

Capacidade de adsorção de fósforo em solos de textura arenosa com fertilidade construída

Ademir Fontana¹, Marcos Gervasio Pereira², Jaqueline Jesus Santana dos Santos³,
Guilherme Kangussu Donagemma⁴, Otavio Augusto Queiroz dos Santos⁵

¹ Embrapa Solos. Pesquisador. ademir.fontana@embrapa.br

² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Professor. mgervasiopereira01@gmail.com

³ jaqueline_jjss@hotmail.com

⁴ Embrapa Solos. Pesquisador. guilherme.donagemma@embrapa.br

⁵ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Mestrando. otavioqueiroz7@hotmail.com

Submetido em: 22/07/2021 | Aceito em: 24/11/2021

Resumo

A adsorção específica de fósforo nos minerais da fração argila do solo, como os oxi-hidróxidos de Fe e Al, é responsável pela diminuição da disponibilidade desse elemento para as plantas. No Brasil, a condição é estudada substancialmente em solos de textura média a muito argilosa, cuja atividade de adsorção é expressiva. O objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) em solos de textura arenosa com fertilidade construída no bioma Cerrado. Foram selecionadas áreas com os solos representativos nos municípios de Luís Eduardo Magalhães (LEM/BA) e Guarái (TO), com as seguintes coberturas vegetais: a) LEM: vegetação natural e algodão; b) Guarái: vegetação natural e soja. Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0 cm – 20 cm e 60 cm – 80 cm, nas quais foram realizadas as análises químicas e físicas de rotina, análises relativas à adsorção de fósforo, como o P_{rem} e a CMAP e o PESN. Os teores de P_{rem} são maiores na camada de 0 cm – 20 cm para a região de LEM. A CMAP é pouco expressiva nos solos das duas regiões estudadas, tendo os solos de Guarái maior potencial relativo de adsorção pelos maiores valores da razão CMAP/argila.

Palavras-chave: retenção de fosfato. P_{rem} . CMAP. Solos arenosos.

Introdução

A expansão da agropecuária brasileira vem ocorrendo preferencialmente em áreas que apresentam relevo favorável às operações de cultivo, baixo custo por unidade de área e em regiões com a agricultura estabelecida. Ocorre em solos com as classes texturais areia, areia franca e francoarenosa, que são denominados de “solos de textura leve” (DONAGEMMA *et al.*, 2016) ou simplesmente “solos arenosos” (*sandy soils*) (HUANG; HARTEMINK, 2020).

Com essas características, as classes de solo de maior expressão são os Neossolos Quartzarênicos, Latossolos Vermelhos, Amarelos e Vermelho-Amarelos psamíticos e Argissolos Vermelho-Amarelos e Amarelos de textura arenosa/média (DONAGEMMA *et al.*, 2016). A maior ocorrência desses solos é verificada no oeste da Bahia, norte e nordeste do Tocantins, noroeste de Minas Gerais, sudoeste de Goiás, nordeste do Pará,

noroeste do Paraná, centro-sul do Rio Grande do Sul, oeste de São Paulo e diversas regiões do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. A esses solos, pode-se elencar como principais limitações ao cultivo os baixos teores de matéria orgânica, a fraca estabilidade dos agregados e, principalmente, a baixa capacidade de retenção de água, retenção e disponibilidade de nutrientes. Por outro lado, a baixa capacidade tampão favorece as correções por fertilizantes e corretivos, principalmente do fósforo (P), visto a sua indisponibilidade às culturas nos solos tropicais.

Neste sentido, visando avaliar a disponibilidade de P em função da adsorção específica, fixação ou precipitação, os estudos se concentram na avaliação do fósforo remanescente (P_{rem}), a qual é utilizada na avaliação da capacidade tampão do solo em relação a P, S e Zn. Essa análise avalia a disponibilidade e afinidade do P após uma amostra de solo ser

submetida ao contato com uma solução com teor conhecido de P (ALVAREZ V. *et al.*, 2000). A partir do P_{rem} , é possível determinar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), que serve como medida para avaliação dos solos no tocante ao potencial de remobilização de P.

