P (HOLANDA et al., 1995). Quando são utilizados extratores ácidos em solos adubados com FN, os valores encontrados são maiores que o disponível, sendo, portanto uma limitação do método (MALAVOLTA, 2002).

Esta limitação pode ser constatada na Tabela 10, onde a correlação entre o acúmulo de P total no tecido vegetal (ACPT) e os métodos de extração de P de solos com e sem calagem demonstram a ocorrência de baixa ou inexistente relação com o M1, não sendo, portanto

indicado para uso em solos que receberam aplicações de FN.

2.5.6 Correlação entre os métodos de extração de P do solo e acúmulo de P nos tecidos de *E. benthamii* e *E. dunnii*

Os métodos de M3 e RTA mostraram a quantificação de P semelhante ao que se esperava estar disponível no solo para as plantas, confirmando a adequação destes dois métodos em solos fertilizados com FN e sem calagem, e do M3 em solos com aplicação de fontes naturais e com calagem para o *E. benthamii* e *E. dunnii* (Tabelas 10). A RTA extrai, em princípio, apenas as formas solúveis e lábeis de P (RAIJ, 1978) e o M3 é um método com ácidos fracos e agentes complexantes, reduzindo o problema de superestimação de P observado com o uso do M1 (TRAN et al., 1990).

Tabela 10 - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre o acúmulo de fósforo total nas plantas (ACPT) e matéria seca total (MST) e os teores de P extraídos do solo pelos métodos de Mehlich 1 (M1), Mehlich 3 (M3) e Resina Trocadora de Ânios (RTA) em mudas de *E. benthamii* e *E. dunnii* a pós 110 dias de cultivo.

	<i>E. benthamii</i>			<i>E. dunnii</i>		
	Sem calagem					
MST	0,31 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,55**	0,54**	0,72**	0,75**
ACPT	0,51**	0,63**	0,76**	0,29 ^{ns}	0,52**	0,61**
M1		0,52**	0,34 ^{ns}		0,53**	0,53**
M3			0,76**			0,77**
RTA						
	Com calagem					
MST	0,10 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,38 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
ACPT	0,09 ^{ns}	0,62**	0,46**	-0,05 ^{ns}	0,47**	0,35 ^{ns}
M1		0,30 ^{ns}	0,39 ^{ns}		0,62**	0,34 ^{ns}
M3			0,42 ^{ns}			0,42 ^{ns}
RTA						

**< 0,05

^{ns} = não significativo para os níveis testados.

N = 20

2.5.7 Eficiência relativa média dos fosfatos naturais para *E. benthamii* e *E. dunnii*

A maior eficiência relativa (ER) dos FNs foi alcançada nos solos sem calagem, sendo que o tratamento com FN Djebel apresentou maior eficiência relativa média (94,5%) para matéria seca de parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST), em comparação as demais fontes de FNs e para *E. benthamii* e *E. dunnii* (Tabela 11). Este melhor resultado obtido em solos sem calagem se deve ao fato de que ocorre maior dissolução dos FNs em pHs ácidos (ROBINSON & SYERS, 1990).

Nos tratamentos com calagem FN Bayovar teve desempenho superior aos demais FNs para as variáveis de MSPA e MST para as duas espécies testadas, podendo este incremento ser devido a maior porcentagem de P solúvel (16%) em relação ao FNs de Gafsa e Djebel (9%), o que o torna mais semelhante aos fosfatos solúveis, conforme discutido anteriormente (Tabela 11).

Como houve uma diminuição notável da ER média dos FNs de Gafsa e Djebel nos tratamentos com calagem em relação aos sem calagem para as variáveis de MSPA e MST em ambas as espécie de *E. benthamii* e *E. dunnii*, indica-se que o uso de FNs em solos com correção de acidez deve ser evitado porque a ER destas fontes de P na fases iniciais de crescimento das plantas tende a ser pequena.

Tabela 11 - Eficiência relativa (ER) média de fosfatos naturais em relação a matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST) para mudas de *E. benthamii* e *E. dunnii* após 110 dias de cultivo.

Fontes de P	MSPA		MST	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Bayovar	74,6	65,1	63,8	100,0
Gafsa	91,3	23,6	48,5	19,6
Djebel	94,5	25,4	88,0	0,0

Bayovar, Gafsa e Djebel = fosfatos naturais reativos.

2.6 CONCLUSÕES

O uso dos fertilizantes fosfatados e da calagem provocou poucos efeitos sobre o

diâmetro e altura das plantas até os 110 dias de crescimento.

Todas as fontes de P mostraram comportamentos semelhantes entre si, diferenciando-se apenas da testemunha, entretanto, o uso destas fontes provocou aumento na produção de matéria seca e no teor de P acumulado na parte aérea das plantas de *E. benthamii* e *E. dunnii* aos 110 dias de crescimento em relação ao tratamento testemunha independente da correção do solo.

Nos solos sem adição de calcário a maior ER média foi obtida pelo FN Djebel, entretanto, nos solos com calagem a ER média dos FNs diminuiu, com exceção do FN Bayovar que se mostrou mais eficiente em solos com correção do pH.

Nos tratamentos sem adição de calcário a eficiência relativa dos FNs foi, maior em comparação aos solos com calagem.

O método de extração de Mehlich 1 não se mostrou apropriado para utilização em solos com fertilização por FNs.

3 CAPÍTULO II – SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE FOSFATOS SOLÚVEIS POR NATURAIS NA IMPLANTAÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus benthamii* E *Eucalyptus dunnii*.

3.1 RESUMO

A adubação de plantio, principalmente a fosfatada, tem mostrado relevante importância no crescimento inicial das mudas de eucaliptos e tem como finalidade suplementar o solo na fase de maior demanda da cultura. O trabalho objetivou avaliar o uso de fosfato natural (FN) como substituinte parcial dos adubos solúveis para o fornecimento de fósforo (P) para *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* em condições de campo. Para isso, foram conduzidos dois experimentos no campo, no período de novembro de 2010 a dezembro de 2011. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições, sendo a parcela principal a presença/ausência do FN e as subparcelas as doses de P solúvel. A dose de FN foi de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ do FN Bayovar e as doses de fosfato solúvel foram de 0, 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de SFT. Foram realizadas medidas de diâmetro à altura do colo e altura das árvores bimestralmente no período de um ano. Os resultados mostraram que as duas espécies responderam à adubação fosfatada sendo que 90% da máxima resposta das plantas foi alcançada com doses médias de aproximadamente 35 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para *E. benthamii* e 84 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel para *E. dunnii*. A adubação fosfatada pode ser parcialmente suprida por FNs no plantio de *E. benthamii*, mas deve ser inteiramente na forma de fosfatos solúveis no caso de *E. dunnii*.

Palavras-Chave: Eucalipto, adubação de plantio, fertilizantes fosfatados.

3.2 ABSTRACT

Initial fertilization, especially phosphorus, has shown significant importance in the initial growth of eucalyptus. The study evaluated the use of rock phosphate (RP) as

a partial substituent of soluble phosphate fertilization to *Eucalyptus benthamii* and *Eucalyptus dunnii* under field conditions. For this, two experiments were conducted from November 2010 to December 2011. The experimental design was in randomized blocks in split plots with three replications, and the main plots were the presence / absence of RP and the subplots doses of soluble phosphates. The dose of RP was 60 kg ha⁻¹ P₂O₅ as Bayovar RP and soluble phosphate doses were 0, 75, 150 and 300 kg ha⁻¹ of P₂O₅ as TSP. The results showed that both species responded to the phosphates fertilization and 90% of the maximal response from plants was achieved with approximately 35 kg ha⁻¹ P₂O₅ for *E. benthamii* and 84 kg ha⁻¹ P₂O₅ for *E. dunnii*. Phosphorus fertilization can be partially substituted by RPs in *E. benthamii*, but should be only as soluble phosphate in *E. dunnii* plantings.

Keywords: Eucalyptus, planting fertilizer, phosphate fertilizer.

3.3 INTRODUÇÃO

No Sul do Brasil, a produção florestal vem se tornando um dos setores de grande importância comercial e econômica motivado pelo crescimento da eucaliptocultura.

Fatores como o rápido crescimento em ciclo de curta rotação, a alta produtividade florestal e a expansão e direcionamento por parte de empresas do segmento que utilizam a madeira do eucalipto como matéria-prima em seus processos industriais e interesse por parte de instituições de pesquisa, resulta no crescimento de áreas florestadas e reflorestadas com estas espécies (GONÇALVES et al., 2005).

Santa Catarina possui atualmente mais de cem mil hectares ocupados com eucalipto (ABRAF, 2010), o que aumenta o crescimento em importância desta cultura especialmente para atender as necessidades industriais. Contudo, a grande maioria das áreas de florestamentos está sobre solos muito intemperizados e lixiviados, com baixa disponibilidade de nutrientes, onde a adubação fosfatada apresenta relevante importância ao crescimento inicial das mudas (GONÇALVES, 1995). Trabalhos científicos mostram que o eucalipto é um gênero altamente exigente em P no período inicial de plantio, apresentando elevado nível crítico até o sexto mês de implantação do reflorestamento (HERBERT, 1983; GONÇALVES, 1995; NOVAIS & SMITH, 1999).

Alvarez (1996), definiu o nível crítico como a concentração do nutriente no solo que corresponde à disponibilidade necessária para atingir a produção de máxima eficiência

econômica. A alta demanda inicial do eucalipto pelo P (NOVAIS et al., 1982) e a baixa disponibilidade deste nutriente nos solos tropicais ocasionam a limitação no crescimento e na produção florestal, sendo necessário o fornecimento de P através de práticas de fertilização (FRANCO, 1984).

Os FNs são utilizados como matéria-prima para fabricação direta ou indireta de fertilizantes (ataque sulfúrico para a produção de superfosfato simples e ataque sulfúrico para obtenção do ácido fosfórico e posterior produção de superfosfato triplo ou fosfatos de amônio, respectivamente), mas dependendo da origem e do grau de contaminação da rocha, se tornam inviabilizados para uso na produção de fertilizantes convencionais. A recomendação para a utilização destes fosfatos seria a sua utilização no setor agroflorestal, mas a reatividade destes fosfatos é bem distinta entre eles (KAMINSKI & PERUZZO, 1997). Os fosfatos de origem ígnea e metamórfica são praticamente inertes, mas os fosfatos de origem sedimentar têm se mostrado mais reativos e são conhecidos como fosforitas (KAMINSKI, 1983; GOEDERT & SOUZA, 1984) e esta diferença na reatividade dos FNs está ligada ao regime geológico que é formada a apatita e a quantidade de substituições isomórficas do fosfato por carbono na rede cristalina (KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

As respostas ao FNs como única fonte de P as vezes tem sido poucas ou não compensadoras para florestamentos com eucaliptos, mas podem ser uma alternativa positiva quando associado com fontes solúveis de P (REZENDE et al., 1982; LEAL et al., 1988). De acordo com Gonçalves (1995) e Barros et al. (1990), entre as fontes de P, as solúveis tem sido as mais recomendadas, resultando em acréscimos de produtividade economicamente viáveis em relação às fontes poucos solúveis que são indicadas, preferencialmente, para culturas de ciclo longo.

Os fertilizantes comumente utilizados nos plantios de eucaliptos no Brasil são o superfosfato triplo, seja sozinho ou em formulações com nitrogênio e potássio também em conjunto com os FNs reativos. Quanto ao método de aplicação dos adubos, o mais indicado para os fertilizantes solúveis é a aplicação localizada das fontes de P em filetes contínuos, no interior dos sulcos de plantio (GONÇALVES, 1995).

Alternativamente, podem-se fazer as aplicações nas covas de plantio. Estas recomendações são válidas para adubos simples ou mistos que tem como fontes de P fertilizantes com alta solubilidade em água, como por exemplo, o SFT. Os termofosfatos e os FNs ou parcialmente acidulados devem ser aplicados em faixas de 1,00 a 1,50 m de largura, de preferência sob a linha de plantio (GONÇALVES, 1995).

A aplicação da adubação fosfatada de forma localizada apresenta várias vantagens, entre elas: a aplicação de doses menores do que a lanço para alcançar os mesmos níveis de produção em solos de baixa fertilidade; pois diminui a fixação de P e coloca o P em posição disponível para o sistema radicular ainda reduzido das plantas em início de desenvolvimento (LOPES, 1998). Segundo Barros et al. (1990), deve-se realizar a adubação fosfatada com uma aplicação localizada de uma fonte solúvel por ocasião do plantio, antecedida pela adição da fonte natural aplicada a lanço.

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. Neste sentido, pode-se usar o fator tempo de cultivo como um aliado no uso eficiente de fertilizantes, principalmente no que tange a solubilização lenta dos FNs. Nossa hipótese é que uma mistura de fertilizantes solúveis (responsáveis pela disponibilização 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 uma alternativa viável para a nutrição adequada com P da cultura do eucalipto.

O trabalho objetivou avaliar o uso de FN como substituinte parcial dos adubos solúveis para o fornecimento de P para *E. benthamii* e *E. dunnii* em condições de campo.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram implantados dois experimentos, um com *E. benthamii* e outro com *E. dunnii*, tendo como coordenadas geográficas 22J 0615102 UTM 6939324 e 22J 0615105 UTM 693307, respectivamente, locados no município de Otacílio Costa (SC), na Fazenda Campo de Dentro pertencente à empresa Klabin S/A. Foram utilizadas mudas clonais de *E. benthamii* (clone 116) e de *E. dunnii* (clone KS – 25), plantados em espaçamento 2,5 x 2,5 m.

De acordo com o histórico da área, esta era cultivada com *Pinus taeda* em terceiro ciclo de plantio, sendo o solo classificado como um Cambissolo Húmico e caracterizado na Tabela 12.

Tabela 12 – Características do Cambissolo Húmico coletado na camada de 0-20 cm de profundidade utilizado no experimento com *E. benthamii* e *E. dunnii*.

Atributos	<i>E. benthamii</i>	<i>E. dunnii</i>
pH H ₂ O ⁽²⁾ (1:1)	3,6	3,6
Índice SMP ⁽²⁾	3,8	3,6
Ca ⁽²⁾ (cmol _c dm ⁻³)	0,5	0,2
Mg ⁽²⁾ (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,3
Al ⁽²⁾ (cmol _c dm ⁻³)	8,1	9,2
P Mehlich ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	4,6	5,0
K ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	26	30
MO (g kg ⁻¹)	5,3	7,0
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	9,4	9,9
CTC pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	54,3	67,2
Saturação por bases (g kg ⁻¹)	2,3	1,1
Saturação por Al (g kg ⁻¹)	86,6	92,7
Argila (g kg ⁻¹)	23,3	23

⁽¹⁾Determinado pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997);⁽²⁾ Metodologia utilizada por Tedesco et al., (1995); MO: matéria orgânica.

A demarcação das parcelas obedeceu ao delineamento experimental em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições, sendo a parcela principal as doses de FN (0 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e as subparcelas as doses de P solúvel (0, 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ P₂O₅). A fonte de FN reativo utilizada foi o FN Bayovar (34% de P₂O₅ total) e como fonte de P solúvel foi usado o superfosfato triplo (SFT - 42% de P₂O₅ total). As doses de P₂O₅ foram determinadas tendo como base a adubação utilizada pela empresa Klabin S/A. no manejo da adubação florestal (60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de FN mais 75 kg ha⁻¹ na forma de P₂O₅ solúvel).

O plantio das mudas foi realizado no mês de novembro de 2010 e a adubação de base (nitrogênio e potássio) foi aplicada na superfície e em área total, juntamente com calcário (Filler 98,11% PRNT) na proporção de 1,0 t ha⁻¹ para o fornecimento de Ca e Mg. Como fonte de potássio foi aplicado KCl na quantidade de 30 kg ha⁻¹ de K₂O e 15 kg ha⁻¹ de N, sendo fonte de a uréia.

A adubação do solo com o fosfato solúvel foi efetuada um mês após o plantio, em duas “covetas” laterais por plantas (Figura 6), distantes, aproximadamente, 10 cm de cada planta. Nos tratamentos com o uso de FN, esta fonte de P também foi aplicada em duas “covetas” laterais às plantas, em sentido perpendicular às do fosfato solúvel.



Figura 6 – Caracterização das “covetas” laterais e da aplicação localizada das fontes de P.

Na adubação de cobertura foram adicionados em todas as parcelas K e N, sendo o potássio na dose total de 60 kg ha^{-1} de K_2O e N na dose de 30 kg ha^{-1} fracionados em duas épocas (aos cinco e aos dez meses após o plantio). A adubação de cobertura foi feita em superfície, na projeção da copa das plantas.

Os dados dendrométricos de diâmetro do colo (mm) e altura das árvores (cm) foram coletados com auxílio de paquímetros e de réguas graduadas, respectivamente. As medições foram realizadas aos 63, 126, 200, 290, 320 e 340 dias após a aplicação das fontes de P, para obtenção de uma curva de resposta à adubação fosfatada no período de um ano.

Foram coletadas amostras de solo das subparcelas, na camada de 0-20 cm para a caracterização do teor de P no solo em duas épocas, sendo uma anterior a adubação e outra após 12 meses de condução do experimento. As amostras de solo foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 60° C , moídas e peneiradas para a determinação dos teores de P disponível pelos métodos de Mehlich 1 (M1) e Resina Trocadora de Ânions em lâminas (RTA) (metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e explicadas sucintamente a seguir).

Para a extração de P por Mehlich 1 pesou-se 3g de cada amostra de solo em tubo para centrífuga de 50 ml com tampa rosca e adicionou-se 30 ml da solução extratora, com agitação por um período de cinco minutos, aproximadamente a 200 rpm, em agitador orbital, deixando-se em repouso por 16 horas. Posteriormente, retirou-se uma alíquota do sobrenadante para a determinação do P disponível.

