

ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM MATERIAIS DE LATOSSOLO E ARGISSOLO

Lúcia Helena Garófalo Chaves

Profa. Titular, UFCG, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola CEP 58.109-970, Campina Grande-PB, e-mail: lhgarofalo@hotmail.com

Iêde de Brito Chaves

Prof. Adjunto, UFPB, Departamento de Solos e Engenharia Rural, CEP 58.397-000, Areia -PB, e-mail: iedebchaves@hotmail.com

Jacqueline da Silva Mendes

Mestranda, UFCG, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, CEP 58.109-970, Campina Grande-PB, e-mail: jacmendes@hotmail.com

RESUMO – Com o objetivo de determinar as características de adsorção de fósforo utilizando-se a isoterma de Langmuir, foi desenvolvido um estudo no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande, PB, com amostras da camada superficial (0 - 20 cm) de dois solos do Estado da Paraíba. Amostras de 2,5 g de TFSA (terra fina seca ao ar) foram mantidas em contato, mediante agitação por 24 horas, com soluções de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} (25 mL), contendo 0; 35; 45; 55; 70; 85 e 100 mg L^{-1} de P na forma de KH_2PO_4 . O fósforo foi analisado no sobrenadante para a determinação da quantidade adsorvida. Para avaliar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), os valores de adsorção foram ajustados à isoterma de Langmuir. O Argissolo foi que apresentou os maiores valores de CMAP e $\text{FCP}_{\text{máx}}$ e o Latossolo apresentou o maior valor de energia de adsorção. Os resultados revelaram que os atributos dos solos que influenciaram na adsorção de fósforo foram os teores de matéria orgânica e de argila e a saturação por bases.

Palavras Chave: isoterma de Langmuir, capacidade máxima de adsorção de fósforo

PHOSPHORUS ADSORPTION IN OXISOL AND ULTISOL MATERIALS

ABSTRACT – The objective of this paper was to determine the phosphorus adsorption characteristics using the Langmuir isotherm. The study was carried out in the Laboratório de Irrigação e Salinidade, of Universidade Federal de Campina Grande, PB, Brazil, with surface (0-20 cm) samples from two soils of Paraíba State. The soil samples (2,5 g) were mixed with a CaCl_2 0.01M (25 mL), with addition to 0; 35; 45; 55; 70; 85 and 100 mg L^{-1} of P as KH_2PO_4 and maintained in contact for 24 hours. The phosphorus was analyzed from the supernatant in order to determine the amount of P adsorbed by the soils. The maximum P adsorption capacity (MPAC) was determined for all soil through the linear model of the Langmuir equation. The Ultisol showed the highest values of the MPAC and P_mCF and the Oxisol showed the highest adsorption energy. The results showed that the soil attributes that had influenced on soil MPAC were soil organic matter and clay content and the base saturation.

Key Words: Langmuir isotherm, maximum capacity of adsorption of phosphorus

INTRODUÇÃO

O processo de adsorção pode ser entendido como a transferência reversível de íons entre a solução e a fase sólida do solo (McBRIDE, 1994), cuja magnitude depende da quantidade de constituintes com capacidade de sorver moléculas neutras ou carregadas eletricamente. Aquino (2004) define adsorção de fósforo como sendo o fenômeno no qual formas solúveis de P se tornam menos solúveis ou insolúveis ao entrarem em contato com a fase sólida do solo.

Vários estudos têm demonstrado que os principais fatores que influenciam a adsorção de fósforo no solo são: teor e mineralogia da fração argila, teor de

colóides amorfos, pH, alumínio trocável e matéria orgânica (NAKOS, 1987; MEHADI & TAYLOR, 1998; BRENNAN et al., 1994; KER et al., 1996; FONTES & WEED, 1996; NOVAIS & SMYTH, 1999).

