

FELIPE VAZ ANDRADE

**ÁCIDOS ORGÂNICOS E ADSORÇÃO DE
FOSFATO EM LATOSSOLOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

FELIPE VAZ ANDRADE

**ÁCIDOS ORGÂNICOS E ADSORÇÃO DE
FOSFATO EM LATOSSOLOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 12 de março de 2001.

Prof. Victor Hugo Alvarez V.
(Conselheiro)

Prof. Roberto Ferreira de Novaes
(Conselheiro)

Prof. Fernando Barbosa Egreja Filho

Dr. Paulo César de Lima

Prof. Eduardo de Sá Mendonça
(Orientador)

A Deus, pelo encanto da vida.

Aos meus pais, *Aliraldo* e *Vilma*, pelo amor, carinho e confiança.

A *Saul*, meu irmão, pelo incentivo e por estar presente em minha vida.

Ao meu sobrinho Tiago, pela esperança de um mundo melhor.

À minha esposa *Karina*, pelo grande amor e carinho, estando sempre ao meu lado, ajudando-me a vencer mais uma etapa da vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que nos dá força para enfrentar todos os nossos desafios.

Ao povo brasileiro que, por meio de seus impostos, financiou meus estudos, através da Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao professor, orientador e amigo Eduardo de Sá Mendonça, pela amizade, confiança, paciência e dedicação durante os momentos mais decisivos da realização deste trabalho.

Ao professor Victor Hugo Alvarez V., pela atenção, pelas sugestões e pela disponibilidade de sempre ajudar e ensinar.

Ao professor Roberto Ferreira de Novais, pelas críticas e sugestões que permitiram o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao professor Fernando Barbosa Egreja Filho e ao Dr. Paulo César de Lima, pelas sugestões e críticas apresentadas.

Ao professor Carlos Ernesto G. Reynaud Schaeffer, pelo apoio e confiança depositada, sendo um dos responsáveis pela minha opção ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição em Plantas.

À professora Maria das Dores Loreto, pela confiança depositada e pelo meu encaminhamento na carreira científica.

A Leopoldo Loreto Charmelo, pela amizade, pelo convívio e por todo o ensinamento durante meu período como bolsista de Iniciação Científica.

Aos funcionários do Departamento de Solos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, particularmente a Zélia, Jorge, Carlos Fonseca e Carlos Henriques.

Aos estudantes de graduação Fernando Vitor, Eduardo Mattos e Jussymara, pela contribuição nas análises de laboratório e pela amizade.

Aos sempre amigos Guilherme Donagemma, Carlos H. Eiterer, Ecila Vilani, Isaias Oening, e Guilherme Cadinelli, pela amizade, pelo companheirismo e apoio nos momentos certos.

À amiga Ronessa, por sua alegria, pelos ensinamentos, pelo apoio indiscutível em todos os momentos, pela paciência e pelos incômodos causados pelo teledúvidas.

Aos amigos Janela e Airton, conselheiros de todas as horas.

Aos meus sogros Antônio Carlos e Maria das Graças, pelo indiscutível apoio prestado e a minhas cunhadas Kátia, Carla e Clarice, pela amizade e pelos churrascos de fim de semana.

A todos que não foram citados, nominalmente, mas que contribuíram para que o meu objetivo fosse alcançado.

BIOGRAFIA

FELIPE VAZ ANDRADE, filho de Aliraldo Santos Andrade e Vilma Vaz Andrade, nasceu em 1^o de janeiro de 1974, na cidade de Niterói, Estado do Rio de Janeiro.

Em 1992, iniciou o Curso de Agronomia, na universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, graduando-se em 1997. Durante a graduação, foi bolsista de iniciação científica do CNPq, no Departamento de Solos.

No período de janeiro de 1998 a março de 1999, foi bolsista de aperfeiçoamento do CNPq.

Em abril de 1999, iniciou o Programa de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 12 de março de 2001.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
APÊNDICE.....	37

RESUMO

ANDRADE, Felipe Vaz, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2001. **Ácidos orgânicos e adsorção de fosfato em Latossolos.** Orientador: Eduardo de Sá Mendonça. Conselheiros: Roberto Ferreira de Novais e Victor Hugo Alvarez V.

Com o objetivo de avaliar a redução da intensidade do fenômeno de adsorção de fosfato em amostras de dois Latossolos, realizou-se um experimento em laboratório para verificar a eficiência da adição de ácidos orgânicos, em diferentes formas de aplicação e diferentes doses na redução desse fenômeno. O experimento seguiu um esquema fatorial $2 \times 4 \times 3 \times 6$, em que os fatores e seus níveis em estudo foram: dois solos (Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo); três ácidos orgânicos (ácido cítrico - AC, ácido oxálico - AO, ácido salicílico - AS) e ácidos húmicos (AH); três formas de aplicação de ácidos orgânicos, ácidos húmicos e fosfato (KH_2PO_4): fosfato antes da aplicação do ácido orgânico ou ácidos húmicos (FAA), fosfato e ácido orgânico ou ácidos húmicos aplicados juntos (FAJ) e fosfato depois da aplicação do ácido orgânico ou ácidos húmicos (FAD); seis doses de ácidos orgânicos e de ácidos húmicos. A aplicação dos ácidos orgânicos influenciou, significativamente, as concentrações, na solução, de fósforo total (Pt), fósforo

inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po), bem como as concentrações de Fe e de Al para os dois solos estudados. Foi observada a seguinte ordem para o efeito dos ácidos orgânicos no sentido de reduzir a intensidade do fenômeno de adsorção de fosfato, para os dois solos estudados, de acordo com os contrastes testados: AC > AO > AH > AS. De modo geral, houve diminuição da adsorção com o aumento das doses dos ácidos orgânicos e dos ácidos húmicos, tanto para o LV como para o LVA. Com relação às formas de aplicação dos ácidos orgânicos e fosfato, observou-se efeito diferenciado para cada solo estudado, assim como para os ácidos orgânicos sobre as concentrações de Pt, Pi e Po na solução. No LV a aplicação de fosfato e ácido orgânico ou ácidos húmicos juntos foi na qual se verificou a maior influência desses ácidos na redução da adsorção de fosfato, com redução de 36,6% para o AC, 26,2%, para o AO, 10,4%, para o AH e 6,9% para o AS. No LVA, a aplicação de fosfato depois do ácido orgânico ou ácido húmico foi na qual se verificou a maior influência dos ácidos na redução da adsorção de fosfato com redução de 100% para o AC, 96,8% para o AO, 69,4% para o AH e 39,4% para o AS.

ABSTRACT

ANDRADE, Felipe Vaz, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2001.
Organic acids and phosphate adsorption in Latosols. Adviser: Eduardo de Sá Mendonça. Committee Members: Roberto Ferreira de Novais and Víctor Hugo Alvarez V.

Aiming to evaluate the reduction the intensity of phosphate adsorption phenomenon in samples of two Latosols, an experiment was set up to evaluate the efficiency of organic acid addition, in different forms and doses of application to the reducing phosphate adsorption. The experiment was design in a factorial 2 x 4 x 3 x 6, in which the factors and their levels were: two soils (Red Latosol and Red-Yellow Latosol); three organic acids (citric acid – CA, oxalic acid – OA, salicylic acid – SA) and humic acid (HA); three forms of application of organic acids, humic acids and phosphate (KH_2PO_4): phosphate before organic or humic acid application (FAA), phosphate and organic or humic acid jointly applied (FAJ), and phosphate applied after organic or humic acid application; six doses of organic acid and humic acid. The organic/humic acid application significantly influenced the concentrations of total phosphorus (Pt), inorganic phosphorus (Pi) and organic phosphorus

(Po) in solution, as well as Fe and Al, in both soils. It was observed that the effect of decreasing phosphate adsorption by adding organic/humic acids followed the order: CA > OA > HA > SA. Overall, there was a trend of reducing phosphate adsorption with higher doses of organic/humic acid, in both soils. With reference to organic/humic acid and phosphate application forms, the effects were different for each soil studied. In the Red Latosol, the joint application of phosphate and either humic acid or organic acid had the greatest influence in phosphate adsorption (36,6% decrease for CA, 26,2% decrease for OA, 10,4% decrease for HA and 6,9% decrease for SA). In the Red-Yellow Latosol, the phosphate application after the organic acid/humic acid showed the greatest effect (100% decrease for CA, 96,8% decrease for OA, 69,4% decrease for HA and 39,4% decrease for SA).

1. INTRODUÇÃO

Em solos tropicais, de maneira geral, o fósforo é considerado um dos nutrientes mais limitantes para a produção agrícola. Nesses solos, existe forte competição entre a planta e o solo pelo fósforo adicionado como fertilizante. A planta ao absorver o fósforo atua como dreno para este elemento, e o solo, por sua vez, também atua como dreno ao adsorvê-lo fortemente. À medida que se caminha para um solo mais intemperizado, há grande desequilíbrio em favor do dreno solo (adsorção) em relação ao dreno planta (absorção), podendo fazer com que a planta não mais sustente a competição por esse elemento.

A grande afinidade que os solos tropicais têm pelo fosfato é bastante estudada e conhecida. Esse tipo de adsorção é caracterizado pela troca de ligantes OH da superfície dos oxihidróxidos de ferro e de alumínio por fosfato da solução. Tal fato promove a baixa disponibilidade de fósforo na solução do solo e, como consequência, elevadas doses de fertilizantes fosfatados têm sido aplicadas nesses solos para se tentar contornar o problema.

Além da composição mineralógica do solo, a adsorção de fosfato também está diretamente relacionada com o pH, com a presença de ânions

competidores pelos mesmos sítios de adsorção na solução do solo, e com a presença de matéria orgânica.

Estudos realizados têm mostrado que a matéria orgânica pode promover modificações nas características de adsorção de fosfato nos solos, no sentido de diminuir a intensidade deste fenômeno. As modificações atribuídas à matéria orgânica no processo de adsorção de fosfato devem-se à liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição e mineralização da matéria orgânica, considerando-se os seguintes aspectos: a decomposição da matéria orgânica leva à liberação de ácidos orgânicos que, dada sua alta afinidade pelos mesmos sítios de adsorção do fosfato, bloqueiam os sítios, diminuindo o fenômeno de adsorção; e esses ácidos orgânicos possuem a capacidade de formar compostos com o fosfato na solução do solo e,ou, formar complexos estáveis com alumínio e ferro, reduzindo a possibilidade de adsorção ou precipitação do fosfato.

A adição contínua de resíduos orgânicos ao solo mantém esse processo de bloqueio dos sítios de adsorção de fosfato, o que o torna mais efetivo, visto que alguns ácidos orgânicos são mais facilmente mineralizados, expondo esses sítios e,ou, liberando fosfato para a solução do solo.

O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da adição de ácidos orgânicos e ácidos húmicos na adsorção de fosfato, sob diferentes formas de aplicação, em amostras de dois Latossolos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A planta tem no solo sua principal fonte de nutrientes, atuando como dreno à medida que os absorve. O solo, por sua vez, poderá ter caráter fonte (solo-fonte) de nutrientes quando, ainda apresentar características nutricionais favoráveis à planta e o que lhe for adicionado como fertilizantes irá se somar às reservas nele existentes. No caso do solo com caráter dreno (solo-dreno), haverá competição entre a planta, atuando como dreno, e o solo, também como dreno por um ou mais nutrientes (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Com o intemperismo, os solos gradualmente transformam-se em fortes drenos especialmente em relação ao fosfato. Com o aumento do intemperismo ocorre mudança gradual nas características de um solo, o que o torna mais eletropositivo, ocasionando diminuição da sua CTC e aumento na capacidade de adsorver ânions, como fosfato (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Esse fenômeno que leva alguns solos tropicais a ter grande caráter dreno para o fósforo é denominado de adsorção (sorção) específica, e diz respeito à atração e ligação entre os ânions da solução do solo e as cargas positivas que aparecem nos minerais de argilas silicatadas e oxihidróxidos de ferro e de alumínio. Esse tipo de adsorção caracteriza-se pela troca de ligantes, no caso grupos OH, da superfície dos oxihidróxidos por íons fosfato em solução (PARFITT, 1978; VIOLANT e GIANFREDA, 1993; AFIF et al.,

1995; NOVAIS e SMYTH, 1999). Tal fato promove a baixa concentração de fosfato na solução do solo e, em consequência, elevadas doses de fertilizantes fosfatados têm sido aplicadas nesses solos para aumentar a disponibilidade desse elemento para as plantas. Em condições elevadas de intemperismo, como em alguns Latossolos, o solo pode adsorver mais de 1 mg g^{-1} de P no solo (GONÇALVES et al., 1989). Este valor equivale a 2.000 kg ha^{-1} de fósforo, ou 4.600 kg ha^{-1} de P_2O_5 incorporados de 0 a 20 cm de profundidade.

A princípio, quando se faz adubação fosfatada com fonte solúvel de fósforo em solos mais intemperizados, ocorre uma fase rápida de adsorção do fosfato aplicado, caracterizada pela atração eletrostática entre o ânion fosfato e a superfície adsorvente. Com a aproximação do fosfato à superfície adsorvente, há a troca de ligantes, com a formação de ligações coordenadas simples (NOVAIS e SMYTH, 1999). Nessa fase, que ocorre em questões de horas ou minutos (GONÇALVES et al., 1985), o fosfato adsorvido que se encontra em equilíbrio com o fosfato em solução (P-solução) é denominado fósforo lábil (P-lábil). Após essa fase rápida de adsorção, ocorre uma fase lenta de adsorção, provavelmente com a formação de ligação adicional à primeira. Nessa última fase, o fosfato é retido com tal energia que seu equilíbrio com o P-solução desaparece, deixando de ser útil ao crescimento da planta, pelo menos a curto prazo (NOVAIS e SMYTH, 1999).

As principais características que afetam a sorção de fosfato nos solos intemperizados são a quantidade e o tipo de argila (JUO e FOX, 1977; NETTO, 1996), conteúdo dos colóides amorfos, o teor de alumínio trocável e de matéria orgânica, assim como a presença de ânions competidores e pH (GONÇALVES, 1988; SILVA et al., 1997).

Estudos realizados têm mostrado que a matéria orgânica, por meio de sua decomposição, promove a liberação de ácidos orgânicos, que atuam sobre o fenômeno de adsorção de fosfato, reduzindo sua intensidade (AGUILERA et al., 1992; MORA et al., 1992; SILVA et al., 1997).

Ressalta-se que o termo adsorção é aqui empregado englobando os fenômenos de adsorção e de precipitação, como tem sido mais usado na literatura (GONÇALVES et al., 1985; SILVA et al., 1997).

