



## Destino do P de diferentes fontes aplicadas em um solo tropical coeso<sup>(1)</sup>.

**Marta Jordana Arruda Coelho<sup>(2)</sup>; Virley Gardeny Lima Sena<sup>(3)</sup>; Alana das Chagas Ferreira Aguiar<sup>(4)</sup>; Paulo Sérgio Pavinato<sup>(2)</sup>; Emanuel Gomes de Moura<sup>(5)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do CNPq e FAPEMA.

<sup>(2)</sup> Doutoranda em Solos e Nutrição de Plantas; Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo; [martajordana.ac@usp.br](mailto:martajordana.ac@usp.br);

<sup>(3)</sup> Doutoranda em Agricultura; Universidade Estadual Paulista;

<sup>(4)</sup> Professor Doutor; Universidade Federal do Maranhão;

<sup>(5)</sup> Professor Doutor; Universidade Estadual do Maranhão.

**RESUMO:** Em regiões tropicais, o P é um fator que limita o crescimento das culturas. Comparamos um fosfato aluminoso calcinado com um solúvel em combinação com resíduos de leguminosas por meio da determinação do destino do P em um solo tropical coeso. Os tratamentos, em kg ha<sup>-1</sup>, foram: 160 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-fosfato natural trauíra + 100 de N-uréia (FNT+U); 160 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-FNT + 6 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca de leucena (FNT+L); 160 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-superfosfato simples + 100 de N-U (SS+U); 160 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SS+ 6 Mg ha<sup>-1</sup> de L (SS+L) e o controle sem adubação de N e P. Para avaliar os valores residuais das fontes de P, foi utilizada uma sequência de culturas de milho, feijão-caupi e mandioca, que são listados do menor para o maior esgotamento P do solo. O FNT e SS apresentam baixa eficiência quando utilizados em solo sem vegetação e a utilização de resíduos de leguminosas aumenta a eficiência do uso do P.

**Termos de indexação:** fosfato natural, resíduos de leguminosas, eficiência.

### INTRODUÇÃO

Em solos ácidos, com baixo teor de fósforo (P) disponível e elevada capacidade de fixação de fosfato, o P é muitas vezes o principal fator limitante ao crescimento das culturas (Vance et al., 2003). Embora existam várias fontes de P para uso em sistemas agrícolas, para agricultores familiares nos trópicos úmidos, a aplicação direta de rocha fosfática (RP) demonstra-se mais atraente para contornar a deficiência de P do que os fertilizantes processados (como SS), que são mais caros.

Os efeitos positivos da cobertura do solo sobre sua estrutura e o aumento da eficiência do uso de P em sistemas de plantio direto, são vários, como: (i) maior enraizamento das plantas e umidade do solo (Moura et al, 2012); (ii) diminuição da adsorção de P pela concorrência entre produtos de resíduo de decomposição e sítios de sorção (Gupy et al., 2005); e (iii) produção de ácidos orgânicos e de substâncias húmicas durante a decomposição, que atuam na solubilização de P (Singh & Amberger, 1990).

Apesar de todos estes benefícios potenciais, apenas 10 a 20% do P aplicado, mesmo com fertilizantes solúveis, é absorvido pelas plantas

