



CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM LATOSSOLO COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES MINERALÓGICAS

MAXIMUM PHOSPHORUS ADSORPTION CAPACITY IN OXISOL WITH DIFFERENT MINERALOGY COMPOSITITON

Fabio Olivieri de Nóbile¹, Ana Rosa Tittoto², João Lucas Costa², Laércio Santos Silva³,
Maria Gabriela Anunciação⁴

¹Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Unifeb, SP.

²Engenheira Química do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Unifeb, SP.

³Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, UNESP, Jaboticabal, SP.

⁴Engenheira Agrônoma, Vital Force, Barretos, SP.

Resumo

O conhecimento do comportamento dos óxidos de ferro e de alumínio é de suma importância para planejar a melhor forma utilizar o fósforo (P), minimizando ao máximo perdas e custos com insumos agrícolas e otimizando, assim, o potencial produtivo. O objetivo deste trabalho é avaliar a capacidade máxima de adsorção de P de dois Latossolos em função da mineralogia, por meio da suscetibilidade magnética. Os solos apresentam mineralogia da fração argila constituída por gibbsita, goethita, hematita e caulinita em diferentes proporções. Foram realizadas as análises mineralógicas no Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) e no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) com diferentes teores de óxidos de ferro e de alumínio. Foi determinado o P adsorvido das amostras que receberam doses crescentes de P (0, 2, 4, 10, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 mg L⁻¹), a fim de determinar a capacidade máxima que os solos conseguem adsorver de P, associando à sua mineralogia. Foi utilizado também o difratômetro de raios X para caracterização dos minerais após a concentração do óxido de ferro da fração argila e a desferrificação da fração argila. Analisando os constituintes mineralógicos da fração argila, o LVef com elevados teores de ferro e de alumínio apresentou aumento da capacidade máxima de adsorção de P, com teor de 2,48 mg kg⁻¹ em relação ao LVd (0,11 mg kg⁻¹). A suscetibilidade magnética pode ser utilizada na quantificação indireta das doses recomendadas e da capacidade de suporte do solo à aplicação de P.

Palavras-chave: goethita; hematita; caulinita, isotermas de adsorção.

Abstract

Knowledge of the behavior of iron and aluminum oxides is of paramount importance to plan the best way to use phosphorus, minimizing the losses and costs as much as possible with agricultural inputs, optimizing the productive potential. The objective of this work is to evaluate the maximum phosphorus adsorption capacity of two Oxisol as a function of mineralogy, through magnetic susceptibility. The soils present mineralogy of the clay fraction constituted by gibbsite, goethite, hematite, and kaolinite in different proportions. Analyses of eutrophic Red Oxisol (LVef) and dystrophic Red Oxisol (LVd) with different levels of iron and aluminum oxides were carried out. The adsorbed phosphorus was determined, when samples received

Autor para a correspondência: Prof. Dr. Fábio Olivieri de Nóbile - Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos - Rua Professor Roberto Frade Monte, 389, Barro Aeroporto - CEP: 17783-226 - Cidade (UF), Brasil - E-mail: fabio.nobile@unifeb.edu.br

Recebido em: 02/06/2020

Aceito em: 24/06/2020

increasing doses of phosphorus (0; 2; 4; 10; 20; 40; 60; 80; 100; and 120 mg L⁻¹) to assess the maximum capacity of the soil in adsorbing P, associating its mineralogy. An X-ray diffractometer was also used to characterize the minerals of the clay fraction after the concentration of the iron oxides of the clay fraction and also the deferrification of the clay fraction. The analysis of the mineralogical constituents of the clay fraction showed that the LVef with high levels of iron and aluminum presented an increase in the maximum phosphorus adsorption capacity, with a content of 2.48 mg kg⁻¹ in comparison to the LVd (0.11 mg kg⁻¹). The magnetic susceptibility can be used in the indirect quantification of the recommended doses and the capacity of the soil to support the application of phosphorus.

Keywords: goethite; hematite; kaolinite; adsorption isotherms

Introdução

A região do Planalto Ocidental Paulista, que possui atualmente uma área de cerca de 126 mil km², situa-se essencialmente nas rochas do grupo Bauru, que é constituído por formações de rochas areníticas, com predomínio da formação Vale do Rio do Peixe, e algumas manchas cimentadas por carbonato de cálcio (Gomes, 2017).

Na maioria dos solos, o suprimento natural de fósforo (P) é insuficiente às necessidades das culturas e, por isso, torna-se um dos principais fatores limitantes para a produção de alimentos (Coringa, 2007).