Conforme HAYNES (1984), o solo pode adsorver ácidos orgânicos com grande energia, competindo com os sítios de adsorção de fosfato, aumentando a disponibilidade deste elemento para as plantas. Outro aspecto positivo, relacionado à matéria orgânica, é o fato que esses ácidos orgânicos presentes no solo podem formar complexos orgânico-metálicos estáveis com ferro e, ou, alumínio, em várias faixas de pH (SPOSITO, 1989). A eficiência desses ácidos em melhorar a disponibilidade de fósforo para as plantas depende do pH do solo, das quantidades de ânions orgânicos formados e da persistência destes quando liberados no solo (STEVENSON, 1986; KIRK, 1999). Compostos orgânicos de cadeia mais simples são, normalmente, decompostos mais rapidamente (IYAMUREMYE e DICK, 1996; GEELHOED et al., 1999) e moléculas com maior número de grupos funcionais, como OH e COOH, são mais efetivas na competição pelos sítios de adsorção que aquelas com menor número (SCHUERTMANN et al., 1986; NOVAIS e SMYTH, 1999).

Os ácidos húmicos e fúlvicos, mais estáveis e de estrutura mais complexa que ácidos orgânicos de cadeia curta, podem formar verdadeiras “capas” ou “superfícies protetoras” ao redor dos óxidos de ferro e de alumínio (STEVENSON, 1986). Nesse sentido, FONTES (1990) observou que complexos entre ácidos húmicos e goethita, em que os grupos funcionais COOH bloqueavam a superfície da goethita, reduziam drasticamente a adsorção de fosfato. Entretanto, o comportamento dos ácidos orgânicos no solo em relação a esse fenômeno relaciona-se não só com o tipo do ácido, mas também com a concentração dos mesmos na solução do solo. Assim, TRAINA et al. (1986) observaram que ácido cítrico em baixas concentrações ($< 0,2 \text{ mmol dm}^{-3}$) solubilizava alumínio e reduzia os teores de fósforo em solução, enquanto concentrações maiores reduziam a adsorção de fosfato em um solo montmorilonítico.

Correlações negativas têm sido encontradas entre adsorção de fosfato e teores de matéria orgânica em solos de cerrado (MESQUITA FILHO e TORRENT, 1993) e em um Latossolo Vermelho distrófico (SILVA et al., 1997).

LOPEZ-HERNANDES et al. (1986), trabalhando com amostras de solos tropicais na avaliação da adsorção competitiva entre fosfato, malato e oxalato, concluíram que os ânions orgânicos estudados eram mais rapidamente adsorvidos pela superfície do solo do que o fosfato, e que esses ânions, quando presentes na rizosfera, podem melhorar o “status” de fósforo no solo. A redução na intensidade do fenômeno de adsorção, segundo esses autores, depende da forma como são adicionados fosfato e ânions orgânicos. A máxima redução na adsorção ocorreu quando o fosfato e o ânion orgânico foram aplicados juntos, ou quando a adição do ânion orgânico precedeu à do fosfato. Resultados semelhantes foram encontrados por VIOLANT e GIANFREDA (1993). Segundo esses autores, no estudo da adsorção entre oxalato e fosfato no complexo hidróxido de alumínio-montmorilonita, a máxima redução na adsorção de fosfato foi verificada quando adicionou-se o oxalato antes do fosfato e muitos sítios neste complexo são altamente específicos para fosfatos, outros são comuns para ambos e alguns são mais específicos para oxalato.

Usualmente, os trabalhos sobre adsorção competitiva entre fosfato e ácidos orgânicos são realizados apenas quantificando o fósforo na solução (LOPEZ-HERNANDES et al., 1986; TRAINA et al., 1986; MORA et al., 1992; BHATTI et al., 1998). Contudo, tendo em vista o poder de dissolução que alguns ânions orgânicos possuem frente aos minerais no solo, especialmente aqueles com grande caráter ácido ou alta capacidade de complexação, é de grande importância a quantificação dos teores de ferro e de alumínio, principalmente para amostras de solos tropicais, para se inferir sobre a real influência desses ácidos (ânions) na competição pelos sítios de adsorção. Uma possível dissolução de óxidos de ferro e de alumínio ocasiona a diminuição da superfície de adsorção, aumentando a concentração de fósforo

na solução. Fatores que afetam a cristalinidade desses minerais podem, também, influenciar o fenômeno de adsorção (SPOSITO, 1989).

Os métodos utilizados para dosar o fósforo na solução do solo quantificam, em princípio, o fósforo inorgânico, e para trabalhos dessa natureza é fundamental não só quantificar o fósforo inorgânico, mas, também, a fração orgânica. Os ácidos orgânicos, além de competir com o fosfato pelos sítios de adsorção nos minerais e diminuir a intensidade do fenômeno, podem também formar complexos com o fosfato, evitando sua adsorção (STEVENSON e FITCH, 1986).

Na adsorção competitiva entre os ácidos húmicos ou fúlvicos e o fosfato em amostras de dois solos tropicais, SIBANDA e YOUNG (1986) encontraram redução significativa na adsorção de fosfato, quando a concentração de ácidos húmicos foi elevada de 0,4 a 3,0 dag kg⁻¹, o que equivale a um aumento de 0,72 a 5,2 dag kg⁻¹ de matéria orgânica. Entretanto, segundo esses autores, aparentemente essa eficiência não é atribuída exclusivamente à adsorção dos grupos carboxílicos pelos sítios de adsorção. Deve-se, também, considerar o grande poder de complexação dos ácidos húmicos sobre o ferro e o alumínio na solução do solo, podendo reduzir a adsorção de fosfato.

BHATTI et al. (1998), analisando o efeito da adsorção competitiva do oxalato, da matéria orgânica do solo e do fosfato em amostras de solo e da fração argila de um horizonte Spódico, observaram que a adsorção do fosfato diminuiu significativamente na presença de oxalato e de matéria orgânica.

FERNANDEZ (1995), trabalhando com reversibilidade de fósforo não-lábil em solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química, observou que para os solos mais oxídicos, com maior capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), o efeito prévio da adição da sacarose, aumentando o valor do P remanescente (P-rem), ou diminuindo a CMAP, foi evidenciado. Segundo esse autor, de maneira particular para os solos oxídicos, produtos da atividade microbiológica ativada pela sacarose, como ácidos orgânicos produzidos por um possível processo

fermentativo, bloqueariam os óxidos e suas cargas, diminuindo fortemente a adsorção de fosfato.

De acordo com AFIF et al. (1995), o efeito da matéria orgânica no bloqueio dos sítios de adsorção de fosfato é apenas transitório, porém, na prática, tal efeito pode ser vantajosamente explorado, considerando-se o tempo de aplicação do fertilizante fosfatado tanto no cerrado como em outros ecossistemas. Esse efeito transitório deve-se à rápida mineralização de alguns ácidos orgânicos, liberando os sítios de adsorção. Contudo, experimentos recentes têm mostrado que a adsorção de citrato em hidróxidos de ferro diminui sua degradação (GEELHOED et al., 1999). Isso indica que a adsorção dificulta o processo de mineralização desses ácidos e que o efeito no bloqueio dos sítios de adsorção pode perdurar por mais tempo. A aplicação de uma fonte de material orgânico (esterco de curral, dejetos de suínos, vermicomposto dentre outros) como reposição contínua de ácidos orgânicos, a exudação de raízes e o metabolismo de microrganismos como fonte natural de ácidos mantêm esse processo de bloqueio dos sítios de adsorção de maneira mais contínua e, portanto, mais efetiva.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se amostras superficiais (0 - 20 cm) de um Latossolo Vermelho textura muito argilosa, coletado na região de Sete Lagoas-MG (LV), e um Latossolo Vermelho-Amarelo textura franco-argilo-arenoso, coletado na região de João Pinheiro-MG (LVA) (Quadro 1).

Adicionaram-se às amostras diferentes doses de ácidos orgânicos e ácidos húmicos (AH) e uma dose de fósforo ($19,3 \text{ mmol kg}^{-1}$). Os ácidos orgânicos utilizados foram ácido cítrico (AC), ácido oxálico (AO), ácido salicílico (AS), e, como fonte de fósforo, fosfato monobásico de potássio (KH_2PO_4). Todos os ácidos foram reagentes p.a., com exceção dos ácidos húmicos que foram extraídos de um solo orgânico (turfa) pela técnica recomendada pela “International Humic Substances Society”, descrita por Hayes et al. (1989).

O experimento seguiu um esquema fatorial $2 \times 4 \times 3 \times 6$, em que os fatores em estudo foram: dois solos (Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo); três ácidos orgânicos (ácido cítrico - AC, ácido oxálico - AO e ácido salicílico - AS) e ácidos húmicos (AH); três formas de aplicação de ácidos orgânicos, ácidos húmicos e fosfato: fosfato antes da aplicação do ácido orgânico ou dos ácidos húmicos (FAA), fosfato e ácido orgânico ou ácidos húmicos aplicados juntos (FAJ) e fosfato depois da aplicação do ácido

Quadro 1 - Características físicas e químicas das amostras dos solos

Característica	LV	LVA
Areia grossa (%) ^{1/}	8	40
Areia fina (%) ^{1/}	7	15
Silte (%) ^{1/}	13	17
Argila (%) ^{1/}	72	28
Densidade TFSA (kg dm ⁻³) ^{2/}	0,96	1,25
AF (dag kg ⁻¹) ^{3/}	0,86	0,12
AH (dag kg ⁻¹) ^{3/}	0,12	0,53
H (dag kg ⁻¹) ^{3/}	0,52	1,76
pH-H ₂ O ^{4/}	4,38	4,00
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{5/}	1,74	1,3
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{5/}	0,94	0,09
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{5/}	0,15	0,23
SB (cmol _c dm ⁻³) ^{6/}	1,17	0,37
t (cmol _c dm ⁻³) ^{7/}	4,12	1,91
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ^{8/}	12,84	7,3
T (cmol _c dm ⁻³) ^{9/}	15,75	7,67
V (%) ^{10/}	7,44	4,8
m (%) ^{11/}	59,79	77,8
K (mg dm ⁻³) ^{12/}	86	41
P (mg dm ⁻³) ^{12/}	4,0	1,1
P-rem (mg L ⁻¹) ^{13/}	3,20	14,15
CMAP (mg cm ⁻³ P) ^{14/}	1,170	0,744
EAP (mg/L) ⁻¹ P ^{15/}	0,657	0,580

^{1/} Método da pipeta; ^{2/} Método da proveta; ^{3/} SCHNITZER (1982) AF = ácido fúlvico; AH = ácidos húmicos; H = humina; ^{4/} Relação solo-água 1:2,5; ^{5/} Extrator KCl 1 mol/L; ^{6/} Soma de bases; ^{7/} CTC efetiva; ^{8/} Extrator Ca(Oac)₂ 0,5 mol/L pH 7,0; ^{9/} CTC a pH 7,0; ^{10/} Porcentagem de saturação por bases; ^{11/} porcentagem de saturação por alumínio; ^{12/} Extrator Mehlich-1; ^{13/} Fósforo remanescente; ^{14/} Capacidade máxima de adsorção de fosfato (Fonte: COSTA, 1998); ^{15/} “Energia de adsorção” de fosfato (Fonte: COSTA, 1998); LV: Latossolo Vermelho; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo.

orgânico ou dos ácidos húmicos (FAD); seis doses de ácidos orgânicos: seguindo a relação molar ácido orgânico:fósforo de 0,0:1,0, 0,5:1,0, 0,75:1,0, 1,0:1,0, 1,5:1,0 e 2,0:1,0. Especificamente para os ácidos húmicos, por serem polímeros de massa molar desconhecida, suas doses foram calculadas com base na adubação orgânica de 0; 5; 10; 20; 30 e 40 t ha⁻¹ de material orgânico, contendo para efeito de cálculos 60 dag kg⁻¹ de água e 40 dag kg⁻¹ de carbono (Kiehl, 1985). Os ácidos húmicos utilizados continham 56,89 dag kg⁻¹ de carbono, determinado em analisador de elementos CHNS/O Perkin Elmer 2400 Série II.

Amostras de 2,5 cm³ de TFSA do solo foram colocadas em erlenmeyer onde se adicionou fósforo e, ou, ácido orgânico ou ácido húmico, de acordo com a forma de aplicação. Os tratamentos em estudo foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

As amostras receberam soluções de fósforo e de ácidos orgânicos (Quadro 2). As soluções de ácidos orgânicos tiveram seu pH ajustado, com hidróxido de potássio, para a faixa de 4,8 - 5,0.

Para se obter as diferentes relações molares de ácido orgânico e de fósforo e a dose constante de 19,3 mmol kg⁻¹, os tratamentos foram realizados da seguinte maneira:

Fosfato antes da aplicação de ácido orgânico (FAA): em erlenmeyer de 125 mL, contendo 2,5 cm³ de solo, adicionaram-se 15 mL de uma solução de KCl 10 mmol L⁻¹, contendo a concentração de 3,21 mmol L⁻¹ de P. Depois de oito horas de incubação com agitação, adicionaram-se 10 mL da solução de ácido orgânico (Quadro 2). A suspensão foi novamente agitada por um período de equilíbrio de oito horas.

Fosfato e ácido orgânico aplicados juntos (FAJ): em erlenmeyer de 125 mL, contendo 2,5 cm³ de solo, adicionaram-se 25 ml de uma solução de KCl 10 mmol L⁻¹, contendo concentração de 1,93 mmol L⁻¹ de P e concentração de ácido orgânico (Quadro 2). A suspensão foi agitada por um período de equilíbrio de oito horas.

Quadro 2 - Doses e volumes de solução de fósforo e de ácidos orgânicos utilizados de acordo com a relação molar ácido orgânico:fósforo e as formas de aplicação

Relação molar Ác. Org.:P	Dose		FAA		FAJ		FAD	
	P	Ác. org	P	Ác. org.	P + Ác. org.	P + Ác. org.	P	Ác. org.
	mmol kg ⁻¹				mmol L ⁻¹			
0,00 : 1,0	19,3	0,0	3,21	0,00	1,93	0,00	4,82	0,00
0,50 : 1,0	19,3	9,6	3,21	2,40	1,93	0,96	4,82	1,60
0,75 : 1,0	19,3	14,5	3,21	3,62	1,93	1,45	4,82	2,41
1,00 : 1,0	19,3	19,3	3,21	4,82	1,93	1,93	4,82	3,22
1,50 : 1,0	19,3	29,0	3,21	7,25	1,93	2,90	4,82	4,83
2,00 : 1,0	19,3	38,7	3,21	9,67	1,93	3,87	4,82	6,45
Volume utilizado			15 mL	10 mL	25 mL		10 mL	15mL

FAA= aplicação de fósforo antes da aplicação de ácido orgânico; FAJ = Aplicação de fósforo e ácido orgânico juntos; FAD = aplicação de fósforo depois da aplicação de ácido orgânico; Ác, org. = ácido orgânico; P= fósforo; Relação solo:solução 1:10.

