

CAPACIDADE DE TROCA DE CÂTIONS E ADSORÇÃO DE FOSFATO DE SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE CERRADO DO AMAPÁ¹

ARY CARLOS X. VELLOSO, GABRIEL DE ARAÚJO SANTOS e DORACY PESSOA RAMOS²

RESUMO - Foi estudada, em cinco solos sob vegetação de cerrado do Território Federal do Amapá, a capacidade de troca de cátions e de adsorção de fosfatos. Para a capacidade de troca de cátions determinada a pH 7,0, observou-se um aumento de, aproximadamente, 0,5 mEq/100 g para cada 0,1% de aumento do teor de carbono. Nos horizontes inferiores, com baixo teor de matéria orgânica, pode-se estimar a CTC da caulinita como variando entre 1,5 e 3 mEq/100 g de argila. Não se encontrou correlação entre a diferença da CTC medida a pH 8,2 e pH 7,0 com o teor de carbono orgânico. Os teores de fosfato adsorvido correlacionaram-se com as percentagens de oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio. Para os horizontes A desses solos, a média de fosfato adsorvido foi de 1,24 mmole/100 g.

Termos para indexação: solos tropicais, CTC, fósforo, latossolos, Amazonas.

CATION EXCHANGE CAPACITY AND PHOSPHATE ADSORPTION OF SOILS UNDER "CERRADO" (SAVANNAH) VEGETATION OF AMAPÁ/AMAZONIAN REGION

ABSTRACT - The properties of cation exchange capacity and phosphate adsorption were studied in five soils under "cerrado" vegetation, collected in the Federal Territory of Amapá, Brazil. The cation exchange capacity at pH 7.0 was related to the organic matter content; the increase of CTC was about 0.5 mEq per 0.1% carbon. In the lower horizons, with low contents of organic matter, the CTC of kaolinite could be estimated as varying from 1.5 to 3.0 mEq/100 g of clay. No correlation was found between the difference of CTC measured at pH 8.2 and 7.0 with the organic carbon content. The phosphate adsorbed was correlated with the percentage of oxihydroxides of iron and aluminum. In the A horizons of the soils the average of phosphate adsorbed was 1.24 mmole/100 g.

Index terms: tropical soils, CTC adsorption, phosphorus, Oxisols, Amazon.

INTRODUÇÃO

Análises químicas e experimentos de campo e vaso têm demonstrado que os solos sob vegetação de cerrado apresentam, invariavelmente, como característica comum, baixa fertilidade natural. São solos tipicamente ácidos, pobres em matéria orgânica (menos de 3%), com baixa capacidade de troca de cátions e deficientes em grande número de elementos essenciais às plantas (Jacomine 1969, Bennema 1963, Lopes 1977). Associada a estas características, a elevada capacidade de fixação de fosfato desses solos (Leal & Velloso 1973) contribui para a limitação de sua produtividade.

No Território Federal do Amapá, 1,9 milhão de hectares é estimado como sob vegetação de cerrado (Ferri 1977).

O estudo de algumas características químicas dos solos sob cerrado da Amazônia e a comparação

dessas características com as dos solos sob cerrado do Planalto Central constituem os objetivos deste trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

Cinco solos do Território Federal do Amapá, todos sob vegetação de cerrado, foram coletados para o desenvolvimento do presente estudo. Dos cinco solos estudados, os solos 1, 2, 3 e 4 são classificados como Latossolos Amarelos Podzólicos, e o solo 5, como Podzólico Vermelho-Amarelo. Em todos os solos, a caulinita é o mineral silicatado predominante na fração argila, não variando esta composição dentro dos perfis (Velloso et al. s.d.). A descrição sumária desses solos encontra-se no trabalho de Velloso et al. (s.d.). As análises químicas foram realizadas na terra fina secada ao ar, de acordo com a metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA 1979). A CTC-pH 8,2, correspondendo à soma de cátions determinados separadamente, incluindo a acidez extraível com solução de BaCl₂ - trietanolamina pH 8,2, foi determinada segundo Peech et al. (1962). A CTC efetiva foi considerada como sendo a soma das bases trocáveis mais a acidez trocável em KCl normal (Kamprath 1970). A CTC a pH 7,0 foi determinada como sendo a soma de bases trocáveis mais a acidez extraída com solução de acetado de cálcio normal, tamponada a pH 7,0 (EMBRAPA 1979).