Para a extração pelo método da RTA pesou-se 0,5 g de cada amostra de solo em tubo para centrífuga de 30 ml com tampa rosca e adicionou-se 10 ml de água destilada e uma lâmina de resina saturada com NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Logo depois, os tubos foram agitados por 16 horas em agitador tipo Wagner a 33 rpm, com temperatura constante de 25° C . Após este

período, cada lâmina foi retirada e colocada em tubo para centrífuga de 30 ml com tampa rosca com 10 ml de HCl 0,5 mol L⁻¹ e deixada em repouso por 60 minutos, com a tampa aberta para a liberação do CO₂. Passado este período, as resinas foram levadas à agitação em agitador orbital a 130 rpm por 30 minutos e retirou-se uma alíquota de sobrenadante para determinação de P disponível.

Os teores de P dos extratos foram determinados por espectrofotometria em comprimento de onda 882 nm, após redução do complexo fosfo-molibdato com ácido ascórbico (MURPHY E RILEY, 1962).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de regressão utilizando-se o software SAS® (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2003).

A partir dos dados obtidos com a resposta das plantas às doses de P solúvel em relação à última época de avaliação foi estimada a máxima eficiência técnica (MET), ou seja, a dose teórica de P que proporcionaria o maior valor dos parâmetros dendrométricos (diâmetro e altura das plantas), e a partir destes dados, foi arbitrada a dose de P para a obtenção do máximo retorno econômico teórico, estabelecido como sendo a dose de P que levou a uma produção de com 90% da MET, conforme utilizado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo nos estados do RS e SC (CQFS RS/SC, 2004).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Resposta do *Eucalyptus benthamii* à adubação fosfatada

A análise de variância para a variável dendrométrica de diâmetro na altura do colo (cm) para o *E. benthamii*, identificou resposta significativa ao uso do FN e também de fosfatos solúveis (Tabela 13). Além disso, foi encontrada interação entre a dose de P₂O₅ solúvel e o tempo de medição e também da presença/ausência do FN com o tempo de medição (Tabela 13).

Tabela 13 – Análise de variância para a variável de diâmetro do colo (cm) em relação das doses de P₂O₅ solúvel, da presença/ausência de fosfato natural e do tempo de medição para *E. benthamii* conduzido pelo período de 365 dias em condições de campo.

Fonte de variação	Valor de F
Presença/ausência FN	62,66**
Dose de P ₂ O ₅ solúvel	60,13**
Tempo medição (dias)	314,03**
Pres/aus. FN x Dose	3,19 ^{ns}
Pres/aus. FN x Tempo	63,91**
Dose x Tempo	53,43**
Pres/aus. FN x Dose x Tempo	0,69 ^{ns}

** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo nos níveis testados.

FN – fosfato natural.

A interação entre as doses de P₂O₅ solúvel com o tempo de medição para o diâmetro do colo do *E. benthamii* está apresentada na Figura 7. A variação do crescimento em diâmetro ocorreu de forma linear em relação ao tempo de medição, onde conforme aumentou o tempo, ocorreu aumento do crescimento em diâmetro das árvores.

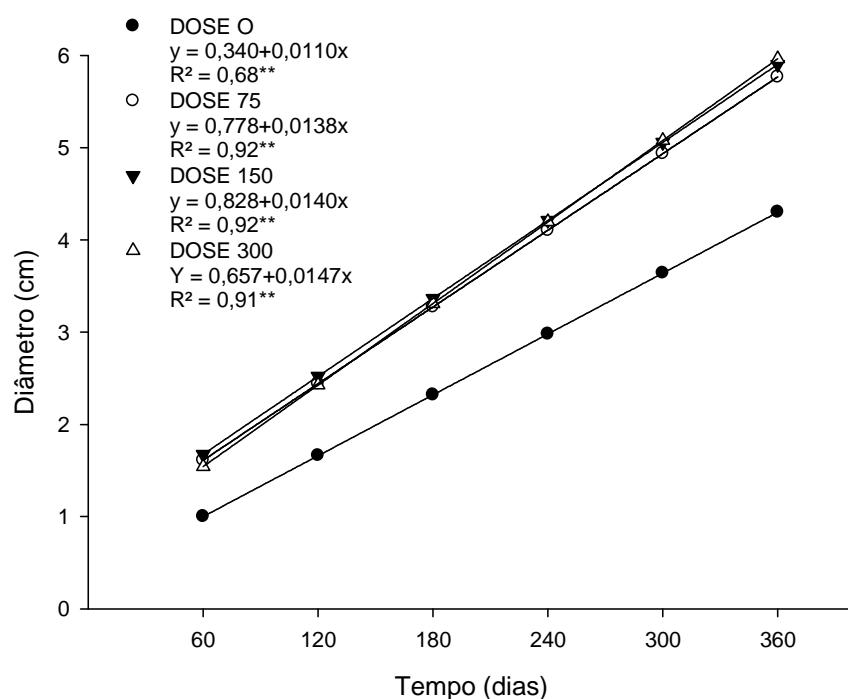


Figura 7 – Diâmetro do caule à altura do colo (cm) de *E. benthamii* submetido às fontes e doses de P. Resposta das plantas em cada dose de P solúvel e época de avaliação.

** - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

A resposta à aplicação P solúvel, sem a distinção da presença ou ausência do FN, é apresentada na Figura 8, onde se observa que para a última época de avaliação, houve resposta do tipo platô, onde o uso de fosfato solúvel aumentou o diâmetro do caule, porém sem diferenciação entre as doses de 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

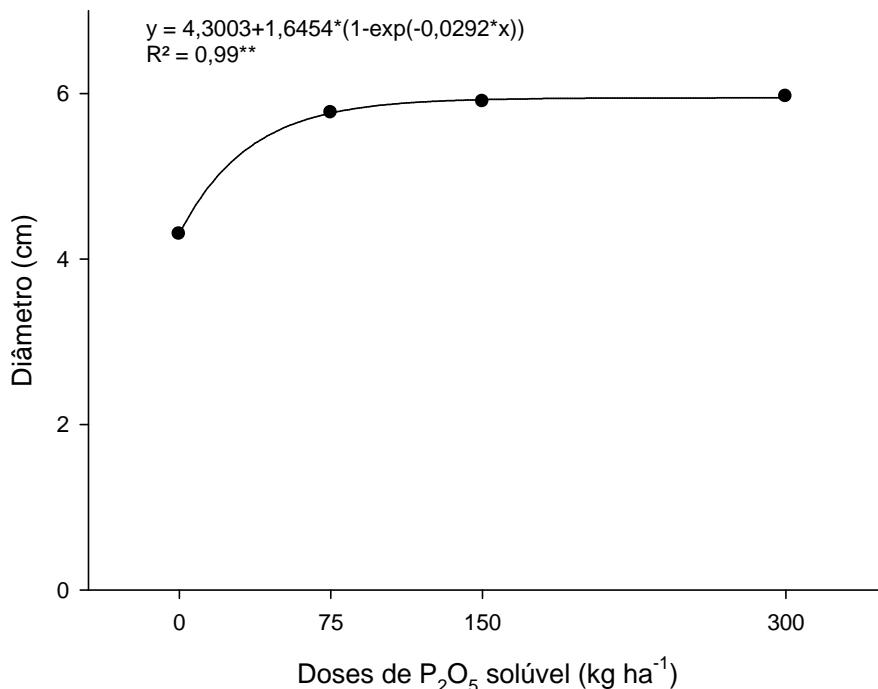


Figura 8 – Diâmetro do caule à altura do colo (cm) de *E. benthamii* submetido à fontes e doses de P. Resposta das plantas às doses de P solúvel em relação à última época de avaliação.

** - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

O uso do FN de Bayovar trouxe um pequeno incremento no diâmetro do caule das plantas ao final de um ano de avaliação (Figura 9), porém não teve interação com as doses de fosfato solúvel (Tabela 13).

A interação do FN com as épocas de medições mostrou que a resposta ao crescimento em diâmetro ocorreu de forma quadrática, sendo que a presença do FN apresentou um crescimento inicial menor que a ausência do FN, mas esta diferença foi superada conforme o aumento no tempo de medição. As diferenças entre os tratamentos ao final de um ano foram muito pequenas, embora caiba ressaltar que o tratamento com FN partiu de um diâmetro menor na primeira avaliação e ficou ligeiramente maior ao final, indicando que o FN melhorou o desempenho na fase inicial. Isso pode apontar para uma ligeira vantagem para o uso do FN, contudo, com a pequena diferença observada, resta saber se há viabilidade

econômica do uso do FN, o que será apenas constatado se o experimento for avaliado até a época da colheita.

