



Características de Adsorção de Fósforo em Solos da Bacia Petrolífera de Urucu

Paulo César Teixeira⁽¹⁾; Gyovanni Augusto Aguiar Ribeiro⁽²⁾ & Maria Rosário Lobato Rodrigues⁽³⁾

(1) Pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Rodovia AM 010, km 29, CP 319, 69010-960, Manaus, AM, paulo.teixeira@cpaa.embrapa.br; (2) Bolsista do CNPq, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, gribeiro77@hotmail.com (3) Pesquisadora da Embrapa Amazônia Ocidental, Rodovia AM 010, km 29, CP 319, 69010-960, Manaus, AM, rosario.lobato@cpaa.embrapa.br. Apoio: EMBRAPA, CNPq, Rede CT-Petro, FINEP, PETROBRÁS.

RESUMO: As atividades de exploração de petróleo e gás na Amazônia originam a abertura de clareiras e aumento de áreas degradadas. Estudos das características do solo contribuem para a adoção de medidas mitigadoras. Este trabalho objetivou quantificar a adsorção de fósforo em solos originários da Formação Solimões, na bacia do rio Urucu, em Coari, e avaliar a influência de alguns atributos do solo sobre esta característica. Amostras de solos de quatro locais e três profundidades foram caracterizadas química e fisicamente. Os pontos para ajuste da isoterma de Langmuir foram obtidos adicionando-se 25 mL de solução de CaCl_2 10 mmol L^{-1} , contendo P nas doses indicadas, a amostras de 2,5 g de solo. Após 24 h de agitação, o P na solução de equilíbrio foi quantificado. Os valores encontrados foram ajustados à equação de Langmuir para avaliar a CMAP. Os dados foram submetidos a análises de variância, testes de Tukey e correlações de Pearson. Os solos variaram química e fisicamente e houve variação na CMAP, principalmente em maiores profundidades. De maneira geral, os valores variaram de 0,908 a 1,631 mg g^{-1} . A CMAP correlacionou-se positivamente com Al (0,66**), Fe (0,58*) e argila (0,85**) e negativamente com o Prem (-0,83**), MO (-0,57**), P (-0,31*), areia (-0,71**) e silte (-0,33*).

Palavras-chave: áreas degradadas, capacidade máxima de adsorção de fosfato, Amazônia.

INTRODUÇÃO

As atividades de exploração de petróleo e gás realizadas na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM), Província Petrolífera de Urucu, em Coari-AM, têm originado a abertura de clareiras e, conseqüentemente, um aumento na quantidade de áreas degradadas. A retirada da cobertura vegetal para a atividade de prospecção de gás e petróleo remove a camada mais fértil e expõe a superfície do

solo à ação direta do sol e da chuva, ocasionando alterações na sua estrutura, resultando em processos erosivos, na compactação e diminuição da qualidade dos mesmos, tornando-se desfavorável para o crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais.

O estudo das características químicas dos solos contribui diretamente para o melhor entendimento dos ecossistemas terrestres e em alguns casos, como da exploração de gás e petróleo, contribui para a adoção de medidas mitigadoras ou para a recuperação destas áreas consideradas degradadas.

O fósforo é um dos elementos essenciais para as plantas e animais. Em solos altamente intemperizados, sua disponibilidade é normalmente muito baixa, necessitando aplicação de fertilizantes (Novais e Smyth, 1999; Novais et al., 2007).

A capacidade de adsorção de fósforo no solo depende da quantidade de sítios adsorptivos. Estes são dependentes da mineralogia, da área superficial específica e da cristalinidade dos constituintes minerais do solo. A capacidade de sorção de um solo é influenciada pelo pH, pela quantidade de fósforo previamente sorvida, pela quantidade de argila e pela presença de ânions orgânicos, entre outros (Novais e Smyth, 1999; Meurer et al., 2000).

Para descrever o fenômeno da adsorção de Fosfatos nos solos, têm sido empregadas as isotermas de adsorção ajustadas a equações como a de Langmuir (Olsen e Watanabe, 1957) ou de Freundlich (Novais e Smyth, 1999; Novais et al., 2007).