Para Rolim Neto et al. (2004), o solo pode assumir o papel de fonte ou dreno de P, quando apresentar reservas favoráveis às plantas ou competir com elas, fixando o P adicionado como fertilizante. Com o aumento do intemperismo, em condições tropicais, os solos mudam de fonte para dreno, tornando-se mais eletropositivos e com grande capacidade de adsorver e reter ânions, como o fosfato.

A forte afinidade do P com os óxidos e hidróxidos de ferro – goethita (Gt) e hematita (Hm) – e de alumínio – gibbsita (Gb) – do solo tende a reter o P no sistema, tornando-o menos disponível às plantas. Solos com textura muito argilosa e alto conteúdo em óxidos apresentam elevada capacidade de adsorção de fosfato, a qual pressupõe ser diferenciada de acordo com as formas dos óxidos de Fe (Coringa, 2007).

Os óxidos de Fe têm elevada superfície específica, o que resulta em alto poder de adsorção de ânions, são ricos em macronutrientes e têm ação cimentante, conferindo grande importância agrícola. A Gt e a Hm têm sua formação influenciada pela dinâmica de água no solo e nas partes superior do relevo mais quentes e menos úmidas, originando a Hm. Esses minerais variam bastante em relação às suas propriedades cristalográficas, tais como:

cristalinidade, diâmetro do cristal, substituição isomórfica de elementos na estrutura e superfície específica.

Os óxidos e hidróxidos de ferro aparecem, principalmente, sob a forma de Gt (FeOOH), a qual está presente em quase todos os tipos de solo e regiões climáticas, responde pela coloração amarelo-amarronzada no solo e possui alta superfície específica e também altos graus de substituição isomórfica em sua estrutura, principalmente por Al. A Hm (Fe₂O₃), presente em menor quantidade no solo, contém alto poder pigmentante, tendo características de solo vermelho (Almeida, 2012).

Já a Gb é um óxido de alumínio que também ocorre em abundância em solos tropicais. Segundo Ker (1994), durante o intemperismo de minerais primários, há a liberação de ferro, alumínio, sílica e íons diversos, como Ca, Mg, Na, K etc. – desses últimos, em razão de sua maior solubilidade, ocorre a lixiviação. A Gb possui pH de máxima estabilidade de 5,2 e, embora seja considerada um mineral de ocorrência comum em diferentes classes de solo sob condições climáticas diversas, é encontrada em quantidade expressiva em Latossolos, nos quais a intensidade de intemperismo e de lixiviação é maior.

Fernandes (2017) relatou que a caulinita (Ct) é um dos minerais mais abundantes na crosta terrestre, originando-se a partir da alteração de minerais primários ou secundários em condições ambientais diversas. Condições de clima mais quente, úmido, drenagem livre, mas sem que se verifique uma lixiviação excessiva de sílica do sistema, e meio ácido favorecem sua gênese.

Tendo em vista que uma fração relativamente pequena do P é aproveitada no primeiro ano, enquanto o restante permanece retido no solo, em formas de maior ou menor disponibilidade às plantas, o efeito residual passa a ser um componente muito importante na avaliação agrônômica e

econômica de práticas de adubação fosfatada (Resende et al., 2006).

A capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) no solo pode ser avaliada pelo grau de interação entre o P e os constituintes minerais do solo, o que pode ser obtido por meio da equação de Langmuir ou equação de Freundlich. Estudos mostram variações significativas em solos bem drenados, com intemperismo avançado, as quais geralmente estão correlacionadas com as fases cristalinas dos óxidos de Fe e de Al. Algumas pesquisas realizadas em diversas regiões do Brasil enfatizaram que a capacidade média de adsorção de P por unidade de área é semelhante entre Gt e Hm em solos nos quais a adsorção de P aumentada em Gt é determinada por características estruturais, como uma área de superfície específica maior (Fink et al., 2016).

A isoterma de adsorção representa a quantidade de determinado soluto adsorvido por uma superfície adsorvente em função da concentração de equilíbrio do soluto. No processo de adsorção do P, vários fatores influenciam a forma da isoterma, tais como: temperatura, pH, tipo de material adsorvente, entre outros. O modelo de Langmuir aponta que todas as forças que atuam na adsorção são iguais àquelas que envolvem uma reação química e que a sorção acontece em uma única camada de molécula sobre a superfície da partícula sólida (Vidal, 2014).