¹ Aceito para publicação em 11 de agosto de 1981.

² Eng.º Agr.º Livre Docente, Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, km 47, Antiga Rodovia Rio-São Paulo, CEP 23460 - Seropédica, RJ.

No estudo de adsorção de fosfato, dois gramas de solo pulverizado foram agitados durante 48 horas com 50 ml de solução de KH_2PO_4 5×10^{-3} M. Este ponto foi escolhido com base nos dados de Leal & Velloso (1973) e, admitindo, que os solos sob vegetação de cerrado do Amapá apresentassem uma capacidade máxima de adsorção, próxima às dos solos do Planalto Central. Assim, usou-se uma concentração inicial de fosfato igual a 5×10^{-3} M (150 ppm) sendo que as concentrações das soluções em equilíbrio variaram de 12 a 15 ppm. Leal & Velloso (1973), verificaram para Latossolos do Brasil Central, que uma concentração de P de aproximadamente 10 ppm na solução em equilíbrio correspondia ao máximo da adsorção em todos os horizontes. Portanto, os dados de adsorção de fosfato verificados com uma única solução podem, nesse caso, ser bastante próximos aos da adsorção máxima, calculada pelo valor b da equação de Langmuir. Após agitação, durante 48 horas, as amostras foram centrifugadas e o fosfato determinado espectrofotometricamente pelo método do vanadato de amônio (Jackson 1958). O fosfato adsorvido foi calculado pela diferença entre as concentrações inicial e final da solução.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, as análises mostram que no horizonte A, o teor médio de carbono é igual a 1% e a CTC-pH 7 média é igual a 4,3 mEq/100 g de solo. A partir do horizonte B, os teores de carbono decrescem rapidamente para um valor médio de 0,2%, acarretando decréscimo de CTC para um valor médio de 2 mEq/100 g de solo.

Na Fig. 1 a CTC-pH 7,0 dos solos 1, 2, 3 e 4 é comparada com o teor de carbono orgânico, usando-se dados de todos os horizontes, além dos aqui discriminados. Nota-se um aumento de aproximadamente, 0,5 mEq/100 g na CTC para cada 0,1% de carbono, fato igualmente observado por Sombroek (1966) e Ramos & Velloso (1977) em solos da região amazônica. Com exceção do solo 5, nos horizontes B dos solos com teores de carbono orgânico bastante reduzidos, a CTC-pH 7,0 é baixa, mesmo embora a percentagem de argila seja alta naqueles horizontes (Velloso et al. s.d.). Para os solos 1, 2, 3 e 4, isso, praticamente, significa que a maior parte do valor da capacidade de troca de cátions se restringe à matéria orgânica dos solos. A atividade da fração argila silicatada, no caso caulinita, é bastante baixa, podendo-se, grosseiramente, através da percentagem de argila nos horizontes B (Tabela 2) e da CTC-pH 7,0 (Tabela 1), estimá-la entre 1,5 e 3 mEq/100 g de argila.

O teor de carbono orgânico para os horizontes A₁ (Tabela 1) dos Latossolos Amarelos Podzólicos (solos 1, 2, 3 e 4), foi proporcional ao conteúdo de argila. Aparentemente, fatores pedológicos como clima e vegetação, que ordinariamente exercem maior influência no teor de carbono orgânico (Jenny 1941), são bastante uniformes na região. Nesse caso, a proporcionalidade do conteúdo de carbono orgânico e argila pode resultar da interação entre a argila silicatada (ou oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio associados à argila silicatada) e a matéria orgânica, de tal forma que esta seja estabilizada (Greenland 1965).

Talvez as duas definições mais comuns da capacidade de troca de cátions sejam as quantidades de cátions adsorvidos de soluções salinas tamponadas a pH 7,0 e a pH 8,2 (Jackson 1958). Empiricamente, a determinação a pH 8, ou pouco mais, parece corresponder à completa troca de íons de ferro ou alumínio adsorvidos e sua posterior precipitação (Coleman & Thomas 1964). Então, a determinação da CTC pelo método tradicional do BaCl_2 -TEA-pH 8,2 poderá fornecer uma estimativa aproximada da carga da argila silicatada mais as contribuições da matéria orgânica presente.