Fosfato depois da aplicação de ácido orgânico (FAD): em erlenmeyer de 125 mL, contendo 2,5 cm³ de solo, adicionaram-se 15 mL de solução de ácido orgânico, com concentração indicadas no Quadro 2. Depois de oito horas de incubação com agitação, adicionaram-se 10 mL da solução de KCl 10 mmol L⁻¹, contendo uma concentração de 4,82 mmol L⁻¹ de P (Quadro 2). A suspensão foi novamente agitada por um período de equilíbrio de oito horas.

A solução de KCl 10 mmol L⁻¹ foi utilizada com objetivo de dar maior homogeneidade a força iônica da solução. Após o período de equilíbrio, as amostras foram centrifugadas a 10.000 g por 20 minutos e filtradas em papel-filtro lento. No filtrado, procederam-se às análises químicas.

Analisaram-se fósforo total (Pt), por digestão nitricoperclórica e determinação por colorimetria por meio de formação do complexo fosfo-molibdico reduzido com ácido ascórbico, segundo BRAGA & DEFELIPO (1974); fósforo inorgânico (Pi), determinado em outra alíquota, sem digestão, pelo mesmo método anterior; fósforo orgânico (Po), obtido por diferença entre fósforo total e fósforo inorgânico; ferro, determinado por espectrometria de absorção atômica (EMBRAPA, 1997); e alumínio, determinado por colorimetria, na presença do alaranjado de xilenol (EMBRAPA, 1982).

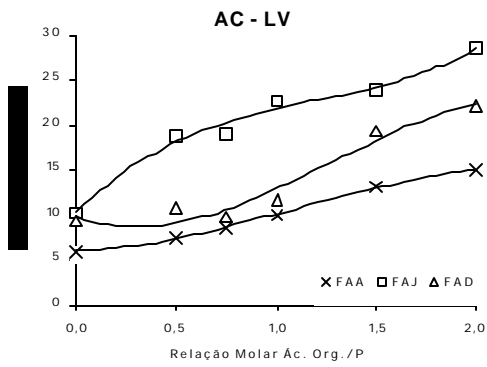
Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo que os efeitos dentro dos fatores qualitativos (ácidos orgânicos e formas de aplicação) foram desdobrados em contrastes e para o fator quantitativo (doses de ácidos orgânicos e de ácidos húmicos), ajustados modelos de regressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

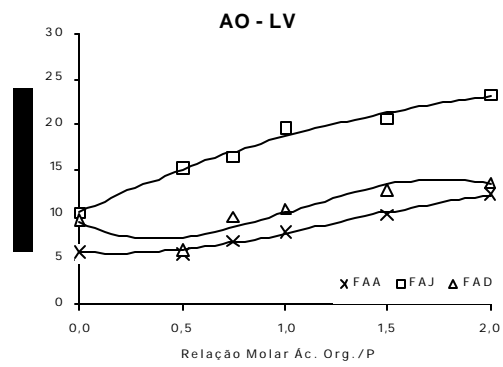
Considerando a diferença de densidade de cargas existente entre os ácidos utilizados – ácido oxálico (AO), ácido cítrico (AC), ácidos húmicos (AH), ácido salicílico (AS) –, o que reflete no seu comportamento e no seu efeito no solo, optou-se por separar os ácidos orgânicos em grupos de maior (AC, AO) e de menor (AH, AS) densidade de carga (SPOSITO, 1989), para melhor avaliação dos efeitos, mostrados por meio da comparação de médias por contrastes (C1 = AC vs AO; C2 = AH vs AS; C3 = AO vs AH + AS).

Convém ressaltar que erros analíticos podem ter ocorrido na determinação de fósforo inorgânico (Pi) e de fósforo orgânico (Po). No caso da determinação de Po, está relacionado ao fato dessa forma de fósforo ser obtida por diferença, o que pode acumular possíveis erros provenientes dos procedimentos analíticos de Pt e Pi. Com relação à determinação do Pi, o reagente de trabalho utilizado possui caráter extremamente ácido, podendo ocasionar hidrólise ácida das frações orgânicas de fósforo na solução, superestimado os valores de Pi conforme observado por DICK e TABATABAI (1977). Dessa forma, em muitos momentos dessa discussão, optou-se por enfatizar o comportamento do fósforo total na solução.

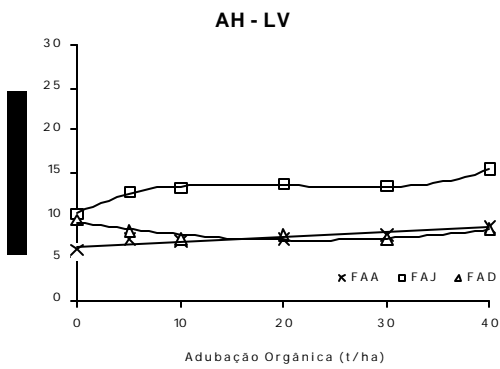
A aplicação dos ácidos orgânicos influenciou, significativamente, as concentrações de Pt, Pi e Po (Figuras 1 a 6), bem como as concentrações de



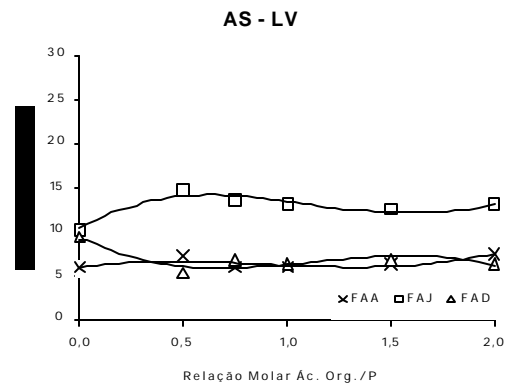
FAA $\hat{y} = 5,96 + 0,85x + 4,73x^2 - 1,44x^3$
 $R^2 = 0,998$
 FAJ $\hat{y} = 10,31 + 21,90x - 14,49x^2 + 4,02x^3$
 $R^2 = 0,984$
 FAD $\hat{y} = 9,75 + 21,90x + 14,84x^2 - 3,90x^3$
 $R^2 = 0,956$



FAA $\hat{y} = 5,85 - 1,77x + 5,24x^2 - 1,39x^3$
 $R^2 = 0,989$
 FAJ $\hat{y} = 10,34 + 10,42x - 2,04x^2$
 $R^2 = 0,981$
 FAD $\hat{y} = 9,38 - 31,09x^{0,5} + 53,01x - 20,51x^{1,5}$
 $R^2 = 0,961$

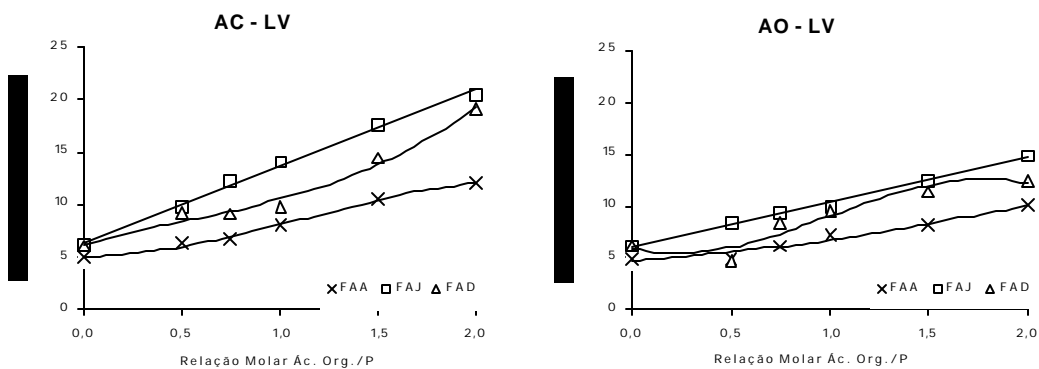


FAA $\hat{y} = 6,21 + 1,19x$
 $R^2 = 0,990$
 FAJ $\hat{y} = 10,21 + 8,76x - 8,05x^2 + 2,48x^3$
 $R^2 = 0,895$
 FAD $\hat{y} = 9,42 - 3,54x + 1,47x^2$
 $R^2 = 0,989$



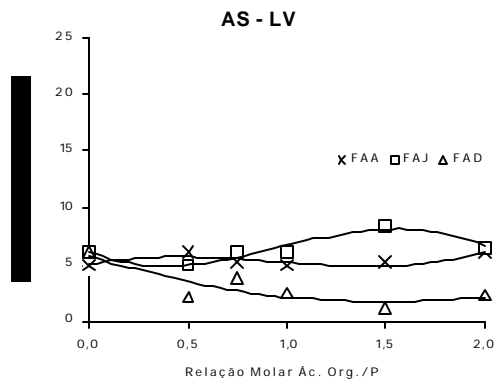
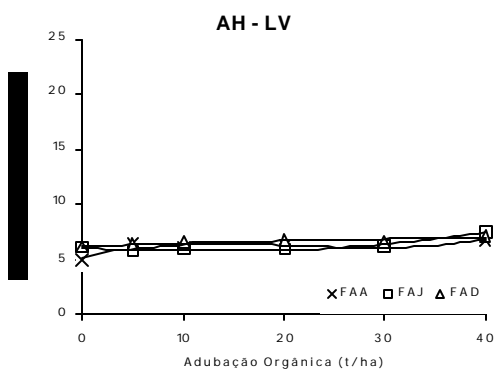
FAA $\hat{y} = 5,94 + 12,40x^{0,5} - 22,89x + 10,55x^{1,5}$
 $R^2 = 0,880$
 FAJ $\hat{y} = 10,25 + 24,54x^{0,5} - 35,962x + 14,20x^{1,5}$
 $R^2 = 0,994$
 FAD $\hat{y} = 9,39 - 20,12x^{0,5} + 28,98x - 11,54x^{1,5}$
 $R^2 = 0,930$

Figura 1 -Teor de fósforo total na solução do solo como variável dependente das relações molares dos ácidos orgânicos para as três épocas de aplicação, para o Latossolo Vermelho (LV).



FAA $\hat{y} = 5,01 + 0,58x + 3,57*x^2 - 1,03^0x^3$
 $R^2 = 0,995$
 FAJ $\hat{y} = 6,47 + 7,31**x$
 $R^2 = 0,994$
 FAD $\hat{y} = 6,13 + 15,02**x^{0,5} - 27,53**x + 16,65**x^{1,5}$
 $R^2 = 0,991$

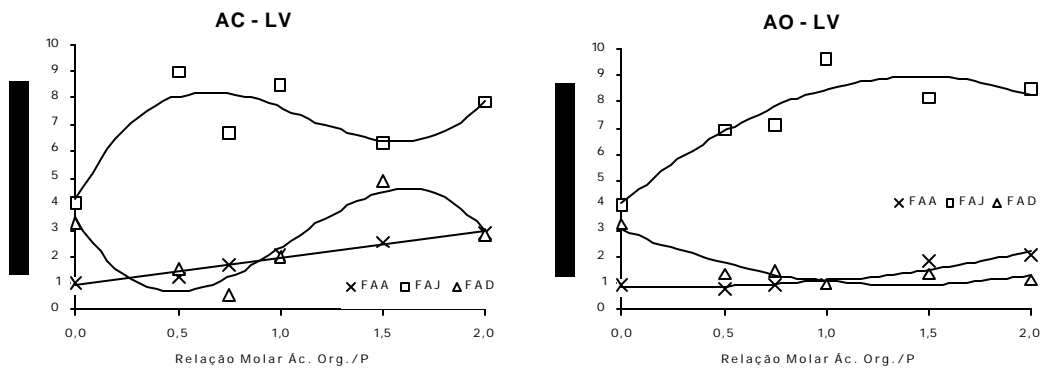
FAA $\hat{y} = 4,74 - 1,12*x + 0,71**x^2$
 $R^2 = 0,964$
 FAJ $\hat{y} = 6,11 + 4,25**x$
 $R^2 = 0,996$
 FAD $\hat{y} = 7,10 - 29,34**x^{0,5} + 52,04**x - 20,38**x^{1,5}$
 $R^2 = 0,969$



$$\begin{aligned} \text{FAA} &= 5,01 + 4,17**x + 4,17**x^2 + 1,27**x^3 \\ R^2 &= 0,938 \\ \text{FAJ} &= 6,91 - 1,23**x + 0,93**x^2 \\ R^2 &= 0,967 \\ \text{FAD} &= 7,05 - 0,94x + 0,47^0x^2 \\ R^2 &= 0,762 \end{aligned}$$

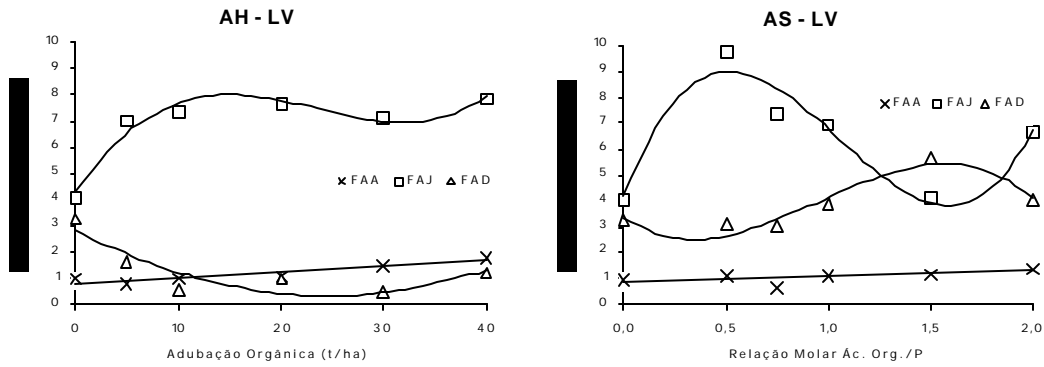
$$\begin{aligned} \text{EpA} &= 4,97 + 11,79**x^{0,5} - 21,34**x + 9,61**x^{1,5} \\ R^2 &= 0,950 \\ \text{EpJ} &= 6,20 - 7,10**x + 11,51**x^2 - 3,93**x^3 \\ R^2 &= 0,907 \\ \text{EpD} &= 6,71 - 7,10**x + 2,43**x^2 \\ R^2 &= 0,812 \end{aligned}$$