Em se tratando de aspectos ambientais, a fertilização com o P a longo prazo pode provocar o acúmulo significativo de nutrientes no solo, representando uma crescente ameaça para o ambiente aquático. O P pode ser considerado também poluente de cursos d'água, especialmente em água superficiais, já que ocorre pouca percolação desse elemento. Além disso, o P em excesso pode causar a eutrofização em rios e lagos, ocasionando o crescimento de algas e plantas, prejudicando a utilização da água, aumentando o consumo de oxigênio e causando a morte de peixes e demais seres vivos aquáticos (Agne & Klein, 2012).

O objetivo deste trabalho foi analisar a CMAP em dois tipos de solo e caracterizar as principais causas da adsorção de P.

Material e métodos

O experimento foi realizado nos laboratórios pertencentes ao Departamento de Ciência dos Solos, com o Grupo de Pesquisa Caracterização do Solo para Fins de Manejo Específico (CSME), do campus da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), localizada no município de Jaboticabal. As amostras foram doadas para realização das análises físicas, químicas e mineralógicas, caracterizando as amostras como Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd), e coletadas na profundidade de 0,0-0,20 m, de acordo com os procedimentos analíticos descritos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2009).

Na Tabela 1, a quantidade de Fe_2O_3 presente no LVef foi de 211,3 g kg^{-1} . Já no LVd, a quantidade foi de apenas 30,8 g kg^{-1} , indicando que o LVef é bem mais oxidico se comparado com o LVd.

Foram realizadas a caracterização dos principais minerais da fração argila, ou seja, Hm, Gt, Ct e Gb por difratometria de raios X, por meio do método do pó após a concentração dos óxidos de ferro, de acordo com Norrish & Taylor (1961), e a desferrificação da fração argila pelo método de Mehra & Jackson (1960). As amostras foram difratadas com velocidade de varredura de $1^\circ 2\theta \text{ min}^{-1}$ utilizando Mini-Flex Rigaku II, equipado com radiação $\text{Cu K}\alpha$. A razão $\text{Hm}/(\text{Gt}+\text{Hm})$ foi estimada comparando as áreas dos picos obtidos da $\text{Hm}/(\text{Gt}+\text{Hm})$ XRD com as proporções das relações obtidas a partir de misturas-padrão Gt-Hm. As porcentagens de Hm e Gt foram calculadas alocando-se a diferença entre Fed e Feo a esses óxidos. A razão $\text{Ct}/(\text{Ct}+\text{Gb})$ foi calculada pelas áreas dos picos dos reflexos Gb e Ct. O cálculo do teor

Tabela 1. Conteúdo de ferro total, matéria orgânica (MO), granulometria e valores de suscetibilidade magnética (SM) de Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd).

Solos	Fe_2O_3	MO ¹	Areia	Silte	Argila	SM ²
	g kg^{-1}	g dm^{-3}				
LVef	211,3	37	438	78	485	71,71
LVd	30,8	8	432	150	416	1,04

de substituição isomórfica do ferro pelo alumínio na Gt foi obtido pela equação de Schulze (1984):

$$\text{mol mol}^{-1}\text{Al} = 1730 - 572.c \quad (\text{Eq. 1})$$

Foi calculado o teor de substituição isomórfica do ferro pelo alumínio na Hm, por meio da equação de Schwertmann & Taylor (1989):

$$\text{mol mol}^{-1}\text{Al} = 3098,8 - 615,12 . a0. \quad (\text{Eq. 2})$$

A área de superfície específica (ASE) da Gt foi estimada segundo Schulze & Schwertmann (1984):

$$\text{ASE (Gt)} = (1049/\text{DMC gt } 100)^{-5} (\text{m}^2\text{g}^{-1}) \quad (\text{Eq. 3}),$$

em que o $\text{DMC100} = \text{DMC (110)} \times 0,42 \text{ nm}$ (Eq. 7) (Kämpf, 1981).

Já a área de superfície da Hm, de acordo com (Schwertmann e Kämpf, 1985), foi obtida pela fórmula:

$$\text{ASE (Hm)} = 2 \times (r+h) \times d (\text{m}^2\text{g}^{-1}). \quad (\text{Eq. 4})$$

O diâmetro médio do cristal (DMC) da Hm e Gt foi calculado a partir da largura a meia altura (LMA) e da posição dos reflexos dos minerais, utilizando a equação de Scherrer (Schulze & Schwertmann, 1984).