A sorção do P é um fenômeno cuja intensidade e magnitude dependem dos constituintes do solo. Como atributos correlacionados destacam-se o teor de argila, mineralogia, grau de cristalinidade dos óxidos de ferro, grau de humificação e teor de matéria orgânica (NOVAIS; SMYTH, 1999). Contudo, além da expressão quantitativa constituinte do solo, grande parte dos fenômenos de superfície varia em função do ponto de carga zero (PCZ), o qual passa a controlar a dinâmica de vários elementos, especialmente do P. Essa condição é favorecida nos solos tropicais em função dos altos valores do PCZ, condicionando predominantemente cargas positivas e criando condições favoráveis para a adsorção de íons, como o fosfato (EBERHARDT *et al.*, 2008).

No que confere à mineralogia, pode ser avaliada como fonte ou dreno de P. Nos solos de baixo grau de intemperismo pode funcionar como fonte, enquanto nos solos altamente intemperizados pode funcionar como dreno (NOVAIS; SMYTH, 1999). De forma antagônica, a matéria orgânica afeta indiretamente a adsorção de fosfato pela inibição da cristalização dos óxidos de ferro e alumínio (FONTES; WEED, 1996; BORGGAARD *et al.*, 1990), ou mesmo bloqueando os sítios de adsorção por meio dos ácidos orgânicos de baixo peso molecular e do recobrimento da superfície dos óxidos (FONTES *et al.*, 1992).

Diante dessa observação, mesmo com a expectativa de maior disponibilidade de P nos solos de textura arenosa, avaliar o potencial de adsorção ou fixação pode garantir, além da eficácia, maior eficiência no uso dos fertilizantes fosfatos. Neste sentido, destacam-se duas regiões de grande relevância agropecuária, uma no oeste da Bahia, com pelo menos 35 anos de cultivo agrícola

– agricultura consolidada, e outra no médio Vale do Rio Tocantins, com aproximadamente 10 anos de cultivo agrícola – fronteira agrícola.

O objetivo deste estudo foi avaliar a CMAP em solos de textura arenosa com fertilidade construída no bioma Cerrado.

Material e métodos

Para o estudo foram selecionadas áreas de produção agrícola intensiva com uso e manejo diferenciado, sendo uma no município de Luís Eduardo Magalhães (LEM), na região oeste do estado da Bahia, e outra no município de Guaraí, localizado na região do Médio Vale do Tocantins, no estado do Tocantins.

O município Luís Eduardo Magalhães está localizado no Chapadão do Alto Rio Grande, na bacia hidrográfica do Rio Grande, margem esquerda do Rio São Francisco. A geomorfologia destaca o Planalto Ocidental do São Francisco em um relevo plano a suave ondulado e a altitude da região varia de 700 m a 900 m. A geologia está relacionada ao período Cretáceo, com arenitos do Grupo Urucua, sendo este composto por arenitos de cores diversas, predominando as cores cinza, rósea e vermelha, de composição fina, de cimento argiloso ou silicoso, por vezes com estratificação cruzada (CPRM, 2008; CASTRO *et al.*, 2010).

O clima é quente e seco, com chuvas de inverno, com duas estações climáticas bem definidas, sendo a seca e fria de maio a setembro e a estação chuvosa e quente de outubro a abril. A temperatura média varia de 18 °C a 34 °C (INMET, 2010), enquanto a precipitação total anual está entre 1.400 mm e 1.600 mm, concentradas entre os meses de novembro a março (BATISTELLA *et al.*, 2002).

