

## **DIFUSÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DE ALAGOAS INFLUENCIADA POR FONTES DO ELEMENTO E PELA UMIDADE**

*José Paulo Vieira da Costa*  
Professor Adjunto CECA / UFAL.  
E-mail: jpvc@fapeal.br

*Adelmo Lima Bastos*  
Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Agronomia – ITERAL-AL  
E-mail: jandrec.s@bol.com.br

*Lígia Sampaio Reis*  
Professora Adjunto CECA / UFAL.  
E-mail: jandrec.s@bol.com.br

*Gustavo de Oliveira Martins*  
Engenheiro Agrônomo, CECA/UFAL  
E-mail: jpvc@fapeal.br

*Alberto Felipe dos Santos*  
Engenheiro Agrônomo, CECA/UFAL  
E-mail: jpvc@fapeal.br

**RESUMO** - O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas com o objetivo de avaliar o efeito de diversas fontes de fósforo, com diferentes níveis de umidade sobre o fluxo difusivo do fósforo em amostras de solos do Estado de Alagoas. Foram utilizadas amostras de quatro solos de diversas localidades. As fontes de P utilizadas foram o  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , o  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  e o  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , considerando-se dois níveis de umidade (40% e 80% da capacidade de campo dos solos). O ensaio consistiu em um arranjo fatorial ( $4 \times 3 \times 2$ ), correspondendo, respectivamente, a quatro solos, três fontes de fósforo e dois níveis de umidade, com quatro repetições, em blocos casualizados. Como unidades experimentais, foram utilizados anéis de PVC. A dose de fósforo correspondeu a 50% da capacidade máxima de adsorção do fósforo. Para avaliação do fluxo difusivo, foi utilizado papel de troca aniônica (PA). O PA foi preparado utilizando-se papel-filtro imerso em solução de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  e, em seguida, transferido para uma solução de  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Depois de secas, as folhas foram cortadas em tiras e colocadas nas amostras de solo. A estimativa da difusão foi realizada pela quantificação do fósforo adsorvido ao PA. De modo geral, o fluxo difusivo aumentou com a diminuição do teor de argila dos solos e com o maior conteúdo de água e a fonte  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  favoreceu uma maior difusão.

**Palavras-chave:** Fluxo difusivo, íon acompanhante, água

## **DIFFUSION OF PHOSPHORUS IN SOILS OF ALAGOAS INFLUENCED BY SOURCES OF THE ELEMENT AND THE MOISTURE**

**ABSTRACT** - The experiment was conducted at the Soil Laboratory of the Center for Agrarian Sciences, Federal University of Alagoas to evaluate the effect of different sources of phosphorus, with different levels of humidity on the diffusive flux of phosphorus in soil samples from the State of Alagoas. Samples of four soils from different locations were used. The P sources used were the  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  and  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , considering two levels of humidity (40% and 80% of field capacity of soil). The test consisted of a factorial arrangement ( $4 \times 3 \times 2$ ), corresponding, respectively, the four soils, three sources of phosphorus and two levels of moisture, with four replications in randomized blocks. As experimental units were used rings of PVC. The dose of phosphorus was 50% of maximum capacity for adsorption of phosphorus. To evaluate the diffusive flux, were used anion-exchange paper (PA). The PA was prepared using a filter paper immersed in solution of  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  and then transferred to a solution of  $\text{NH}_4\text{OH}$ . After dried, the leaves were cut into strips and placed in the soil samples. The estimate of the diffusion was performed by quantification of phosphorus adsorbed to the PA. In general, the diffusive flux increased with the decrease in clay content of soils and the higher water content and the source  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  favored greater diffusion.