Objetivando averiguar o potencial de adsorção de P, foi determinada a CMAP nos respectivos solos, seguindo a metodologia descrita por Alvarez et al. (2000). Foram utilizados para tal análise 2,5 cm³ de solo adicionado em erlenmeyer de 125 mL, ao qual foram acrescidos 50 mL de solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, nas concentrações de P estabelecidas (0, 2, 4, 10, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 mg L⁻¹ de P) na forma de KH₂PO₄. Em agitador horizontal, as amostras permaneceram por 12 horas, e, transcorrido o tempo, foi coletado o sobrenadante para determinação do P, por espectrofotometria na faixa de 650 nm (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2009).

Realizadas as leituras, foi estimada a adsorção de P pela diferença entre a quantidade de P encontrada na solução de equilíbrio e a quantidade de P adicionada. Com os resultados obtidos, foram construídas as isotermas de adsorção com os dados do P adsorvido plotados no eixo das ordenadas e, no eixo das abcissas, as concentrações predeterminadas na solução de equilíbrio. A equação de Langmuir, em sua forma hiperbólica, é expressa por:

$$x/m = (abC)/(1+aC) \quad (\text{Eq. 5})$$

Para estimar as constantes a e b, foi linearizada a equação hiperbólica de Langmuir:

$$C/(x/m) = 1/(ab) + (1/b)C \quad (\text{Eq. 6}),$$

Em que: x/m representa a quantidade de P adsorvido ao solo, em mg P (x)/cm³ de solo (m); b representa a CMAP do solo, em mg cm⁻³ de P no solo; C representa a concentração de P na solução de equilíbrio (sobrenadante), em mg L⁻¹; e a representa a constante relacionada à energia de adsorção do elemento ao solo, expressa em mg L⁻¹ (Olsen & Watanabe, 1957).

E, com a derivação da função linearizada (Novais & Smyth, 1999), tem-se que: b1= 1/b, valor da CMAP; e b0= 1/(ab), constante de energia de adsorção.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F), e, quando significativos, foi realizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias do fator solos e regressão polinomial para doses (CMAP). Os coeficientes dos componentes de cada modelo foram testados escolhendo a equação de maior grau significativo, dentro de uma análise de regressão polinomial, independente do R². Para análises estatísticas, foi utilizado o programa computacional SISVAR.

Com base em Matias et al. (2015), a suscetibilidade magnética (SM) foi determinada na TFSA (Terra Fina Seca ao Ar) no laboratório utilizando equipamento Bartington MS2, acoplado ao sensor Bartington MS2B. A avaliação foi feita em baixa frequência (lf: 0,47 kHz) (Dearing, 1994). No caso de única leitura, para obtenção de resultados mais precisos, a leitura foi realizada em baixa frequência (Bartington, 2013).

A SM é uma característica dos minerais presentes nas rochas e no solo, e alguns pesquisadores têm apontado a SM como um atributo mineralógico importante para a quantificação indireta de propriedades químicas, físicas e mineralógicas do solo (Peluco et al., 2013). A maior SM nos solos se deve à presença de uma maior quantidade de óxido neles; portanto, ocorre maior adsorção de P no solo. Na Tabela 1, os valores apresentados de SM do LVef são bem maiores do que o LVd, confirmando maior adsorção de P no LVef em relação ao LVd.

Na Tabela 1, a quantidade de Fe₂O₃ presente no LVef foi de 211,3 g kg⁻¹; já no LVd, a quantidade

foi de apenas $30,8 \text{ g kg}^{-1}$, indicando que o LVef são é mais oxidico quando comparado com o LVd.

Segundo Silva (2016), solos com maiores teores de ferro tendem a adsorver mais P, e isso se deve porque os óxidos de ferro apresentam carga de superfície positivas que irão reagir com os fosfatos que possuem cargas negativas. Uma outra expressão das variações de ferro no solo é a SM; logo, quanto maior o teor de ferro, maior será sua SM no solo. Os valores representados na Tabela 1 são variáveis que influenciam a dinâmica do P no solo.