O município de Guaraí está localizado sobre uma bacia sedimentar da bacia hidrográfica do Rio Tocantins. A geomorfologia indica a depressão do Médio Tocantins, e na depressão

longitudinal do Tocantins em um relevo plano a suave ondulado e a altitude entre 200 m e 400 m. A geologia está relacionada à cobertura sedimentar do período Terciário ou Terciário–Quaternário, com arenitos de cor e granulometria variadas e ainda argilitos e siltitos. O clima é úmido/subúmido com moderada deficiência hídrica e temperatura média anual de 26,5 °C. A precipitação total anual é de 1.800 mm a 1.900 mm, concentradas no verão e com alta intensidade (SOUZA *et al.*, 2012).

Os solos de ambas as áreas de estudo são classificados como LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos típicos, textura média (Luís Eduardo Magalhães) e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos (Guaraí), conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018).

Em cada local foram selecionadas áreas com as seguintes coberturas vegetais: a) Luís Eduardo Magalhães: vegetação natural (VN), cultura anual em plantio convencional (Algodão); b) Guaraí: vegetação natural (VN), cultura anual em plantio direto (Soja). O algodão é cultivado desde a década de 90, sendo o solo preparado com gradagem profunda para o arranque da soca do algodoeiro. Anualmente, há aplicação de calcário e adubação com fertilizantes solúveis a lanço, sendo posteriormente realizada a gradagem. A soja é cultivada há aproximadamente 8 anos em plantio direto e com adubação com fertilizantes solúveis na linha de semeadura.

Em cada área foram coletadas amostras de solos em cinco pontos, nas camadas de 0 cm – 20 cm e 60 cm – 80 cm. As amostras foram secas ao ar, posteriormente destorroadas e passadas por peneira de 2,0 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Foram realizadas as seguintes análises laboratoriais de rotina para solos: granulometria (área grossa, areia fina, silte e argila), pH (água), cátions trocáveis (Ca, Mg, K, Na, H e Al), P disponível, carbono orgânico, matéria orgânica (DONAGEM *et al.*, 2011).

O fósforo remanescente (P_{rem}) é obtido em solução após o contato de 5 cm³ de TFSA com 50 mL da solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹ + 60 mg L⁻¹ de fósforo (ALVAREZ *et al.*, 2000). O teor de P_{rem} é determinado por colorimetria a partir da solução filtrada após uma hora de contato e homogeneização (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A partir dos teores do P_{rem} , foram ajustadas as isotermas de Langmuir e avaliadas a Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo (CMAP) e a Energia de Adsorção (EA).

A equação de Langmuir foi ajustada para o valor de P-sorvido, seguindo a determinação da CMAP pela Equação 1:

$$x/m = kbC/(1 + kC) \quad \text{Eq. 1}$$

em que: x/m - P-sorvido [mg (x)/kg (m) de P no solo], k - constante relacionado à energia de ligação P (L mg⁻¹), b - CMAP do solo (mg kg⁻¹), e C - concentração de P na solução de equilíbrio (mg L⁻¹).

Para obter as estimativas das constantes k e b , a forma linearizada da equação de Langmuir foi usada de acordo com a Equação 2:

$$C/(x/m) = 1/kb + C/b \quad \text{Eq. 2}$$

Nas amostras também foi determinado o ponto de efeito salino nulo (PESN), sendo este obtido a partir do ponto de carga zero (PCZ). As amostras de TFSA foram submetidas ao contato de três diferentes soluções eletrolíticas de sal formado por KCl (0,2 mol L⁻¹; 0,02 mol L⁻¹ e 0,004 mol L⁻¹) e sob diferentes condições do meio, indo do ácido ao básico. A partir das soluções, é determinado o pH pela titulação potenciométrica e obtidas três curvas. Na sequência, o PCZ é obtido pelo local de cruzamento dos valores de pH das três curvas (PEREZ *et al.*, 2017). Os valores de pH foram obtidos no software PESN para Windows versão 1.0 (ALVES *et al.*, 2002).

Os teores de P_{rem} e CMAP foram submetidos à análise de correlação de Pearson com os atributos obtidos nas análises de rotina. Para as análises de correlação, os teores de P_{rem} obtidos

por base volumétrica foram transformados para base gravimétrica seguindo o proposto por Cordeiro *et al.* (2020). Foi realizado o teste T entre os teores de P_{rem} das camadas 0 cm – 20 cm e 60 cm – 80 cm para a mesma cobertura vegetal e localização/região.

