



Dessorção de fósforo após fertilização com fonte silicatada em plantação de eucalipto ⁽¹⁾

Alexandre de Vicente Ferraz⁽²⁾; Fabio Henrique Silva Floriano de Toledo⁽³⁾; Yesid Alejandro Mariño Macana⁽³⁾; Eric Victor de Oliveira Ferreira⁽²⁾; José Carlos Arthur Junior⁽⁴⁾; José Leonardo de Moraes Gonçalves⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho realizado com recursos das empresas Mineração Curimbaba e International Paper.

⁽²⁾ Pós doutorando (bolsistas CNPq e FAPESP); Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo (ESALQ/USP); Piracicaba, São Paulo; avferraz@usp.br; ericsolos@yahoo.com.br. ⁽³⁾ Doutorando (bolsistas CAPES) em Recursos Florestais; Depto. de Ciências Florestais; ESALQ/USP; fhtoledo@usp.br; yesidmarino@usp.br. ⁽⁴⁾ Coordenador Executivo do Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo; Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (PTSM/IPEF); arthur@ipef.br. ⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Ciências Florestais; ESALQ/USP; jlmgonca@usp.br.

RESUMO: O fósforo (P) é um dos nutrientes mais limitantes em plantações florestais tropicais e o silício (Si) pode promover sua dessorção em solos intemperizados. O objetivo deste trabalho foi mensurar o aumento da disponibilidade de P após fertilização com fonte silicatada (rocha Fonolito) e melhor entender a mobilidade desses elementos em profundidade no solo. Foram testados três tratamentos: Controle - fertilização mínima; FoAt – aplicação de 714,65 kg ha⁻¹ SiO₂ via Fonolito em área total; FoF – mesma dose de FoAt via Fonolito em faixa lateral e incorporado ao solo. Foram coletadas amostras de solo na linha de preparo do plantio, apenas o último tratamento teve a coleta realizada tanto na linha de preparo do plantio FoF (Linha) quanto na faixa lateral onde foi aplicado o Fonolito FoF (Faixa). As amostras de solo foram coletadas em camadas de 10 cm até profundidade de 50 cm aos 10 meses após o plantio das mudas para a determinação de P e Si. Houve aumento na concentração de P após aplicação de Fonolito no tratamento FoF (FoF (Linha) e FoF (Faixa)). Houve tendência de maior concentração do nutriente em camadas superficiais. A concentração de Si aumentou conforme o aumento das doses de Fonolito aplicadas com tendência de acúmulo em maiores profundidades do solo. Concluiu-se que aplicação localizada da rocha Fotolito moída fornece Si, promovendo assim o aumento da disponibilidade de P às plantas.

Termos de indexação: química do solo, fonte alternativa de nutriente, fertilização.

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um dos nutrientes que requer maior atenção em plantações florestais e agrícolas por se apresentar, de maneira geral, em baixas concentrações ou fortemente ligado aos colóides nos solos tropicais muito intemperizados (Dieter et al., 2010). Este elemento é importante para as plantas por ser constituinte estrutural dos ácidos

nucléicos presentes no DNA e no RNA, das biomembranas e do sistema metabólico-energético das células (Marschener, 2012).

A fertilização com fontes silicatadas fornece o íon Si(OH)₄, forma como é absorvido pelas plantas. Na planta, o Si participa da ativação de mais de 60 enzimas e influencia no controle estomático, auxiliando no controle hídrico do vegetal (Schoultz et al., 2012). Esse elemento benéfico possui participação indireta no aumento de produtividade vegetal, pois promove o endurecimento das folhas, tornando-as mais eretas, atenuando estresses bióticos e abióticos (Marschner, 2012).

A adição de Si ao solo pode promover a dessorção de P (Carvalho et al., 2000), esse fato é de grande importância, pois mais de 90 % do P aplicado com fontes solúveis em áreas muito intemperizadas acabam adsorvidos aos colóides do solo e, com o passar do tempo, tornando-se indisponível para as plantas (Bognola et al., 2011).

Dessa forma, objetivou-se avaliar a disponibilidade de P no solo após a fertilização em plantio de eucalipto com fonte silicatada, além de compreender melhor a mobilidade desses elementos no perfil do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Luiz Antônio-SP (21°38'48,9 S e 47°41'35,9) com altitude média de 665 m. O clima da área é caracterizado como mesotérmico úmido (Cwa), de acordo com a classificação de Koeppen, apresenta 22 °C de temperatura média anual e 1.400 mm de precipitação média anual concentrada no verão (Alvares et al., 2013).

O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura média (20 % de argila) e topografia plana. De acordo com análises químicas prévias ao plantio (**Tabela 1**), o solo apresentava concentrações de P consideradas médias (três primeiras camadas) e baixas (duas últimas camadas) para o cultivo do



eucalipto (Gonçalves, 2011). O solo apresentou valor médio de 4,1 de pH em CaCl_2 na camada de 0 – 50 cm.

Tabela 1. Concentrações de fósforo (P) e silício (Si) em diferentes camadas em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) antes do plantio de eucalipto¹

Camadas (cm)	Concentração de P ⁽²⁾	Concentração de Si ⁽³⁾
	(mg dm ⁻³)	
0 - 10	6	2,66
10 - 20	6	2,72
20 - 30	5	2,96
30 - 40	4	2,98
40 - 50	3	3,06

¹Junho de 2013; ²Extrator Resina trocadora de íons; ³ Extrator Cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹.

Foi realizado, em junho de 2013, o plantio do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, no arranjo de 3,0 x 2,5 m. As amostras de solo foram coletadas na área útil de cada parcela (120 m²).

Os fertilizantes utilizados no experimento foram: fonte de N e S - Sulfato de amônio; P (Superfosfato triplo); K (Cloreto de potássio); B, Cu, Mn, Zn e Mo (FTE-BR 12); B (Ulaxita); Ca e Mg (calcário dolomítico); e K e Si (rocha Fonolito moída).

Tratamentos e amostragens

O experimento foi realizado em delineamento em blocos ao acaso com 13 tratamentos e quatro repetições. Para determinação de P e Si no solo foram selecionados três tratamentos.

Os tratamentos selecionados foram: Controle – fertilização mínima; FoAt – aplicação de 714,65 kg ha⁻¹ de SiO₂ (com base no teor total) via Fonolito em área total; FoF – aplicação da mesma dose de SiO₂ do FoAt via Fonolito em faixa lateral e incorporado ao solo. O Fonolito é uma rocha moída (> 70 % passante na peneira de 0,075 mm), a qual possui 52 % de SiO₂ total em sua constituição. A dose de Fonolito foi definida em função da sua concentração de K (8 % de K₂O), considerando uma recomendação de 120 kg ha⁻¹ de K₂O.

Os tratamentos Controle e FoAt tiveram as amostras de solo coletadas na linha de plantio, enquanto o tratamento FoF teve a coleta realizada tanto na linha de preparo do plantio FoF (Linha) quanto na faixa lateral onde foi aplicada a rocha Fonolito FoF (Faixa). As amostras de solo foram coletadas aos 10 meses após o plantio das mudas, com trado holandês a cada 10 cm até a profundidade de 50 cm.

O tratamento Controle recebeu apenas 10 kg ha⁻¹ de N, de P₂O₅ e de K₂O no momento do plantio para garantir a sobrevivência das mudas. Os demais tratamentos receberam aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 120 kg ha⁻¹ de K₂O, 20 kg ha⁻¹ de FTE-BR 12 (*Frited Traced Elements*), 5 kg ha⁻¹ de B e 2000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico. As doses de FTE, calcário e P foram aplicadas de forma total na adubação de plantio. A rocha Fonolito foi aplicada ao solo dois meses após o plantio das mudas. O K e B foram aplicados em duas fertilizações de cobertura (um terço e dois terços das doses respectivamente) aos 90 e 270 dias após o plantio. A dose de N foi aplicada integralmente na primeira fertilização de cobertura.

Para a determinação de P disponível no solo foi utilizada a resina trocadora de íons (Raj et al., 2001). O Si disponível no solo foi extraído com CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ e determinado em espectrofotômetro (Korndörfer, 2004).

Análise estatística

A cada profundidade, os dados foram submetidos ao teste de normalidade e de homocedasticidade de variâncias. Quando necessário, os dados foram transformados de acordo com o método da potência ótima de BoxCox. Posteriormente, os resultados passaram por análise de variância utilizando-se o teste F e, quando significativo ($p \leq 0,05$), foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o software SAS 9.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Posteriormente a fertilização com a rocha Fonolito, 10 meses após o plantio, verificou-se aumento nas concentrações de P disponível no solo no tratamento FoF (Linha) (primeira e duas últimas camada) e FoF (Faixa) (exceção da camada intermediária) (**Figura 1a**). O comportamento do P em profundidade foi o mesmo apresentado no início do experimento, em que sua concentração tendeu a diminuir em função do aumento da profundidade do solo. A maior presença de P disponível ocorre nas camadas superficiais, tanto em solos argilosos quanto em solos arenosos, sendo a matriz do solo responsável por dificultar a mobilidade desse nutriente em profundidade (Bertol et al., 2010; Gebrim et al., 2010).

O P disponível no solo também foi elevado quando a aplicação da rocha Fonolito foi realizada em faixa e teve sua coleta de solo efetuada na linha de plantio FoF (Linha), evidenciando o efeito da



dessorção de P por Si não apenas na área exata de aplicação FoF (Faixa) mas também próximo a ela (**Figura 1b**). O Si compete com o P pelos mesmos sítios de adsorção do solo, dessa forma os fenômenos de adsorção e dessorção entre esses elementos pode ocorrer (Carvalho et al., 2000). Martins et al. (2015) observaram aumento da concentração de P disponível no solo de acordo com o aumento de doses de Si apenas em fontes que continham mistura com calcário, ressaltando a importância do pH na disponibilidade do P. Apesar da aplicação de calcário, o pH do solo no presente estudo não foi significativamente alterado, tendo 4,2 como valor médio em todos os tratamentos.

De acordo com a condição inicial de Si no solo, observa-se que há tendência de acúmulo deste elemento em camadas mais profundas (exceção para FoF (Faixa) sob as condições edafoclimáticas locais (**Figura 1c**). Como a análise de Si foi realizada oito meses após a aplicação do Fonolito, acredita-se que o Si disponível começou a migrar da camada superficial para camadas mais profundas do solo. Cornelis et al. (2010), pesquisando sobre o ciclo do Si em condições climáticas temperadas (médias de temperatura e precipitação de 9 °C e 1.212 mm), também encontraram tendência de acúmulo deste elemento em camadas mais profundas em Cambissolo ácido (17,7 % de argila).

O Si também apresentou aumento na concentração no solo após aplicação da rocha Fonolito. Essa resposta foi evidente para o tratamento FoF (Faixa) (**Figura 1d**). Martins et al. (2015), estudando fontes silicatadas, observaram aumento da disponibilidade de Si em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (camada 0 – 20 cm) após aplicação de Fonolito em doses crescentes, bem como para outras fontes de Si como rocha ultramáfica e verdete tratado com NH₄OH.

CONCLUSÕES

A aplicação localizada da rocha Fonolito moída aumenta a disponibilidade de Si no solo, promovendo assim o aumento da disponibilidade de P às plantas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPq e FAPESP pelas bolsas de estudos concedidas aos autores; à International Paper do Brasil pela disponibilização do local, logística e insumos para realizar e manter a área experimental; ao IPEF pela logística; e à Mineração Curimbaba pelo

fornecimento da rocha Fonolito e o financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22:711-728, 2013.
- BERTOL, O. J. et al. Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1841-1850, 2010.
- BOGNOLA, I. A. et al. Aplicação de silicatos de cálcio e de potássio e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 31:83-92, 2011.
- CARVALHO, R. et al. Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:69-74, 2000.
- CORNELIS, J. T. et al. Tree species impact the terrestrial cycle of silicone through various uptakes. *Biogeochemistry*, 97:231–245, 2010.
- DIETER, D; ELSENBEER, H; TURNER, B. L. Phosphorus fractionation in lowland tropical rainforest soils in central Panama. *Catena*, 82:118-125, 2010.
- GEBRIM, F. O. et al. Mobility of inorganic and organic phosphorus forms under different levels of phosphate and poultry litter fertilization in soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1195-1205, 2010.
- GONÇALVES, J. L. M. Fertilização de plantação de eucalipto. In: II Encontro Brasileiro de Silvicultura. Campinas, 2011. Anais. Campinas: FUPEF, 2011. p 85-113.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Análise de silício no solo, planta e fertilizante. 2ª ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. (Boletim técnico, 2).
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 3 ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.
- MARTINS, V. et al. Effect of alternative multnutrient sources on soil chemical properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39:194-204, 2015.
- RAIJ, B. V. et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 284p.
- SCHOULTZ, B. et al. Uso do silicato de potássio no controle de oídio em mudas de *Eucalyptus benthamii*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 69:93-99, 2012.