Resultado e Discussão

Diante das variações de solo que foram constatadas, foi realizada a análise no difratograma de raio X, a qual revelou a presença de Gt e Hm em diferentes estádios de cristalinidade nos solos, como é possível observar na Figura 1, na qual estão apresentadas as variáveis de importância para projeção (VIP). O difratograma de raio X, conforme indicado pelo tamanho dos picos, referentes à Hm e Gt, tem os maiores e bem definidos picos no LVef, indicando que esse solo é mais oxidico se comparado ao LVd. Esse comportamento indica diferente potencial de adsorção de P, o que reflete em doses específicas de adubações fosfatadas. Esses resultados demonstram a influência desses óxidos nas reservas de P e no fenômeno de adsorção de P (Gomes, 2017).

A fração argila concentrada em óxido revelou a predominância da coexistência de Gt e Hm no solo, observada nos picos 110, 111 e 012. De modo

geral, no LVef, o difratograma apresentou picos bem maiores de Hm e Gt, indicando que ele é mais oxidico em relação ao LVd.

Com base em Gomes (2017), o maior pico representado na Figura 1 é referente à Hm, relacionando-se com o P total, evidenciando a participação do P na formação desse óxido. Tal fato pode ser proveniente da maior quantidade de Gt e Hm nos solos estudados, bem como a participação de P ocluso (ou seja, fechado), fenômeno que pode ter ocorrido durante a pedogênese. Entretanto, o pico mais proeminente apresentado no gráfico do P adsorvido apareceu entre 600 e 900 nm, que é um intervalo de comprimento de onda atribuído aos óxidos de ferro e de alumínio da fração argila e aos solos intemperizados por causa de o fosfato interagir com os grupos funcionais desses óxidos. Também é possível destacar o pico elevado entre 700 e 800 nm, revelando a Gt como um dos principais óxidos a adsorver o P nos solos de ambas as formações geológicas.

O pico representado na maior faixa (650 nm) é dado pela solução-padrão de cloreto de sódio. Esse padrão é interno, que serve para alocar os picos dentro dos valores teóricos, ou seja, minerais sintéticos. Serve para alocar os picos dos minerais encontrados no solo com os picos sintéticos do raio X.

No que se refere à LMA, quanto menor for essa largura, mais cristalizado é o mineral. Segundo a Tabela 2, a Hm apresentou os menores valores de LMA em relação à Gt. A Hm é um óxido de ferro seletivo ao ambiente de formação, pois varia

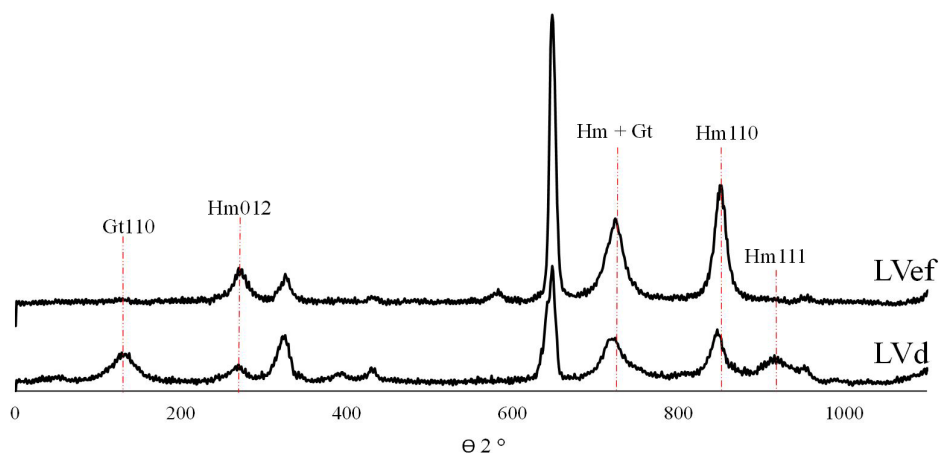


Figura 1. Difratograma de raios X da fração argila concentrada em óxidos de hematita e goethita para o Latossolo Vermelho eutroférico e o Latossolo Vermelho distrófico.

Tabela 2. Atributos cristalográficos dos óxidos de hematita (Hm) e de goethita (Gt) de Latossolo Vermelho eutroférrico (LVef) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd).

Solo	LMA ¹				ASE ²		SI ³		Teor		Relação
	°2 θ				-- m ² g ⁻¹ --		mol mol ⁻¹		- g kg ⁻¹ -		
	Gt ₁₁₀	Gt ₁₁₁	Hm ₁₁₀	Hm ₀₁₂	Gt	Hm	Gt	Hm	Gt	Hm	Ct/(Ct+Gb)
LVef	0,71	0,39	0,26	0,32	206	40	21	14	35	75	0,42
LVd	0,51	0,79	0,22	0,25	145	37	15	4	10	29	1,00

menos no espaço; já a Gt, quando formada em solução do solo, varia mais no espaço (Tabela 1).