Resultados e discussão

Em relação aos teores de P_{rem} , de maneira geral ocorre diminuição com o aumento da profundidade do solo, sendo mais expressiva em Luís Eduardo Magalhães (LEM) (TABELA 1; FIGURA 1). Nos solos de LEM, os teores estão entre 23 mg dm⁻³ na camada de 60 cm - 80 cm, sob vegetação natural (VN), e 33 mg dm⁻³ na camada de 0 cm - 20 cm, sob algodão. Na região de Guaraí, não diferem muito quanto à magnitude, tendo teores entre 27 mg dm⁻³ na camada de 0 cm – 20 cm, sob VN, e 30 mg dm⁻³ na camada de 0 cm – 20 cm, sob soja (TABELA 1). Entre as camadas e mesma cobertura, os teores de P_{rem} são diferentes nos solos de LEM, com maiores teores na camada de 0 cm – 20 cm para ambas as coberturas, enquanto em Guaraí são iguais entre as camadas avaliadas (TABELA 1).

No que confere às possíveis causas para a disponibilidade do P_{rem} , destaca-se a correlação negativa com a argila em -0,75** e areia fina em -0,47**, sendo positiva com a areia grossa em 0,52**. Essas correlações mostram-se já elencadas, como o caso da argila, contudo, o fracionamento da areia mostra uma nova condição, com a diferenciação da atividade da areia grossa e areia fina.

Quando avaliados em função dos dados da literatura de outras regiões do bioma Cerrado sob VN, os solos de LEM têm os teores de P_{rem} iguais aos da Literatura 2, de mesma classe textural (Francoarenosa), enquanto em Guaraí há menor teor de P_{rem} em comparação com a Literatura 1, de mesma classe textural (Areia Franca) (FIGURA 1). Essa constatação reforça a necessidade do detalhamento das análises mesmo em solos de mesma classe textural. Além disso, motiva-se que além do P_{rem} , como opção para a avaliação e recomendação da adubação fosfatada, inclua-se de forma complementar e análoga a razão entre o P_{rem} /argila, a qual propicia a avaliação relativa do P_{rem} em função do teor de argila de cada amostra de solo.

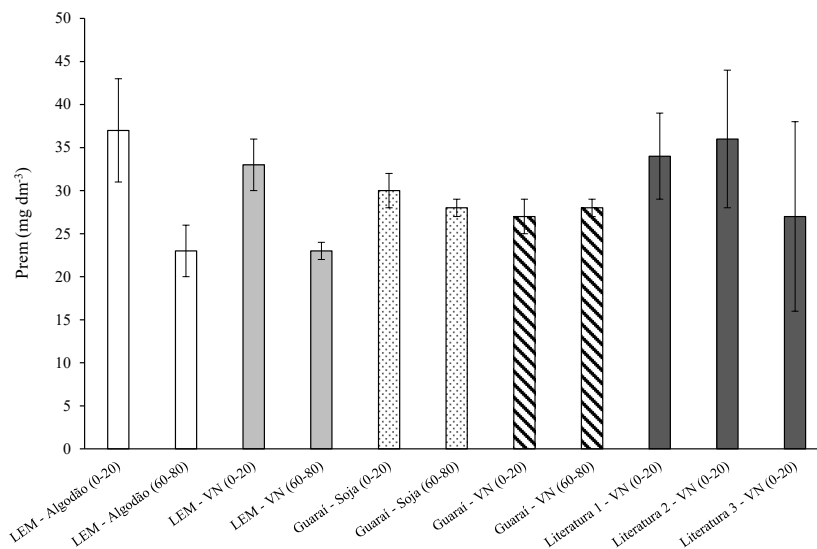
Tabela 1. Atributos do solo nas diferentes coberturas e camadas em LEM e Guaraí