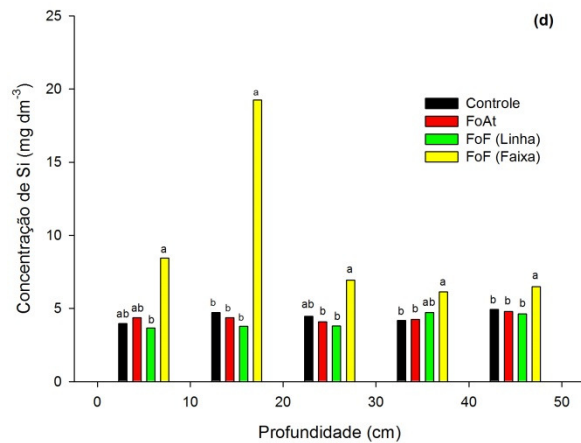
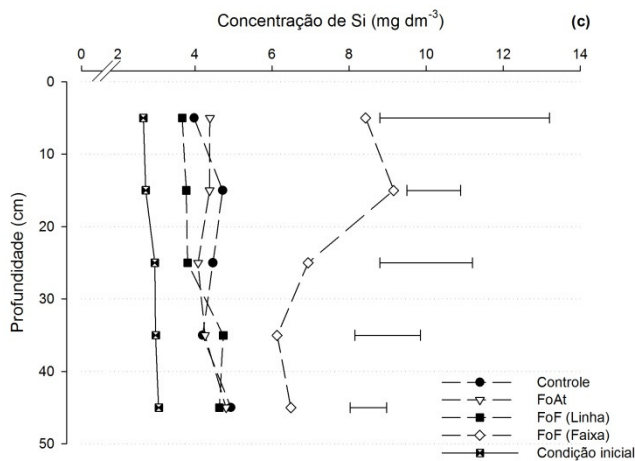
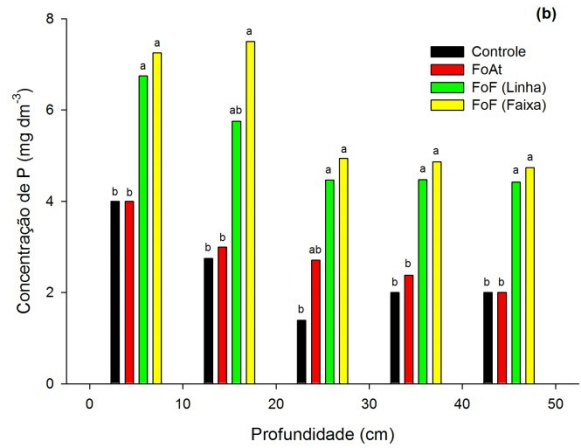
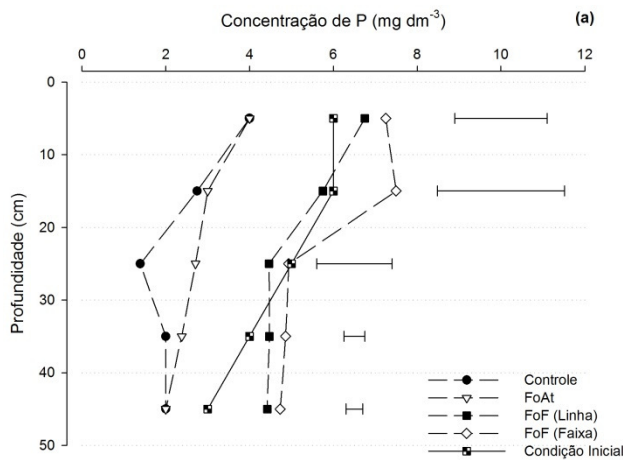


Figura 1: Concentração de P em profundidade do solo (a); Comparação da concentração de P entre tratamentos (b); Concentração de Si em profundidade do solo (c); Comparação da concentração de Si entre tratamentos (d). Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As barras em cada profundidade representam a DMS ($p \leq 0,05$).