Quanto maior a área de superfície específica (ASE) do mineral, maior o contato com o P no solo. Neste caso, a ASE da Gt apresentou valores maiores em relação à Hm. Isso permite dizer que a análise do raio X comprovou que ela é um dos principais minerais do solo responsáveis pela adsorção de P no solo.

A substituição isomórfica (SI) indica a entrada de Al ou de um outro elemento químico no mineral. A Gt, principalmente em solos tropicais, sempre sofre maior SI do que a Hm, e os valores da Gt são sempre maiores comparados aos da Hm. Quanto maior a SI, menor é o tamanho do mineral. A Tabela 2 apresenta que, no LVd, houve bem menos SI em relação ao LVef; logo, com uma maior SI, geram-se mais cargas, ocorrendo maior adsorção de P no solo.

O teor presente na Tabela 2 mostra a quantidade dos minerais presentes nos solos analisados: o LVef indicou 110 g kg⁻¹ e o LVd indicou apenas 39 g kg⁻¹, mostrando a grande diferença dos teores de óxidos em solos com diferentes mineralogias. Portanto, o LVef possui maior potencial de adsorver P no solo por causa de sua maior quantidade de óxidos de ferro.

A Ct é um silicato formado por silício e alumínio e um dos únicos minerais silicatos presentes na fração argila do solo. Sua adsorção de P no solo é baixa, quando comparada aos óxidos de ferro, levando a uma menor fixação de P. Segundo a Tabela 2, a relação Ct/(Ct+Gb) mostra que o solo possui maior quantidade de Gb. A Gb aumenta o potencial de adsorção do P, e sua relação é de 1,00; isso quer dizer que não há existência de Gb no solo, diminuindo o potencial de adsorção de P no solo. Já o valor 0,42 é referente ao teor de Ct; então, o que falta para completar 1 é a Gb, representando uma relação Ct/(Ct+Gb) = 1. A Ct apresenta baixo potencial de adsorção

comparada aos demais óxidos; logo, é possível afirmar que, em solos com maiores teores de Ct, isto é, nos quais a relação Ct/(Ct+Gb) = 1, há um menor potencial de adsorção de P.

O LVef, além de apresentar maiores teores de óxidos de Fe, contém também óxidos de alumínio, ou seja, Gb. Segundo Gomes (2017), a Gb apresenta alto poder de fixação de P, sendo seguida pela Gt e Hm. Ademais, a Ct é menos efetiva no fenômeno de adsorção, o que explica as menores adsorção no LVd, em que a Ct é o mineral da fração argila predominante.

Como é possível observar na Figura 2, a adsorção máxima com o teor de P em equilíbrio é de 0,6 mg L⁻¹, havendo início de queda a partir desse valor, pois já ocorreu máxima adsorção de P no solo.

Isso ocorre porque o LVd, no qual há 39 g kg⁻¹ de P (Tabela 2), rapidamente chegou à saturação; então, o solo adsorveu uma concentração mínima de P adicionado e, logo em seguida, não conseguiu adsorver mais, em razão de baixa presença de óxidos de ferro na composição do solo.

É observado o aumento da adsorção de P na mesma proporção em que se adicionava o elemento ao solo (Figura 3). Essa relação foi verificada até a concentração de 2,48 mg kg⁻¹ de P, determinando o ponto de saturação do elemento e, conseqüentemente, a máxima capacidade de adsorção de P pelo solo.

Isso ocorre porque o LVef apresenta 110 g kg⁻¹ de óxidos de ferro (Tabela 2), e a presença de hidróxido de alumínio (Figura 4), comparado ao LVd, demorou mais para chegar ao ponto máximo de saturação.

A importância de se avaliar a capacidade máxima que um solo consegue adsorver de P se deve à aplicação correta de fertilizantes fosfatados para determinados solos com dadas características mineralógicas, otimizando o potencial vegetativo.