Este trabalho teve como objetivos quantificar a adsorção de fósforo em solos originários de quatro locais da BOGPM, bacia petrolífera de Urucu, em Coari-AM, bem como avaliar a influência de alguns atributos do solo sobre esta característica.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de solos nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm na



área de exploração de gás e petróleo da Petrobrás, na bacia do Rio Urucu, município de Coari, Estado do Amazonas, em quatro locais: Local 1) Área de reflorestamento proveniente de campo de exploração, denominada “jazida 21”, cuja camada superficial do solo foi retirada e onde foram implantadas duas espécies de leguminosas, Tefrósia (*Tephrosia candida* (Roxb.) D.C.) e Flemingia (*Flemingia macrophylla* (Wild) Merr) e três espécies florestais: Angico (*Anadenanthera colubrina* Benth.), Angelim (*Dinizia excelsa* Ducke) e Goiaba de anta (*Bellucia grossularioides* L.); Local 2) Floresta primária adjacente à clareira da jazida 21; Local 3) Floresta primária de Terra Firme localizada próxima ao Porto Hélio e Local 4) Floresta primária de Terra Firme localizada próximo ao Porto Evandro. No Local 1, O preparo da área foi realizado em junho de 2003, com a roçagem da vegetação composta por algumas espécies que haviam sido implantadas em 2000, mas sem sucesso. A calagem foi realizada a lanço, em toda a área da Jazida 21, na dose de 2 t/ha de calcário dolomítico.

As amostras de solo coletadas foram secas ao ar, moídas, peneiradas e caracterizadas física e quimicamente conforme EMBRAPA (1997). O fósforo remanescente (Prem) foi determinado conforme estabelecido por Alvarez V. et al. (2000). Para tal, 5 cm³ de solo foram colocados em erlenmeyer e adicionados 50 mL de solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹ contendo 60 mg L⁻¹ de P. Agitou-se por 5 min, deixando-se repousar por 16 h. Após, determinou-se o teor de P em solução.

As doses para a determinação da CMAP foram calculadas com base no teor de Prem (Alvarez V. et al., 2000) e variaram de 0 a 260 mg L⁻¹. Os pontos para ajuste da isoterma de Langmuir foram obtidos adicionando-se 25 mL de solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo P nas doses indicadas, a amostras de 2,5 g de TFSA. Após 24 h de agitação, o fósforo na solução de equilíbrio (C) foi quantificado por colorimetria (EMBRAPA, 1997) e determinada e a quantidade de P adsorvida (x/m), quantidade que é dada pela diferença entre a concentração da solução inicialmente adicionada e a concentração de equilíbrio. Os valores de C e x/m foram, então, ajustados a uma equação. Os valores de adsorção encontrados foram ajustados à equação de Langmuir para avaliar a CMAP (Rajan e Fox, 1975), a energia de ligação e o fator capacidade de fósforo máximo (FCP). Os dados foram submetidos a análises de variância, testes de Tukey e correlações de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos coletados em diferentes locais variaram quanto às características químicas e físicas (Tab.1) e isso influenciou na determinação da capacidade máxima de adsorção de fósforo (Tab.1). De maneira geral, as melhores condições de fertilidade foram observadas na camada de 0-20 cm de profundidade, principalmente para o teor de M.O. e de N. Na área da Jazida 21 (Local 1), o teor de P na camada de 0-20 cm foi mais elevado que nas demais. Houve grande variação na CMAP entre os solos, principalmente em maiores profundidades. De maneira geral, os valores variaram de 0,908 a 1,631 mg P g⁻¹ situando-se a maioria, segundo classificação proposta por Juo e Fox (1977), na classe de muito alta CMAP. Na camada de 0-20 cm não houve diferença na CMAP entre os solos coletados nos diferentes locais. Em média, os maiores valores de CMAP foram obtidos no Local 1 (1,462 mg P g⁻¹), na clareira aberta denominada Jazida 21. Os menores valores médios foram obtidos nas demais áreas, ainda com a composição florestal intacta. Os valores de adsorção obtidos foram bem mais elevados que os encontrados por Ranno *et al.* (2007) (0,071 a 0,933 mg P g⁻¹), e Falcão e Silva (2004) (0,297 a 0,888 mg P g⁻¹), em solos de várzea do Rio Grande do Sul e de terra firme do Amazonas, respectivamente. Entretanto, os valores obtidos aproximam-se de alguns encontrados por Guilherme *et al.* (2000) em solos de várzea de Minas Gerais. Curi *et al.* (1988), estudando a adsorção de fósforo em materiais do horizonte Bw de Latossolos das regiões Sudeste e Sul do Brasil, verificaram também ampla variação na adsorção de P, ou seja, valores de 0,495 até 3,400 mg P g⁻¹.

Em média, os maiores valores de matéria orgânica e os menores valores de CMAP foram encontrados na camada mais superficial (Tab.1). Segundo Schwertmann e Taylor (1989) e Almeida *et al.* (2003), os horizontes superficiais do solo, pelo fato de apresentarem teores mais altos de matéria orgânica, tendem a fixar menor quantidade de fósforo do que os horizontes subsuperficiais, permitindo maior aproveitamento do fósforo oriundo das adubações fosfatadas. Isso pode explicar o fato de os maiores valores de CMAP terem sido encontrados na clareira 21, onde foram obtidos os menores valores de matéria orgânica, devido a retirada das camadas superficiais do solo.