A variação da capacidade máxima de adsorção de fósforo, conforme o teor de argila, é bastante observada em várias pesquisas (LEAL & VELLOSO, 1973; TUCCI, 1991), entretanto, nem sempre o solo com maior teor de argila possui o maior valor de capacidade máxima de adsorção. A explicação estaria na qualidade da argila, como sugerido por Bahia Filho (1982). Segundo Mello et al. (1989), em um mesmo tipo de argila, aquela que estiver saturada com íons de

maior valência apresentará uma maior capacidade de adsorção de fósforo.

A importância dos óxidos de ferro nos fenômenos de adsorção de fósforo pelo solo também é reconhecida por vários pesquisadores, no entanto, destacam o fato das argilas silicatadas apresentarem uma menor capacidade em adsorver P, em relação aos óxidos, sendo as argilas do tipo 1:1 as que, efetivamente, adsorvem fósforo (PLACE et al., 1968; KER, 1995; MOTTA, 1999; GAMA, 2002; BEDIN et al., 2003).

O papel desempenhado pela matéria orgânica na adsorção de fósforo é ambivalente e tem sido muito discutido, já que ela tanto pode adsorver o fósforo como também bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas e dos óxidos de ferro e alumínio (SANYAL & DE DATTA, 1991). A redução da adsorção de fósforo tem sido atribuída à ação do ácido carbônico sobre a solubilização de minerais contendo fósforo; à formação de complexos com o húmus, fazendo com que o fósforo possa ser absorvido pelas plantas; ao aumento da competição entre ânions orgânicos e o fosfato pelos sítios de adsorção de fósforo, e pela formação de camadas de húmus ao redor dos óxidos de Fe e Al, diminuindo o poder de adsorção desses óxidos (HOLFORD & MATTINGLY, 1975; BRADY, 1989; SILVA et al., 1997; ANDRADE et al., 2001; AQUINO, 2004). Por outro lado, alguns trabalhos têm indicado a existência de correlações positivas entre o teor de matéria orgânica e a adsorção de fósforo em razão, principalmente, do caráter aniônico da matéria orgânica que possibilita a formação de pontes de cátions com o Al, Fe e Ca a ela adsorvidos, e, por meio dessas pontes, o fósforo seria adsorvido (SANYAL & DEDATTA, 1991).

As relações de equilíbrio entre a quantidade de um elemento adsorvido e a quantidade remanescente na solução final podem ser descritas por isotermas de adsorção, as quais são úteis para quantificar a adsorção de íons no solo (OLSEN & WATANABE, 1957; ALLEONI, 1996; NOVAIS & SMYTH, 1999). Dentre os modelos de isotermas mais utilizados destaca-se a de Langmuir que foi utilizado pela primeira vez por Olsen & Watanabe (1957), para descrever a adsorção de P pelo solo. A maior vantagem dessa isoterma sobre as demais, é que a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e a constante relacionada com a energia de adsorção podem ser calculadas e estes valores podem ser relacionados com várias propriedades do solo, que fornecerão informações sobre a natureza da reação entre o solo e o fertilizante fosfatado (OLSEN & WATANABE, 1957; NOVAIS & SMYTH, 1999).

O Fator Capacidade de P Máximo (FCP_{máx}), proposto por Novais & Smyth (1999), que representa o poder tampão de um solo em relação às mudanças no fator intensidade (I) quando se adiciona ou se retira P do solo (Q), é definido pelo equilíbrio ou "ligação" entre a variação de quantidade e a variação de

intensidade(Q/I). Segundo estes autores, o FCP_{máx} integra uma medida de quantidade, capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e uma de qualidade ("energia de adsorção") ou, segundo Holford & Mattingly (1976), integra uma medida *extensiva* e uma *intensiva*, respectivamente.