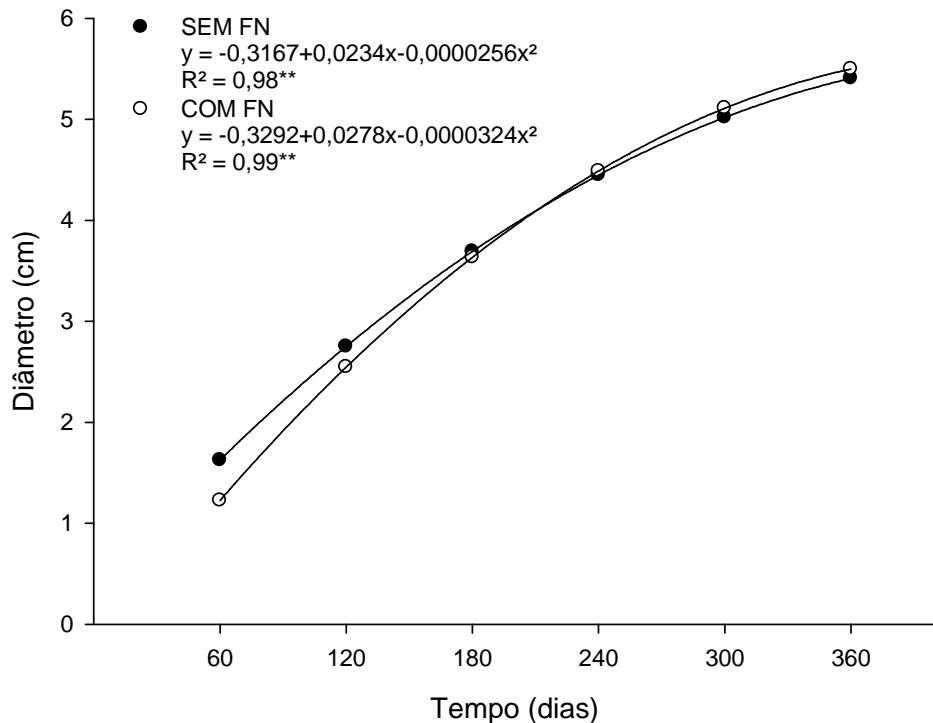


Figura 9 – Diâmetro do caule à altura do colo (cm) de *E. benthamii* em função do FN em diferentes épocas de avaliação, média de todas às doses de P solúvel.

** - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.
FN – fosfato natural reativo

Na Tabela 14 encontra-se a análise de variância para a variável de altura (cm) para o *E. benthamii*, onde pode ser observada a ocorrência de uma interação tripla entre o FN, a dose de P solúvel e a época de medição.

Tabela 14 - Análise de variância para a variável de altura (cm) em relação das doses de P₂O₅ solúvel, da presença/ausência de fosfato natural e do tempo de medição para *E. benthamii* conduzido pelo período de 365 dias em condições de campo.

Fonte de variação	Valor de F
Presença/ausência FN	61,97**
Dose de P ₂ O ₅ solúvel	15,45**
Tempo medição (dias)	1.853,23**
Pres/Aus. FN x Dose	3,90*
Pres/Aus. FN x Tempo	5,64**
Dose x Tempo	7,24**
Pres/Aus. FN x Dose x Tempo	3,41**

* = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F.

** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

FN – fosfato natural.

Na figura 10 estão apresentadas as respostas do crescimento em altura das árvores para as doses de P solúvel nos tempos de medição e na presença e ausência do FN, demonstrando um comportamento linear de crescimento, semelhante ao ocorrido para o diâmetro do caule.

Nos tratamentos sem o uso do FN (Figura 10a) as plantas responderam ao uso do P solúvel e, semelhantemente ao ocorrido para o diâmetro, as doses 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentaram valores de altura semelhantes em cada época de avaliação, o que pode ser visualizado na Figura 11. O uso do FN (Figura 10b) fez com que a testemunha de adubo solúvel tivesse comportamento semelhante aos tratamentos com doses de P solúvel (75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅), indicando que o FN foi eficiente em suprir pelo menos parte do P necessário para a cultura na fase avaliada, o que pode ser devido ao valor elevado de P solúvel em ácido cítrico do fosfato natural Bayovar, como discutido anteriormente no capítulo 1.

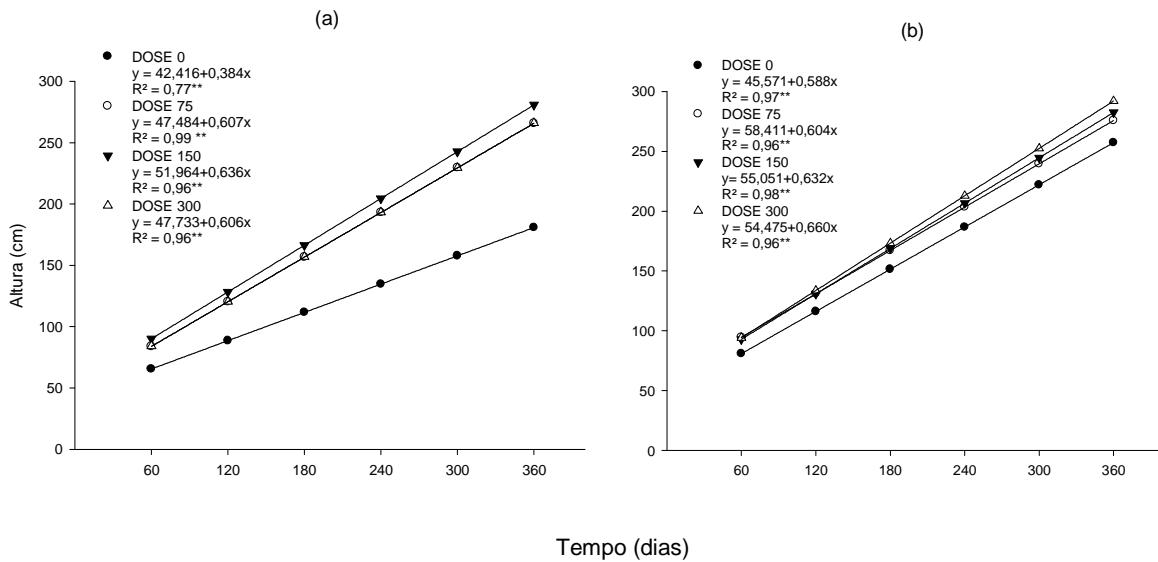


Figura 10 – Altura das plantas (cm) de *E. benthamii* submetido às fontes e doses de P.
 (a) Resposta das plantas nas diferentes épocas de avaliação às doses de P solúvel sem o uso de FN associado.(b) Resposta das plantas nas diferentes épocas de avaliação às doses de Psolúvel com o uso de FN associado.
 ** - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

O uso do FN aumentou significativamente o crescimento das plantas em altura, praticamente igualando os tratamentos testemunha com o FN (aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via FN Bayovar) com o tratamento 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de fosfato solúvel (Figura 11). Isto mostra que a eficiência relativa do FN Bayovar no campo foi elevada promovendo a viabilidade técnica do seu uso, inclusive para o suprimento de P na fase inicial de implantação da floresta. Para a altura de plantas do *E. benthamii*, o efeito foi bem mais pronunciado que o observado para o diâmetro do caule, discutido anteriormente.

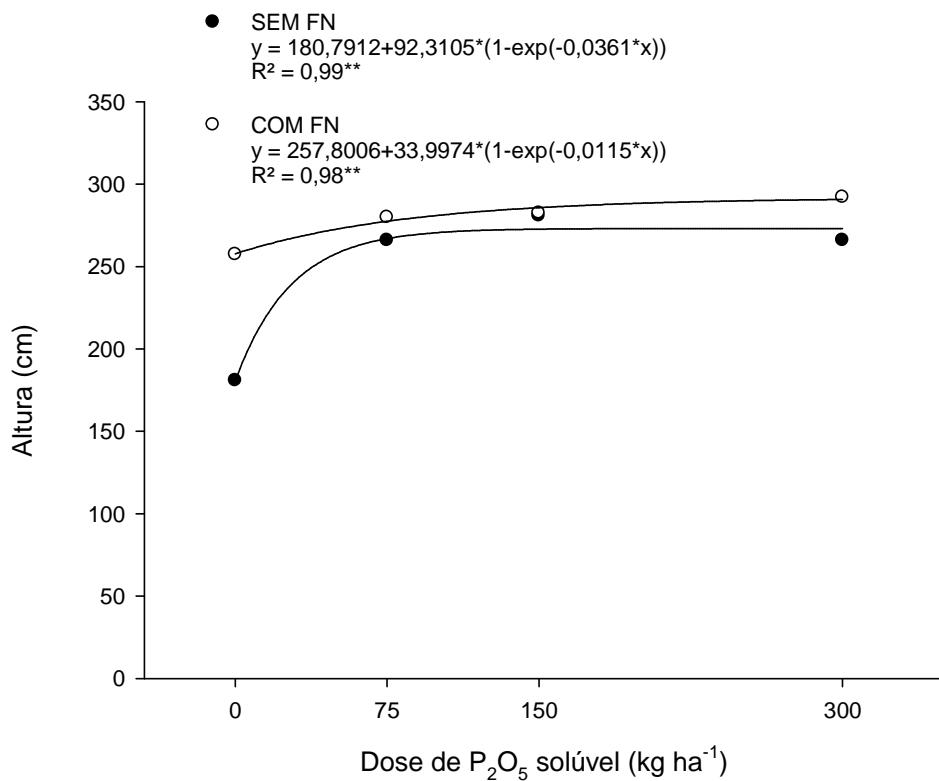


Figura 11 – Altura das plantas (cm) de *E. benthamii* em relação à última época de avaliação submetidas às doses de P solúvel sem e com o uso de FN associado.

** - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.
FN – fosfato natural reativo

Com base nos dados das Figuras 8 e 11, foi calculada a máxima eficiência técnica (MET), ou seja, a dose teórica de P que proporcionaria o maior valor do parâmetro dendrométrico (diâmetro e altura das plantas, respectivamente). A partir destes dados, foi também arbitrado o incremento promovido pelo P com 90% do valor do parâmetro dendrométrico atingido na MET (conforme utilizado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo nos estados de RS e SC (CQFS RS/SC, 2004)). Para o *E. benthamii*, a MET foi atingida com a dose de $299\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 solúvel aos 6 cm de diâmetro do caule, e o incremento promovido pelo P com 90% da MET foi obtido na dose de aproximadamente $35\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 solúvel e um diâmetro de 5 cm (Figura 8).

Já para a altura, a ausência de FN, resultou na necessidade de uma dose de $34\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 solúvel para atingir de 246 cm de altura com 90% da MET, e uma dose de $299\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 solúvel na MET para alcançar uma altura de aproximadamente 273 cm (Figura 11).

Pode ser observado ainda na Figura 11 que o parâmetro altura, a adubação fosfatada poderia ser inteiramente feita com FN, já que a dose de $60\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 na forma de FN mais $0\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 na forma solúvel apresentou crescimento similar à dose de $75\ kg\ ha^{-1}$

de P₂O₅ na forma solúvel. A presença de FN auxiliou na redução da quantidade de P solúvel aplicado para se obter o valor arbitrado com de 90% da MET, sendo que para atingir 261 cm de altura seria necessário cerca de 10 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel, além dos 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de FN.

3.5.2 Resposta do *Eucalyptus dunnii* à adubação fosfatada

A análise de variância para o diâmetro medido à altura do colo (cm) para *E. dunnii* está demonstrada na Tabela 15. Foi constatada somente resposta à dose de P solúvel, ao tempo de crescimento e a ocorrência da interação entre as doses de P₂O₅ solúvel com o tempo de medição, não havendo resposta das plantas ao uso de FN.

Tabela 15 – Análise de variância para a variável de diâmetro do colo (cm) em relação das doses de P₂O₅ solúvel, da presença/ausência de fosfato natural e do tempo de medição para *E. dunnii* conduzido pelo período de 365 dias em condições de campo.

Fonte de variação	Valor de F
Presença/ausência FN	3,24 ^{ns}
Dose de P ₂ O ₅ solúvel	23,10**
Tempo medição (dias)	287,36**
Pres/Aus. FN x Dose	0,91 ^{ns}
Pres/Aus. FN x Tempo	0,59 ^{ns}
Dose x Tempo	63,38**
Pres/Aus. FN x Dose x Tempo	0,44 ^{ns}

** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo nos níveis testados.

FN – fosfato natural.

Na Figura 12 pode-se observar um crescimento linear do diâmetro das árvores até os 12 meses. É possível observar também uma semelhança entre as taxas de crescimento (coeficiente angular das equações) nas doses de 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel (Figura 12).

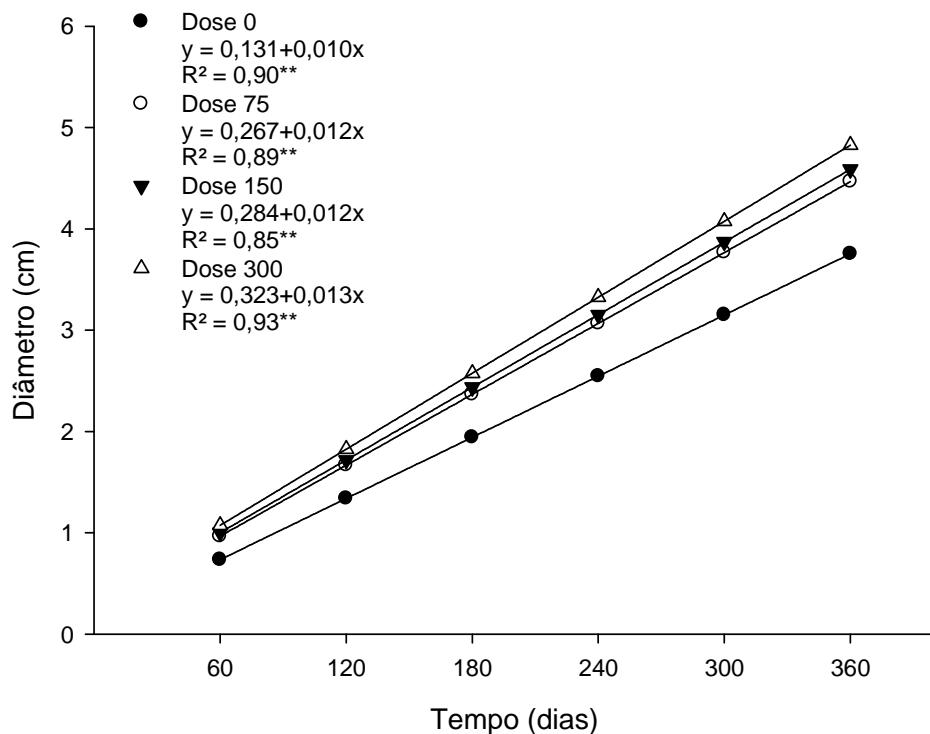


Figura 12 - Diâmetro do caule à altura do colo (cm) de *E. dunnii* submetido às fontes e doses de P. Resposta das plantas em cada dose de P solúvel e época de avaliação.

** - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

A variação do diâmetro medido à altura do colo sem a distinção da presença ou ausência do FN para a última época de medição e sua variação em decorrência das doses de P solúvel está demonstrada na Figura 13, onde se observa semelhança para o incremento observado pelo fornecimento das diferentes doses de P.

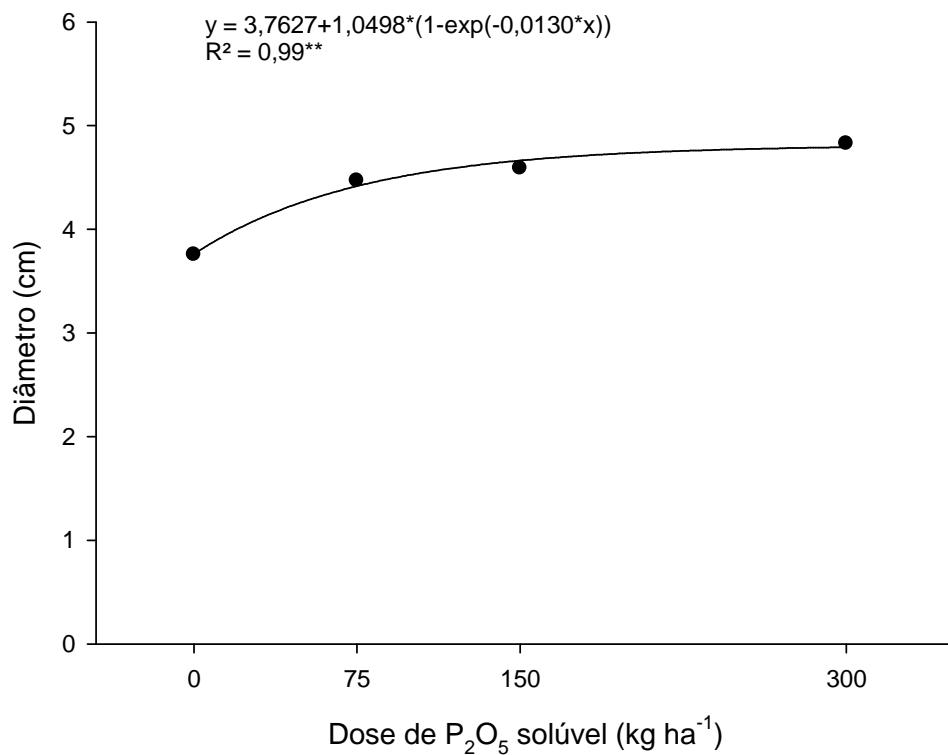


Figura 13 - Diâmetro do caule à altura do colo (cm) de *E. dunnii* submetido às fontes e doses de P. Resposta das plantas às doses de P solúvel em relação à última época de avaliação.

** - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

Semelhante ao ocorrido para a variável de diâmetro de caule, na Tabela 16 está apresentada a análise de variância para a altura de *E. dunnii*, onde foi constatada somente a ocorrência de resposta às doses de P solúvel, ao tempo de crescimento e da interação entre a dose de P_2O_5 solúvel com o tempo de medição.

Tabela 16 – Análise de variância para a variável de altura (cm) em relação das doses de P₂O₅ solúvel, da presença/ausência de fosfato natural e do tempo de medição para *E. dunnii* conduzido pelo período de 365 dias em condições de campo.

Fonte de variação	Valor de F
Presença/ausência FN	8,67 ^{ns}
Dose de P ₂ O ₅ solúvel	89,35**
Tempo medição (dias)	388,69**
Pres/Aus. FN x Dose	0,76 ^{ns}
Pres/Aus. FN x Tempo	0,11 ^{ns}
Dose x Tempo	5,58**
Pres/Aus. FN x Dose x Tempo	0,95 ^{ns}

** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo nos níveis testados.

FN – fosfato natural.

A altura das árvores de *E. dunnii* apresentou comportamento quadrático de crescimento (Figura 14). Com o aumento do tempo de medição, ocorreu incremento na altura das árvores, foi observado ainda que para as doses 75 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel as alturas foram semelhantes. A maior altura (aproximadamente 220 cm) foi alcançada com a dose de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel, que se mostrou superior às demais em todos os tempos de medições (Figura 14), fato este que também pode ser observado na Figura 15.

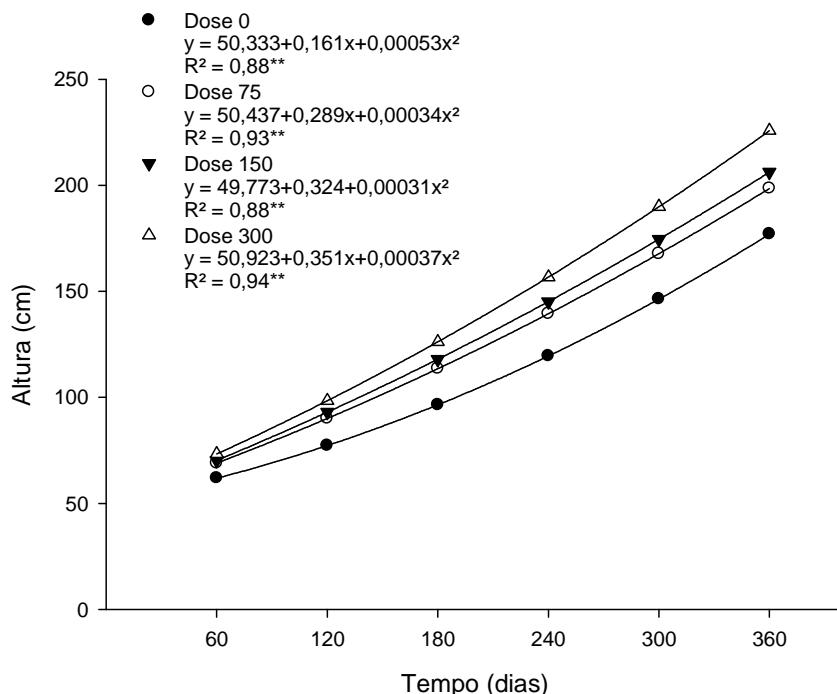


Figura 14 – Altura das plantas (cm) de *E. dunnii* submetido às fontes e doses de P. Resposta das plantas em cada dose de P solúvel e época de avaliação.

** - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

Na Figura 15 está apresentada a variação da altura sem a distinção da presença ou ausência do FN em relação a última época de medição em decorrência às doses de P solúvel, onde se pode constatar a semelhança no crescimento em altura para as doses 75 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel, e um maior incremento na dose 300 kg ha⁻¹.

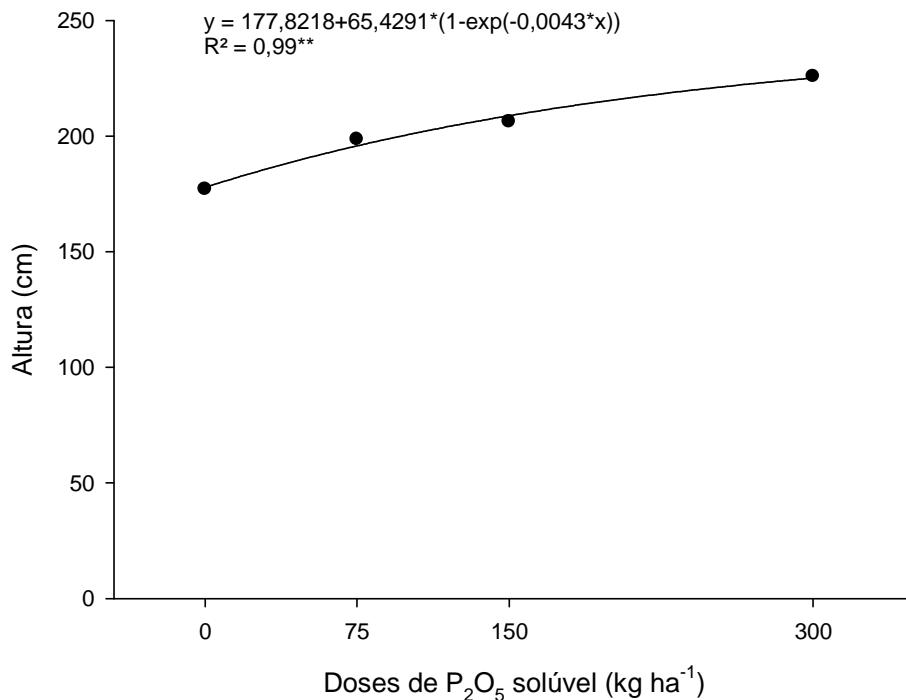


Figura 15 – Altura das plantas (cm) de *E. dunnii* submetido às fontes e doses de P. Resposta das plantas às doses de P solúvel em relação à última época de avaliação.

** - significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

Os resultados obtidos no experimento com *E. dunnii* mostram que as doses de P₂O₅ na forma solúvel foram os responsáveis pelo aumento no incremento do diâmetro e da altura das árvores, não tendo interferência do FN para o período de condução do experimento. A dose que apresentou maior incremento para o crescimento em diâmetro e altura foi a de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel, contudo desempenhos semelhantes foram obtidos com as doses de 75 e 150 kg ha⁻¹ (Figuras 12 e 14).

Para esta espécie, em relação à última época de medição (Figuras 13 e 15) a MET foi alcançada com aproximadamente 5 cm de diâmetro do caule e 225 cm de altura e o incremento proporcionado pelo P, arbitrado em 90% da MET foi alcançado com 4 cm e 202 cm, respectivamente. A dose média indicada para a obtenção do incremento relativo a 90% da

MET foi, de aproximadamente, 57 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel para o diâmetro e de 111 kg ha⁻¹ para a altura das plantas.

O nível crítico de P no solo é maior quanto mais jovem forem as plantas e decrescem com a idade destas. Esses autores estimaram que o nível crítico de P no solo era de 52 mg kg⁻¹ aos 85 dias, caindo para 12 mg kg⁻¹ aos 133 dias de idade. Esse decréscimo pode ser atribuído às variações no crescimento radicular e, ou, a possíveis alterações metabólicas das plantas (NOVAIS et al., 1986). Este nível crítico considerado por Novais et al. (1986) foi estabelecido em função da produtividade esperada e do tipo de solo e salienta a importância do fornecimento de fontes com alto teor de P disponível na adubação de plantio, como os superfosfatos, para promover um maior incremento no crescimento inicial do plantel.

Barros e Novais (1999) fundamentam que as doses a serem aplicadas no nível crítico para a produção de mudas, no nível crítico de manutenção e no incremento médio anual esperado em solo argiloso é de 60 mg kg⁻¹. Para os teores de P no solo superior ao nível crítico, os autores recomendam dose de 43 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em solos argilosos e para teores de P no solo abaixo do nível crítico, as doses de P₂O₅ recomendadas variam de 36 a 72 kg ha⁻¹. Em contrapartida, a recomendação de Andrade (2004) para a adubação de plantio com P, não considera os teores de P no solo. O autor recomenda 27 g de P₂O₅ por cova, o que resulta em 45 a 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

De acordo com Luca et al. (2002), algumas espécies de plantas que crescem em regiões de solos pobres em P, conforme é o caso da maioria das espécies de *Eucalyptus*, parecem ser pouco eficientes na absorção de P, mas muito eficientes na sua utilização. Os materiais genéticos apresentam diferentes capacidades de absorção, translocação e uso de P conforme verificado para o eucalipto por Furtini Neto et al. (1996). Isso ficou evidente neste trabalho, onde o *E. benthamii* respondeu ao uso de FN e também apresentou crescimento significativo com o uso de menores doses de fosfato solúvel. 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. Foi observado ainda que o incremento ocasionado pelo P com 90% da MET foi alcançada com doses maiores de P que para o *E. benthamii*, indicando que o *E. dunnii* é mais exigente que o *E. benthamii* no requerimento de P.