Figura 2 - Teor de fósforo inorgânico na solução do solo como variável dependente das relações molares dos ácidos orgânicos para as três épocas de aplicação, para o Latossolo Vermelho (LV).



$$\begin{aligned} \text{FAA } \hat{y} &= 0,90 + 1,03**x \\ R^2 &= 0,975 \\ \text{FAJ } \hat{y} &= 4,06 + 24,39**x^{0,5} - 35,29**x - 14,06**x^{1,5} \\ R^2 &= 0,782 \\ \text{FAD } \hat{y} &= 3,44 - 12,55**x + 16,75**x^2 - 5,29**x^3 \\ R^2 &= 0,866 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FAA } \hat{y} &= 0,89 - 0,23x + 0,45^0x^2 \\ R^2 &= 0,916 \\ \text{FAJ } \hat{y} &= 4,07 + 6,70**x - 2,30**x^2 \\ R^2 &= 0,960 \\ \text{FAD } \hat{y} &= 2,19 - 1,54**x + 0,54x^2 \\ R^2 &= 0,815 \end{aligned}$$



$$\text{FAA } \hat{y} = 40,73 + 0,48**x$$

$$R^2 = 0,833$$

$$\text{FAJ } \hat{y} = 4,05 + 9,57**x - 8,37**x^2 + 2,27**x^3$$

$$R^2 = 0,996$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 2,36 - 2,59**x + 0,99**x^2$$

$$R^2 = 0,829$$

$$\text{FAA } \hat{y} = \bar{x} = 1,01$$

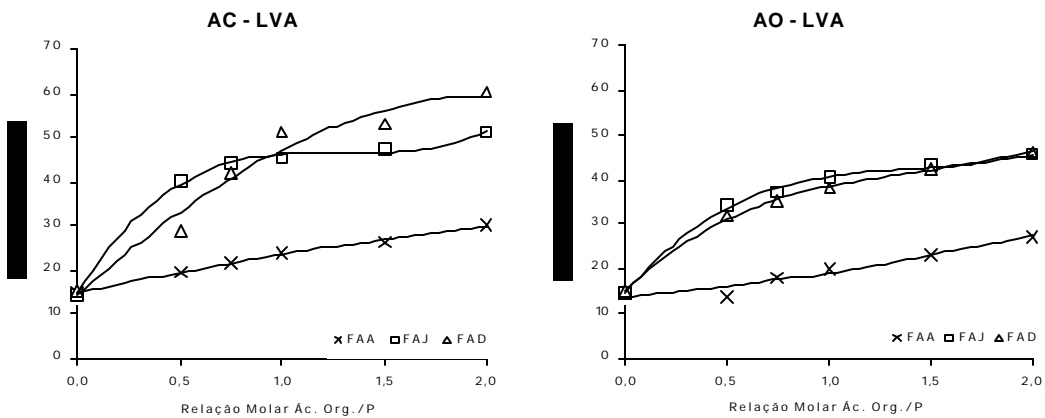
$$\text{FAJ } \hat{y} = 4,48 + 43,74**x^{0,5} - 70,61**x - 28910**x^{1,5}$$

$$R^2 = 0,937$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 2,37 - 2,22**x + 6,57**x^2 - 2,51**x^3$$

$$R^2 = 0,911$$

Figura 3 – Teor de fósforo orgânico na solução do solo como variável dependente das relações molares dos ácidos orgânicos para as três épocas de aplicação, para o Latossolo Vermelho (LV).



$$\text{FAA } \hat{y} = 14,76 + 9,88**x - 1,17**x^2$$

$$R^2 = 0,997$$

$$\text{FAJ } \hat{y} = 14,77 + 74,03**x - 57,05**x^2 + 14,60**x^3$$

$$R^2 = 0,997$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 28,71 - 188,00**x^{0,5} - 351,93**x - 144,76**x^{1,5}$$

$$R^2 = 0,899$$

$$\text{FAA } \hat{y} = 14,61 - 22,34**x^{0,5} + 40,86**x - 13,31**x^{1,5}$$

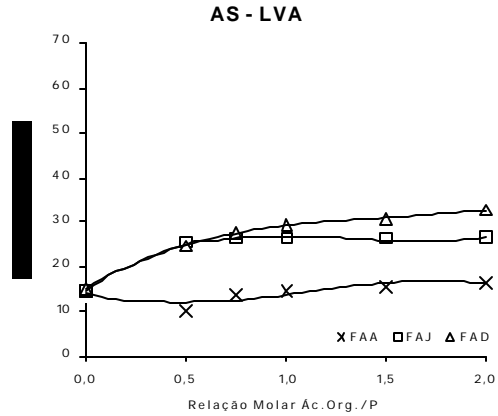
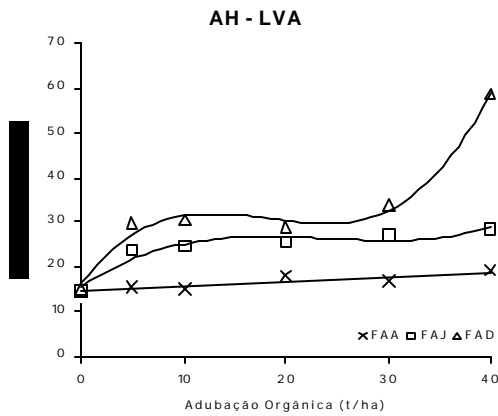
$$R^2 = 0,982$$

$$\text{FAJ } \hat{y} = 14,74 + 53,44**x - 35,95**x^2 + 8,47**x^3$$

$$R^2 = 0,996$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 26,26 + 2,50**x - 0,13**x^2$$

$$R^2 = 0,998$$



$$\text{FAA } \hat{y} = 14,47 + 2,1**x$$

$$R^2 = 0,748$$

$$\text{FAJ } \hat{y} = 14,71 + 24,31**x - 17,29**x^2 + 4,30**x^3$$

$$R^2 = 0,990$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 28,75 + 15,64**x - 30,85**x^2 + 15,23**x^3$$

$$R^2 = 0,996$$

$$\text{FAA } \hat{y} = 14,61 - 31,83**x^{0,5} + 52,05**x - 20,36**x^{1,5}$$

$$R^2 = 0,902$$

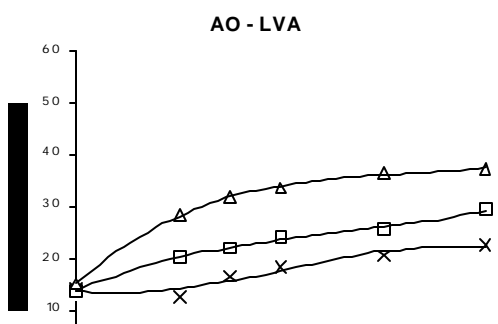
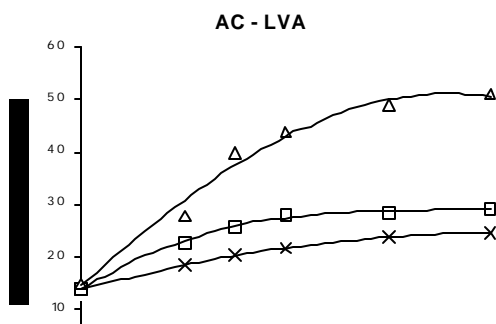
$$\text{FAJ } \hat{y} = 14,69 + 31,25**x - 25,24**x^2 + 6,31**x^3$$

$$R^2 = 0,993$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 3,44 - 12,55**x + 16,75**x^2 - 5,29**x^3$$

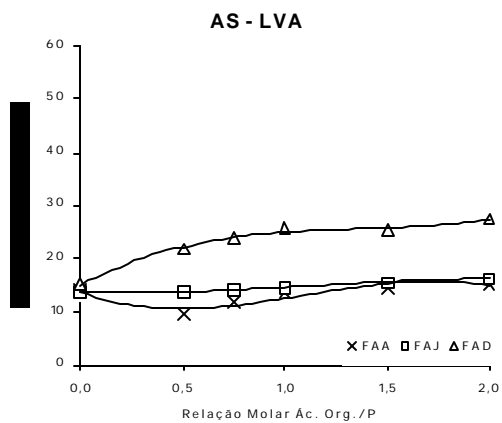
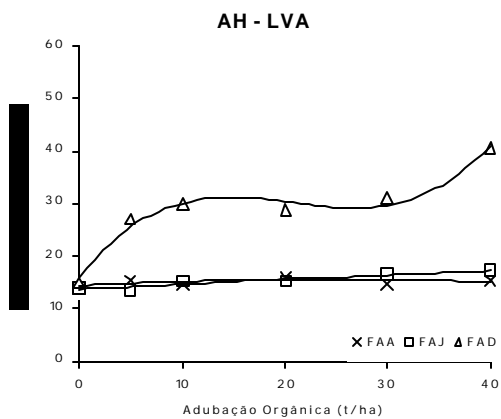
$$R^2 = 0,964$$

Figura 4 - Teor de fósforo total na solução do solo como variável dependente das relações molares dos ácidos orgânicos para as três épocas de aplicação, para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).



$$\begin{aligned} \text{FAA } \hat{y} &= 14,00 + 10,11**x - 2,36**x^2 \\ R^2 &= 0,999 \\ \text{FAJ } \hat{y} &= 13,81 + 24,69**x - 13,27**x^2 + 2,37**x^3 \\ R^2 &= 0,996 \\ \text{FAD } \hat{y} &= 27,77 - 170,84**x^{0,5} + 319,34**x - 132,83**x^{1,5} \\ R^2 &= 0,901 \end{aligned}$$

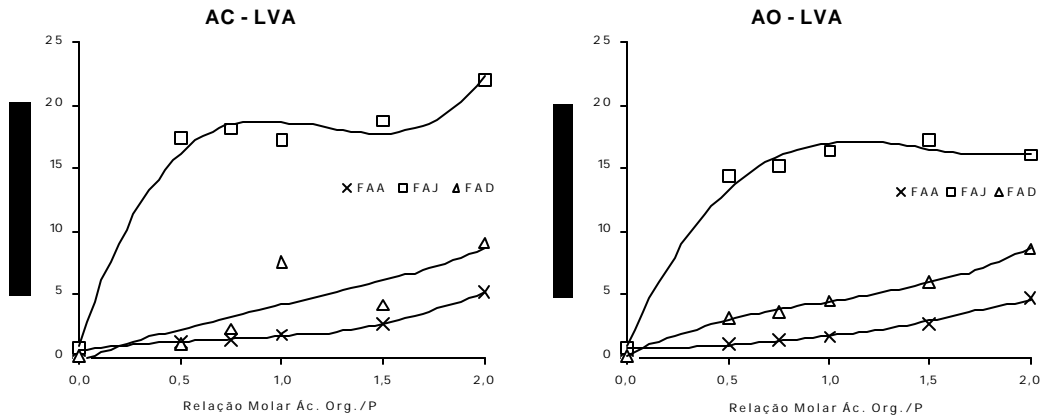
$$\begin{aligned} \text{FAA } \hat{y} &= 14,01 - 26,94**x^{0,5} + 50,30**x - 19,15**x^{1,5} \\ R^2 &= 0,976 \\ \text{FAJ } \hat{y} &= 13,83 + 17,25**x - 10,06**x^2 + 2,66**x^3 \\ R^2 &= 0,995 \\ \text{FAD } \hat{y} &= 3,44 - 12,55**x + 16,75**x^2 - 5,29**x^3 \\ R^2 &= 0,995 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{FAA } \hat{y} &= 14,17 + 1,91**x - 0,75**x^2 \\ R^2 &= 0,460 \\ \text{FAJ } \hat{y} &= 13,89 + 30,03**x^{0,5} - 31,97**x + 11,31**x^{1,5} \\ R^2 &= 0,958 \\ \text{FAD } \hat{y} &= 27,68 + 4,63**x - 8,15**x^2 + 4,53**x^3 \\ R^2 &= 0,957 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FAA } \hat{y} &= 14,02 - 32,29**x^{0,5} + 51,48**x - 19,98**x^{1,5} \\ R^2 &= 0,962 \\ \text{FAJ } \hat{y} &= 13,89 - 1,50x + 3,08x^2 - 0,88x^3 \\ R^2 &= 0,998 \\ \text{FAD } \hat{y} &= 27,92 - 29,02**x^{0,5} + 40,22**x - 14,25**x^{1,5} \\ R^2 &= 0,881 \end{aligned}$$

Figura 5 - Teor de fósforo inorgânico na solução do solo como variável dependente das relações molares dos ácidos orgânicos para as três épocas de aplicação, para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).



$$\text{FAA } \hat{y} = 0,58 + 2,07^0x - 2,15*x^2 + 1,14*x^3$$

$$R^2 = 0,997$$

$$\text{FAJ } \hat{y} = 0,66 + 60,92**x^{0,5} - 71,84**x + 27,89**x^{1,5}$$

$$R^2 = 0,998$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 0,93 - 17,16**x^{0,5} + 32,59**x - 11,92**x^{1,5}$$

$$R^2 = 0,710$$

$$\text{FAA } \hat{y} = 0,70 - 0,0002x + 0,98**x^2$$

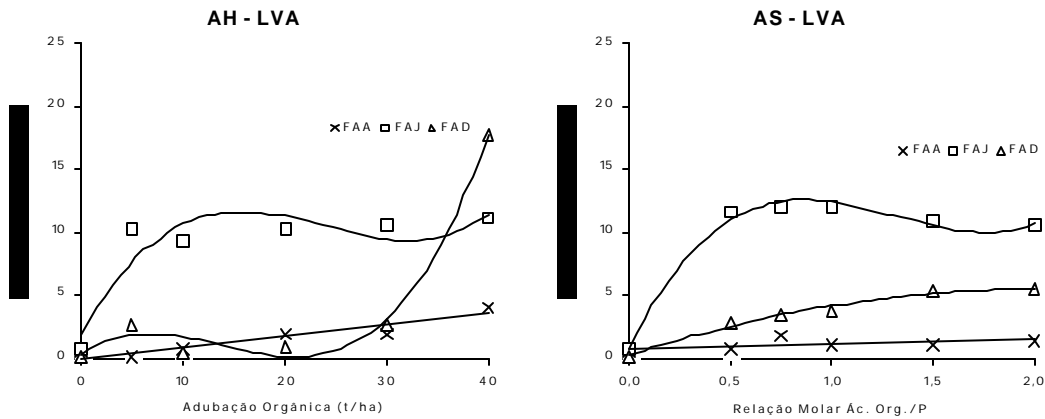
$$R^2 = 0,986$$

$$\text{FAJ } \hat{y} = 0,69 + 26,24**x^{0,5} - 9,73**x - 0,73**x^{1,5}$$

$$R^2 = 0,997$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 2,56 + 4,77**x - 1,29**x^2 + 0,13**x^3$$

$$R^2 = 0,998$$



$$\text{FAA } \hat{y} = 0,58 + 2,07^0x - 2,15*x^2 + 1,14*x^3$$

$$R^2 = 0,997$$

$$\text{FAJ } \hat{y} = 0,66 + 60,92**x^{0,5} - 71,84**x + 27,89**x^{1,5}$$

$$R^2 = 0,998$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 0,93 - 17,16**x^{0,5} + 32,59**x - 11,92**x^{1,5}$$

$$R^2 = 0,710$$

$$\text{FAA } \hat{y} = 0,70 - 0,0002x + 0,98**x^2$$

$$R^2 = 0,986$$

$$\text{FAJ } \hat{y} = 0,69 + 26,24**x^{0,5} - 9,73**x - 0,73**x^{1,5}$$

$$R^2 = 0,997$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 2,56 + 4,77**x - 1,29**x^2 + 0,13**x^3$$

$$R^2 = 0,998$$

$$\text{FAA } \hat{y} = 0,15 + 1,78**x$$

$$R^2 = 0,804$$

$$\text{FAJ } \hat{y} = 0,68 + 30,03**x^{0,5} + 31,97**x + 11,31**x^{1,5}$$

$$R^2 = 0,991$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 1,06 + 11,00**x - 22,70**x^2 + 10,69**x^3$$

$$R^2 = 0,997$$

$$\text{FAA } \hat{y} = 1,48 + 2,25**x$$

$$R^2 = 0,932$$

$$\text{FAJ } \hat{y} = 0,66 + 31,46**x^{0,5} - 27,36**x + 7,08**x^{1,5}$$

$$R^2 = 0,998$$

$$\text{FAD } \hat{y} = 0,95 + 3,90x - 0,80**x^2$$

$$R^2 = 0,975$$

Figura 6 - Teor de fósforo orgânico na solução do solo como variável dependente das relações molares dos ácidos orgânicos para as três épocas de aplicação, para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

ferro e de alumínio (Quadro 3) para os dois solos estudados, como revelado pelos contrastes C1, C2 e C3 (Quadro 4).