Os Latossolos e Argissolos do Estado da Paraíba, como a grande maioria dos solos brasileiros, apresentam baixa disponibilidade de fósforo. Isto faz com que o estudo do comportamento desse elemento, principalmente em relação ao processo de adsorção que influencia diretamente na resposta das plantas à aplicação de fertilizantes, seja importante, com vistas a um adequado suprimento às plantas. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar os parâmetros de adsorção de fósforo (capacidade máxima de adsorção de fósforo, constante de energia de adsorção e fator capacidade de P máximo ou capacidade tampão máxima de P), com a equação de Langmuir, nos referidos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande. Para isto, foram coletadas amostras da camada superficial (0-20 cm) de duas classes de solos do Estado da Paraíba: Latossolo Vermelho-Amarelo, coletado no município de Areia, e Argissolo Vermelho-Amarelo, coletado no município de Alagoa Nova, cujas características químicas (Tabela 1) e físicas (Tabela 2) foram determinadas segundo método de análise da EMBRAPA (1997).

Para a determinação dos valores da capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), constante de energia de adsorção e o fator capacidade de P máximo (FCP_{máx}), foi utilizada a seguinte metodologia: amostras de 2,5 g de solo seco, passado em peneira de 2 mm, foram agitadas por 24 horas, à temperatura ambiente, em 25 mL de solução de CaCl₂ 0,01 M, contendo: 0, 35, 45, 55, 70, 85 e 100 mg L⁻¹ de P na forma de KH₂PO₄. Após o período de agitação, a suspensão foi centrifugada a 4500 rpm e filtrada. Em seguida, alíquotas do extrato totalmente límpido foram usadas para determinação do fósforo pelo método baseado no emprego do complexo fosfomolibdico usando o ácido ascórbico como redutor (BRAGA & DEFELIPO, 1974). O fósforo adsorvido foi calculado pela diferença entre as quantidades de fósforo adicionadas e as quantidades encontradas na solução de equilíbrio (sobrenadante), após o período de agitação.

A partir dos dados obtidos, construiu-se isotermas de adsorção, plotando-se a quantidade de fósforo adsorvido, na ordenada, e a concentração na solução de equilíbrio na abcissa. A forma hiperbólica da equação de Langmuir é dada pela seguinte expressão:

$$x/m = (abC)/(1 + aC)$$

em que x/m é a quantidade de P adsorvido ao solo, em mg P (x)/g solo (m); b é a CMAP do solo, em mg g⁻¹ de P no solo; C é a concentração de P na solução de equilíbrio (sobrenadante), em mg L⁻¹, e a é a constante relacionada com a energia de adsorção do elemento ao solo, em (mg L⁻¹)⁻¹ ou L mg⁻¹ (OLSEN & WATANABE, 1957).

Para estimativas das constantes a e b , a equação hiperbólica de Langmuir foi transformada em sua forma linear, que corresponde a:

$$C/(x/m) = 1/(ab) + (1/b)C$$

A capacidade máxima de adsorção do fósforo (b) foi determinada pelo valor inverso da declividade da reta, a constante de energia de adsorção (a) pela relação entre a declividade da reta e a interseção da mesma com o eixo das ordenadas e o fator capacidade de P máximo (FCP_{máx.}) pelo produto entre a capacidade máxima de adsorção de P e a energia de adsorção segundo Bahia Filho *et al.* (1983) e Novais & Smyth (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químicas dos solos (Tabela 1), interpretados segundo Lopes & Guidolin (1989), indicam, de acordo com os valores de pH, que os solos apresentam acidez elevada. Segundo os mesmos autores a soma de bases trocáveis dos solos pode ser classificada como média, uma vez que os valores encontrados estão acima de 2 cmol_c kg⁻¹; a capacidade de troca catiônica (CTC) como alta (> 10 cmol_c kg⁻¹); os teores de alumínio no Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo são classificados como sendo teor médio (0,4 a 1,0) e alto (>1,0), respectivamente, contribuindo para que os valores da saturação do complexo sortivo desses solos por alumínio também sejam classificados como médio (21 a 24%) e alto (41 a 60%); os teores de matéria orgânica no Argissolo Vermelho-Amarelo e no Latossolo Vermelho-Amarelo são considerados alto (>30 g kg⁻¹) e médio (16 a 30 g kg⁻¹), respectivamente, e o teor de fósforo disponível é considerado baixo nos dois solos (0 a 45 ppm).