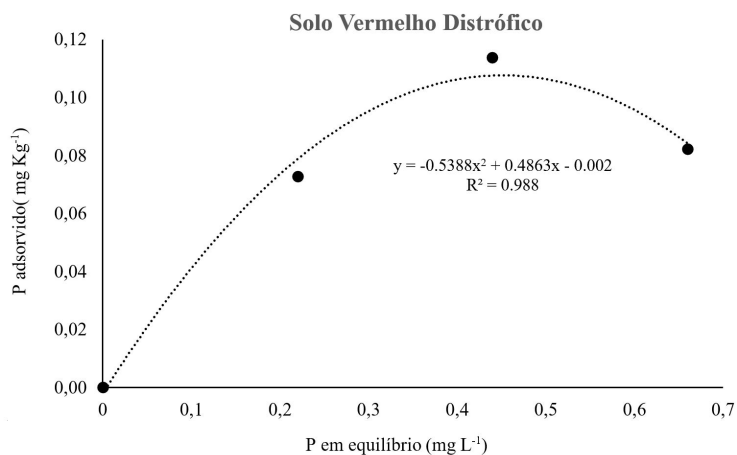


Figura 2. Gráfico das isotermas representando a capacidade máxima de adsorção do fósforo no Latossolo Vermelho distrófico.

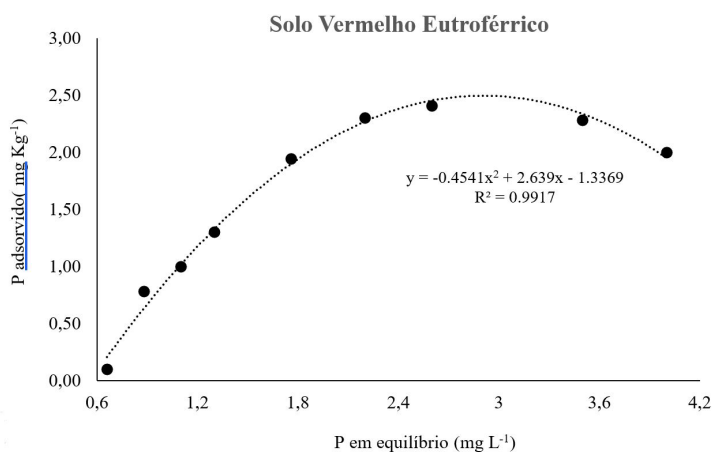


Figura 3. Gráfico das isotermas representando a capacidade máxima de adsorção de fósforo no Latossolo Vermelho eutroférico.

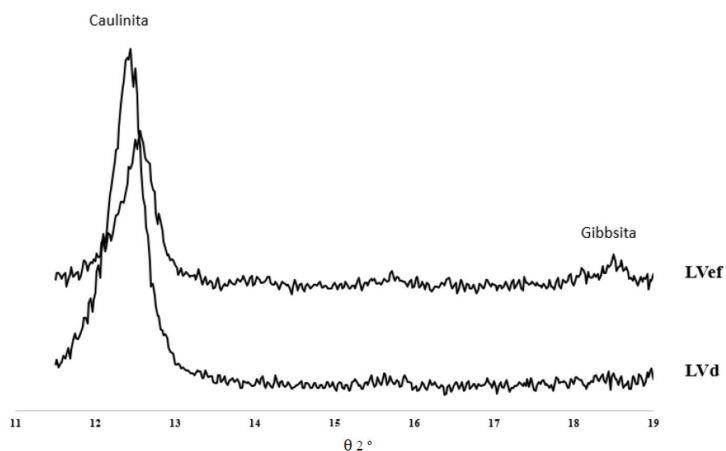


Figura 4. Difratograma de raios X da fração argila concentrada em caulinita e gibbsita para o Latossolo Vermelho eutroférico e o Latossolo Vermelho distrófico.

A comparação entre as isotermas mostra que o LVef tem maior capacidade de adsorver P em relação ao LVd. De uma forma prática, as isotermas revelam que os solos apresentam capacidades diferentes de adsorver P; logo, necessitam de aplicações diferentes de fertilizantes fosfatados no solo. A negligência dessa informação pode gerar problemas ambientais e encarecer a prática da adubação fosfatada, uma vez que o LVef necessita de maiores concentrações, ou seja, maiores doses de P aplicado do que LVd.

Conclusão

Ao comparar os dois Latossolos analisados, foi observado que o LVef apresentou uma capacidade máxima de adsorver P 22,5 vezes mais do que o LVd.

Analisando os constituintes mineralógicos da fração argila, foi constatado que o LVef com elevados teores de alumínio e de ferro apresenta maior CMAP, assumindo ($2,48 \text{ mg kg}^{-1}$) em relação ao LVd ($0,11 \text{ mg kg}^{-1}$).