Cobertura	Camada cm	P_{rem} mg dm ⁻³	$P_{disponível}$ mg dm ⁻³	MO	AG	AF	Argila	Classe Textural
LEM								
Algodão	0-20	37 (6) ⁽¹⁾ a	57 (29)	10,0 (1,9)	458 (96)	315 (72)	201 (35)	Franco-Argiloarenosa
Algodão	60-80	23 (3) b	1	4,6 (0,7)	394 (127)	295 (71)	293 (42)	Franco-Argiloarenosa
VN	0-20	33 (3) A	1	8,7 (1,4)	523 (123)	246 (142)	136 (17)	Francoarenosa
VN	60-80	23 (1) B	1	4,3 (0,8)	434 (88)	337 (79)	196 (17)	Francoarenosa
Guaraí								
Soja	0-20	30 (2)	35 (31)	9,2 (1,7)	498 (118)	388 (97)	81 (17)	Areia Franca
Soja	60-80	28 (1)	1	1,7 (0,8)	496 (122)	360 (77)	90 (20)	Areia Franca
VN	0-20	27 (2)	2 (1)	9,1 (2,4)	421 (32)	414 (143)	87 (11)	Areia Franca
VN	60-80	28 (1)	1	2,2 (0,4)	402 (26)	447 (19)	115 (20)	Areia Franca

VN: Vegetação Natural; P_{rem} : fósforo remanescente; $P_{disponível}$: fósforo disponível; MO: Matéria orgânica; AG: Areia Grossa; AF: Areia Fina; ⁽¹⁾ Desvio padrão das amostras entre parênteses. Letras diferentes minúsculas ou maiúsculas na mesma cobertura diferem significativamente pelo teste T $p < 0,05$.

Fonte: Elaboração dos autores (2021).

Figura 1. Teores médios de P_{rem} dos solos nas diferentes coberturas e camadas em LEM e Guaraí. Desvio padrão da média é representando por barras. Literatura 1 = Textura Areia Franca. Literatura 2 = Textura Francoarenosa. Literatura 3 = Textura Franco-Argiloarenosa. Literatura = Bedin *et al.* (2003); Souza *et al.* (2006); Fernández *et al.* (2008); Pinto *et al.* (2013); Sandim *et al.* (2014).



Fonte: Elaboração dos autores (2021).

Quanto aos teores da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), há aumento dos valores com o incremento da profundidade do solo (TABELA 2; FIGURA 2). Nos solos de LEM, os teores da CMAP estão entre 129 mg kg⁻¹ e 221 mg kg⁻¹ na camada de 0 cm – 20 cm e 60 cm – 80 cm, ambos sob VN (TABELA 2). Em Guaraí os teores estão entre 150 mg kg⁻¹ na camada de 0 cm – 20 cm sob soja e 176 mg kg⁻¹ na camada de 60 cm – 80 cm sob VN.

Em relação aos teores CMAP, a correlação é positiva com a argila ($r=0,53^*$), sendo atribuída aos oxí-hidróxidos de ferro e alumínio presentes na fração argila, os quais têm elevada capacidade de adsorção específica ou fixação de P (PARFITT, 1978; SPOSITO, 1989). Essa elevada capacidade de adsorção específica dos óxidos deve-se à eletropositividade gerada na superfície em função das cargas variáveis na condição de pH da solução do solo devido aos altos valores do ponto de carga zero (PCZ) e ponto de efeito salino nulo (PESN) (SPOSITO, 1989; EBERHARDT *et al.*, 2008). Neste sentido, pela avaliação do PESN, os valores são, de maneira

geral, superiores aos valores do pH (em água), confirmando a eletropositividade (TABELA 2).

Por outro lado, observa-se correlação negativa com a MO ($r = -0,59^{**}$). Desta forma, a presença de MO minimiza o potencial de adsorção de P pelos minerais da fração argila, uma vez que atua bloqueando os sítios de adsorção por meio dos ácidos orgânicos de baixo peso molecular e do recobrimento da superfície dos óxidos (FONTES *et al.*, 1992).