O solo argiloso (LV) apresentou menores valores na concentração de fósforo total (Pt) na solução (Figura 1) que o solo franco-argilo-arenosa (LVA) (Figura 4), em virtude do maior valor da capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAP) para o LV (Quadro 1).

O aumento das concentrações de ferro (Fe) e de alumínio (Al), em função das doses dos ácidos orgânicos ou ácidos húmicos, na solução do solo após agitação (Quadro 3), pode indicar que esses ácidos, principalmente AC e AO, acarretam dissolução de Fe e Al da estrutura cristalina e, ou, pobremente cristalizada de minerais dos solos estudados. Os grupos carboxílicos desses ácidos podem dissociar-se liberando seus prótons facilmente numa faixa normal de pH do solo. Os prótons dissociados podem, por sua vez, atacar os minerais do solo, promovendo sua decomposição; sendo que esses ânions remanescentes podem formar complexos solúveis com cátions metálicos (Figura 7) (SPOSITO, 1989).

Esse efeito de dissolução de óxidos de Fe e Al pode favorecer a adsorção competitiva entre o fósforo e os ácidos orgânicos, reduzindo a superfície de adsorção de fosfato da fração mineral. Entretanto, a presença de Fe e Al em grandes quantidades na solução (Quadro 3) pode também influenciar negativamente os resultados obtidos, diminuindo a concentração de fosfato em solução, uma vez que a presença desses íons na solução, pode ocorrer a formação de compostos insolúveis com fosfato, como observado por TRAINA et al. (1986). Houve observação visual da formação de precipitado nos frascos, principalmente quando da adição de AC e AO para as três épocas. A presença de ácidos orgânicos como o AC na solução, podendo formar de cinco a seis ligações fortes com o alumínio (HUE et al., 1986), aumenta a formação do complexo alumínio-citrato. Quanto maior a afinidade do ácido orgânico por alumínio, mais eficiente deverá ser a ocupação dos sítios de ligação e, conseqüentemente, mais eficiente deverá ser a limitação para a

formação de polímeros de hidróxi-alumínio (HUANG e VIOLANTE, 1986), que podem aumentar a adsorção/precipitação de fosfato.

Quadro 3 - Concentração de ferro (Fe) e alumínio (Al) na solução do solo após a agitação com diferentes ácidos orgânicos, em diferentes relações molares e dose constante de fósforo, em diferentes formas de aplicação para o LV e para o LVA

Variável	Relação Molar ^{1/}	AC			AO			AH			AS		
		FAA	FAJ	FAD	FAA	FAJ	FAD	FAA	FAJ	FAD	FAA	FAJ	FAD
mg L ⁻¹													
LV													
Fe	0,00 : 1,0	2,58	0,50	0,41	2,58	0,50	0,41	2,58	0,50	0,41	2,58	0,50	0,41
	0,50 : 1,0	16,99	17,53	59,77	15,07	11,71	10,75	7,02	0,42	19,06	0,32	0,55	0,06
	0,75 : 1,0	24,45	27,93	55,75	22,38	23,74	51,35	6,63	0,52	20,20	0,34	0,82	5,13
	1,00 : 1,0	23,06	34,32	46,56	26,61	41,07	59,39	6,89	0,63	22,04	0,40	0,69	4,60
	1,50 : 1,0	31,25	39,41	49,35	32,07	61,29	63,63	8,16	1,01	22,75	0,50	0,58	1,81
	2,00 : 1,0	38,16	50,10	71,08	38,70	77,14	67,75	10,67	1,37	23,69	0,55	0,50	6,70
	Média época		22,75	28,30	47,15	22,90	35,91	42,21	6,99	0,74	18,03	0,78	0,61
Média ácido org.				37,73			33,67			8,58			1,50
Al	0,00 : 1,0	1,22	1,09	1,01	1,22	1,09	1,01	1,22	1,09	1,01	1,22	1,09	1,01
	0,50 : 1,0	14,07	13,65	18,23	7,30	5,39	6,25	0,66	0,79	3,42	0,58	1,71	1,02
	0,75 : 1,0	19,68	25,85	25,06	10,28	6,68	12,94	0,62	0,58	3,59	0,76	1,42	2,07
	1,00 : 1,0	34,00	12,79	30,59	14,93	10,51	17,69	0,85	0,60	3,87	0,95	1,80	3,32
	1,50 : 1,0	36,62	24,02	50,16	20,68	16,13	24,38	0,73	0,77	3,97	2,04	2,90	4,18
	2,00 : 1,0	48,32	44,52	62,31	25,52	18,80	30,41	0,81	0,94	3,05	3,07	3,58	5,51
	Média época		25,65	20,32	31,23	13,32	9,77	15,45	0,82	0,80	3,15	1,44	2,08
Média ácido org.				25,73			12,84			1,59			2,12
LVA													
Fe	0,00 : 1,0	0,01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	nd	nd
	0,50 : 1,0	2,86	2,67	4,57	0,87	1,02	0,57	nd	nd	0,15	0,08	0,03	0,01
	0,75 : 1,0	4,54	4,73	6,41	3,21	2,83	7,39	nd	nd	0,24	0,08	0,04	0,02
	1,00 : 1,0	5,42	6,15	6,00	8,44	5,40	8,97	0,38	nd	0,74	0,11	0,06	0,03
	1,50 : 1,0	7,25	8,67	8,06	12,12	9,48	10,10	0,51	0,01	1,03	0,16	0,09	0,06
	2,00 : 1,0	8,81	10,42	9,17	13,35	15,11	24,61	1,27	0,04	2,36	0,27	0,12	0,08
	Média época		4,82	5,44	5,70	6,33	5,64	8,61	0,36	0,01	0,75	0,12	0,06
Média ácido org.				5,32			6,86			0,37			0,07
Al	0,00 : 1,0	0,23	1,47	0,30	0,23	1,47	0,30	0,23	1,47	0,30	0,23	1,47	0,30
	0,50 : 1,0	10,89	8,78	9,97	1,12	1,65	0,57	0,33	0,38	0,41	0,37	1,58	2,69
	0,75 : 1,0	11,72	13,07	13,22	2,31	2,30	2,01	0,38	0,39	0,44	0,69	2,29	1,85
	1,00 : 1,0	12,30	15,69	18,31	3,84	3,61	3,21	0,49	0,32	0,50	1,24	2,69	2,26
	1,50 : 1,0	11,71	18,12	22,95	5,75	6,28	7,51	0,35	0,28	0,46	2,58	3,12	3,51
	2,00 : 1,0	10,61	18,84	28,13	15,20	14,50	11,70	0,31	0,34	1,11	4,58	3,74	4,13
	Média época		9,58	12,66	15,48	4,74	4,97	4,22	0,35	0,53	0,54	1,62	2,48
Média ácido org.				12,57			4,64			0,47			3,28

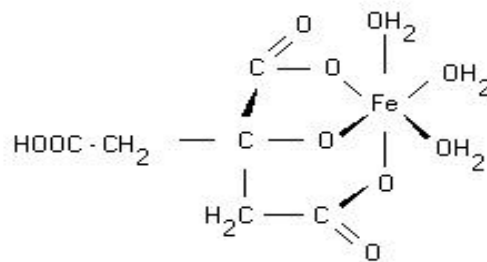
^{1/} Relação molar ácido orgânico:fósforo; FAA= aplicação de fósforo antes da aplicação de ácido orgânico; FAJ = aplicação de fósforo e ácido orgânico juntos; FAD = aplicação de fósforo depois da aplicação de ácido orgânico; AC = ácido cítrico; AH = ácidos húmicos; AO = ácido oxálico; AS = ácido salicílico; Relação solo:solução 1:10.

Quadro 4 - Contrastes médios (Ci) das médias das doses e das formas de aplicações de fósforo e ácidos orgânicos, dentro dos solos estudados (LV e LVA) para o fósforo total (Pt), o fósforo inorgânico (Pi) e o fósforo orgânico (Po), e para o ferro (Fe) e o alumínio (Al) da solução

Variáveis	LV			LVA		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Pt	2,74**	0,75**	2,93**	4,87**	2,69**	6,99**
Pi	2,35**	1,40**	2,98**	4,15**	2,54**	5,10**
Po	0,40**	-0,65**	-0,045	0,73**	0,15	1,85**
Fe	-0,94**	7,08**	28,63**	-1,54**	0,30**	6,64**
Al	16,94**	-0,53**	10,98**	7,93**	-1,71**	3,31**

C₁ = AC vs AO (+, -); C₂ = AH vs AS (+, -); C₃ = AO vs AH + AS (2+, - -); AC = ácido cítrico; AH = ácidos húmicos; AO = ácido oxálico; AS = ácido salicílico.

** Significativos a 1%.



Fonte: STEVENSON (1994).

Figura 7 - Formação do complexo Fe-citrato.

BHATTI et al. (1998), estudando a influência do oxalato e da matéria orgânica do solo na diminuição da adsorção de fosfato, comentam que fosfato e alumínio liberados na solução do solo podem formar várias espécies em solução, tais como $AlH_2PO_4(OH)_2$ e, ou, $AlH_2PO_4C_2O_4$ e, ou, precipitar como fosfato de alumínio amorfo, dando suporte às hipóteses levantadas quanto ao efeito do Fe e do Al sobre a adsorção/precipitação de fosfato. Entretanto, IYAMUREMYE e DICK (1996) comentam que a presença de certos ácidos orgânicos na solução pode reduzir drasticamente a quantidade de fosfato

precipitado, devido à formação de compostos ou complexos estáveis entre ferro ou alumínio e os ânions orgânicos.

Nos dois solos estudados, pelo contraste AC *vs* AO (Quadro 4), que compara os ácidos orgânicos do grupo de maior densidade de carga, observou-se que os valores de Pt, Pi e Po foram, de modo geral superiores para o ácido cítrico (Figuras 1 a 6), apresentando valores positivos e significativos no contraste (Quadro 4). Este resultado deve estar relacionado à disposição das cargas desse ácido, em que o grupamento OH está no meio da molécula ao lado de um dos grupamentos COOH, o que favorece a interação com a fração mineral do solo, podendo formar quelatos e neutralizar de forma mais estável os sítios de adsorção da fração mineral. A disposição dos grupamentos reativos pode também favorecer a interação do ácido cítrico com o fósforo aplicado, visto que o AO apresenta maior densidade de carga, entretanto possui apenas grupamentos COOH que são mais difíceis de participarem das reações de troca de ligantes que os grupamentos OH do ácido cítrico (SPOSITO, 1989).

Para o grupo de ácidos de menor densidade de carga (contraste C2 - Quadro 4), os ácidos húmicos foram consistentemente superiores em diminuir a intensidade do fenômeno de adsorção em relação ao ácido salicílico, para FAA e FAJ, o que deve estar relacionado ao grande poder de capeamento da fração mineral pelos ácidos húmicos (STEVENSON e FITCH, 1986) em relação ao ácido salicílico, podendo, assim, diminuir a adsorção de fosfato e não somente pela competição pelos sítios de adsorção. Nesse sentido, Fontes (1990) observou que os complexos entre ácidos húmicos e goethita, reduziram a adsorção de fosfato.

No LV, observou-se maior adsorção de fósforo (Pt) em solução para AH e AS, na FAD (Figura 1), quando se compara a relação molar Ac. Org.:P 0,0:1,0 com as demais relações. Tal fato pode ser explicado pela maior solubilização de Fe e Al que as demais épocas - FAA e FAJ - (Quadro 3), em virtude de um maior tempo de contato do ácido orgânico com a fração mineral na FAD. Como o AH e o AS possuem baixa densidade de carga (SPOSITO,

1989), os mesmos podem ter sido saturados com parte do Fe e Al em solução, fazendo com que parte desse complexo precipitasse, retirando fosfato da solução. Este fosfato retirado pode estar ligado aos ácidos orgânicos por meio de ponte metálica de Fe ou Al (STEVENSON, 1994).

Comparando-se o ácido oxálico (alta densidade de carga) com o grupo de baixa densidade de carga (AH e AS), os valores de Pt, Pi e Po e os valores de Fe e Al para o ácido oxálico foram, em geral, superiores (Quadro 4). Pode-se, então, sugerir a seguinte ordem para o efeito dos ácidos orgânicos e dos ácidos húmicos no sentido de reduzir a intensidade do fenômeno de adsorção de fosfato para os dois solos estudados: $AC > AO > AH > AS$.

O efeito de formas de aplicação dos ácidos orgânicos em relação ao fósforo foi analisado por meio de comparação de médias por contraste ($C4 = FAD$ vs FAA e $C5 = FAJ$ vs FAD). Para os solos estudados, dentro de cada ácido, observou-se que a aplicação de fósforo depois da aplicação do ácido orgânico (FAD), quando comparada à sua aplicação antes do ácido (FAA), acarretou maiores concentrações em solução para as formas de fósforo estudadas, de acordo com o contraste C4 (FAD vs FAA, Quadro 5). Este resultado assemelha-se aos resultados obtidos por LOPEZ-HERNANDEZ et al. (1986) e VIOLANTE e GIANFREDA (1993) os quais observaram que a máxima redução na adsorção de fosfato ocorreu quando o fosfato foi aplicado depois do ácido orgânico ou quando ácido orgânico e fosfato foram aplicados juntos.

Observaram-se resultados diferenciados ao se testar o contraste C5 (FAJ vs FAD, Quadro 5). Para o LV, considerando o teor de Pt, a aplicação de fósforo junto com a aplicação de ácidos orgânicos (FAJ) acarretou maior diminuição da adsorção que a aplicação de fósforo depois da aplicação de ácidos orgânicos (FAD), o que discorda da hipótese levantada de que uma possível dissolução dos minerais, provocada pelos ácidos orgânicos, poderia estar interferindo nos resultados. Caso tal hipótese fosse verdadeira, a aplicação de fósforo depois da aplicação do ácido orgânico deveria ter teores superiores de fósforo total à aplicação de ácido e fósforo juntos, devido ao

maior tempo de contato da FAD frente a FAJ, que acarreta a redução da superfície de adsorção, pela dissolução dos minerais (SPOSITO, 1989). Por

Quadro 5 - Contrastes médio (Ci), das médias das doses de ácidos orgânicos, das formas de aplicação de fósforo e ácidos orgânicos, dentro dos diferentes solos (LV e LVA) para fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po), ferro (Fe) e alumínio (Al) da solução

Tratamento	Pt		Pi		Po		Fe		Al	
	C4	C5	C4	C5	C4	C5	C4	C5	C4	C5
AC d LV	3,80**	6,70**	3,17**	2,16**	0,62**	4,54**	24,40**	-18,85**	5,57**	-10,90**
AO d LV	2,17**	7,21**	1,83**	1,43**	0,33**	5,78*	19,31**	-6,30**	1,30**	-5,68**
AH d LV	0,75**	4,08**	0,41**	-0,29**	0,33	4,38**	8,60**	-13,65**	1,79**	-1,82**
AS d LV	0,34**	6,04**	-2,43**	3,38**	2,77**	2,66**	2,36**	-2,51**	1,41**	-0,76**
AC d LVA	19,11**	-1,27**	17,23**	-13,00**	1,88**	11,73**	0,09**	-0,26	5,90**	-2,81**
AO d LVA	17,58**	-1,23**	15,10**	-10,05**	1,15**	10,15**	2,74**	-2,96**	-0,53**	0,75**
AH d LVA	16,15**	-8,66**	13,63**	-13,29**	2,51**	4,63**	0,39*	-0,74**	0,17	-0,20
AS d LVA	14,85**	-4,72**	12,31**	-10,72**	2,53**	6,00**	0,08	0,02	0,84**	0,02

C₄ = FAD vs FAA (+, -); C₅ = FAJ vs FAD (+, -); FAA= aplicação de fósforo antes da aplicação de ácido orgânico; FAJ = aplicação de fósforo e ácido orgânico juntos; FAD = aplicação de fósforo depois da aplicação de ácido orgânico; AC = ácido cítrico; AH = ácidos húmicos; AO = ácido oxálico; AS = ácido salicílico; LV = Latossolo Vermelho; LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo.

* e ** Significativos a 5 e 1%.

apresentar maiores teores de argila e, conseqüentemente, maior superfície de adsorção, a presença dos ácidos orgânicos e dos ácidos húmicos pode não ter sido suficiente para bloquear os sítios de adsorção do LV. Desta forma, a maneira mais eficiente de reduzir a intensidade de adsorção de fosfato, para este solo, é pela ligação, por meio da troca de ligantes, entre fósforo e ácidos orgânicos ou ácidos húmicos (fósforo orgânico). Observou-se, na FAJ, para o Pt, redução máxima na adsorção de fosfato de 36,6% para o AC, 26,2% para o AO, 10,4% para o AH e 6,9% para o AS (Figura 1). Estes resultados foram obtidos em relação ao que foi adicionado de fósforo e aos valores da concentração final, para a relação molar 2,0:1,0, em ambos, subtraindo-se o efeito da testemunha (relação molar 0,0:1,0).

Para o LVA, a aplicação de fósforo depois da aplicação de ácidos orgânicos (FAD) acarretou maiores concentrações de fósforo solúvel, quando

comparada à aplicação de fósforo junto da aplicação de ácidos orgânicos (FAJ), conforme mostrado no contraste C5 (Quadro 4). No LVA, por apresentar menores teores de argila (Quadro 1) e, conseqüentemente, menor superfície de adsorção, a presença dos ácidos orgânicos foi mais eficiente em bloquear os sítios de adsorção, e promover a menor adsorção de fosfato. Observou-se, na FAD, para o Pt, redução máxima na intensidade do fenômeno de adsorção de fosfato de 100% para o AC, 96,8% para o AO, 69,4% para o AH e 39,4% para o AS (Figura 4). Estes resultados foram obtidos pelo mesmo processo matemático realizado, anteriormente, para o LV.

Nos dois solos (LV e LVA), para as fontes de ácidos e formas de aplicação, os modelos de regressão dos teores de Pt, Pi, Po ajustados, para as doses de ácidos orgânicos (Figuras 1 a 6), apresentaram equações significativas e coeficientes de determinação altos, indicando a boa capacidade preditiva dos mesmos. Entretanto, não há um modelo dominante que explique os efeitos dos ácidos sobre a adsorção de fosfato. Esse comportamento indica que o efeito dos ácidos orgânicos estudados sobre a adsorção de fosfato deve ser influenciado por outros fatores, além daqueles relacionados com as características dos ácidos orgânicos (tamanho de molécula, densidade de carga, afinidade a Fe, Al e fósforo).

De modo geral, houve redução na adsorção de fosfato com o aumento das doses de ácidos orgânicos ou ácidos húmicos, tanto para o LV (Figura 1) como para o LVA (Figura 4). Quando se aumenta a dose de ácido orgânico ou ácidos húmicos, aumenta-se a competição pelos sítios de adsorção de fosfato e, ou, a formação de complexos com fosfato (STEVENSON, 1994), o que impede a adsorção de fosfato, e promove maior concentração de fosfato na solução. Resultados semelhantes foram encontrados por EARL et al. (1979), LOPEZ-HERNANDEZ et al. (1986), VIOLANT e GIANFREDA (1993) e BHATTI et al. (1998). A variação do Pt, em função das relações molares ácido orgânico/fósforo, parece estar mais bem relacionada com a variação do Po para os solos estudados, LV e LVA.

Isso pode ser justificado pela atuação dos ácidos na complexação de P em solução (SPOSITO, 1989), sugerindo a importância de quantificar a fração orgânica em estudos dessa natureza. No LV, nas formas de aplicação dos ácidos húmicos, não houve diferenças entre as doses quando o P_i foi analisado (Figura 2). Entretanto, quando a fração orgânica de P é observada (Figura 3), reafirma-se a importância desta no resultado, demonstrado pelo P_t . Contudo, deve-se levar em consideração o modo de determinação da fração orgânica de P, diferença entre P_t e P_i , pela qual acumulam-se os possíveis erros analíticos.

No LV, o efeito das doses do ácido salicílico (AS) sobre as concentrações de P_i e P_o foram diferentes dos efeitos dos demais ácidos, ocorrendo variação, ora diminuindo ora aumentando, com o aumento das doses (Figuras 1 a 3). Este comportamento pode estar relacionado à competição de Fe e Al com fósforo pelos sítios de reação do ácido orgânico, refletindo na variação de valores das formas de P. Para o LVA não foi observado esse comportamento. Embora as concentrações de Fe e de Al na solução, na qual se realizaram os tratamentos com AS no LV, sejam pequenas, quando comparadas aos demais ácidos (Quadro 3), estes elementos não devem estar complexados ao AS, devido à sua estrutura molecular, com baixa capacidade de complexação, o que pode interferir na concentração de fosfato em solução. Para os outros ácidos, em decorrência do maior poder de complexação, a interferência do Fe e Al, na concentração de fosfato em solução, não deve ter ocorrido, ou ocorrido com menor intensidade.

Para o AH, AO e AS, em ambos os solos, dentro da FAA, observa-se um comportamento linear com baixa inclinação da reta, indicando que o efeito das doses para esses ácidos foi baixo, ou seja, uma pequena redução da intensidade de adsorção de fosfato. Para o ácido cítrico, o efeito das doses foi mais marcante, evidenciado pela maior inclinação da reta, denotando a maior influência desse ácido sobre a adsorção de fosfato (Figuras 1 a 6).

Quanto à aplicação de fosfato e ácidos orgânicos/húmicos juntos (FAJ), observa-se que no LVA o efeito dos ácidos foi semelhante ao observado

anteriormente. Novamente, o efeito do AC foi mais marcante nesta forma de aplicação. No LV, contudo, não houve comportamento semelhante quando se comparam os ácidos orgânicos. Este resultado deve estar relacionado com a maior capacidade tampão de fósforo (FCP) no LV, que pode ser entendido como a resistência do solo às mudanças da concentração de fosfato na solução.

Para o LV, a aplicação da dose de fósforo depois da aplicação das doses de AH e AS (FAD) acarretou concentração semelhante de fósforo total a FAA, indicando que, para o solo com maior CMAF, o fósforo pode ser aplicado junto ou após os ácidos orgânicos. Para o AC, a diferença na concentração de fósforo total na solução, entre as formas de aplicação, foi mais bem observada a partir da relação molar ácido orgânico:fósforo igual a 1,0:1,0.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar os efeitos da adição de ácidos orgânicos na adsorção de fosfato em amostras de dois Latossolos, em diferentes formas de aplicação de ácidos orgânicos. Utilizaram-se amostras superficiais (0 - 20 cm) de um Latossolo Vermelho textura muito argilosa (LV) e um Latossolo Vermelho-Amarelo textura franco-argilo-arenosa (LVA). Adicionaram-se às amostras diferentes doses de ácidos orgânicos e ácidos húmicos (AH) e uma dose de fósforo ($19,3 \text{ mmol kg}^{-1}$). Os ácidos orgânicos utilizados foram ácido cítrico (AC), ácido oxálico (AO), ácido salicílico (AS), e como fonte de fósforo, fosfato monobásico de potássio (KH_2PO_4). Todos os ácidos foram reagentes p.a., com exceção dos ácidos húmicos que foram extraídos de um solo orgânico.

O experimento seguiu um esquema fatorial $2 \times 4 \times 3 \times 6$, em que os fatores em estudo foram: dois solos; três ácidos orgânicos e ácidos húmicos; três formas de aplicação de fosfato e ácidos orgânicos ou ácidos húmicos: fosfato antes da aplicação do ácido orgânico ou ácidos húmicos (FAA), fosfato e ácido orgânico ou ácidos húmicos aplicados juntos (FAJ) e fosfato depois da

aplicação do ácido orgânico ou ácidos húmicos (FAD); seis doses de ácidos orgânicos, seguindo a relação molar ácido orgânico:fósforo de 0,0:1,0, 0,5:1,0, 0,75:1,0, 1,0:1,0, 1,5:1,0, e 2,0:1,0. Especificamente para os ácidos húmicos, por serem polímeros de massa molar desconhecida, suas doses foram calculadas com base na adubação orgânica de 0; 5; 10; 20; 30 e 40 t ha⁻¹ de material orgânico, contendo para efeito de cálculos 60 dag kg⁻¹ de água e 40 dag kg⁻¹ de carbono (Kiehl, 1985). Os ácidos húmicos eram constituídos de 56,89 dag kg⁻¹ de carbono.

A aplicação dos ácidos orgânicos e dos ácidos húmicos influenciou significativamente as concentrações de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) na solução de equilíbrio, bem como as concentrações de Fe e de Al para os dois solos estudados. De modo geral, houve diminuição na intensidade da adsorção de fosfato com o aumento das doses de ácidos orgânicos ou ácidos húmicos, tanto para o LV como LVA. O aumento da relação molar ácido orgânico:fósforo e da quantidade de ácidos húmicos adicionada acarretou diminuição da adsorção de fosfato.

Com relação às formas de aplicação de fosfato e ácidos orgânicos ou ácidos húmicos, observou-se efeito diferenciado para cada solo estudado, assim como para os ácidos, sobre as concentrações de Pt, Pi e Po na solução.

Os resultados permitem concluir que: a) o efeito dos ácidos orgânicos e dos ácidos húmicos na redução da adsorção de fosfato para os dois solos estudados segue a seguinte ordem: AC > AO > AH > AS; b) o aumento da relação molar ácido orgânico:fósforo acarretou, de maneira geral, diminuição da adsorção de fosfato pela matriz do solo; e c) a forma de aplicação do ácido orgânico ou dos ácidos húmicos influencia a adsorção de fosfato no solo. No LV, a aplicação de fosfato e ácido orgânico ou ácidos húmicos juntos foi onde se verificou a maior influência desses ácidos na redução da intensidade da adsorção de fosfato, o que acarretou redução de 36,6% para o AC, 26,2%, para o AO, 10,4%, para o AH e 6,9% para o AS. No LVA, a aplicação de fosfato depois do ácido orgânico ou ácidos húmicos foi onde se verificou a maior influência dos ácidos orgânicos e dos ácidos húmicos na redução da

intensidade da adsorção de fosfato, o que acarretou redução de 100% para o AC, 96,8% para o AO, 69,4% para o AH e 39,4% para o AS.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFIF, E., BARRÓN, V., TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by cerrado soils from Brazil. **Soil Sci.**, v.159, p.207-211, 1995.
- AGUILERA, M.S., PINO, I.U., REYES, C.P., CAIOZZI, M.C. Effect of organic matter on soil availability of phosphorous, iron, copper and zinc in Osorno. **Agricultura Técnica**, v.52, p.423-425, 1992.
- ALVAREZ V., V.H., FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para a determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfato e para ensaios de casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, v.14, p.49-55, 1990.
- BHATTI, J.S., COMEFORD, N.B., JOHNSTON, C.T. Influence of oxalate and soil organic matter on sorption and desorption of phosphate onto a Spodic horizon. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.62, p.1089-1095, 1998.
- BRAGA, J.M., DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **R. Ceres**, v.21, p.73-85, 1974.
- COSTA, J.P.V. **Fluxo difusivo de fósforo e de potássio em Latossolos**. Viçosa-MG: UFV, 1998. 67p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.