**Keywords:** diffusive flux, ion companion, water

## INTRODUÇÃO

A difusão é o principal mecanismo de transporte do fósforo no solo, sendo influenciada por vários fatores, tais como a interação fósforo-colóide no solo, o teor do elemento, o conteúdo volumétrico de água no solo e a distância a ser percorrida até as raízes. A forte interação do fósforo com os colóides do solo faz com que seja registrado baixo valor de transporte de fósforo no solo, especialmente em solos tropicais muito intemperizados (Costa, 1998). Embora o processo de difusão do fósforo seja complexo, pesquisas conduzidas com outros ânions, como o sulfato, têm demonstrado que o cátion acompanhante pode determinar a maior ou menor mobilidade desses ânions no solo. Desta forma, pode-se levantar a hipótese de que a difusão de fósforo no solo possa ser determinada pelo cátion acompanhante.

A baixa disponibilidade de fósforo é considerada a principal limitação da produção agrícola em condições úmidas, tropicais e subtropicais. A maioria dos ambientes naturais apresenta condições subestimadas relacionadas aos recursos, principalmente, no que diz respeito ao fósforo (López-Bucio et al., 2000; Hinsinger, 2001; Fan et al., 2003).

Segundo Andrade et al. (2003) e Azevedo et al. (2004), o aumento do intemperismo provoca mudança gradual em algumas características do solo, tornando-o mais eletropositivo e com maior capacidade de adsorver ânions, como o fosfato.

O fluxo difusivo de fósforo no solo tem sido estimado diretamente pela utilização de resina de troca iônica (Amer et al., 1995) e pelo uso de papel-filtro impregnado com óxidos de ferro e de alumínio (Van der Zee et al., 1987; Menon et al., 1989). A restrição ao uso da resina granulada deve-se à dificuldade de operacionalização, principalmente pela dificuldade de separação das partículas do solo, o que tem sido contornado com o uso da resina trocadora de íons em forma de membrana.

Elementos com grande afinidade para com a fase sólida do solo têm na difusão ou fluxo difusivo, o mecanismo de transporte predominante (Novais & Smyth, 1999). Adaptando-se a primeira Lei de Fick para estudos em solos, a difusão de fósforo passou a ser matematicamente definida pela equação (Nye, 1979):

$$D = D_1 \theta f \frac{dC_1}{dC} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo,  $D$  o coeficiente de difusão de fósforo no solo, em  $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ ;  $D_1$  é o coeficiente de difusão de fósforo em solução aquosa ( $0,89 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ , a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ );  $\theta$  é o conteúdo volumétrico de água no solo, em  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ;  $f$  é um fator de impedância, adimensional;  $C_1$  é a concentração de fósforo na solução do solo ( $I$ ) em mol

$\text{cm}^{-3}$ , e  $C$  é a concentração de fósforo adsorvido-lábil ( $Q$ ), em  $\text{mol cm}^{-3}$ .

A diferencial  $dC_1/dC$  é o inverso do fator capacidade do solo ( $\Delta Q/\Delta I$ ). O fator de impedância,  $f$ , depende, fundamentalmente, da tortuosidade do caminho seguido pelo soluto através dos poros.

Um dos fatores que mais contribuem para a adsorção de P no solo é o teor de argila, podendo ser considerado um índice adequado para avaliação da capacidade de adsorção do P (Andrade et al., 2003; Nunes et al., 2004; Silva et al., 2008).

Vários são os trabalhos que têm demonstrado que além da quantidade de argila, sua constituição mineralógica é de vital importância na adsorção de fósforo pelos solos, justificado pela energia de ligação entre o P e cada fração adsorvente (Motta et al., 2002). O movimento de fósforo no solo ocorre, principalmente, em função da sua elevada reatividade, podendo estar indisponível à planta (Shachtman et al., 1998) e, freqüentemente, em teor inferior ao adequado para diversas culturas (Hinsinger, 2001).

A influência do íon acompanhante no processo difusivo ainda é pouco estudada e apresenta controvérsias. Há uma relação direta entre a difusão de fósforo e a solubilidade da fonte do elemento em água. Os ânions podem ter seus coeficientes de difusão reduzidos em função da valência do cátion acompanhante.