3.5.3 Teores de P disponíveis no solo

Nos Apêndices C e D estão demonstrados os valores de P extraídos do solo pelos métodos de Mehlich 1 (M1) e da Resina Trocadora de Ânions (RTA), para os dois períodos de coletas do solo (antes da implantação e após 12 meses). Para ambos os experimentos, com o *E. benthamii* no Apêndice C e *E. dunnii* no apêndice D, os resultados não mostraram diferenças no uso dos fosfatos, isso ocorreu porque o adubo foi aplicado em covas próximas às plantas, enquanto que a amostragem do solo foi efetuada na entrelinha.

3.6 CONCLUSÕES

O aumento da dose de fosfato solúvel ocasionou aumento no crescimento das plantas das duas espécies de eucaliptos, tanto para a variável altura de planta, quanto diâmetro de caule.

O *E. benthamii* respondeu ao uso do FN, podendo este substituir parcial o fosfato solúvel na adubação de plantio. Para o *E. dunnii* não houve resposta ao uso de FN, devendo ser preferido o uso de fontes solúveis para esta espécie.

A dose de P necessária para se obter 90% da máxima produtividade encontrada foi de aproximadamente 35 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel *E. benthamii* e de 84 kg ha⁻¹ de solúvel para o *E. dunnii*.

4 CONCLUSÕES GERAIS

Para os experimentos em casa-de-vegetação, os FNs apresentam comportamento semelhante ao fosfato solúvel, diferenciando-se da testemunha. Nos tratamentos sem adição de calcário a eficiência relativa dos FNs foi maior em comparação aos solos com calagem, com exceção do FN Bayovar, que apresentou comportamento semelhante ao fosfato solúvel em solos com calagem.

O método de extração Mehlich 1 superestima o valor de fósforo disponível em solos com uso de fosfatos naturais, comportamento que não ocorre com os métodos Mehlich 3 e Resina Trocadora de Ânions.

Nos experimentos de campo, para o *E. benthamii*, as respostas de crescimento das plantas com uso de adubação fosfatada foram de magnitude maior que para o *E. dunnii*, podendo, inclusive, ser utilizados fosfatos naturais como substitutos parciais ou totais dos fosfatos solúveis.

Para o *E. benthamii* e para o *E. dunnii* 90% da máxima resposta das plantas, foi alcançada com doses médias de aproximadamente 35 e 84 kg ha⁻¹ de P₂O₅ solúvel, respectivamente, podendo esta adubação ser parcialmente suprida por fosfatos naturais no caso do *E. benthamii*.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento de informações sobre o histórico da área do florestamento, as necessidades nutricionais das espécies a serem utilizadas no plantio e a interação dessas espécies com o solo são ferramentas importantes no auxílio para uma boa recomendação de adubação. Informações que permitem conhecer os períodos de maior exigência nutricional das espécies e as quantidades de nutrientes extraídas pelas árvores em suas diversas fases de desenvolvimento seriam de grande importância para tal decisão.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, houve o surgimento da hipótese de substituição do FN por fosfato solúvel como alternativa economicamente viável nos solos da região, onde os processos de adsorção são menos intensos que nas regiões de clima tropical.

Como os experimentos de campo foram conduzidos pelo período de um ano, se faz necessária a continuação desses, possibilitando com isso que os atributos dendrométricos continuem sendo acompanhados e que se estabeleça mais claramente a magnitude das respostas observadas no primeiro ano de condução. Ainda, sugere-se que análises foliares sejam feitas para que o nível crítico foliar de P possa ser estabelecido.

Os resultados definitivos serão obtidos com a madeira cortada, ao final da rotação, o que demandará alguns anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.& FONTES, M.P.F., eds. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa, MG, UFV/DPS, SBCS, 1996. p.615-646.

ABRAF, A849a **Anuário Estatístico da ABRAF 2010**, ano base 2009/ABRAF. – Brasília, 2010. 140 p Brasília, 2010 – ilust. 21 cm.

ANDRADE, L. R. M. Corretivos e fertilizantes para culturas perenes e semiperenes. In: SOUSA, D. M. & LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubaçāo.** 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap. 13, p. 317-36.

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, Editora Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; Leal, P.G.L. Fertilizing eucalypt plantations on the Brazilian savannah soils. **South African Forestry Journal**, v.160, p.7-12. 1992.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P. M., ADAMS, M. A. (Eds.) **Nutrition of Eucalyptus.** Collingwood: CSRO, 1996. p. 335-355.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARĀES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa, 5 aprox., 1999. cap. 18, p. 303-30.

BARROW, N.J. Reaction of anions and cations with variable-charge soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.38, p.183-230, 1985.

BELLOTE, A.F.J. Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* em função da idade. Piracicaba, 1979. 129p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. 10 ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

DANTAS, S.V. Avaliação da eficiência de fosfatos em plantios de *Eucalyptus grandis*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 141 p.(Tese de Doutorado).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Curitiba, PR). Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná. Brasília, 1986, 89p. (EMBRAPA-CNPQ Documentos, 17).

ERNANI, P. R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. Lages, SC: O autor, 2008. 230 p.

FEITOSA, C.T.; RAIJ, B. van; DECHEN, A.R. et al. Determinação preliminar da deficiência relativa de fosfato, para trigo, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, n.3, p.193-195, 1978.

FRANCO, A.A. Fixação de nitrogênio em árvores e fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, s/n, p. 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. **Revista Árvore**, v.20, n.1, p.17-28, 1996.

GATIBONI, L. C., KAMINSKI, J., RHEINHEIMER, D. S., BRUNETTO, G. Superphosphate and rock phosphates as phosphorus sources for grass-clover pasture on a limed acid soil in southern Brazil. **Communications in soil science and plant analysis**. v. 34, Nos. 17 & 18, p. 2503-2514, 2003.

GAVA, J.L. Efeito comparativo de fontes e doses de fósforo em plantios de eucalipto. **Relatório Técnico da Companhia Suzano de Papel e Celulose**, 25p, 2003.

GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.G., Uso de Fertilizantes Fosfatados. In: ESPINOZA, W.; OLIVEIRA, A.J. de. (ed.) **Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira**. Brasília, DF, 06-10 agosto 1984. EMBRAPA-DID, Brasília, p.255-290. (Documentos, 14), 1984.

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

GONÇALVES, J. L. M. E BENEDETTI, V. – **Nutrição e fertilização florestal** – Piracicaba: IPEF, 2005 427 p.:

HAMMOND. L.L. Research on direct application of phosphate rock in the Agro-Economic Division. IFDC, Florence, Alabama. 15p. (Memorandum), 1977.

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.**, Pretoria, 124:4-12, 1983.

HIGA, R.C.V.; HIGA, A.R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M.V.R. Comportamento de 20 espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil. In: **Conference on silviculture and improvement of *Eucalyptus***.1997: Salvador. Proceedings... Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. p.106-110.

HIGA, R.C.V.; HIGA, A.R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M.V.R. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, p. 67-76, jan/jun. 2000.

HOLANDA, J. S.; BRASIL, E. C.; SALVIANO, A. A. C.; CARVALHO, M. C. S.; RODRIGUES, M. R. L.; MALAVOLTA, E. Eficiência de extractores de fósforo para um solo adubado com fosfatos e cultivado com arroz. **Scientia Agricola**, v.52, n.3, p.561-568, 1995.

KAMINSKI, J. **Efeito de cinco fosfatos pré-, co - e pós-aplicados ao Calcário no Suprimento de Fósforo ao Sorgo em três Solos Ácidos**. ESALQ/USP. Piracicaba, 126p. (Tese Doutorado), 1983.

KAMINSKI J, PERUZZO G., Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Fonte: **Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria - RS, 1997 - Boletim Técnico No.3, 31pg.

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. **Revista Árvore**, Viçosa, 12:165-182,1988.

LOPES. A.S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. Piracicaba: Potafos, 1998. 177p.

LUCA E. F., BOARETTO A. E., MURUAKA T., CHITOLINA J. C. Eficiência de absorção e utilização de fósforo (^{32}P) por mudas de eucalipto e arroz. **Scientia Agrícola**, v. 59 n 3, 103 p. Piracicaba, Braz. July/Sept. 2002.

MALAVOLTA (2002). **Tópicos de nutrição e adubação do eucalipto.** RR Agroflorestal, Piracicaba, 25p, 2002.

MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄ by North Carolina Soil Testing Laboratoris. **Raleigh: University of North Carolina**, 1953. Mimeografado.

MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v 15, p. 1409-1416, 1984.

MURPHY, J. RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Oxford, v 27, p. 31-36, 1962.