Nos solos estudados, a CTC-pH 8,2 foi, invariavelmente, maior do que a CTC-pH 7,0 (Tabela 1), não se encontrando correlação entre a diferença destas duas determinações e a percentagem de carbono orgânico. Os dados da capacidade de troca de cátions a pH 7,0 e 8,2 dos horizontes A e B parecem mostrar que as diferenças de CTC entre pH 8,2 e 7,0 não podem ser atribuídas unicamente à matéria orgânica. Summer (1963), trabalhando com caulinita recoberta com óxidos de ferro, e Coleman et al. (1964), com minerais intergradientes, verificaram que a CTC em KCl 1N desses minerais era muito menor do que a CTC determinada a pH 8,2.

Provavelmente, a maior contribuição da matéria orgânica com relação à CTC, nos solos estudados (principalmente nos horizontes A), seria entre os valores de pH 4 e 7. A partir de 7, a caulinita contribuiria para as diferenças observadas através de dissociações de grupamentos hidroxílicos expostos e/ou pela desobstrução de sítios negativos bloqueados por polímeros de ferro ou alumínio. Broadbent & Bradford (1952) e Kamprath & Welch

TABELA 1. Características químicas dos solos.

Solos	Horizontes	Profundidade (cm)	Carbono %	pH		Bases trocáveis			Acidez trocável mEq/100 g	CTC		
				H ₂ O	KCl	Ca ⁺ +Mg	K ⁺	Na ⁺		S	efetiva	pH 7,0 pH 8,2
1	A ₁	0-10	1,06	4,9	4,2	0,6	0,10	0,05	0,75	2,1	5,1	9,3
	B ₁	24-60	0,21	5,0	4,3	0,5	0,04	0,06	0,60	1,5	2,5	6,1
	B ₂₂	100-142	0,07	5,0	4,1	0,7	0,02	0,04	0,76	1,9	2,2	6,1
2	A ₁	0-10	0,74	5,0	4,2	0,6	0,04	0,04	0,68	1,7	3,4	6,9
	B ₁	23-50	0,25	5,2	4,4	0,5	0,04	0,05	0,59	1,3	1,9	6,2
	B ₂₁	50-85	0,22	5,2	4,5	0,7	0,03	0,05	0,78	1,3	2,1	7,0
	B ₂₂	85-155	0,21	5,2	4,5	0,5	0,04	0,04	0,58	1,0	2,0	6,8
3	A ₁	0-15	0,93	5,0	4,1	0,8	0,05	0,05	0,90	2,3	4,6	10,4
	B ₁	25-60	0,22	5,3	4,5	0,3	0,04	0,06	0,40	0,9	1,8	5,7
	B ₂₂	90-130	0,14	5,4	4,6	0,3	0,04	0,06	0,40	0,7	1,9	7,1
	B ₂₃	130-165	0,14	5,2	4,6	0,3	0,03	0,04	0,37	0,7	1,7	6,0
4	A ₁	0-15	1,01	4,7	4,1	0,4	0,05	0,05	0,50	1,8	4,3	10,2
	B ₁	30-50	0,38	5,1	4,5	0,3	0,03	0,06	0,39	0,8	1,7	6,9
	B ₂₃	125-155	0,13	5,2	4,6	0,3	0,02	0,03	0,35	0,6	1,7	7,4
5	A ₁	0-23	0,83	4,8	4,0	0,5	0,05	0,04	0,59	1,9	3,9	9,4
	B ₂₂	40-70	0,20	4,9	4,1	0,4	0,03	0,03	0,46	2,3	2,8	9,0
	C	103-133	0,12	4,7	4,0	0,5	0,03	0,03	0,56	3,8	3,9	10,0

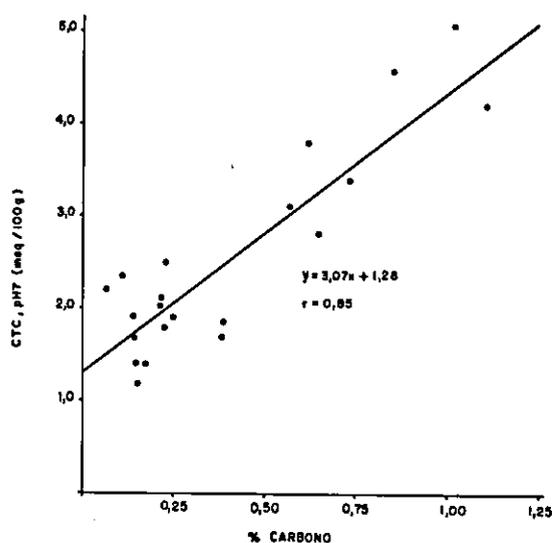


FIG. 1. Relação entre o teor de carbono orgânico e a capacidade de troca de cátions determinada a pH 7,0.