Verificou-se que, considerando todas as camadas de solo, a CMAP correlacionou-se significativamente com diversos atributos do solo (Tab.2). A CMAP



correlacionou-se positivamente com o teor de Al ($r = 0,66^{**}$), de Fe ($r = 0,58^{**}$) e de argila ($r = 0,85^{**}$). A CMAP correlacionou-se negativamente com o Prem ($r = -0,83^{**}$), com o teor de MO ($r = -0,57^{**}$), de P ($r = -0,31^*$), de areia ($r = -0,71^{**}$) e de silte ($r = -0,33^*$). Diversos autores também verificaram correlações positivas entre a CMAP e o teor de argila (Pereira, 1996, Falcão e Silva, 2004, Ranno et al., 2007). Nas condições de reação ácida a moderadamente ácida, os óxidos de ferro e de alumínio apresentam-se preferencialmente com cargas positivas, sendo assim capazes de reter em sua superfície vários tipos de ânions, com predomínio de íons fosfatos. Nos óxidos e na caulinita também ocorre adsorção específica de fosfato nos sítios ácidos de Lewis (Hedley et al., 1990; Almeida et al., 2003).

CONCLUSÃO

As amostras de solos da superfície e subsuperfície do solo da região do Urucu apresentaram baixos valores de P disponível e elevadas taxas de adsorção, conseqüentemente a adubação fosfatada é uma prática essencial para o estabelecimento dos cultivos

REFERÊNCIAS

- Almeida, J.A.; Torrent, J.; Barrón, V. 2003. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27(6): 985-1002.
- Alvarez V., V.H.; Novais, R.F.; Dias, L.E.; Oliveira, J.A. 2000. *Determinação e uso do fósforo remanescente*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 25(1): 27-33. (Boletim Informativo).
- Curi, N.; Camargo, O.A.; Guedes, G.A.A.; Silveira, J.V. 1988. Sorção de fósforo em materiais de Latossolos do Brasil Sudeste e Sul. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988. *Anais...* Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. p.267-282.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. Centro Nacional de Pesquisa em Solos, Rio de Janeiro. 212pp.
- Falcão, N.P.S.; Silva, J.R.A. 2004. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. *Acta Amazônica*, 34(3): 337-342.
- Guilherme, L.R.G.; Curi, N.; Silva, M.L.N.; Renó, N.B.; Machado, R.A.F. 2000. Adsorção de fósforo em solos de várzea do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24: 27-34.
- Hedley, M.J.; Hussin, A.; Bolan, M.S. 1990. New approaches to phosphorus fertilization. In: SYMPOSIUM OF PHOSPHORUS REQUIREMENTS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN ASIA AND OCEANIA, 1, 1990, Los Banos. *Proceedings...* Manila: IRRI. p.125-142.
- Juo, A.S.R.; Fox, R.L. 1977. Phosphate sorption capacity of some benchmark soils in West Africa. *Soil Science*, 124: 370-376.
- Meurer, E.J.; Rheinheimer, D.S.; Bissani, C.A. 2000. Fenômenos de superfície. In: Meurer, E.J. (Ed) *Fundamentos de química do solo*. Porto Alegre: Gênese. p.77-105.
- Novais, R.F.; Smyth, T.J. 1999. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa, UFV, DPS. 399p.
- Novais, R.F.; Smyth, T.J.; Nunes, F.N. 2007. Fósforo. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.A.; Barros, N.F.; Fontes, L.E.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (Eds) *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.471-550.
- Olsen, S.R.; Watanabe, F.S. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society of American Proceedings*, 21: 144-149.
- Pereira, M.G. 1996. *Formas de Fe, Al e Mn como índices de pedogênese e adsorção de fósforo em solos do Estado do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 211pp.
- Rajan, S.S.S.; Fox, R.L. 1975. Phosphate adsorption by soils: II. Reactions in tropical acid soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, 39: 846-851.
- Ranno, S.K.; Silva, L.S.; Gatiboni, L.C.; Rhoden, A.C. 2007. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31: 21-28.
- Schwertmann, U.; Taylor, R.M. 1989. Iron oxides. In: Dixon, J.B.; Weed, S.B. eds. *Minerals in soil environments*. Madison, Soil Science Society of America. p.379-438.