durante o ano de aplicação. A maior parte do P é rapidamente fixado ou precipitado em diversas formas químicas e físicas, que diferem em seu destino no solo e disponibilidade para planta (Vu et al., 2008). Por isso, entender a dinâmica e interações do P com os componentes do solo em função da fonte utilizada é muito importante para tornar o uso do P mais eficiente nos sistemas de produção e melhorar sua gestão. Neste trabalho, comparáramos a eficiência de um fosfato aluminoso calcinado com a de um fosfato solúvel, ambos combinados com resíduos de leguminosas, por meio da determinação do destino dessas fontes de P em um solo tropical com característica de coesão.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante quatro estações de crescimento (2010, 2011, 2012 e 2013), na Universidade Estadual do Maranhão, Brasil (2°30'S, 44°18'W). O solo apresenta características de coesão e foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico. Amostras de solo foram tomadas em profundidades de 0-20 cm, antes da semeadura do milho (**Tabela 1**). O pH do solo em CaCl<sub>2</sub>, carbono orgânico, P, K, Ca e Mg e a acidez potencial foram determinados de acordo com Raji et al. (2001). A área foi corrigida em dezembro de 2009 e 2010, com aplicação superficial de 1 Mg ha<sup>-1</sup> de cálcio hidratado (279 e 78 kg ha<sup>-1</sup> de Ca e Mg por ano, respectivamente). A rocha de fosfato natural foi coletada na ilha de Trauíra, Maranhão, e analisada por Guardani et al. (1989) e apresentou 27.2% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A biomassa de *Leucaena leucocephala* (leucena) foi coletada em área próxima ao experimento. Aplicou-se 6 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca, com base em sua composição química (40.17 g kg<sup>-1</sup> de N e 1,55 g kg<sup>-1</sup> de P). A rocha de fosfato natural aluminoso foi moída e peneirada em malha de 0,150 mm e, em seguida, calcinada a 500 °C por duas horas. A solubilidade do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> das fontes de P foi medida pela extração em solução de ácido cítrico a 2%, de acordo com EMBRAPA (1999). A rocha fosfática calcinada apresentou 6,51% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e o SS, 18%. A fertilização fosfatada foi realizada somente em 2010. Para avaliar os valores residuais das fontes de P, foi



utilizada uma sequência de culturas: milho, feijão-caupi e mandioca, que são listados do menor para maior esgotamento de P.

O experimento seguiu um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e os seguintes tratamentos, em  $\text{kg ha}^{-1}$ : (1) 160 de  $\text{P}_2\text{O}_5$ -FNT + 100 de N-uréia (FNT + U); (2) 160 de  $\text{P}_2\text{O}_5$ -FNT + 6  $\text{Mg ha}^{-1}$  de matéria seca de leucena (FNT + L); (3) 160 de  $\text{P}_2\text{O}_5$ -SS + 100 de N-U (SS + U); (4) 160 de  $\text{P}_2\text{O}_5$ -SS e 6  $\text{Mg ha}^{-1}$  de L (SS + L); e (5) controle, sem adubação de P e N (C).

A quantidade total de P aplicado (incluindo P inorgânico e orgânico insolúvel) foram  $292 \text{ kg ha}^{-1}$  de FNT,  $78,70 \text{ kg ha}^{-1}$  de SS combinados com U e  $329,20 \text{ kg ha}^{-1}$  de FNT e  $115,90 \text{ kg ha}^{-1}$  de SS combinados com L. A aplicação de uréia e leucena foi dividida em semeadura e cobertura. A mandioca recebeu uma aplicação no plantio e outra no período chuvoso (12 meses depois). Todas as parcelas receberam  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  via cloreto de potássio e  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn na forma de  $\text{ZnSO}_4$ . O milho (cultivar AG 5020) foi semeado em um sistema de plantio direto em janeiro de 2010 e 2011, em espaçamento de  $90 \times 33 \text{ cm}$ . O feijão-caupi (cultivar xique-xique), safrinha, foi semeado em 2011, após a colheita do milho, em espaçamento de  $45 \times 15 \text{ cm}$ . A mandioca (cultivar João-velho) foi semeada em janeiro de 2012, com espaçamento de  $100 \times 50 \text{ cm}$ .

O teor de P e N no milho, feijão-caupi e mandioca (incluindo as raízes) foram analisados na maturação fisiológica e determinados após digestão em  $\text{H}_2\text{SO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}_2$ , de acordo Tedesco et al. (1995).

Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, após a colheita da mandioca. O fracionamento do P foi realizado pelo método Hedley et al. (1982) modificado por Condron et al. (1985). As frações de P foram quantificadas com base na labilidade prevista pelos extratores. O P lábil (PL) consistiu do P-resina + P- $\text{NaHCO}_3$ , o P moderadamente lábil (PML), do P- $\text{NaOH}$  0,1 M + P-HCl, e o P dificilmente lábil (PDL), consistiu do P- $\text{NaOH}$  0,5 M.