Pesquisas relatam a existência de uma relação direta entre o coeficiente de difusão de fósforo no solo e o conteúdo volumétrico da água. Quando a umidade aumenta, o filme de água próximo das partículas do solo fica mais espesso, diminuindo a interação íon-colóide. O fator de impedância também aumenta como consequência da diminuição da tortuosidade da viscosidade da água (Ruiz, 1986). Contudo, em alguns solos tropicais tem-se observado que a quantidade de fósforo absorvida pelas plantas reduz drasticamente ainda em condições de umidade relativamente elevada, o que permite questionar a proporcionalidade direta entre o conteúdo de água do solo e a difusão de fósforo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes fontes de fósforo, com diferentes níveis de umidade sobre o fluxo difusivo deste elemento em amostras de solos de Alagoas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização dos solos

O experimento foi desenvolvido no laboratório de solos da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, no Centro de Ciências Agrárias, localizado no Campus Delza Gitaí, BR 104 Norte, Km 85, município de Rio Largo - AL. No ensaio, foram utilizadas amostras de quatro solos do Estado de Alagoas: Latossolo Amarelo coeso (LAc<sub>1</sub>),

camada de 0 a 20 cm, da região dos tabuleiros costeiros de Rio Largo-AL, Latossolo Amarelo coeso (LAc<sub>2</sub>), camada de 20 a 40 cm, da região dos tabuleiros costeiros de Rio Largo-AL, Argissolo acinzentado (PAc), camada de 0 a 20 cm, da região dos tabuleiros costeiros de Maceió-AL e Neossolo Flúvico (RU) do município de Craíbas-AL. Os solos foram classificados de acordo com EMBRAPA (1999). As amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneiras de malha de 2 mm de abertura e homogeneizadas, retirando-se, em seguida,

subamostras para caracterização química e física (EMBRAPA, 1997).

No Quadro 1, encontram-se os atributos químicos dos solos utilizados no ensaio e a caracterização física. O P remanescente foi determinado na solução de equilíbrio após agitação de uma amostra de solo de 5 cm<sup>3</sup> com 50 mL de solução de CaCl<sub>2</sub> mmol L<sup>-1</sup>, contendo 60 mg L<sup>-1</sup> de P, durante uma hora (Alvarez Venegas & Fonseca, 1990). A capacidade máxima de adsorção do P foi determinada de acordo com Novais & Kamprath (1979).

Quadro 1 – Atributos químicos e físicos dos solos utilizados

Atributos	LAc <sub>1</sub>	LAc <sub>2</sub>	PAc	RU
pH, H <sub>2</sub> O (1:2,5)	4,9	4,5	4,5	4,7
P (mg dm <sup>-3</sup> )	1,07	2,88	2,85	2,13
K (mg dm <sup>-3</sup> )	24	18	52	95
Na (mg dm <sup>-3</sup> )	10	10	28	20
Ca + Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,60	1,10	2,10	3,20
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,91	2,0	1,37	0,18
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,00	10,50	9,00	3,00
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,70	1,19	2,35	3,53
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,70	11,69	11,35	6,53
V (%)	19,03	10,18	20,75	54,06
m (%)	56,35	62,70	36,78	4,85
P remanescente (mg dm <sup>-3</sup> )	4,62	3,43	4,26	6,84
CMAP (mg dm <sup>-3</sup> )	771,71	796,19	782,88	739,46
Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	63	46	64	75
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	12	19	9	15
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	25	35	27	10

### Montagem do experimento

Como unidades experimentais, foram utilizados anéis de PVC com 5 cm de altura e 10 cm de diâmetro interno, com um volume útil de 300 cm<sup>3</sup> que serviram como câmara de difusão.