Tabela 1. Características químicas das amostras dos solos estudados

Solo	pH H ₂ O (1:2,5)	Ca	Mg	K	Na	S	H	Al	CTC	P	MO	
		-----cmol _c kg ⁻¹ -----									mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Argissolo	4,00	1,06	1,37	0,10	0,12	2,65	7,91	1,00	11,56	0,83	31,80	
Latossolo	3,80	0,93	1,02	0,01	0,16	2,12	8,13	1,70	11,95	0,83	24,40	

Tabela 2. Características físicas das amostras dos solos estudados

Solo	Areia	Silte	Argila
	-----g kg ⁻¹ -----		
Argissolo	529,20	149,40	321,40
Latossolo	567,70	129,80	302,50

As isotermas de adsorção de fósforo (Figuras 1 e 2), correspondentes aos solos estudados, demonstraram que as quantidades de fosfatos adsorvidas pelos solos aumentaram com a

concentração da solução de equilíbrio. As formas destas isotermas são semelhantes as que foram encontradas por Falcão & Silva (2004) para Latossolos e Argilossolos da região Amazônica.

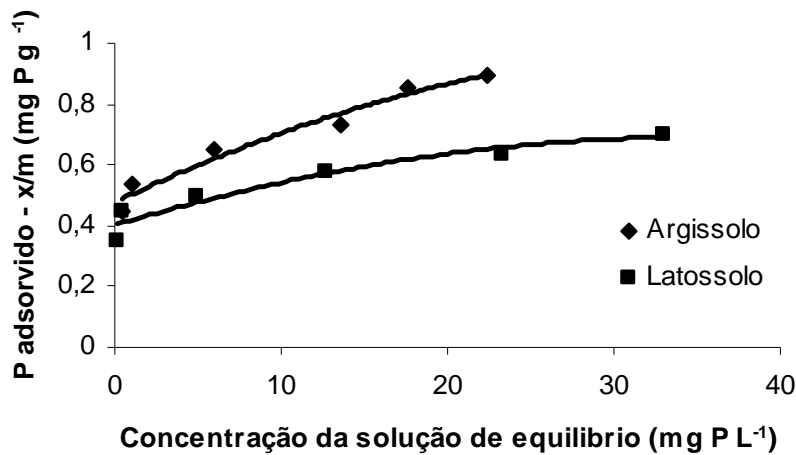


Figura 1. Isotermas de adsorção dos solos estudados

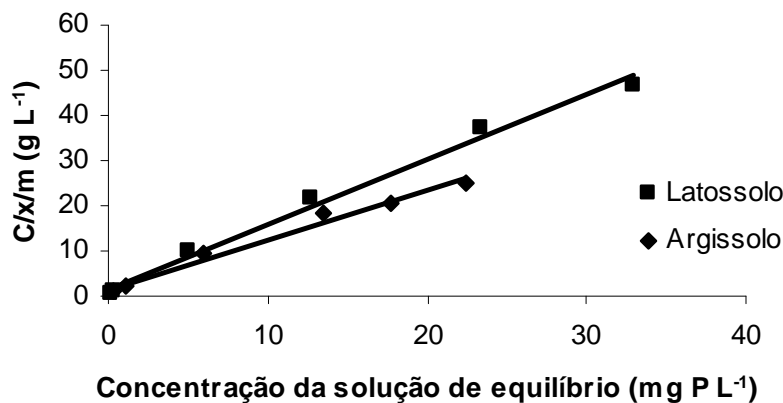


Figura 2. Isotermas de adsorção de Langmuir linearizadas dos solos estudados

As equações das isotermas de Langmuir e os resultados da capacidade máxima de adsorção de P, energia de adsorção e fator capacidade de P máximo para os solos estudados, são mostrados na Tabela 3.

Estes resultados variaram de um solo para outro sendo que esta variação pode estar diretamente ligada à composição do solo e indiretamente à influência de alguns dos componentes na retenção do fósforo.