DICK, W.A., TABATABAI, M.A. Determination of orthophosphate in aqueous solution containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. **J. Environ.Qual.**, v.6, n 1, p.82-85, 1997.

EARL, K.D., SYERS, J.K., McLAUGHLIN, J.R. Origin of the effects of citrate, tartarate, and acetate on phosphate sorption by soils and synthetic gels. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.43, p.674-678, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, Centro Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Alumínio extraído em solo. Determinação espectrofotométrica pelo alaranjado de xilenol**. EMBRAPA Produção de Informação, 1982. (Boletim técnico, 6).

FERNADES, R.B.A. **Atributos mineralógicos, cor, adsorção e dessorção de fosfatos em latossolos do Sudeste brasileiro**. Viçosa-MG: UFV, 2000. 265p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

FERNANDEZ R., I. E.J. **Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química**. Viçosa-MG: UFV, 1995. 94p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.

FONTES, M.P.F. **Interactions of goethite and humic acid in some oxisols from Brazil**. Raleigh, North Carolina State University, 1990. 75p. (Tese de Doutorado).

GEELHOED, J.S., VAN RIEMSDIJK, W.H., FINDENEGG, G.R. Simulation of the effect of citrate exudation from roots on the plant availability of phosphate adsorbed on goethite. **Eur. J. Soil Sci.**, v.50, p.379-390, 1999.

GONÇALVES, J.L.M. **Cinética de transformação de fósforo-lábil em não lábil em amostras de solos de cerrado**. Viçosa-MG: UFV, 1988.

Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

GONÇALVES, J.L.M., FIRME, D.J., NOVAIS, R.F., RIBEIRO, A.C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v.9, p.107-111, 1985.

GONÇALVES, J.L.M., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., NEVES, J.C.L., RIBEIRO, A.C. Cinética da transformação de fósforo-lábil em não-lábil, em solos de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v.13, p.13-24, 1989.

HAYES, M.H.B., MacCARTY, P., MALCOLN, R.L., SWIFT, R.S. The search for the structure: setting the scene. In: HAYES, M.H.B. et al. (Eds). **Humic substances. II. In search for the structure**. Chichester, 1989. p.689-733.

HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil plant system. **Adv. Agron.**, v.37, p.249-315, 1984.

HUANG, P.M., VIOLANT, A. Influence of organic acids on crystallization and surface properties of precipitation products of aluminium. In: HUANG, P.M., SCHNITZER, M. (Eds.) **Interaction of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison: SSSA Spec. Publ. nº 17, WI. 1986. p.159-221.

HUE, N.V., CRADDOCK, G.R., ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.50, p.28-34, 1986.

IYAMUREMYE, F., DICK, R.P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. **Adv. Agron. J.**, v.75, p.457-461, 1996.

JUO, A.S.R., FOX, R.L. Phosphate sorption characteristics of some Benchmark soils of West Africa. **Soil Sci.**, v.724, n.6, p.370-376, 1977.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KIRK, G.J.D. A model of phosphate solubilization by organic anion excretion from plant roots. **Eur. J. Soil Sci.**, v.50, p.369-378, 1999.

LOPEZ-HERNANDES, D., SIEGERT, G., RODRIGUEZ, J.V. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.57, p.1460-1462, 1986.

MESQUITA FILHO, M.V., TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soil from de cerrado region (Brazil). **Geoderma**, v.58, p.107-123, 1993.

- MORA, M.I.L., GALINDO, G.G., ESCUDEY, M.C. The role of iron oxides and organic matter on phosphate adsorption in model allophanic synthetic soils. **Agricultura técnica**, v.52, n.4, p.417-421, 1992.
- MUNIZ, A.S. **Disponibilidade de fósforo avaliada por extratores químicos e pelo crescimento da soja *glycine Max (L.) Merrill* em amostras de solos como diferentes valores do fator capacidade**. Viçosa-MG: UFV, 1983. 79p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1983.
- NETTO, A.R. **Influência da mineralogia da fração argila sobre propriedades físico-químicas de solos brasileiras**. Viçosa-MG: UFV, 1996. 144p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- NOVAIS, R.F., SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa-MG: UFV, 1999. 399p.
- PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Adv. Agron.**, v.30, p.1-50, 1978.
- SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: PAGE, A.L. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2.ed. Agronomy 9, Am. Soc. Agron., Madison. p. 581-593. 1982.
- SCHWERTMAN, U., KODAMA, H., FISHER, W.R. Mutual interactions between organics and iron oxides. In: HUANG, P.M., SCHNITZER, M. (Eds.) **Interaction of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison: SSSA Spec. Publ. nº 17, WI. 1986. p.223-247.
- SIBANDA, H.M., YOUNG, S.D. Competitive adsorption of humic acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. **J. Soil Sci.**, v.37, p.197-204, 1986.
- SILVA, M.L.N., CURI, N., BLANCANEUX, P., LIMA, J.M., CARVALHO, A.M. Rotação adubo verde-milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho Escuro. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.32, p.649-654, 1997.
- SPOSITO, G. **The chemistry of soil**. New York: Oxford University, 1989. 277p.
- STEVENSON, F.J. **Cycles of: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 380p.

STEVENSON, F.J., FITCH, A. Chemistry of complexation of metal ions with soil solution organics. In: HUANG, P.M., SCHNITZER, M. (Eds.) **Interaction of soil minerals with natural organics and microbes.** Madison: SSSA Spec. Publ. n° 17, WI. 1986. p.29-53.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions.** New York: John Wiley & Sons, 1994.

TRAINA, S.J., SPOSITO, G., HESTERBERG, D., KAFKAFI, U. Effects of pH and organic acids on orthophosphate solubility in an acidic, montmorillonitic soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.50, p.45-51, 1986.

VIOLANT, A., GIANFREDA, L. Competition in adsorption between phosphate and oxalate on aluminium hydroxide montmorillonite complex. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.57, p.1235-1241, 1993.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Quadro 1A - Análise de variância do fósforo total (Pt), do fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po), do alumínio (Al) e do ferro (Fe) em amostras de solos, após agitação, que receberam doses de ácidos orgânicos e dose de fósforo em diferentes formas de aplicação

FV	GL	Quadro Médio				
		Pt	Pi	Po	Al	Fe
Solos	1	21121**	15672**	405,8**	2261**	18366**
Ácidos d/ LV	3	271,02**	247,61**	4,19**	4646**	9809**
Ácidos d/ LVA	3	1126**	684**	58,51**	1030**	429**
Època d/ AC d/ LV	2	3339**	86,59**	95,36**	356,9**	1959**
Època d/ AO d/ LV	2	289,8**	32,52**	145,8**	98,92**	181,7**
Època d/ AH d/ LV	2	120,0**	1,42**	127,8**	22,08**	98,83**
Època d/ AS d/ LV	2	154,8**	32,77**	88,90**	6,030**	25,26**
Època d/ AC d/ LVA	2	1369**	967,87**	652,9**	104,4**	2,480**
Època d/ AO d/ LVA	2	1156**	709,44**	423,7**	1,752**	28,32**
Època d/ AH d/ LVA	2	1043**	998,28**	157,7**	0,134	1,666**
Època d/ AS d/ LVA	2	690,0**	538,24**	230,8**	2,909**	0,023
Dose d/ AC d/ FAA d/ LV	5	23,79**	14,72**	1,113**	588,2**	300,9**
Dose d/ AC d/ FAJ d/ LV	5	76,54**	54,94**	6,467**	440,3**	612,1**
Dose d/ AC d/ FAD d/ LV	5	59,71**	44,30**	4,539**	977,8**	1198**
Dose d/ AO d/ FAA d/ LV	5	12,79**	8,113**	0,611*	159,0**	316,3**
Dose d/ AO d/ FAJ d/ LV	5	42,60**	18,57**	7,336**	90,65**	1776**
Dose d/ AO d/ FAD d/ LV	5	14,17**	16**	0,396**	243,2**	1687**
Dose d/ AH d/ FAA d/ LV	5	1,579**	0,799*	0,291	0,094	13,79**
Dose d/ AH d/ FAJ d/ LV	5	5,627**	0,856*	3,958**	0,077	0,279
Dose d/ AH d/ FAD d/ LV	5	1,335**	0,126	0,895*	2,413**	154,6**
Dose d/ AS d/ FAA d/ LV	5	0,911*	0,588*	0,133**	1,805**	1,575**
Dose d/ AS d/ FAJ d/ LV	5	4,471**	2,481**	9,427**	1,817**	0,032
Dose d/ AS d/ FAD d/ LV	5	3,82**	8,827**	2,740**	6,561**	15,87**
Dose d/ AC d/ FAA d/ LVA	5	58,08**	31,14**	5,589**	42,67**	19,71**
Dose d/ AC d/ FAJ d/ LVA	5	349,1**	67,76**	114,9**	87,04**	29,38**
Dose d/ AC d/ FAD d/ LVA	5	569,6**	380,7**	26,02**	195,9**	20,77**
Dose d/ AO d/ FAA d/ LVA	5	53,80**	28,75**	4,577**	60,21**	66,72**
Dose d/ AO d/ FAJ d/ LVA	5	249,8**	56,98**	78,87**	49,90**	65,69**
Dose d/ AO d/ FAD d/ LVA	5	85,29**	30,94**	14,80**	40,42**	159,4**

Dose d/ LVA	AH d/ LVA	FAA d/ LVA	5	6,498**	1,047**	4,061**	0,015	0,498
Dose d/ LVA	AH d/ LVA	FAJ d/ LVA	5	48,74**	4,553**	31,65**	0,427	0,000
Dose d/ LVA	AH d/ LVA	FAD d/ LVA	5	271,5**	51,06**	91,59**	0,164	1,545**
Dose d/ LVA	AS d/ LVA	FAA d/ LVA	5	9,189**	8,217**	0,382**	5,669**	0,015
Dose d/ LVA	AS d/ LVA	FAJ d/ LVA	5	46,21**	1,822**	39,43**	1,558**	0,004
Dose d/ LVA	AS d/ LVA	FAD d/ LVA	5	15,23**	9,948**	5,597**	3,602**	0,002
Resíduo			144	0,22	0,14	0,14	0,19	0,23
CV (%)				2,37	2,50	8,12	5,70	4,30

FAA = aplicação de fósforo antes da aplicação de ácido orgânico; FAJ = aplicação de fósforo e ácido orgânico juntos; FAD = aplicação de fósforo depois da aplicação de ácido orgânico.

* e ** Significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 2A - Concentração de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) na solução do solo após a agitação com diferentes ácidos orgânicos, em diferentes relações molares e dose constante de fósforo, em diferentes formas de aplicação para o LV

Variável	Relação 1/ Molar	AC			AO			AH			AS		
		FAA	FAJ	FAD	FAA	FAJ	FAD	FAA	FAJ	FAD	FAA	FAJ	FAD
mg L ⁻¹													
Pt	0,00 : 1,0	5,94	10,25	9,40	5,94	10,25	9,40	5,94	10,25	9,40	5,94	10,25	9,40
	0,50 : 1,0	7,57	18,81	10,75	5,71	15,25	6,10	5,71	15,25	6,10	7,25	14,75	5,25
	0,75 : 1,0	8,49	19,00	9,70	7,14	16,50	9,80	7,14	16,50	9,80	6,00	13,56	6,85
	1,00 : 1,0	10,10	22,63	11,70	8,18	19,69	10,65	8,18	19,69	10,65	6,01	13,13	6,40
	1,50 : 1,0	13,09	24,06	19,40	10,06	20,56	12,70	10,06	20,56	12,70	6,42	12,50	6,90
	2,00 : 1,0	15,03	28,50	22,05	12,21	23,31	13,60	12,21	23,31	13,60	7,45	13,19	6,30
Média época		10,04	20,54	13,83	8,21	17,59	10,38	7,36	13,13	8,01	6,51	12,90	6,85
Média Ácido org.				14,80			12,06			9,50			8,75
Pi	0,00 : 1,0	4,97	6,19	7,12	4,97	6,19	7,12	4,97	6,19	7,12	4,97	6,19	7,12
	0,50 : 1,0	6,34	9,84	9,21	4,90	8,35	4,72	6,46	5,72	6,50	6,14	4,95	2,16
	0,75 : 1,0	6,81	12,36	9,12	6,23	9,38	8,31	6,10	5,87	6,68	5,35	6,17	3,78
	1,00 : 1,0	8,04	14,12	9,74	7,18	10,03	9,66	6,26	6,03	6,74	4,90	6,14	2,52
	1,50 : 1,0	10,56	17,76	14,51	8,21	12,41	11,34	6,28	6,27	6,67	5,25	8,38	1,23
	2,00 : 1,0	12,13	20,62	19,18	10,11	14,83	12,44	6,84	7,54	7,09	6,09	6,52	2,25
Média época		8,14	13,48	11,48	6,93	10,20	8,93	6,15	6,27	6,80	5,45	6,39	3,18
Média Ácido org.				11,03			8,68			6,40			5,00
Po	0,00 : 1,0	0,97	4,06	2,28	0,97	4,06	2,28	0,97	4,06	2,28	0,97	4,06	2,28
	0,50 : 1,0	1,23	8,97	1,54	0,82	6,90	1,38	0,80	7,03	1,65	1,11	9,80	3,09
	0,75 : 1,0	1,68	6,64	0,58	0,91	7,12	1,49	1,03	7,38	0,57	0,65	7,39	3,07
	1,00 : 1,0	2,06	8,51	1,96	1,00	9,66	0,99	1,09	7,66	1,01	1,11	6,99	3,88
	1,50 : 1,0	2,53	6,30	4,89	1,85	8,15	1,36	1,52	7,17	0,53	1,17	4,12	5,67
	2,00 : 1,0	2,90	7,88	2,87	2,10	8,49	1,16	1,81	7,87	1,21	1,36	6,67	4,05
Média época		1,90	7,06	2,35	1,28	7,40	1,44	1,20	6,86	1,21	1,06	6,51	3,67
Média Ácido org.				3,77			3,37			3,09			3,74

^{1/} Relação molar ácido orgânico:fósforo; FAA= aplicação de fósforo antes da aplicação de ácido orgânico; FAJ = aplicação de fósforo e ácido orgânico juntos; FAD = aplicação de fósforo depois da aplicação de ácido orgânico; AC = ácido cítrico; AH = ácidos húmicos; AO = ácido oxálico; AS= ácido salicílico; Relação solo:solução 1:10.