A dose de fósforo utilizada em todos os tratamentos correspondeu a 50% da capacidade máxima de adsorção do fósforo (CMAP). O elemento foi aplicado ao solo via solução, utilizando-se como fontes o fosfato de potássio monobásico (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), o fosfato de cálcio [Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] e o fosfato de amônio (NH<sub>4</sub> H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), considerando-se dois níveis de umidade (40% e 80% da capacidade de campo dos solos).

Para avaliação do fluxo difusivo de fósforo nos solos, foi utilizado papel de troca aniônica (PA). O PA foi preparado utilizando-se papel-filtro FRAMEX 389<sup>3</sup>, filtração lenta, de 11 cm de diâmetro, imerso em solução de FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O 0,4 mol L<sup>-1</sup>, por 15 segundos. Cada folha foi colocada sobre uma superfície lisa (vidro) para a eliminação do excesso de cloreto férrico. Isso foi feito, pressionando-se a folha tratada com outra ainda limpa, com o intuito de evitar a precipitação desuniforme do hidróxido de ferro. Em seguida, a folha tratada foi transferida para uma solução de NH<sub>4</sub>OH 2,7 mol L<sup>-1</sup>, também por 15 segundos, o que causou a imediata mudança da cor do papel, de amarelo para marron-

avermelhado, indicando a formação de hidróxido de ferro (Villani, 1995).

Ao ser retirado da solução de hidróxido de amônio, o papel foi lavado com água destilada e colocado para secar em varais, preso por pregadores de plástico. Depois de secas, as folhas tratadas foram cortadas em tiras de 10 cm<sup>2</sup>, fixadas lateralmente com fita adesiva à superfície de uma lâmina de microscópio, que serviu como suporte para o PA. Inicialmente, cada câmara de difusão recebeu metade do volume do solo das amostras com os tratamentos. O Papel Aniônico, com área de 10 cm<sup>2</sup> (5 cm x 2 cm), foi disposto horizontalmente e o volume restante do solo colocado na câmara.

### Avaliação do fluxo difusivo do fósforo

O fósforo adsorvido pelo PA foi extraído pela agitação do mesmo com 50 mL de uma solução de NH<sub>4</sub>Cl 0,8 mol L<sup>-1</sup> + HCl 0,2 mol L<sup>-1</sup> durante uma hora, em agitador horizontal a 270 rotações por minuto, utilizando metodologia descrita por Raij et al. (1991). A concentração de fósforo foi determinada de acordo com Braga & Defelipo (1974). A estimativa da difusão (fluxo difusivo) foi realizada pela quantificação do fósforo adsorvido ao PA, que correspondeu ao fósforo que atingiu o PA no período de 30 dias.

### Análises estatísticas

O ensaio consistiu em um arranjo fatorial (4 x 3 x 2), correspondendo, respectivamente, a quatro solos, três fontes de fósforo e dois níveis de umidade: 40 e 80% da capacidade de campo(CC), com quatro repetições, perfazendo um total de 24 tratamentos, com 96 unidades experimentais, em blocos casualizados. Além das análises de variância para os solos, as fontes de fósforo, os níveis de umidade e as interações, foi realizado o teste de média para a variável fluxo difusivo do P.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Fluxo difusivo do fósforo

As quantidades de fósforo adsorvidas ao PA fornecem uma estimativa da difusão (fluxo difusivo). De modo geral, o fluxo difusivo de fósforo variou com a fonte do elemento utilizada e com a umidade, nos quatro solos estudados (Quadros 2 e 3). Analisando-se o efeito da fonte de fósforo no fluxo difusivo deste elemento, percebe-se que os valores obtidos no solo mais arenoso (RU) foram superiores àqueles encontrados nos demais solos. O menor fluxo difusivo de fósforo no solo mais argiloso (LAc<sub>2</sub>) pode ser explicado, em parte, pela sua maior capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) (Quadro 1). Muitos são os trabalhos que mostram relação direta entre a adsorção de fósforo e o teor de argila dos solos (Bahia Filho et al., 1983; Costa, 1998; Rheinheimer et al., 2003; Bastos, 2006).