Tabela 1. Características químicas, físicas, capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), energia de adsorção e fator capacidade de P máximo (FCP) de solos coletados em diferentes locais na base de operações Geólogo Pedro de Moura, em Coari, Amazonas, em três profundidades

Variável	Prof	Unidade	Local				Média
			1	2	3	4	
P	0-20	mg dm ⁻³	15,67 a	1,67 a	1,00 a	1,00 a	4,83
	20-40		2,23 b	0,67 a	1,00 a	1,00 a	1,22
	40-60		2,50 b	0,33 a	0,33 a	0,30 a	0,86
M.O.	0-20	g kg ⁻¹	9,98 a	28,75 a	33,07 a	32,29 a	26,02
	20-40		4,17 b	11,86 b	16,45 b	15,72 b	12,05
	40-60		2,74 b	7,29 b	10,85 c	10,83 b	7,92
Al	0-20	cmol _c dm ⁻³	2,86 b	3,87 a	5,69 a	5,30 a	4,43
	20-40		5,24 ab	3,91 a	5,45 a	5,10 a	4,92
	40-60		7,57 a	4,64 a	5,96 a	5,01 a	5,79
Prem	0-20	mg dm ⁻³	5,32 a	7,08 a	4,85 a	4,78 a	5,51
	20-40		2,38 ab	4,48 a	3,73 a	3,04 a	3,41
	40-60		1,40 b	3,81 a	3,54 a	2,66 a	2,85
AREIA	0-20	g kg ⁻¹	163 a B	206 a AB	229 a A	233 a A	208 a
	20-40		98 b B	186 a A	218 a A	219 a A	180 ab
	40-60		98 b B	162 a A	203 a A	208 a A	168 b
SILTE	0-20	g kg ⁻¹	460 a B	545 a A	455 a B	446 a B	476 a
	20-40		462 a B	525 a A	437 a BC	415 ab C	459 ab
	40-60		464 a A	506 a A	414 a B	392 b B	444 b
ARGILA	0-20	g kg ⁻¹	377 b A	249 b B	317 b A	321 b A	316 b
	20-40		440 a A	289 ab C	345 ab BC	366 ab B	360 a
	40-60		439 a A	332 a B	383 a A	400 a A	388 a
CMAP	0-20	mg g ⁻¹	1,244 a A	0,908 a A	1,093 a A	1,096 a A	1,085 b
	20-40		1,512 a A	1,116 a AB	1,224 a B	1,297 a AB	1,243 ab
	40-60		1,631 a A	1,144 a B	1,224 a AB	1,452 a AB	1,362 a
Energia	0-20	L mg ⁻¹	0,046 a B	0,191 a A	0,173 a A	0,189 a A	0,149 a
	20-40		0,072 a A	0,096 b A	0,075 b A	0,051 b A	0,070 c
	40-60		0,071 a BC	0,096 b B	0,048 b C	0,156 a A	0,093 b
FCP	0-20	mL g ⁻¹	58,7 b B	172,2 a A	188,2 a A	206,9 a A	156,5 a
	20-40		112,6 ab A	89,9 b A	77,6 b A	66,2 b A	86,6 b
	40-60		117,2 ab	109,7 b B	58,5 b B	225,2 a A	127,6 b

Para cada variável, médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre algumas características químicas do solo e parâmetros da isoterma de adsorção de fósforo

	CMAP ¹	a ^{2/}	FCP ^{3/}	pH H ₂ O	Prem ^{4/}	M.O.	P	Al	H+Al	Fe	Areia	Silte	Argila
CMAP	-	-	0,09ns	0,30*	-0,83**	-	-0,31*	0,66**	0,16ns	0,58**	-0,71**	-0,33*	0,85**
a		-	0,91**	-0,65**	0,29*	0,71**	-0,18ns	-0,00ns	0,44**	0,56**	0,37*	0,16ns	-
FCP			-	-0,52**	0,02ns	0,47**	-0,25ns	0,23ns	0,47**	0,28*	0,14ns	-	-
pH H ₂ O				-	-0,09ns	-	0,56**	-0,21ns	-0,65**	-	-0,53**	-	0,52**
Prem					-	0,52**	0,60**	-0,64**	-0,21ns	0,54**	0,56**	0,35*	-
MO						-	-0,05ns	-0,30*	0,55**	0,65**	0,70**	0,08ns	-
P							-	-0,55**	-0,57**	-	0,11ns	-	-
Al								-	0,73**	-0,38*	-0,35*	-0,27*	0,51**
H+Al									-	0,18ns	0,17ns	-	-
												0,11ns	0,05ns

<i>Fe</i>	-	0,42**	0,59**	-	0,81**
<i>Areia</i>	-	-	-	0,23ns	0,65**
<i>Silte</i>	-	-	-	-	0,58**

^{1/} capacidade máxima de adsorção de fósforo; ^{2/} energia de adsorção; ^{3/} Fator capacidade de fósforo máximo; ^{4/} fósforo remanescente

** , * . Sinificativo a 1 e 5%, respectivamente; ^{ns} . Não significativo a 5%