(1962), trabalhando com solos ácidos, verificaram que a matéria orgânica se comportava como possuindo um pK_a em torno de 6. Observaram que em pH 6 a matéria orgânica já apresentava uma CTC igual à metade daquela existente em pH 8,2.

A Tabela 2 mostra a grande variabilidade dos solos quanto à capacidade de adsorção de fosfato. Velloso et al. (s.d.), estudando a mineralogia destes solos, verificaram que os mesmos apresentam teores relativamente baixos de oxi-hidróxidos de ferro, ausência ou pequenas quantidades de gibsitita e elevados teores de caulinita. As percentagens de oxi-hidróxidos de ferro (extraídos com citrato-bicarbonato-ditionito) e de alumínio (extraído com NaOH 0,5N fervente durante 2,5 minutos) são relativamente baixos quando comparados com os solos do Planalto Central do Brasil.

A quantidade de fosfato adsorvido foi altamente correlacionado com o teor de argila dos solos ($r = 0,72^{**}$). Para se determinar as frações da argila mais envolvidas na adsorção de fosfato, as quanti-

TABELA 2. Adsorção de fosfato pelos solos de soluções de KH_2PO_4 5×10^{-3} M.

Solos	Horizontes	Argila	%		Fosfato adsorvido	
			Fe_2O_3 *	Al_2O_3 **	mmoles/100 g	mg/100 g
1	A ₁	37	2,6	3,8	1,5	47
	B ₁	45	4,0	7,6	3,0	93
	B ₂₂	49	2,8	7,1	2,3	71
2	A ₁	28	2,5	2,6	1,1	34
	B ₁	36	2,9	6,4	2,3	71
	B ₂₁	44	3,2	8,0	3,4	105
	B ₂₂	47	3,8	8,3	3,2	99
3	A ₁	34	1,6	4,7	1,1	34
	B ₁	44	1,9	7,6	1,9	59
	B ₂₂	57	2,3	9,1	3,2	99
	B ₂₃	60	2,3	9,5	3,0	93
4	A ₁	41	2,3	6,8	1,5	47
	B ₁	51	2,8	9,1	1,9	59
	B ₂₃	57	3,1	11,3	2,6	81
5	A ₁	13	0,8	1,5	1,0	31
	B ₂₂	47	3,3	4,1	2,2	68
	C	45	3,3	4,1	2,4	74

* Extração com citrato-bicarbonato-ditionito da TFSA (Velloso et al. 1980).

** Extração com NaOH 0,5 N fervente durante 2,5 minutos da TFSA (Velloso et al. 1980).

dades de fosfato adsorvido foram correlacionadas com as percentagens de Al_2O_3 (amorfo) e de Fe_2O_3 (extraído com citrato-bicarbonato-ditionito) dos solos. As correlações obtidas, $r = 0,70^{**}$ com % Al_2O_3 , $r = 0,66^{**}$ com % Fe_2O_3 e $r = 0,78^{**}$ com % $Al_2O_3 + Fe_2O_3$, de um modo geral confirmam os resultados encontrados por outros pesquisadores (Dean 1949, Hemwall 1957, Larsen 1967). Segundo Muljadi et al. (1966), a caulinita apresenta propriedades de adsorção aniônica. A pH 5,0 a adsorção de fosfato se situa entre 1,2 a 1,8 mmole/100 g, quando a concentração de fosfato na solução em equilíbrio está em torno de 15 ppm de P. Considerando-se os teores de caulinita dos solos estudados entre 20 a 40% (Velloso et al. Prelo), resta para esta argila uma contribuição de aproximadamente 0,2 a 0,7 mmole/100 g de fosfato adsorvido/100 g de solo. Estes dados indicam, portanto, que nos solos estudados, os oxi-hidróxidos de ferro e óxidos amorfos de alumínio contribuem para a maior parte do fosfato adsorvido.