NOVAIS, R.F.; RÊGO, A.K.; GOMES, J.M. Níveis críticos de fósforo para eucalipto. **Revista Árvore**, v.6, n.1, , p.29-37, 1982.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp. Níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, v.10, n.1, p. 105-111, 1986.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F & NOVAIS, R.F., eds. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, Editora Folha de Viçosa, 1990. 330p.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa, MG: UFV, 1999. 399 p.

NOVAIS R. F., SMYTH T. J.& NUNES F. N. Fertilidade do solo.Cap. VIII Fósforo. **Sociedade Brasileira de Ciências do Solo**. 1017p. Viçosa – MG . 2007

RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, n.1, p.1-9, 1978.

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. **Revista. Árvore**. Viçosa, 6:74-83, 1982.

ROBINSON, J.S.; SYERS, J.K. A critical evaluation of the factors influencing the dissolution of Gafsa phosphate rock. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 41, p. 597-605, 1990.

SAS Institute Inc® 2003 **SAS Ver. 9.1 . 3** SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA. Lic. UDESC.

SILVA, D.J. **Necessidade de calagem e diferentes relações Ca:Mg para a produção de mudas de eucalipto.** 1986. 53p. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

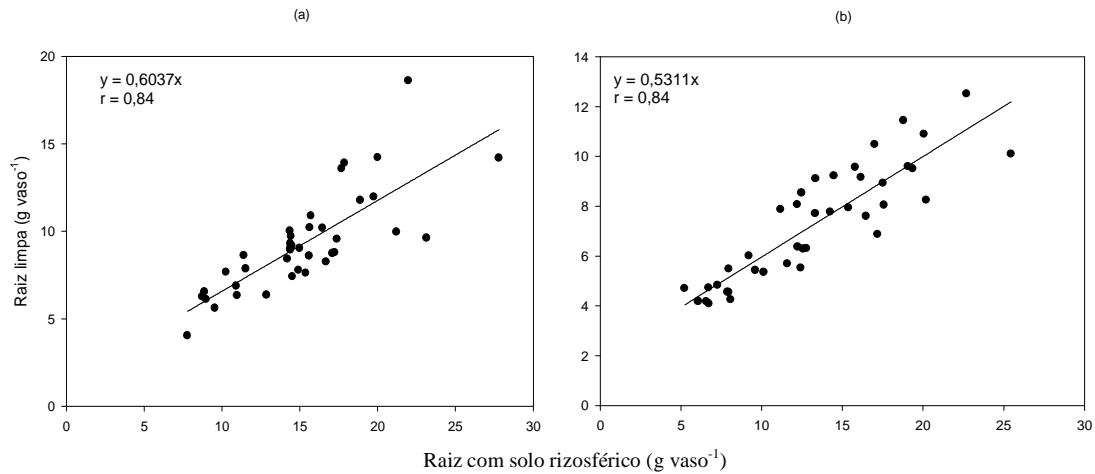
SILVA, C. A., RANGEL, O. J. P., BELIZÁRIO, M. H. Interação calagem-adubação fosfatada e sua influência nos níveis críticos de P e crescimento do euclipto. **Scientia Forestalis** nº 73, p. 63-72, março 2007.

TEDESCO, M. J; GIANELLO, C; BISSANI, C. A; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

TRAN, T.S.; GIROUX, M.; GUILBEAUT, J.; AUDESS, P. Evaluation of Mehlich-III extractant to estimate the available P in Quebec Soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.21, n.1, p.1-28, 1990.

YOST, R. S.; NADERMAN, G. C.; KAMPRATH, E. J.; LOBATO, E. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 462-468, 1982.

APÊNDICES



Apêndice A – Correlação entre os dados obtidos com raízes limpas e com as raízes com solo rizosférico de mudas de (a) *E. benthamii* e (b) *E. dunnii* após 110 dias de cultivo.

Apêndice B – Porcentagem de P (%) no tecido de folhas (F), caule e ramos (CR) e raízes (R), em mudas de *E. benthamii* e *E. dunnii* após 110 dias de cultivo em função dos tratamentos e dos níveis de calagem..

FATOR	<i>E. benthamii</i>			<i>E. dunnii</i>			
	F	CR	R	F	CR	R	
Tratamento (1)				(%)			
Bayovar	0,09a	0,06a	0,08ba	0,11a	0,07a	0,09	
Gafsa	0,96a	0,05ba	0,11a	0,09ba	0,06a	0,08	
Djebel	0,08ba	0,06ba	0,09ba	0,09ba	0,05a	0,10	
SFT	0,09a	0,06a	0,12a	0,12a	0,06a	0,14	
Testemunha	0,06b	0,04b	0,07b	0,08b	0,03b	0,08	
Valor F	4,5*	4,8*	5,6**	6,9**	8,0**	2,2 ^{ns}	
Calagem (2)							
Sem	0,08b	0,05	0,09	0,09	0,06	0,10	
Com	0,09a	0,06	0,09	0,10	0,05	0,10	
Valor F	10,2*	0,5 ^{ns}	0,4 ^{ns}	1,1 ^{ns}	2,3 ^{ns}	0,0 ^{ns}	
Interação (1x2)	2,0 ^{ns}	1,1 ^{ns}	1,4 ^{ns}	1,0 ^{ns}	2,0 ^{ns}	0,9 ^{ns}	
CV (%)	21,82	20,72	25,07	17,57	22,84	42,14	

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Inexistência de letras significam ausência de diferenças estatísticas

* = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo Teste F.

** = significativo a 1% de probabilidade de erro pelo Teste F.

^{ns} = não significativo para os níveis testados.

Bayovar, Gafsa, Djebel = fosfatos naturais reativos.

SFT = superfosfato triplo.

Testemunha = sem adição de P.

Apêndice C – Valores de extração de fósforo no Cambissolo Húmico coletado, na camada de 0-20 cm submetidos à doses e fontes de fósforo em área experimental de *E. Benthamii* utilizando os extratores de Mehlich 1 (M1) e a Resina Trocadora de Ânions (RTA) em duas épocas de coleta.

Dose	Pres/aus. FN	M1 - C1	M1 - C2	P mg kg ⁻¹	RTA - C1	RTA - C2
0	SEM	4,8 ^{ns}	4,3 ^{ns}		9,4 ^{ns}	5,6 ^{ns}
	COM	5,7 ^{ns}	6,7 ^{ns}		8,3 ^{ns}	7,0 ^{ns}
75	SEM	6,1 ^{ns}	5,2 ^{ns}		8,8 ^{ns}	7,4 ^{ns}
	COM	6,2 ^{ns}	5,5 ^{ns}		9,2 ^{ns}	7,2 ^{ns}
150	SEM	5,0 ^{ns}	10,3 ^{ns}		9,5 ^{ns}	10,5 ^{ns}
	COM	6,1 ^{ns}	5,3 ^{ns}		10,2 ^{ns}	7,4 ^{ns}
300	SEM	6,2 ^{ns}	15,2 ^{ns}		8,9 ^{ns}	10,8 ^{ns}
	COM	5,3 ^{ns}	6,7 ^{ns}		9,3 ^{ns}	8,8 ^{ns}
CV (%)		17,0	86,4		16,4	37,0

^{ns} – não significativo

C1 – coleta 1 (fase inicial do experimento)

C2 – coleta 2 (após período de um ano de condução do experimento)

Apêndice D – Valores de extração de fósforo no Cambissolo Húmico coletado, na camada de 0-20 cm submetidos à doses e fontes de fósforo em área experimental de *E. dunnii* utilizando os extratores de Mehlich 1 (M1) e a Resina Trocadora de Ânions (RTA) em duas épocas de coleta.

Dose	Pres/aus. FN	M1 - C1	M1 - C2	P mg kg ⁻¹	RTA - C1	RTA - C2
0	SEM	5,9 ^{ns}	6,4 ^{ns}	9,9 ^{ns}	8,0 ^{ns}	
	COM	5,5 ^{ns}	5,0 ^{ns}	9,3 ^{ns}	6,2 ^{ns}	
75	SEM	4,4 ^{ns}	6,2 ^{ns}	6,8 ^{ns}	21,5 ^{ns}	
	COM	4,7 ^{ns}	4,6 ^{ns}	7,2 ^{ns}	5,7 ^{ns}	
150	SEM	5,0 ^{ns}	19,8a	24,5 ^{ns}	31,2a	
	COM	5,7 ^{ns}	5,4b	8,9 ^{ns}	5,2b	
300	SEM	15,3 ^{ns}	12,0 ^{ns}	11,7 ^{ns}	5,6 ^{ns}	
	COM	4,9 ^{ns}	4,9 ^{ns}	8,1 ^{ns}	6,8 ^{ns}	
CV (%)		104,7	95,1	97,8	113,7	

Dentro de cada fator, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.
^{ns} – não significativo.

C1 – coleta 1 (fase inicial do experimento)

C2 – coleta 2 (após período de um ano de condução do experimento)