As percentagens do destino do P foram calculadas como segue: (1) eficiência de recuperação do fósforo (ERP) =  $[(\text{kg ha}^{-1} \text{ de P absorvido no tratamento} - \text{kg ha}^{-1} \text{ de P absorvido no C}) / \text{kg ha}^{-1} \text{ total de P aplicado}] \times 100$ ; (2) Para cada fração PL, PML e PDL =  $[(\text{kg ha}^{-1} \text{ P no tratamento} - \text{kg ha}^{-1} \text{ P no C}) / \text{kg ha}^{-1} \text{ total de P aplicado}] \times 100$  e (3) P não-lábil = P total aplicado no tratamento - (ERP + PL + PML + PDL).

Realizou-se a análise de variância (ANOVA) dos dados, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software Infostat (Infostat Group, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Nacional de Córdoba, Argentina).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As duas fontes de P, junto com o resíduo de leucina, aumentaram significativamente o acúmulo de N em todas as culturas quando comparadas aos tratamentos com uréia e com o controle (**Tabela 2**). Durante o primeiro ano, houve diferenças na acumulação de N entre os tratamentos com diferentes fontes de P, na seguinte ordem:  $\text{SS+L} > \text{FNT+L} > \text{FNT+U} > \text{SS+U} > \text{C}$ . No segundo ano (milho II), não houve diferença na acumulação de N entre as duas fontes de P nos tratamentos com leucena, que foram maiores do que os demais tratamentos. No cultivo de feijão-caupi, as duas fontes de P com leucena foram iguais ou maiores do que nos outros tratamentos. Durante o cultivo de mandioca, a ordem de acúmulo de N nos tratamentos foi  $\text{SS+L} > \text{FNT+L} > \text{FNT+U} > \text{SS+U} > \text{C}$ . A ordenação de acumulação total de N, em geral, foi:  $\text{SS+L} > \text{FNT+L} > \text{SS+U} > \text{C}$ . Já para o P, no milho I e II e no feijão-caupi, não houve diferença de acúmulo nas plantas entre as parcelas onde o solo foi coberto com o resíduo de leucena. No entanto, na mandioca (anos 3 e 4), o acúmulo de P variou:  $\text{SS+L}$  exibiram acumulação P maior do que o  $\text{FNT+L}$  (**Tabela 2**). A ordenação do P acumulado na mandioca e P total acumulado foi:  $\text{SS+L} > \text{FNT+L} > \text{FNT+U} > \text{SS+U} > \text{C}$ . As maiores quantidades de absorção de N e P nos tratamentos cobertos com o resíduo de leucena ocorreram em função das maiores quantidades de P lábil e N disponível em comparação com os tratamentos com uréia. A correlação negativa entre N e os níveis de P solúvel aplicado não utilizado foi relatada por Ali et al. (2002). O SS foi mais eficiente do que o FNT no primeiro ano, com ou sem o uso do resíduo leucena, o que confirma que os fertilizantes contendo P mais solúvel tem um potencial de fornecer P para plantas imediatamente após a aplicação, mas que a disponibilidade diminui com o tempo (Rivaie et al., 2008). Assim, durante o segundo ano, o valor residual do FNT foi superior ao SS, com ou sem cobertura do solo, e aumentou a produtividade do milho. A maior liberação de P pelo SS durante o primeiro ano pode ter contribuído para o aumento da quantidade de P fixado no solo e para a diminuição da adsorção de P no segundo ano, enquanto que o efeito oposto ocorreu com o fertilizante FNT (Hongqing et al., 2001).

O destino do P aplicado variou com a fonte e o tipo de manejo do solo (**Figura 1**). O  $\text{FNT+U}$  não teve acumulação na percentagem de P lábil ou moderadamente lábil, e aproximadamente 93% do P total aplicado foi transformado em frações não lábeis. Nos tratamentos  $\text{SS+U}$  e  $\text{FNT+L}$ , a fração foi de 63,5% e 74,2%, respectivamente, e a fração dificilmente lábil foi de 6,6% e 6,1%,



respectivamente. Além disso, a percentagem de absorção de P no FNT+L foi de 13,9% versus 8% no SS+U. Em contraste, a tendência oposta foi observada na fração moderadamente lábil, que foi de 2,9% e 15,1% no FNT+L e SS+U, respectivamente. No SS+L, a eficiência de recuperação de P foi igual à fração residual de P (44,8 - 48,4%), e o restante do P (6,6%) foi transformado em frações lábeis. Certos processos podem ser responsáveis por estas diferenças. Primeiro, a concorrência entre os produtos da decomposição dos resíduos pelos sites de sorção do P resultou em um aumento da concentração de P da solução do solo em solos altamente intemperizados (Guppy et al., 2005). Em segundo lugar, a presença de resíduo na superfície do solo diminui a evapotranspiração, atrasos na coesão do solo e aumentou o enraizamento (Moura et al., 2012). Além disso, as diferenças na absorção de P e nas frações moderadamente lábeis entre o FNT+U e FNT+L (7,2 e 19,7%) confirmam a capacidade de solubilização de P por resíduos leucena, mesmo quando o fosfato utilizado foi o natural aluminoso.

### CONCLUSÕES

Em solos de regiões tropicais úmidas propensos à coesão, tanto FNT e SS apresentam baixa eficiência, quando utilizados em solo descoberto. A utilização de resíduos de leguminosas em sistema de plantio direto aumenta a eficiência do uso do P desses fosfatos, já que esta prática de gestão aumenta a absorção de N e P solúvel e a solubilização das frações de P recalcitrantes.

### AGRADECIMENTOS

Somos gratos ao CNPq, CAPES e FAPEMA pelo apoio financeiro.

### REFERÊNCIAS

ALI et al. Uptake nitrogen as affected by various combinations of nitrogen and phosphorus. *Asian Journal of Plant Science*, 1:367-369, 2002.

CONDON et al. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by  $^{31}\text{P}$  nuclear magnetic resonance analysis. *European Journal of Soil Science*, 36,199-207, 1985.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p.

GUARDANI et al. Studies on calcination of aluminium phosphate rock in fluidized bed reactors. *Fertilizer Research*, 20:181-191, 1989.

GUPPY et al. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. *Soil Research*, 43:189-202, 2005.

HEDLEY et al. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices

and laboratory incubation. *Soil Science society of America Journal*, 46:970-976, 1982.

HONGQING et al. Availability and residual effects of phosphate rock and inorganic P fraction in a red soil of Central China. *Nutrient Cycling Agroecosystem*, 59:251-258, 2001.

MOURA et al. Management of a cohesive tropical soil enhance rootability and increase the efficiency of nitrogen and potassium use. *Soil Use and Management*, 28:370-377, 2012.

RAIJ et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001.

RIVAIE et al. Effect of phosphorus rock and triple superphosphate on soil phosphorus fractions and their plant-availability and downward movement in two volcanic ash soils under Pinus radiata plantations in New Zealand. *Nutrient Cycling Agroecosystem*, 82:75-88, 2008.

SINGH, C. P. & AMBERGER, A. Humic substances in straw compost with rock phosphate. *Biological Wastes*, 31:165-174, 1990.

TEDESCO, M. J. Extração simultânea de N, P, K, Ca e Mg em tecido de planta por digestão por  $\text{H}_2\text{O}_2$ - $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Porto Alegre UFRGS, 1995. 23p.

VANCE et al. Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, 157:423-447, 2003.

VU et al. Changes and availability of P fractions following 65 years of P application to a calcareous soil in a Mediterranean climate. *Plant and Soil*, 304: 21-33, 2008.