Quanto à magnitude dos teores da CMAP do presente estudo, é baixa e representa aproximadamente a metade dos teores obtidos em outros solos com mesma classe textural na literatura (FIGURA 2). Esta constatação tem como consequência a maior disponibilidade de P dos solos deste estudo, uma vez que é menor a necessidade de fosfato para saturar os sítios carregados positivamente e ativos na adsorção específica. Este fato, quando associado a outras práticas que favorecem a manutenção ou o aumento da matéria orgânica do solo, configura condições favoráveis ao maior suprimento de P para as culturas agrícolas.

Neste trabalho, como uma forma complementar de avaliação, apresenta-se a razão CMAP/argila, a qual se mostra efetiva para avaliar a capacidade relativa de adsorção da fração argila. Nos solos de LEM, os valores estão

entre 0,7 mg a 1,1 mg de P por g de argila, enquanto em Guaraí os valores estão entre 1,3 mg a 2,0 mg de P por g de argila. Com esses valores da razão CMAP/argila, destaca-se a maior capacidade relativa de adsorção dos solos Guaraí.

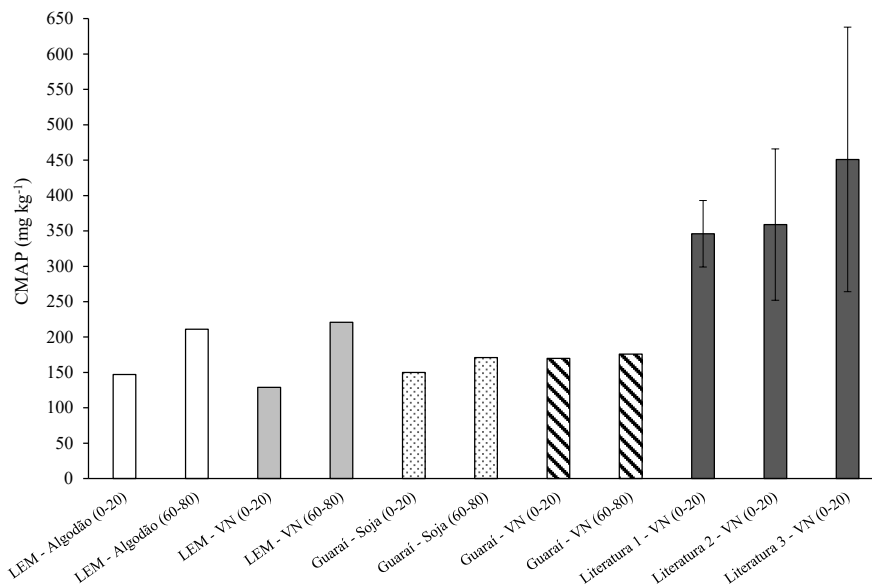
Tabela 2. Equação linear da Isoterma de Langmuir, pH água e PESN dos solos nas diferentes coberturas e camadas em LEM e Guaraí

Cobertura	Camada cm	Equação de Regressão ⁽¹⁾	R ²	CMAP mg kg ⁻¹	Energia Ligação ⁽²⁾ L mg ⁻¹	pH água	PESN
LEM							
Algodão	0-20	Y= 11,819x-264,08	0,9783	147	-0,0258	5,9 (0,3) ⁽³⁾	5,1
Algodão	60-80	Y= 4,7473x-45,957	0,9968	211	-0,1033	5,2 (0,8)	6,5
VN	0-20	Y= 7,7581x-131,67	0,9918	129	-0,0589	4,7 (0,2)	5,1
VN	60-80	Y= 4,5199x-41,702	0,9993	221	-0,1084	5,0 (0,05)	6,2
Guaraí							
Soja	0-20	Y= 6,6626x-99,372	0,9984	150	-0,0670	6,3 (0,4)	5,4
Soja	60-80	Y=5,8651x-76,631	0,9995	171	-0,0765	5,0 (0,3)	6,8
VN	0-20	Y=5,8748x-76,116	0,9960	170	-0,0771	4,6 (0,2)	5,2
VN	60-80	Y=5,6906x-71,717	0,9991	176	-0,0793	5,4 (0,2)	5,0