A SM pode ser utilizada na quantificação indireta das doses recomendadas e da capacidade de suporte do solo à aplicação de P.

Referências

Agne, S. A. A., & Klein, C. (2012). Fósforo: de nutriente à poluente! *Universidade de Passo Fundo*, 8(8), 1713-1721.

Almeida, C. D. S. (2012). *Especialização e quantificação de sesquióxidos de ferro (goethita e hematita) em solos tropicais por meio do sensoriamento remoto hiperespectral* (Dissertação de mestrado). Universidade de Brasília, Brasília.

Alvarez, V. V. H., Novais, R. F., Dias, L. E., & Oliveira, J. A. (2000). Determinação e uso do fósforo remanescente. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 25(1), 27-32.

Bartington, S. (2013). *Operation manual for MS2: magnetic susceptibility system*. England: Bartington Instruments Ltd. Retrieved in 2019, November 25, from <http://www.bartington.com/Literaturepdf/Operation%20Manuals/om0408%20MS2.pdf>

Coringa, J. E. S. (2007). *Adsorção de fósforo em solos do cerrado* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.

Dearing, J. A. (1994). *Using the Bartington MS2 system*. England: Environmental magnetic susceptibility.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes* (2. ed.) Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.

Fernandes, K. L. (2017). *Estimativa da caulinita e gibbsita por técnicas de difração de raios X e espectroscopia de reflectância difusa dos solos do planalto ocidental paulista* (Dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Fink, J. R., Inda, A. V., Tiecher, T., & Barrón, V. (2016). Óxidos de ferro e matéria orgânica na disponibilidade de fósforo no solo. *Ciência e Agrotecnologia*, 40(4), 369-379.

Gomes, R. P. (2017). *Gênese, mineralogia e dinâmica do fósforo nos solos do planalto ocidental paulista* (Dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Kämpf, N. (1981). *Die eisenoxidmineralogie einer klimasequenz von böden aus eruptiva in Rio Grande do Sul* (Tese de doutorado). Freising Technische Universität München, Munique.

Ker, J. C. (1994). Latossolos do Brasil: uma revisão. *Geonomos*, 5(1), 17-40.

Matias, S. S. R., Marques Júnior, J. P., Pereira, G. T., & Siqueira, D. S. (2015). Ferramentas matemáticas, suscetibilidade magnética e modelos de paisagem aplicados na delimitação de áreas de manejo específico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(4), 968-980.

Mehra, O. P., & Jackson, M. L. (1960). Iron oxide removed from soils and clays by dithionitecitrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, 7(1), 1317-1327.

Norrish, K., & Taylor, R. M. (1961). The isomorphous replacement of iron by aluminum in soil goethites. *Journal of Soil Science*, 12, 294-306.

- Novais, R. F., & Smyth, T. J. (1999). *Fósforo no solo e planta em condições tropicais* (Informações Agrônômicas, No. 87). Piracicaba.
- Olsen, S. R., & Watanabe, F. S. (1957). A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society of America Journal*, 21(2), 144-149.
- Peluco, R. G., Marques Júnior, J., Siqueira, D. S., Pereira, G. T., Barbosa, R. S., Teixeira, D. B., Adame, C. R., & Cortez, L. A. (2013). Suscetibilidade magnética do solo e estimação da capacidade de suporte à aplicação de vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(6), 661-672.
- Resende, A. V., Furtini Neto, A. E., Alves, V. M. C., Muniz, J. A., Curi, N., Faquin, V., Kimpara, D. I., Santos, J. Z. L., & Carneiro, L. F. (2006). Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(3), 453-466.
- Rolim Neto, F. C., Schaefer, C. E. G. R., Costa, L. M., Corrêa, M. M., Fernandes Filho, E. I., & Ibraimo, M. M. (2004). Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28(6), 953-964.
- Schulze, D. G., & Schwertmann, U. (1984). The influence of aluminium on iron oxides: X. Properties of Al-substituted goethites. *Clay Minerals*, 19, 521-539.
- Schwertmann, U., & Kämpf, N. (1985). Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. *Soil Science*, 139(4), 344-350.
- Schwertmann, U., & Taylor, R. M. (1989). Iron oxides. *Minerals Soil Environment*, 8(1), 379-438.
- Silva, R. L. (2016). Mapeamento do fósforo adsorvido por meio da cor e da suscetibilidade magnética do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(3), 259-266.
- Vidal, C. B. (2014). *Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais*. Fortaleza: Imprensa Universitária.