Quadro 3A - Concentração de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) na solução do solo após a agitação com diferentes ácidos orgânicos, em diferentes relações molares e dose constante de fósforo, em diferentes formas de aplicação para o LVA

Variável	Relação Molar ^{1/}	AC			AO			AH			AS		
		FAA	FAJ	FAD	FAA	FAJ	FAD	FAA	FAJ	FAD	FAA	FAJ	FAD
		mg L ⁻¹											
Pt	0,00 : 1,0	14,64	14,58	15,20	14,64	14,58	15,20	14,64	14,58	15,20	14,64	14,58	15,20
	0,50 : 1,0	19,60	40,25	28,95	13,83	32,56	31,65	15,51	23,78	29,70	10,22	25,38	24,75
	0,75 : 1,0	21,53	44,06	42,05	18,18	35,13	35,35	15,28	24,69	30,55	13,80	26,31	27,60
	1,00 : 1,0	23,70	45,44	51,40	20,13	38,09	38,25	18,00	25,50	29,00	14,69	26,59	29,45
	1,50 : 1,0	26,48	47,44	52,95	23,20	42,00	42,40	16,61	27,25	33,75	15,47	26,50	30,75
	2,00 : 1,0	30,05	51,25	60,10	27,43	45,56	46,30	19,30	28,44	58,60	16,43	26,69	32,85
Média época		22,67	40,50	41,78	19,57	35,92	36,86	16,56	24,04	32,80	14,21	24,34	26,77
Média Ácido org.				34,98			30,78			24,46			21,77
Pi	0,00 : 1,0	14,04	13,90	15,06	14,04	13,90	15,06	14,04	13,90	15,06	14,04	13,90	15,06
	0,50 : 1,0	18,42	22,78	27,96	12,73	20,08	28,54	15,35	13,45	26,97	9,51	13,78	21,85
	0,75 : 1,0	20,18	25,87	39,83	16,80	21,97	31,80	14,56	15,27	30,07	12,02	14,20	24,15
	1,00 : 1,0	21,90	28,15	43,88	18,42	24,35	33,72	16,11	15,30	28,86	13,61	14,53	25,75
	1,50 : 1,0	23,86	28,65	48,81	20,58	25,70	36,45	14,69	16,67	31,03	14,39	15,60	25,33
	2,00 : 1,0	24,79	29,20	51,05	22,64	29,48	37,36	15,23	17,33	40,83	15,01	16,11	27,41
Média época		20,53	24,76	37,77	17,54	22,58	30,49	15,00	15,32	28,80	13,10	14,69	23,26
Média Ácido org.				27,68			23,53			19,70			17,01
Po	0,00 : 1,0	0,60	0,68	0,14	0,60	0,68	0,14	0,60	0,68	0,14	0,60	0,68	0,14
	0,50 : 1,0	1,18	17,47	0,99	1,09	14,48	3,11	0,16	10,33	2,73	0,72	11,59	2,90
	0,75 : 1,0	1,34	18,20	2,22	1,37	15,16	3,55	0,71	9,42	0,48	1,78	12,11	3,45
	1,00 : 1,0	1,80	17,29	7,52	1,71	16,34	4,53	1,89	10,20	0,14	1,08	12,05	3,70

1,50 : 1,0	2,61	18,79	4,14	2,62	17,30	5,95	1,92	10,58	2,72	1,08	10,90	5,42
2,00 : 1,0	5,26	22,05	9,05	4,79	16,08	8,66	4,07	11,10	17,77	1,41	10,58	5,44
Média época	2,13	15,75	4,01	2,03	13,34	4,32	1,56	8,72	4,00	1,11	9,65	3,51
Média Ácido org.		7,29			6,53			4,76			4,75	

^{1/} Relação molar ácido orgânico:fósforo; FAA= aplicação de fósforo antes da aplicação de ácido orgânico; FAJ = aplicação de fósforo e ácido orgânico juntos; FAD = aplicação de fósforo depois da aplicação de ácido orgânico; AC = ácido cítrico; AH = ácidos húmicos; AO = ácido oxálico; AS = ácido salicílico; Relação solo:solução 1:10.

Quadro 4A - Equações da concentração de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) em mg/L, em função das doses de ácidos orgânicos, em diferentes formas de aplicação de ácidos orgânicos, para o LV

Variável Tratamento		Equação de regressão	R ²
Pt	AC d\ FAA	$\hat{y} = 5,966 + 0,859X + 4,735*X^2 - 1,447*X^3$	0,998
	AC d\ FAJ	$\hat{y} = 10,313 + 21,901**X - 14,495**X^2 + 4,025**X^3$	0,984
	AC d\ FAD	$\hat{y} = 9,745 + 7,770**X + 14,839**X^2 - 3,903**X^3$	0,956
	AO d\ FAA	$\hat{y} = 5,857 - 1,771X + 5,240**X^2 - 1,391*X^3$	0,989
	AO d\ FAJ	$\hat{y} = 10,347 + 10,428**X - 2,044**X^2$	0,981
	AO d\ FAD	$\hat{y} = 9,379 - 31,091**X^{0,5} + 53,018**X - 20,518**X^{1,5}$	0,961
	AH d\ FAA	$\hat{y} = 6,212 + 1,192**X$	0,919
	AH d\ FAJ	$\hat{y} = 10,21 + 8,765**X - 8,052**X^2 + 2,479**X^3$	0,990
	AH d\ FAD	$\hat{y} = 9,422 - 3,540**X + 1,472**X^2$	0,895
	AS d\ FAA	$\hat{y} = 5,947 + 12,404**X^{0,5} - 22,894**X + 10,553**X^{1,5}$	0,880
	AS d\ FAJ	$\hat{y} = 10,253 + 24,546**X^{0,5} - 35,962**X + 14,201**X^{1,5}$	0,994
	AS d\ FAD	$\hat{y} = 9,390 - 20,122**X^{0,5} + 28,980**X - 11,546**X^{1,5}$	0,930
	Pi	AC d\ FAA	$\hat{y} = 5,018 + 0,582X + 3,572*X^2 - 1,038^0X^3$
AC d\ FAJ		$\hat{y} = 6,470 + 7,315**X$	0,994
AC d\ FAD		$\hat{y} = 6,139 + 15,023**X^{0,5} - 27,531**X + 16,651**X^{1,5}$	0,991
AO d\ FAA		$\hat{y} = 4,744 - 1,286*X + 0,710**X^2$	0,964
AO d\ FAJ		$\hat{y} = 6,117 + 4,256**X$	0,996
AO d\ FAD		$\hat{y} = 7,10 - 29,234**X^{0,5} + 52,045**X - 20,380**X^{1,5}$	0,969
AH d\ FAA		$\hat{y} = 5,010 + 4,177**X + 4,173**X^2 + 1,274*X^3$	0,938
AH d\ FAJ		$\hat{y} = 6,910 - 1,230*X + 0,936**X^2$	0,967
AH d\ FAD		$\hat{y} = 7,059 - 0,944X + 0,479^0X^2$	0,762
AS d\ FAA		$\hat{y} = 4,973 + 11,791**X^{0,5} - 21,349**X + 9,618**X^{1,5}$	0,950
AS d\ FAJ		$\hat{y} = 6,205 - 7,104**X + 11,513**X^2 - 3,935**X^3$	0,907

	AS d\FAD	$\hat{Y} = 6,716 - 7,102**X + 2,431**X^2$	0,812
Po	AC d\FAA	$\hat{Y} = 0,906 + 1,031**X$	0,975
	AC d\FAJ	$\hat{Y} = 4,062 + 24,39**X^{0,5} - 35,291**X + 14,063**X^{1,5}$	0,782
	AC d\FAD	$\hat{Y} = 3,44 - 12,557**X + 16,757**X^2 - 5,295**X^3$	0,866
	AO d\FAA	$\hat{Y} = 0,895 - 0,237X + 0,451^0X^2$	0,916
	AO d\FAJ	$\hat{Y} = 4,071 + 6,702**X - 2,305**X^2$	0,860
	AO d\FAD	$\hat{Y} = 2,199 - 1,547**X + 0,541^0X^2$	0,815
	AH d\FAA	$\hat{Y} = 0,736 + 0,487**X$	0,833
	AH d\FAJ	$\hat{Y} = 4,052 + 9,575**X - 8,379**X^2 + 2,271**X^3$	0,996
	AH d\FAD	$\hat{Y} = 2,363 - 2,596**X + 0,993**X^2$	0,829
	AS d\FAA	$\hat{Y} = \bar{x} = 1,01$	
	AS d\FAJ	$\hat{Y} = 4,048 + 43,741**X^{0,5} - 70,616**X + 28910**X^{1,5}$	0,937
	AS d\FAD	$\hat{Y} = 2,378 - 2,225**X + 6,576**X^2 - 2,512**X^3$	0,919

FAA= aplicação de fósforo antes da aplicação de ácido orgânico; FAJ = aplicação de fósforo e ácido orgânico juntos; FAD = aplicação de fósforo depois da aplicação de ácido orgânico; AC = ácido cítrico; AH = ácidos húmicos; AO = ácido oxálico; AS = ácido salicílico.

o, * e ** Significativos a 10, 5 e 1%, respectivamente.

Quadro 5A - Equações da concentração de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) em mg/L, em função das doses de ácidos orgânicos, em diferentes formas de aplicação de ácidos orgânicos, para o LVA

Variável	Tratamento	Equação de regressão	R ²
Pt	AC d\FAA	$\hat{Y} = 14,769 + 9,881**X - 1,171**X^2$	0,997
	AC d\FAJ	$\hat{Y} = 14,775 + 74,030** - 57,051**X^2 + 14,60**X^3$	0,997
	AC d\FAD	$\hat{Y} = 28,713 - 188,002**X^{0,5} - 351,935**X - 144,76**X^{1,5}$	0,899
	AO d\FAA	$\hat{Y} = 14,610 - 22,342**X^{0,5} + 40,861**X - 13,312**X^{1,5}$	0,982
	AO d\FAJ	$\hat{Y} = 14,746 + 53,447**X - 35,950**X^2 + 8,478**X^3$	0,996
	AO d\FAD	$\hat{Y} = 26,260 + 2,507**X - 0,139**X^2$	0,998
	AH d\FAA	$\hat{Y} = 14,479 + 2,167**X$	0,748
	AH d\FAJ	$\hat{Y} = 14,719 + 24,314**X - 17,299**X^2 + 4,301**X^3$	0,990
	AH d\FAD	$\hat{Y} = 28,758 + 15,646**X - 30,856**X^2 + 15,230**X^3$	0,996
	AS d\FAA	$\hat{Y} = 14,611 - 31,835**X^{0,5} + 52,050**X - 20,361**X^{1,5}$	0,902
	AS d\FAJ	$\hat{Y} = 14,694 + 31,259**X - 25,241**X^2 + 6,317**X^3$	0,993
	AS d\FAD	$\hat{Y} = 28,928 - 29,856**X^{0,5} + 46,659**X - 16,779**X^{1,5}$	0,964
Pi	AC d\FAA	$\hat{Y} = 14,006 + 10,119**X - 2,360**X^2$	0,999
	AC d\FAJ	$\hat{Y} = 13,810 + 24,698**X - 13,272**X^2 + 2,374**X^3$	0,996
	AC d\FAD	$\hat{Y} = 27,776 - 170,84**X^{0,5} + 319,34**X - 132,839**X^{1,5}$	0,901
	AO d\FAA	$\hat{Y} = 14,015 - 26,944**X^{0,5} + 50,306**X - 19,152**X^{1,5}$	0,976
	AO d\FAJ	$\hat{Y} = 13,830 + 17,255**X - 10,066**X^2 + 2,665**X^3$	0,995
	AO d\FAD	$\hat{Y} = 29,04 - 2,571**X + 1,552**X - 0,143**X^3$	0,995
	AH d\FAA	$\hat{Y} = 14,176 + 1,915**X - 0,755**X^2$	0,460
	AH d\FAJ	$\hat{Y} = 13,891 + 30,039**X^{0,5} - 31,975**X + 11,316**X^{1,5}$	0,958
	AH d\FAD	$\hat{Y} = 27,689 + 4,639**X - 8,153**X^2 + 4,538**X^3$	0,957

	AS d\ FAA	$\hat{y} = 14,023 - 32,299**X^{0,5} + 51,488**X - 19,986**X^{1,5}$	0,962
	AS d\ FAJ	$\hat{y} = 13,899 - 1,501X + 3,083^0X^2 - 0,889^0X^3$	0,998
	AS d\ FAD	$\hat{y} = 27,928 - 29,026**X^{0,5} + 40,220**X - 14,259**X^{1,5}$	0,881
Po	AC d\ FAA	$\hat{y} = 0,583 + 2,074^0 - 2,155*X^2 + 1,140*X^3$	0,997
	AC d\ FAJ	$\hat{y} = 0,669 + 60,924**X^{0,5} - 71,845**X + 27,894**X^{1,5}$	0,998
	AC d\ FAD	$\hat{y} = 0,936 - 17,160**X^{0,5} + 32,592**X - 11,924**X^{1,5}$	0,710
	AO d\ FAA	$\hat{y} = 0,707 - 0,002X + 0,9871**X^2$	0,986
	AO d\ FAJ	$\hat{y} = 0,690 + 26,245**X^{0,5} - 9,736**X - 0,737**X^{1,5}$	0,997
	AO d\ FAD	$\hat{y} = 2,562 + 4,77**X - 1,294**X^2 + 0,135**X^3$	0,998
	AH d\ FAA	$\hat{y} = 0,155 + 1,789**X$	0,804
	AH d\ FAJ	$\hat{y} = 0,688 + 30,039**X^{0,5} + 31,975**X + 11,316**X^{1,5}$	0,991
	AH d\ FAD	$\hat{y} = 1,069 + 11,006**X - 22,702**X^2 + 10,691**X^3$	0,997
	AS d\ FAA	$\hat{y} = 1,482 + 2,251**X$	0,932
	AS d\ FAJ	$\hat{y} = 0,667 + 31,464**X^{0,5} - 27,361**X + 7,083**X^{1,5}$	0,998
	AS d\ FAD	$\hat{y} = 0,956 + 3,9028X - 0,809**X^2$	0,975

FAA= aplicação de fósforo antes da aplicação de ácido orgânico; FAJ = aplicação de fósforo e ácido orgânico juntos; FAD = aplicação de fósforo depois da aplicação de ácido orgânico; AC = ácido cítrico; AH = ácidos húmicos; AO = ácido oxálico; AS = ácido salicílico.

o, * e ** Significativos a 10, 5 e 1%, respectivamente.