⁽¹⁾ Y= C/ (x/m) em g g⁻¹; CMAP = capacidade máxima de adsorção de fosfato; ⁽²⁾ Constante a relacionada com a energia de adsorção de fosfato ao solo. ⁽³⁾ Desvio-padrão das amostras entre parênteses. PESN: Ponto de efeito salino nulo.

Fonte: Elaboração dos autores (2021).

Figura 2. Teores médios da CMAP dos solos nas diferentes coberturas e camadas em LEM e Guaraí. Desvio-padrão da média representando por barras. Literatura 1 = Textura Areia Franca. Literatura 2 = Textura Francoarenosa. Literatura 3 = Textura Franco-Argiloarenosa. Literatura = Fernández *et al.* (2008); Souza *et al.* (2006); Pinto *et al.* (2013).



Fonte: Elaboração dos autores (2021).

Notadamente, em função dos dados obtidos no presente estudo, é reforçada a necessidade da recomendação dos fertilizantes fosfatados com base nos teores de P_{rem} . Segundo Alvarez *et al.* (2017), o P_{rem} é mais adequado que o teor de argila como medida indireta da capacidade tampão do solo em relação a P, a qual pode ser estendida ao S e Zn, por ser sensível à natureza mineralógica da fração argila do solo. Adicionalmente, o P_{rem} é sensível à variação do poder tampão do solo em relação a esses nutrientes ocasionada por alterações nos teores de matéria orgânica do solo. Com esta condição técnico-científica é possível, pela interpretação do P_{rem} , elaborar uma avaliação e recomendação de adubação otimizada quanto à aplicação dos fertilizantes fosfatados e garantir a quantidade necessária de P para as culturas agrícolas.

Neste sentido, alguns manuais contemplam o P_{rem} para a avaliação e recomendação de nutrientes, como a 5ª Aproximação - Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (RIBEIRO *et al.*, 1999), para o Cerrado - Cerrado: correção do solo e adubação (SOUZA *et al.*, 2004) e para o Acre (WADT; SILVA, 2011).

Conclusões

Os teores de fósforo remanescente (P_{rem}) são maiores na camada de 0 cm – 20 cm na região de LEM.

A capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAP) é pouco expressiva nos solos das duas regiões estudadas.

Entre as regiões, os solos de Guaraí têm maior potencial relativo de adsorção pelos maiores valores da razão CMAP/argila.

Agradecimentos

Ao CNPq, pela Bolsa de Iniciação Científica da terceira autora. Ao apoio financeiro dos projetos

Embrapa: Novos paradigmas no conhecimento dos solos frágeis para a produção agrícola do Brasil – FRAGISSOLO (02.11.05.003.00.00) e Sustentabilidade da agricultura em solos de textura leve em áreas de intensificação agrícola no bioma Cerrados – ARENOSSOLOS (02.12.01.019.00.00).

Referências

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 985-1002, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600003>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.

ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F.; CANTARUTI, R. B.; TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B. Fósforo remanescente. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G (editores). **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017 p. 573.

ALVES, M. E.; MACEDONIO, C. R.; LAVORENTI, A. Ponto de efeito salino nulo: determinação analítico-computacional a partir de dados de titulação potenciométrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 553-559, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200030>. Acesso em: 15 jul. 2021.

BATISTELLA, M.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E. de; VIEIRA, H. R.; VALLADARES, G. S.; MANGABEIRA, J. A. C.; ASSIS, M. C. de. **Monitoramento da expansão agropecuária na região Oeste da Bahia**. Campinas, Embrapa

Monitoramento por Satélite. Documentos, n. 20, 2002. Acesso em: 15 jul. 2021.