Os óxidos de ferro e de alumínio têm importante papel no processo de adsorção de fósforo. Os solos arenosos apresentam teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inferiores aos dos solos argilosos, o que pode explicar o maior fluxo difusivo de fósforo nos solos arenosos.

Ruiz et al. (1988) mencionam o fato de a concentração de fósforo na solução do solo decrescer devido sua adsorção em solos com maiores teores de argila e de óxidos de ferro e de alumínio. Bahia Filho et al. (1983), estudando a relação entre adsorção de fósforo e minerais componentes da fração argila de solos do Planalto Central, observaram que a goethita foi o componente da fração argila responsável por 86% das variações observadas na CMAP. Gonçalves (1988) observou, como tendência geral, maior concentração da forma de fósforo ligado a alumínio (P-Al) em relação à forma de fósforo ligado a ferro (P-Fe), provavelmente em decorrência da maior reatividade do alumínio em relação ao ferro, quanto ao fenômeno de adsorção de fósforo nos solos.

Almeida et al. (2003) e Azevedo et al. (2004) também referem-se aos óxidos de ferro e alumínio como sendo os constituintes da fração argila que mais influenciam a adsorção de fósforo, sendo esta mais pronunciada em solos com predominância de goethita. Além da quantidade de argila, sua constituição mineralógica é de vital importância na adsorção de fósforo pelos solos, justificado pela energia de ligação entre o P e a fração adsorvente (Motta et al., 2002).

O fosfato monoamônico (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) foi a fonte que, em relação às demais, proporcionou maior fluxo difusivo de fósforo (Quadro 3), seguida do fosfato de potássio (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) e o menor fluxo difusivo foi obtido com o fosfato monocálcico Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. Assim, esses resultados permitem afirmar que o cátion acompanhante do ânion interferiu no processo difusivo de fósforo no solo. Villani (1995), trabalhando com diversas fontes de fósforo em solos distintos, verificou os menores valores de fluxo difusivo quando foi aplicada a fonte CaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O.

Os fertilizantes fosfatados apresentam reações distintas quando aplicados ao solo devido a sua composição. A solução saturada que se produz na região de aplicação do fertilizante pode ter característica ácida ou alcalina, conforme o íon acompanhante do fosfato (Fassbender, 1986), gerando variações na carga e no potencial elétrico das superfícies de reação (Pardo et al., 1992). Qualquer alteração na força iônica da solução do solo, seja aumentando-a ou reduzindo-a, interfere na disponibilidade do íon fosfato devido às mudanças geradas nas superfícies de reação, favorecendo ou não a seletividade dessas superfícies pelo íon em questão.

Quando se aplica uma fonte solúvel de P em um solo, normalmente mais de 90% do aplicado é adsorvido na primeira hora de contato com o solo. Essa fase é seguida de uma bem lenta, representada pelos modelos exponenciais. A adsorção de P pelo solo apresenta um componente adicional à simples formação de P-lábil, que é a formação de P-não lábil correspondente à quantidade de fósforo adsorvida que não se encontra em equilíbrio com o P-solução.

A difusão de um íon no solo está diretamente relacionada com o conteúdo volumétrico de água, conforme expressado na própria equação do coeficiente de difusão (Eq.1), uma vez que esta umidade determina a fração da área ou o volume de solo em que ocorre o fluxo difusivo. Uma maneira indireta de a água afetar o coeficiente de difusão, seria sua influência no fator de impedância (Nye, 1979). Houve uma tendência de aumento da difusão com o conteúdo de água mais elevado (80% da CC), principalmente no solo mais arenoso.

Na literatura, são encontradas referências propondo aumentar a dose de fósforo para compensar um teor de água menor ou vice-versa. Ruiz (1986) refere-se à possibilidade de diminuição das doses de fósforo com o acréscimo do conteúdo de umidade do solo, de modo a manter o fluxo difusivo, enquanto Mahtab et al. (1971), considerando a relação entre o teor de fósforo e o conteúdo de água do solo, sugerem o aumento da quantidade de fósforo para compensar a diminuição do teor de água, visando à manutenção da difusão.