Trabalhando com horizontes A dos solos sob vegetação de cerrado do Planalto Central, Leal & Velloso (1973) encontraram correlações altamente significativas entre adsorção de fosfatos e os teores de óxidos amorfos de alumínio. Embora os teores de oxi-hidróxidos de ferro fossem elevados, aqueles autores não encontraram qualquer correlação com a adsorção de fosfato. No presente caso, tomando-se apenas os dados dos horizontes A, observa-se aparente desproporcionalidade entre os teores de oxi-hidróxidos de ferro e a adsorção de fosfato. É bem provável, portanto, a existência, também para os solos do Planalto Central, de uma correlação entre a adsorção aniônica e os teores de ferro, desde que dados dos horizontes B e não apenas dos horizontes A sejam incluídos. Para os cinco horizontes A dos solos estudados, a média de fosfato adsorvido se situa em 1,24 mmole/100 g, bem próxima, portanto da encontrada para os solos do Planalto Central que foi de 1,36 mmole/100 g.

REFERÊNCIAS

- BENNEMA, J. Características químicas e físicas de Latossolos sob vegetação de cerrado. Rio de Janeiro, 1963. p.137-43. (DPEA. Boletim Técnico, 15).
- BROADBENT, F.E. & BRADFORD, G.R. Cation-ex-

- change groupings in the soil organic fraction. *Soil Sci.*, 74:447-57, 1952.
- COLEMAN, N.T. & THOMAS, G.W. Buffer curves of acid clays as affected by the presence of ferric iron and aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:187-90, 1964.
- COLEMAN, N.T.; THOMAS, G.W.; LEROUX, F.H. & BREDELL, G. Salt-exchangeable and titratable acidity in bentonite-sesquioxide mixtures. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:35-7, 1964.
- DEAN, L.A. The fixation of soil phosphorus. *Adv. Agron.* 1:390-411, 1949.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, RJ. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1979.
- FERRI, M.G. Ecologia dos cerrados. In: _____ IV Simpósio sobre o cerrado; bases para utilização agropecuária. São Paulo, Ed. Univ. São Paulo, 1977. p.15-33.
- GREENLAND, D.J. Interaction between clays and organic compounds in soils. II. Adsorption of soil organic compounds and its effects on soil properties. *Soil Fert.*, 28:521-32, 1965.
- HEMWALL, J.B. The fixation of phosphorus by soils. *Adv. Agron.*, 9:95-112, 1957.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, New Jersey, 1958. 498p.
- JACOMINE, P.K.T. Descrição das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas de alguns perfis de solos sob vegetação de cerrado. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Escritório de Pesquisa e Experimentação, 1969. (Escr. Pesq. Exp. Min. Agricultura. Boletim Técnico, 11).
- JENNY, H. Factors of soil formation. N.Y., McGraw-Hill, 1941.
- KAMPRATH, E.J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34:252-4, 1970.
- KAMPRATH, E.J. & WELCH, C.D. Retention and cation-exchange properties of organic matter in Coastal Plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 26:263-8, 1962.
- LARSEN, S. Soil phosphorus. *Adv. Agron.*, 19:151-209, 1967.
- LEAL, J. & VELLOSO, A.C.X. Adsorção de fosfato em Latossolos sob vegetação de cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Sér. Agron. 8:81-8, 1973.
- LOPES, A.S. & COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under cerrado vegetation in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:742-6, 1977.
- MULJADI, D.; POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. Part I. The isotherms and the effect of pH on adsorption. *J. Soil Sci.*, 17:212-29, 1966.
- PEECH, M.; COWAN, R.L. & BAKER, J.H. A critical study of the $BaCl_2$ -triethanolamine and the am-

- monium acetate methods for determining the exchangeable hydrogen content of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 26:37-40, 1962.
- RAMOS, D.P. & VELLOSO, A.C.X. Características de alguns solos da Região do Médio-Amazonas. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 12(único):97-104, 1977.
- SOMBROEK, W.G. Amazon soils; a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen, Center Agr. Pub. Coc., 1966.
- SUMMER, M.E. Effect of iron oxides on positive and negative charges in clays and soil. *Clay Miner. Bull.*, 5:218-26, 1963.
- VELLOSO, A.C.X.; SANTOS, G. de A. & RAMOS, D.P. Características mineralógicas de solos sob vegetação de cerrado da região Amazônica. *Pesq. agropec. bras.* s.d.