Tabela 3. Equações da isoterma de Langmuir, capacidade máxima de adsorção de P, energia de adsorção e fator capacidade de P máximo para os solos estudados

Solo	Equação de Regressão	R ²	CMAP mg g ⁻¹	Energia de Adsorção L mg ⁻¹	FCP _{max} mL g ⁻¹
Argissolo	Y = 1,4402 + 1,1088X	0,98	0,9019	0,7698	694,3
Latossolo	Y = 1,6087 + 1,4397X	0,99	0,6946	0,8949	621,6

Embora o Latossolo Vermelho-Amarelo seja reconhecido como a classe de solo que possui a maior CMAP, neste trabalho esta tendência não foi

observada, concordando com Moreira et al. (2006). No entanto, ao contrário do que foi encontrado por estes autores e por Falcão & Silva (2004), o

Argissolo Vermelho-Amarelo foi o que mais adsorveu P apresentando uma CMAP igual a $0,9019 \text{ mg g}^{-1}$. Isto talvez possa ser justificado pelo fato de possuir maior teor de matéria orgânica uma vez que, as outras características que influenciam a CMAP, por exemplo, teor de fósforo disponível, CTC, pH, teor de argila, são semelhantes para os dois solos estudados. Correlação positiva entre a CMAP e o teor de matéria orgânica do solo já foi encontrada por diversos autores (GUILHERME et al., 1993; RHEINHEIMER et al., 2003; VALLADARES et al., 2003; MOREIRA et al., 2006). Segundo Wild (1950) citado por Moreira et al. (2006), a existência dessa correlação é porque os íons orgânicos carregados negativamente compartilham as valências dos cátions (Al^{3+} , Fe^{2+} e Ca^{2+}), fazendo pontes com os íons fosfato.

A presença das bases, como cálcio e magnésio, no complexo sortivo dos solos e, conseqüentemente em solução, pode influenciar na adsorção de fósforo pelo fato delas neutralizarem as cargas negativas do solo, diminuindo a repulsão deste elemento (MOREIRA et al., 2006). Assim sendo, pode-se supor que a saturação de bases do Argissolo Vermelho-Amarelo (22,92%) sendo maior que a do Latossolo Vermelho-Amarelo (17,74%), tenha contribuído para sua maior adsorção de P, concordando com o que foi observado por Pereira & Faria (1998).

Apesar de alguns trabalhos terem mostrado correlação positiva entre CMAP e teor de alumínio trocável (COLEMAN et al., 1960; SYERS et al., 1971; FALCÃO & SILVA, 2004), no presente estudo verificou-se que o solo com maior CMAP não é o que apresenta maior teor deste elemento, concordando com as observações feitas por Leal & Velloso (1973) e Moreira et al. (2006).

A magnitude da adsorção de P depende da natureza e da quantidade de sítios disponíveis na superfície dos minerais secundários, sendo, dentro de uma mesma mineralogia, afetada positivamente pelo maior conteúdo de argila, o que foi verificado por Sá Jr. et al. (1968), Leal & Velloso (1973), Lopes & Cox (1979), Tucci (1991), Pereira (1996), Valladares et al. (2003) e Falcão & Silva (2004). Entretanto, como sugerido por Bahia Filho (1982) e Mello et al. (1989), a qualidade da argila e a sua saturação por íons de maior valência são mais importantes do que o seu conteúdo fazendo com que solos, com o mesmo conteúdo de argila, apresentem diferentes capacidades de adsorção de fósforo. Na realidade, são as características apresentadas pelos minerais de argila que são capazes de alterar a relação que possa existir entre conteúdo e adsorção. No presente trabalho, apesar da diferença entre os conteúdos de argila dos solos estudados ter sido pequena, o que talvez não justificasse o Argiloso Vermelho Amarelo ter apresentado maior CMAP, mesmo assim, o seu maior conteúdo de argila juntamente com a maior saturação de bases observada neste solo possivelmente justificam tal fato.