BEDIN, N. R.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIM, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção de soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfatos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 639-646, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400008>. Acesso em: 15 jul. 2021.

BORGGGAARD, O. K.; JØRGENSEN, S. S.; MØBERG, J. P.; RABEN-LANGE, B. Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides in sandy soils. **European Journal of Soil Science**, v. 41, n. 3, p. 443-449, 1990, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1990.tb00078.x>. Acesso em: 15 jul. 2021.

CPRM. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: Sistema de Informações Geográficas - SIG. Brasília, DF: CPRM, 2008. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acesso em: 28 jul. 2015.

CASTRO, K. B. de; MARTINS, E. S.; GOMES, M. P.; REATTO, A.; LOPES, C. A.; PASSO, D. P.; LIMA, L. A. S.; CARDOSO, W. S.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T. **Caracterização geomorfológica do município de Luís Eduardo Magalhães, oeste baiano, escala 1:100.000**. Planaltina, Embrapa Cerrados, Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 288, 2010.

CORDEIRO, F. R.; CESÁRIO, F. V.; FONTANA, A.; ANJOS, L. H. C. dos; CANTO, A. C. B. do; TEIXEIRA, W. G. Pedotransfer functions: the role of soil chemical properties units conversion for soil classification. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 44, e0190086. 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190086>. Acesso em: 15 jul. 2021.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAUJO FILHO, J. C.; SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE, M. R.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900001>. Acesso em: 15 jul. 2021.

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. D. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p.1009-1016, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300010>. Acesso em: 15 jul. 2021.

FERNÁNDEZ, I. E. J.; NOVAIS, R. F.; NUNES, F. N.; KER, J. C. Reversibilidade do fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química. II – Extrações sucessivas do fósforo pela resina de troca aniônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p.2319-2330, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600011>. Acesso em: 15 jul. 2021.

FONTES, M. R.; WEED, S. B.; BOWEN, L. H. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some Oxisols from Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p 982-990, 1992. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030050x>. Acesso em: 15 jul. 2021.

HUANG I.; HARTEMINK, A. E. Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-Science Reviews**, v. 208:103295, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103295>

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

PARFITT, R. L. Anion adsorption by soil material. **Advance in Agronomy**, Elsevier Inc. All, v. 30, p. 1-50, 1978.

PÉREZ, D. V.; CAMPOS, D. V. B. de; TEIXEIRA, P. C. Ponto de carga zero (PCZ). In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, 2017, p. 249-254.

PINTO, F. A.; SOUZA, E. D.; PAULINO, H. B.; CURI, N.; CARNEIRO, M. A. C. P-sorption and desorption in savanna Brazilian soils as a support for phosphorus fertilizer management. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 6, p. 521-530, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000600005>. Acesso em: 15 jul. 2021.

SANDIM, A. S.; BÜLL, L. T.; FURIM, A. R.; LIMA, G. S.; GARCIA, J. L. N. Phosphorus availability in oxidic soils treated with lime and silicate applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1215-1222, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400018>. Acesso em: 15 jul. 2021.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de, ARAÚJO FILHO, J. C de, OLIVEIRA, J. B. de, CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, Embrapa, 2018. 356p. Acesso em: 15 jul. 2021.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. **Adubação com fósforo**. In: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (editores *técnicos*). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: Influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 975-983, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000600007>. Acesso em: 15 jul. 2021.

SOUZA, P. A. B de; BORGES, R. S. T.; DIAS, R. R. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública - SEPLAN. Superintendência de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE. 6. ed. rev. atu. Palmas: Seplan, 2012. 80 p.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989, p.277.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017 p.573.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S.; HOEPERS, A.; SOUZA JUNIOR, I. G. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1059-1068, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400006>. Acesso em: 15 jul. 2021.

WADT, P. G. S.; SILVA, L. M. **Determinação do fósforo remanescente para a avaliação da disponibilidade de fósforo em solos do estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, Junho, 2011, p. 5 (Comunicado Técnico, 178).