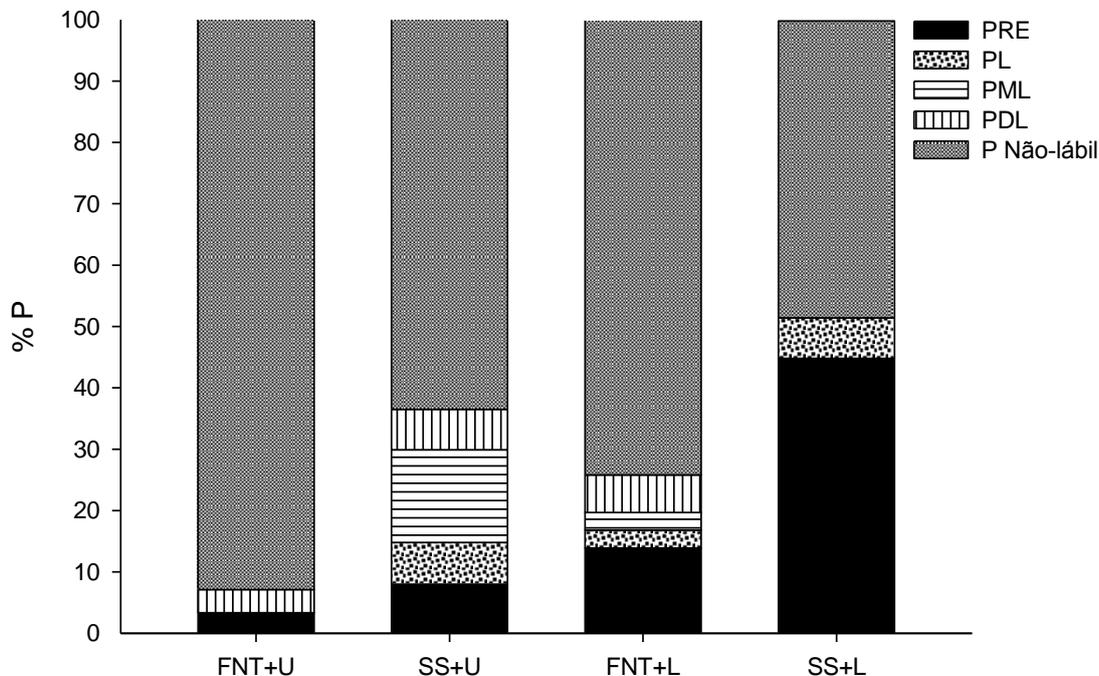
**Tabela 1** - Caracterização química do solo na área experimental na profundidade de 0-20 cm.

Carbono orgânico (g dm <sup>-3</sup> )	9.3
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4.3
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	1.4
Potássio (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0.6
Cálcio (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4.0
Magnésio (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10.0
Acidez potencial (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	26.0
Soma de bases (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	14.6
Capacidade de trocas catiônicas (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	40.6
Saturação por bases (%)	36.0

**Tabela 2** – Conteúdo de N e P absorvidos pelas culturas durante os quatro cultivos consecutivos

	C	FNT+U	SS+U	FNT+L	SS+L
<b>Nitrogênio (N) (kg ha<sup>-1</sup>)</b>					
Milho I <sup>(a)</sup>	19,41 e	32,74 d	40,75 c	57,28 b	79,09 a
Milho II <sup>(a)</sup>	28,99 c	48,27 b	36,07 c	101,67 a	100,65 a
Feijão-caupi <sup>(a)</sup>	34,16 b	32,52 b	38,68 b	61,69 a	67,53 a
Mandioca <sup>(a)</sup>	31,38 e	118,34 c	91,18 d	213,28 b	252,73 a
Total N <sup>(b)</sup>	113,94 d	231,87 c	206,68 c	433,92 b	500,00 a
<b>Fósforo (P) (kg ha<sup>-1</sup>)</b>					
Milho I <sup>(c)</sup>	1,91 d	2,93 c	3,77 b	8,30 a	8,61 a
Milho II <sup>(c)</sup>	6,09 b	6,23 b	5,99 b	24,99 a	23,91 a
Feijão-caupi <sup>(c)</sup>	2,02 b	1,69 c	1,63 c	4,22 a	4,45 a
Mandioca <sup>(c)</sup>	5,70 e	14,63 c	10,63 d	24,11 b	30,78 a
Total P <sup>(d)</sup>	15,72 e	25,48 c	22,02 d	61,62 b	67,75 a

C = controle, FNT+U = fosfato natural trauíra (FNT) e ureia (U), SS+U = super simples (SS) e ureia (U), FNT+L = fosfato natural trauíra (FNT) e leucena (L), and SS+L = super simples (SS) e leucena (L). Médias seguidas da mesma letra em cada linha não diferem pelo teste Tukey (p<0,05).



**Figura 1** - Destino do P aplicado: ERP (Eficiência de recuperação do P), PL (P lábil), PML (P moderadamente lábil), PDL (P dificilmente lábil) e P não-lábil. FNT+U = fosfato natural trauíra (FNT) e ureia (U), SS+U = super simples (SS) e ureia (U), FNT+L = fosfato natural trauíra (FNT) e leucena (L), and SS+L = super simples (SS) e leucena (L).