Analisando os índices de intemperismo ou pedogênese k_i e k_r dos Latossolos e Argilossos do Estado da Paraíba, apresentados no boletim de solos deste estado (SUDENE, 1972), observa-se que os Argissolos, em geral, apresentam valores maiores desses índices em relação aos Latossolos. Com base nesta observação pode-se supor que o maior caráter oxidíco do Argissolos Vermelho-Amarelo também possa ter influenciado na sua maior CMAP, como já foi observado por Leal & Velloso (1973), Singh & Gilkes, (1991) e Pereira (1996).

Em relação aos valores da energia de adsorção pode-se supor que os mesmos tenham sido influenciados pelo teor de argila e conteúdo de matéria orgânica de forma negativa, discordando de Falcão & Silva (2006), uma vez que o Argissolo Vermelho-Amarelo apresentou um menor valor que o Latossolo Vermelho-Amarelo. No entanto, a influência negativa da saturação por base sobre estes valores também foi constatada por esses autores.

Examinando os resultados da Tabela 3, verifica-se que o Argissolo Vermelho-Amarelo apresenta maior resistência às mudanças no fator intensidade (I) provenientes de adição ou remoção de P do solo uma vez que apresenta maior FCP_{max} . As justificativas para isto, provavelmente, sejam as mesmas apresentadas anteriormente na discussão do seu valor de CMAP uma vez que FCP_{max} varia em função da CMAP. O uso apenas da CMAP para prever o requerimento de P dos solos para o crescimento de plantas, segundo Novais & Kamprath (1979), não parece ser adequado, uma vez que ambos os fatores, intensidade e capacidade, pelo menos, são requeridos nos processos de predição das respostas das plantas à adubação fosfatada. Desta forma, como a CMAP (quantidade adsorvida) tende a ser constante, e a "energia de adsorção" (qualidade de adsorção) varia com o "status" de P do solo, pode-se dizer que a CMAP juntamente com o FCP_{max} são importantes na comparação entre solos como critério de previsão de comportamento do P, enquanto que a "energia de adsorção" pode ser utilizada para comparar comportamentos de P num mesmo solo, com diferentes usos.

CONCLUSÕES

O Argissolo Vermelho-Amarelo adsorveu mais fósforo do que o Latossolo Vermelho-Amarelo.

Os atributos do solo que tiveram influência positiva sobre a capacidade de adsorção de fósforo (CMAP e $\text{FCP}_{\text{máx}}$) foram a matéria orgânica, saturação por bases e teor de argila. A energia de adsorção foi influenciada por estes atributos de forma negativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEONI, L.R.F. **Adsorção de boro em Podzólico e Latossolos paulistas**. 1996. 127p. (Tese de Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1996.
- ANDRADE, A. T.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, N. V. Relação da aplicação de resíduos orgânicos, calcário e gesso com a adsorção de fósforo em solos de várzea. In: CONGRESSO BRA SILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Paraná. **Anais...** Paraná: SBCS, 2001.
- AQUINO, B. F. **Conceitos fundamentais em fertilidade do solo**. Fortaleza: UFC, 2004.182p. Apostilas Didáticas.
- BAHIA FILHO, A. F. C. **Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas**. 1982. 179p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RIBEIRO, A.C.; NOVAIS, R.F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade tampão de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.243-249, 1983.
- BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção de soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.639-646, 2003.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, p.73-85, 1974.
- BRENNAN, R. F.; BOLLAND, M. D.; JEFFERY, R. C.; ALLEN, D. G. Phosphorus adsorption by a range of western Australian soils related to soil properties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.15/16, p.2785-2795, 1994.
- COLEMAN, N.T.; THORUP, J.T.; JACKSON, W.A. Phosphate Sorption Reactions That Involve Exchangeable Al. **Soil Science**, Baltimore, v.90, p.1-7, 1960.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. rev. atual. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documento 1).
- FALCÃO, N.P.S.; SILVA, J.R.A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v.34, n.3, p. 337-342, 2004.
- FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption y clays from Brazilian Oxisoils: relationships whit specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, Amsterdam, v.72, p.377-51, 1996.
- GAMA, M. A. P. **Dinâmica do fósforo em solo submetido a sistemas de preparo alternativos ao de corte e queima no nordeste paraense**. 2002. 96p. (Tese de Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.
- GUILHERME, L. R. G.; RENÓ, N. B.; MACHADO, R. A. F.; CURI, N.; SILVA, M. L. N. Sorção de fósforo em solos de várzea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBCS, 1993.
- HOLFORD, I.C.R.; MATTINGLY; G.E.G. Phosphate adsorption and plant avaiability of phosphate. **Plant Soil**, v.44, p.377-389, 1976.
- HOLFORD, I. C. R.; MATTINGLY, G. E. G. The high and low - energy phosphate absorbing surfaces in calcareous soils. **Journal of Soil Science**, Madison, v.26, p.407-417, 1975.

