



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Santos Weber, Oscarlina Lucia dos; Chitolina, José Carlos; Camargo, Otávio Antonio de; Ferracciu Alleoni, Luis Reynaldo

Cargas elétricas estruturais e variáveis de solos tropicais altamente intemperizados

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 29, núm. 6, 2005, pp. 867-873

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214053004>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

CARGAS ELÉTRICAS ESTRUTURAIS E VARIÁVEIS DE SOLOS TROPICAIS ALTAMENTE INTEMPERIZADOS⁽¹⁾

Oscarlina Lucia dos Santos Weber⁽²⁾, José Carlos Chitolina⁽³⁾, Otávio Antonio de Camargo⁽⁴⁾ & Luis Reynaldo Ferracciu Alleoni⁽⁵⁾

RESUMO

Os solos tropicais altamente intemperizados apresentam teor significativo de colóides com carga elétrica variável. Entretanto, são poucas as referências em relação à quantificação destas cargas, principalmente em solos ácricos, que representam o extremo na escala de intemperismo. Neste estudo, foram determinadas as cargas permanentes e as variáveis de dois Latossolos Vermelhos acriférreos, um Latossolo Amarelo ácrico e um Latossolo Amarelo acriférreico, que foram comparados a um Nitossolo Vermelho eutroférreico, com carga predominantemente permanente. As amostras foram investigadas pelo método da adsorção do íon césio (Cs^+), que mede a carga estrutural permanente (σ_o) e baseia-se na preferência do Cs^+ sobre o Li^+ na superfície da siloxana de grupos de superfície ionizáveis de menor seletividade ao íon Cs^+ . A carga variável representou mais que 50 % da carga total dos solos estudados. Dois dos quatro Latossolos com propriedades ácricas exibiram quantidade significativa de carga permanente, provavelmente em razão da presença de vermiculita com hidróxi entrecamadas e clorita. A quantidade de carga permanente apresentada pelo Nitossolo foi até cinco vezes maior se comparada à dos Latossolos, o que pode ser atribuído à diferença na constituição mineralógica. O método da adsorção de Cs foi capaz de identificar teores significativos de carga permanente estrutural, mesmo em solos com baixo teor de minerais 2:1.

Termos de indexação: césio, mineralogia, troca iônica.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado da primeira autora, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Recebido para publicação em e aprovado em

⁽²⁾ Pesquisador Científico do Departamento de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal do Mato Grosso – UFMT/FAMEV. