



## Interação ácidos húmicos-fontes de fósforo em solos com texturas contrastantes<sup>(1)</sup>.

**Sara Dantas Rosa<sup>(2)</sup>; Henrique José Guimarães Moreira Maluf<sup>(3)</sup>; Carlos Alberto Silva<sup>(4)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

<sup>(2)</sup> Estudante, Universidade Federal de Lavras-UFLA, Lavras-MG. saradantas@agronoma.eng.br; <sup>(3)</sup> Estudante, DCS/UFLA. Bolsista Capes. maluf.henrique@yahoo.com.br

<sup>(4)</sup> Professor Associado, DCS/UFLA. csilva@dcs.ufl.br.

**RESUMO:** O fósforo (P) extraído do solo depende, de maneira geral, do extrator empregado, da interação do P adicionado com os constituintes do solo, da fonte de P e da presença e interação de ácidos húmicos com constituintes do solo e com a fonte de P. Objetivou-se avaliar o P em solos de texturas contrastantes com concentrações crescentes de ácidos húmicos (AH) e com diferentes fontes de P. Amostras de Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e de Neossolo Quartzarênico (RQ) foram incubadas com 0, 5, 10, 50 e 100 mg kg<sup>-1</sup> de C-AH e 400 mg kg<sup>-1</sup> de P, que foi suprido na forma de superfosfato simples, fosfato de Araxá e fosfato de Bayóvar. As misturas solo-AH-fonte de P foram incubadas por 60 dias e o P determinado por Mehlich-1 e resina mista. Adotou-se o esquema fatorial 3 (fontes de P) x 5 (concentrações de C-AH), com o uso de delineamento em blocos casualizados, com três repetições. No LVd, a adição de AH não aumentou os teores de P extraído, entretanto, no RQ, a adição de AH aumenta os teores de P extraído, quando a fonte é superfosfato simples. As concentrações de C-AH, em geral, eleva os teores de P em solo quando a fonte é o superfosfato simples, contudo, o reduz, quando o solo é adubado com os fosfatos de Araxá e Bayóvar.

**Termos de indexação:** substâncias húmicas, fixação de P, fosfato de Bayóvar.

### INTRODUÇÃO

A maioria dos solos brasileiros sob condições naturais são ácidos e pobres em P, devido ao elevado grau de intemperismo e predominância na fração argila de minerais como caulinita, gibbsita, hematita e goethita. Essas condições conferem a esses solos baixa capacidade de troca de cátions, maior presença de cargas positivas, o que resulta em maior densidade de sítios de adsorção de fosfato no solo (Novais et al., 2007). Assim é necessário aumentar a eficiência de uso do P-fertilizante, uma vez que, nas lavouras brasileiras, o nutriente é aplicado em doses elevadas, o que implica em custo alto da adubação das lavouras no país (Sousa & Lobato, 2004).

Para o suprimento adequado de P às plantas são utilizadas fontes de alta eficiência agrônômica, como superfosfato simples (SS) (Sousa & Lobato 2004), o que pode implicar em fixação elevada de P, devido à alta solubilidade no solo (Korndörfer et al., 1999). Utiliza-se também os fosfatos naturais (FNs) de baixa eficiência agrônômica, que, devido à sua dissolução lenta, pode reduzir a adsorção do fósforo no solo, contudo, as baixas quantidades de P podem não ser suficientes para atender em tempo hábil a demanda das culturas, principalmente as de ciclo curto (Kpombekou-a & Tabatabai, 2003). Os FNs, em solos mais ricos em MO, ou com a presença de ligantes orgânicos, como os ácidos húmicos (AH), podem ter a sua solubilização otimizada, por meio da complexação de AH com os CaCO<sub>3</sub> livres presentes e posterior liberação do P das rochas fosfáticas (Mishara et al., 1983). Esse comportamento depende, assim, da interação do fertilizante fosfatado com o solo, com a MOS e com ligantes orgânicos presentes ou adicionados no solo.

Alternativas vêm sendo usadas para aumentar a eficiência da adubação fosfatada, sendo uma delas o uso de ácidos húmicos (AH), visando reduzir a adsorção de P no solo (Erro et al., 2010; Urrutia et al., 2013). Os AH podem aumentar a disponibilidade de P no solo por diversas vias: competição com os íons fosfatos por sítios de adsorção no solo, bloqueando-os; complexação de Fe e Al, evitando a precipitação do fosfato; e no desenvolvimento de campo eletrostático negativo repulsivo em torno dos sítios de adsorção de P (Andrade et al., 2003; Fu et al., 2013; Giovannini et al., 2013; Hua et al., 2008; Perassi & Borgnino, 2014). Em solos, os AH podem, ainda interagir com os microrganismos, influenciando a dinâmica de imobilização/mineralização de P da solução do solo (Giovannini et al., 2013).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar os teores de P extraível por Mehlich-1 e resina mista, em solo argiloso e de textura arenosa com concentrações crescentes de C-AH, aplicados simultaneamente às fontes de P: fosfato natural de Araxá, fosfato natural reativo Bayóvar e superfosfato simples.

### MATERIAL E MÉTODOS



O experimento foi conduzido no Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo, Departamento de Ciência do Solo/Universidade Federal de Lavras. Foram utilizadas amostras de Latossolo Vermelho distrófico (LVd), 75% de argila, e Neossolo Quartzarênico (RQ), 93% de areia. As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm, de modo que, cada solo constituiu um experimento. Os solos foram incubados com  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ , na proporção 3:1, por aproximadamente 20 dias, para correção da acidez e elevação da saturação por bases a 60%. Durante a incubação, a disponibilidade de água foi mantida próxima de 70% da capacidade de campo. Em sequência, os solos foram secos e passados em peneira com malha de 2 mm.

Os tratamentos foram constituídos por fatorial 5 x 3, sendo cinco concentrações de carbono de ácidos húmicos (C-AH): 0, 5, 10, 50 e 100  $\text{mg kg}^{-1}$ , com o uso simultâneo de três fontes de P, (aplicado na dose de 400  $\text{mg kg}^{-1}$ ): superfosfato simples (SS), fosfato natural de Araxá (FA) e fosfato natural reativo de Bayóvar (BY). Cada experimento foi composto por 15 tratamentos, dispostos em delineamento de blocos casualizados, com o uso de três repetições.

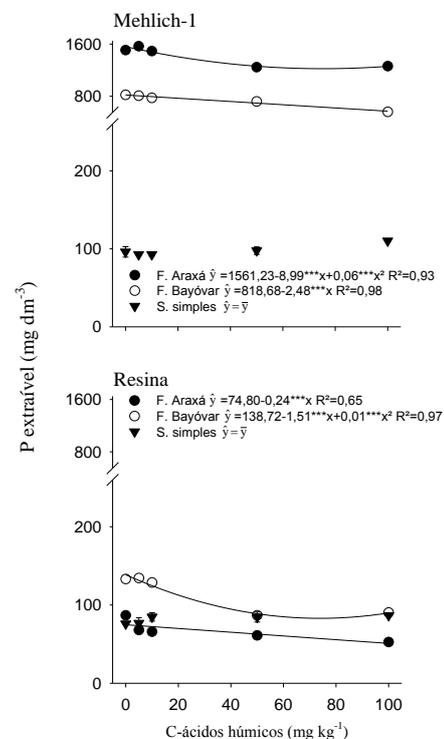
A fonte de AH utilizada foi a p.a. da marca Sigma-Aldrich®. As concentrações de AH foram calculadas em relação ao teor de C presente no produto. A quantidade de adubo fosfatado foi calculada em função da solubilidade de P em ácido cítrico a 2% (AC 2%), para FA (4% de P solúvel em AC 2%), e BY (13% de P em AC 2%), e em citrato neutro de amônio (CNA) + água, para o SS (18% de P em CNA+ água).

As misturas solo-concentrações de C-AH-fontes de P foram incubadas durante 60 dias em copos plásticos contendo 180 g de solo seco; cobertos com filme plástico, para manutenção de teor de água próximo a 80% da capacidade de campo. Posteriormente à incubação, as amostras foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm, para as análises de P extraível em: resina mista trocadora de íons (Raij et al., 2001) e Mehlich-1, com determinação do teor pelo método espectrofotométrico proposto por Murphy & Riley (1962) e Braga & Defelipo (1974) respectivamente. As extrações foram realizadas na proporção de solo:extrator de 1:10 (v/v).

Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão, entre os teores de P extraível e concentrações de C-AH, para cada extrator, utilizando o programa computacional SISVAR 5.3 (Ferreira, 2011). Os modelos de regressão foram selecionados com base no menor valor da soma de quadrados do erro, significância dos parâmetros da equação ( $p < 0,05$ ) e no maior valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Latossolo, ocorreu interação ( $p < 0,05$ ) entre as fontes de P e concentrações de C-ácidos húmicos (C-AH), para os dois extratores utilizados (**Figura 1**). O P extraído do solo com a solução de Mehlich-1 diminuiu de forma linear para BY e de forma quadrática FA. Tendência inversa ao Mehlich-1 foi verificada para a resina, dado que o P extraível do FA diminuiu de forma linear e o de BY de forma quadrática. Com o uso do superfosfato simples (SS), não houve diferença nos teores de P extraível ( $p < 0,05$ ) em função das concentrações de C-AH, quando se empregaram a solução de Mehlich-1 e resina mista. De modo geral, no LVd, o P extraível não é alterado ou diminuiu à medida que se eleva a concentração de C-AH.

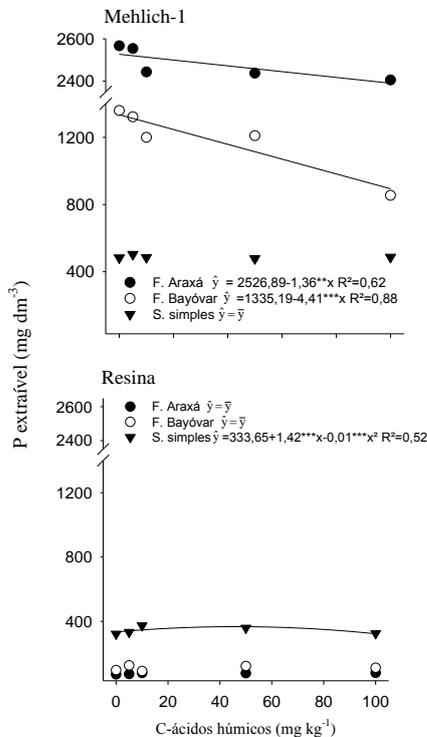


**Figura 1** – Fósforo extraível de amostras de Latossolo Vermelho Distrófico em função de concentrações de C-ácidos húmicos e de fontes de P (fosfato de Araxá, fosfato de Bayóvar e superfosfato simples). \*, \*\* e \*\*\* parâmetros da equação significativos a 5%, 1% e < 1%. Barras representam o erro padrão da média.

No Neossolo, ocorreu interação ( $p < 0,05$ ) entre as fontes de P e concentrações de C-AH, para os dois extratores utilizados (**Figura 2**). Para o extrator Mehlich-1, observou-se que, para o FA e BY, os teores de P diminuíram de forma linear, conforme foram aumentadas as concentrações de C-AH e, para a fonte SS, não houve efeito da concentração de C-AH ( $p < 0,05$ ). O uso da resina mista permitiu verificar que os teores de P extraível se ajustaram



ao modelo quadrático quando adubado com o SS, no qual a máxima disponibilização de P foi obtida com a concentração de 46,3 mg kg<sup>-1</sup> C-AH; para as fontes FA e BY, não houve efeito ( $p < 0,05$ ) das concentrações de C-AH.



**Figura 2** – Fósforo extraível de amostras de Neossolo Quartzarênico em função de concentrações de C-ácidos húmicos e de fontes de P (fosfato de Araxá, fosfato de Bayóvar e superfosfato simples). \*, \*\* e \*\*\* parâmetros da equação significativos a 5%, 1% e < 1%. Barras representam o erro padrão da média.

Há vários trabalhos que comprovam que a disponibilidade de P, em geral, é aumentada com adição de AH (Andrade et al., 2003; Fu et al., 2013; Giovannini et al., 2013; Hua et al., 2008; Perassi & Borgnino 2014). No presente estudo, houve reduções dos teores de P extraído dos solos adubados com FNs, conforme se aumenta a concentração de C-AH aplicada no LVd e RQ, quando se utiliza o extrator Mehlich-1. No RQ, ocorreu um aumento da disponibilidade de P em função das concentrações de C-AH, apenas, quando a fonte de P é o SS. Observa-se que a resposta de P em solo à aplicação de concentrações crescentes de AH depende da fonte utilizada e do solo investigado, de modo que os resultados indicam que os AHs interagem de modo diferenciado com as fontes fosfatadas, solubilizando ou formando complexos estáveis ou não como Fe, Al e, ou Ca, com íons fosfatos.

Os solos possuem teores de MO diferentes e isso faz com que os teores de P extraível não sejam

influenciados pelos AH, ou sejam influenciados de modo diferenciado. Em função do efeito de diluição dos AH em um solo mais rico em MO, como é o caso do LVd, pode-se atenuar ou mascarar o efeito dos AH sobre as formas de P no solo e sobre a ação do material húmico adicionado na solubilização de fontes de P de baixo valor agrônômico. Sinha (1971) relata que o P no solo pode reagir com os AH, em conjunto com Fe, Al e, ou Ca, formando complexos P-organo-metálicos, o que representa mais uma forma de redução da disponibilidade de P em solos.

O efeito dos AH em concorrer com os íons fosfatos nos sítios de adsorção é alterado em função da forma como o competidor é introduzindo no sistema (Perassi & Borgnino, 2014). Neste estudo, tanto os AHs quanto as fontes de P foram adicionadas simultaneamente. Dessa forma, a capacidade dos AH em bloquear os sítios de adsorção de P é reduzida, visto que há mais P (400 mg kg<sup>-1</sup>) e, proporcionalmente, menos AH para bloquear os sítios de fixação do nutriente, o que poderia anular ou diminuir o efeito benéfico dos AH em aumentar a disponibilidade de P nos solos, com predomínio do processo de adsorção de P, em relação ao bloqueio de sítios de fixação do ânion pelo ligante orgânico.

Aliado à forma de aplicação dos AH e das fontes de P, é relevante a informação que a presença de AH no solo estimula a atividade microbiana. Assim é possível que haja maior imobilização de nutrientes, entre esses, de P. Foi observado anteriormente (Giovannini et al., 2013) aumento da atividade microbiana proporcional à concentração de AH. Supõe-se que a diferença de respostas de adição de AH entre FNs e SS estaria relacionada com algum mecanismo que favorece a imobilização do P em FNs, em relação ao do SS, podendo, inclusive, o efeito estar associado à solubilidade das fontes. Em relação aos FNs, devido à sua baixa solubilidade em água, o P é liberado para a solução do solo em pequenas quantidades, de modo gradual, o que favorece a redução dos teores de P imobilizados. Em contrapartida, para o SS, por se tratar de uma fonte de alta solubilidade, ao entrar em contato com a solução do solo, esse adubo é mais rapidamente solubilizado. Assim, mesmo ocorrendo os processos de adsorção de P no solo e imobilização pelos microrganismos, os teores de P extraível continuam mais altos, tendo maior capacidade de manutenção desses teores no solo, em relação aos FNs.

Em relação ao SS, no RQ (**Figura 2**), existem poucos sítios de fixação de P no RQ, assim, os AH, possivelmente, conseguem bloquear parte desses sítios, liberando mais P para a solução do solo. Quando a concentração de AH é maior do que a que propicia máximo P extraível, ocorre um decréscimo, possivelmente, devido ao processo de



imobilização de P que sobrepõe o efeito do bloqueio de sítios de adsorção de fosfato pelos AH.

### CONCLUSÕES

O efeito das concentrações de C-AH na disponibilidade de P depende do teor de matéria orgânica e da textura do solo, fonte de P e extrator utilizado. Quando a fonte de P é o SS, à medida que mais AH é adicionado no RQ, maior é o teor de P extraído, o que não ocorre no LVd.

O uso de AH diminui os teores de P extraído pela maioria dos extratores, quando são aplicados nos solos os fosfatos de Araxá e Bayóvar, de modo que os mecanismos envolvidos nesses processos precisam ser investigados.

### AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (processo 461935/2014-7), CAPES e FAPMIG, pelo financiamento das ações de pesquisa e concessão de bolsas de estudo aos autores.

### REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ V, V. H. et al. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1003–1011, 2003.

ERRO, J.; ZAMARREÑO, A. M & GARCÍA-MINA, J. M. Ability of various water-insoluble fertilizers to supply available phosphorus in hydroponics to plant species with diverse phosphorus-acquisition efficiency: Involvement of organic acid accumulation in plant tissues and root exudates. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173:772–777, 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35:1039-1042, 2011.

FU, Z.; WU, F.; SONG, K. et al. Competitive interaction between soil-derived humic acid and phosphate on goethite. *Applied Geochemistry*, 36:125-131, 2013.

GIOVANNINI, C.; GARCIA-MINA, J. M.; CIAVATTA, C. et al. Effect of organic-complexed superphosphates on microbial biomass and microbial activity of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 49:395–401, 2013.

HUA, Q. X.; LI, J. Y.; ZHOU, J. M. et al. Enhancement of phosphorus solubility by humic substances in Ferrosols. *Pedosphere*, 18:533-538, 2008.

KORNDÖRFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A. & HOROWITZ, N. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. *Scientia Agricola*, 56:391–396, 1999.

KPOMBLEKOU-A, K. & TABATABAI, M. A. Effect of low-molecular weight organic acids on phosphorus release and phytoavailability of phosphorus in phosphate rocks

added to soils. *Agriculture, Ecosystems & Environmental Journal*, 100:275–284, 2003.

MISHRA, M. M.; KHURANA, A. L.; DUDEJA, S. S. & KAPOOR, K. K. Effect of phosphocompost on the yield and P uptake of red gram (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). *Tropical Agriculture*, 61:174-176, 1984.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. & NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. B.; ALVAREZ V, V. H.; BARRO, N. F. et al., eds. *Fertilidade dos solos*. 1. ed. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-549.

PERASSI, I & BORGNINO, L. Adsorption and surface precipitation of phosphate onto CaCO<sub>3</sub>-montmorillonite: effect of pH, ionic strength and competition with humic acid. *Geoderma*, 232-234:600-608, 2014.

SINHA, M. K. Oligo-metalic phosphates I. Interaction of phosphorus compounds with humic substances. *Plant and Soil*, 35:471-484, 1971.

SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Planaltina: Embrapa, 2004. 416 p.

URRUTIA, O.; GUARDADO, I.; ERRO, J. et al. Theoretical chemical characterization of phosphate-metal-humic complexes and relationships with their effects on both phosphorus soil fixation and phosphorus availability for plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93:293–303, 2013.