- KER, J. C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. 1995. 181p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- KER, J. C.; FONTES, M. P. F.; SOUZA, A. R.; RESENDE, M. Adsorção de fósforo em alguns solos latossólicos: relação entre mineralogia e efeito da calagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v.43, n.246, p.216-226, 1996.
- LEAL, J. R.; VELOSO, A. C. S. Adsorção de fosfato em Latossolo sob vegetação de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.8, p.81-88, 1973.
- LOPES, A.S.; COX, F.R. Relação de características físicas químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.82-88, 1979.
- LOPES, A.S.; GUIDOLIN, J.A. **Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações**. 2.ed. São Paulo: ANDA, 1989, 64p.
- McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994. 406p.
- MEHADI, A. A.; TAYLOR, R. W. Phosphate adsorption by two highly-weathered soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.52, p.627-632, 1998.
- MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1989. 400p.
- MOREIRA, F.L.M.; MOTA, F.O.B.; CLEMENTE, C.A.; AZEVEDO, B.M.; E BOMFIM, G.V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônoma**, Fortaleza, v.37, n.1, p.7-12, 2006.
- MOTTA, P. E. F. da. **Adsorção, formas e disponibilidade de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso**. 1999. 33p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- NAKOS, G. Phosphorus adsorption by forest soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.18, n.3, p.279-286, 1987.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R.F.; KAMPRATH, E.J. Parâmetros das isotermas de adsorção de fósforo como critério de recomendação de adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n.1, p.37-41, 1979.
- OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.21, p.144-149, 1957.
- PEREIRA, M.G. **Formas de Fe, Al e Mn como índices de pedogênese e adsorção de fósforo em solos do Estado do Rio de Janeiro**. 1996. 211p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1996.
- PEREIRA, J.R.; FARIA, C.M.B. Sorção de fósforo em alguns solos do Semi-árido do Nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.7, p.1179-1184, 1998.
- PLACE, G. A.; PHILLIPS, R. E.; BROWN, D. A. Self-diffusion of phosphorus in clays and soils: II. The effect of pH. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.32, p.657-660, 1968.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejo de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n. p.41-49, 2003.
- SÁ JR., J.P.N. GOMES, I.F., VASCONCELOS, A.L. DE. Retenção de fósforo em solos da Zona da Mata de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.3, p.183:188, 1968.

SANYAL, S. K.; De DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Soil Science**, Baltimore, v.16, p.1-120, 1991.

SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; BLANCANEUX, P.; LIMA, J. M.; CARVALHO, A. M. Rotação adubo verde - milho e adsorção de fósforo em Latossolo vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.6, p.649-654, junho 1997.

SINGH, B.; GILKES, R. J. Phosphorus sorption in relation to soil properties for the major soil types of South-western Australia. **Australian Journal of Soil Research**, East Melbourne, v.29 p. 603 – 618, 1991.

SUDENE. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do estado da Paraíba. Rio de Janeiro: SUDENE, 670p. 1972. (Boletim Técnico n.15)

SYERS, J.K.; EVANS, T.D.; WILLIAMS, J.D.H.; MURDOCK, J.T. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brasil. **Soil Science**, Baltimore, v.112, p.267-275, 1971.

TUCCI, C.A.F. **Disponibilidade de fósforo em solos da Amazônia**. 1991. 142 p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1991.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.111-118, 2003.