Maiores valores de fluxo difusivo foram observados nos solos mais arenosos, nos quais, o transporte de fósforo é favorecido, em comparação com os solos mais argilosos, com maior fator capacidade. Estes resultados estão de acordo com os

obtidos por Costa et al. (2006) e Silva et al. (2008). Segundo Novais et al. (2007), os solos argilosos, com menor fator de impedância e maior interação iônica, apresentam menor coeficiente de difusão para um mesmo conteúdo volumétrico de água,

porém, se o potencial for o mesmo, a difusão será maior no solo argiloso, devido ao seu maior conteúdo volumétrico de água para a mesma energia de retenção.

Quadro 2 – Análise de variância dos dados de fluxo difusivo de fósforo (P-difusão) e de pH do solo obtidos com a aplicação de diferentes fontes de P e níveis de umidade nos diversos solos

Fonte de variação	G. L.	Quadrados médios
		P-difusão
Blocos	3	0,069444 <sup>ns</sup>
Solo (S)	3	1,486111 <sup>**</sup>
Fonte (F)	2	11,906250 <sup>**</sup>
Nível (N)	1	1,041667 <sup>*</sup>
S vs F	6	0,392361 <sup>ns</sup>
S vs N	3	0,375000 <sup>ns</sup>
F vs N	2	0,072917 <sup>ns</sup>
S vs F vs N	6	0,031250 <sup>ns</sup>
Resíduo		0,145833
C.V. (%)		19,71

Quadro 3 – Fluxo difusivo avaliado pelo fósforo adsorvido ao PA, em amostras de solos, tratadas com diferentes fontes de fósforo e níveis de umidade

	Fontes						Média
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		
	40% CC	80% CC	40% CC	80% CC	40% CC	80% CC	
	-----mg dm <sup>-3</sup> de P-----						
Solos							
LAc <sub>1</sub>	2,00	2,00	1,25	1,25	2,25	2,50	1,88
LAc <sub>2</sub>	1,75	2,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,63
PAc	2,00	2,00	1,25	1,25	2,75	3,00	2,04
RU	1,75	2,25	1,50	2,00	2,50	3,25	2,21
Média	1,88	2,06	1,25	1,38	2,38	2,69	

## CONCLUSÕES

- 1 – O solo mais arenoso (Neossolo Flúvico) apresentou maiores valores de fluxo difusivo de P
- 2 – O fluxo difusivo de P foi maior na fonte NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>
- 3 – O maior conteúdo de água favoreceu a difusão de P

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J.; BARRON, V. **Química de solos com carga variável**. Piracicaba: ESALQ, 2003. 50p.
- ALVAREZ VENEGAS, V.H. & FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para a determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 14: 49-55,1990.
- AMER, F.; BOUNDIN, D. R.; BLACK, C.A.; DUKE, F.R. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and P- equilibration. **Plant Soil**, 4:391-408, 1995.
- ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V.H. & NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 27:1003-1011, 2003.
- AZEVEDO, W.R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.C. Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 28:995-1004, 2004.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 7:221-226, 1983.
- BASTOS, A.L. **Fluxo difusivo, desenvolvimento de milho e atributos do solo influenciados por doses de fósforo em solos do Estado de Alagoas**. 125f.: il. 2006. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Paraíba, Areia.

- BRAGA, J.M.; DEFELDI, R. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extratores de solos e plantas. **Revista Ceres**, 113:73-85, 1974.
- COSTA, J.P.V. da. **Fluxo difusivo de fósforo e de potássio em latossolos**. 67p. 1998. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- COSTA, J.P.V.; BARROS, N.F.; ALBUQUERQUE, A.W.; MOURA FILHO, G. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10: 828-835, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1999. 412p.
- FAN, M.; ZHU, J.; RICHARDS, C.; BROWN, K.M. & LYNCH, J.P. Physiological roles of aerenchyma in phosphorus-stressed roots. **Functional Plant Biology**, 30:493-506, 2003.
- FASSBENDER, H.W. **Química de suelos: com ênfase em suelos de América Latina**. San José, IICA, 1986. 398p.
- GONÇALVES, J.L.M. **Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil em amostras de solos de cerrado**. 62p. 1988. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- HINSINGUER, P. Biology availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, 237:173-195, 2001.
- LÓPEZ-BUCIO, J.L.; MARTÍNEZ DE LA VEJA, O.; GUEVARA-GARCÍA, A. & HERRERA-ESTRELLA L. Enhance phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. **Natural Biotechnology**, 18:450-453, 2000.
- LOW, P.F. Principles of ion diffusion in clays. In: DOWN, R.H.; RYAN, J.A.; VOLK, V.V.; BAKER, D.E. **Chemistry in the soil environment**, Madison, ASA and SSSA, 1981, P. 31 – 45.
- MAHTAB, S.K.; GODFREY, C.L.; SWOBODA, A.R.; THOMAS, G.W. Phosphorus diffusion in soils: I. The effect of applied P, clay content and water content. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.35, p.393-397, 1971.
- MENON, R.G.; HAMMOND, L.L. & SISSING, H.A. Determination of plant-available phosphorus by the iron hydroxide impregnated filter paper (Pi) teste. **Soil Science Society of America Journal**, 1:110-115, 1989.
- MOTTA, P.E.F.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; RAIJ, B.V.; FURTII NETO, A.E. & LIMA, J.M. Adsorção e Formas de Fósforo em Latossolos: Influência da Mineralogia e Histórico de Uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 26:349-359, 2002.
- NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999, 399p.
- NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C. **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- NOVAIS, R.F. & KAMPRATH, E.J. Parâmetros das isotermas de adsorção do fósforo como critério de recomendação de adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 3:37-41, 1979.
- NUNES, F.N.; NOVAIS, R.F.; SILVA I.R.; GEBRIM, F.O. & SÃO JOSÉ, J.F.B. Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 28:423-429, 2004.
- NYE, P.H. Diffusions of ions and uncharged solutes in soil and soil clays. **Advancis Agronomy** 31:225-272, 1979.
- PARDO, M.T.; GUADALIX, M.E.; GARCIA-GONZALEZ, M.T. Effect of pH and background electrolyte on P sorption by variable charge soils. **Geoderma**, 54: 275 – 284, 1992.
- RAIJ, B. Van. QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E. & LOPES, A.S. **Fertilidade do Solo e Adubação**. Piracicaba. Ceres, 1991. 343p.
- RHEINHEIMER, D. dos S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solos provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.6, p.1053-1059, 2003.
- RUIZ, H.A. **Efeito do conteúdo da água sobre o transporte de fósforo em dois Latossolos**. 1986. 86p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- RUIZ, H.A.; FERNANDES, B.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. Efeito do conteúdo de água sobre os níveis críticos de fósforo em dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 12:43-48, 1988.
- SCHACHTMAN, D.P.; REID, R.J. & AYLING, S.M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant Physiology**, 116:147-453, 1998.
- SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; SOUZA, C.M. Fluxo difusivo de fósforo e zinco influenciado pela compactação de dois latossolos. **Revista Ceres**. Viçosa, 55: 619-624, 2008.
- VAN der Zee, S.E.A.T.M.; FOKKINK, L.G.J. & VAN RIEMSDIJK, W.H.A. New technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. **Soil Science Society of America journal** 3:599-604, 1987.
- VILLANI, E.M.A. **Fluxo difusivo do fósforo influenciado por fontes e por tempo de contato do fósforo com o solo**. 57f. 1998. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.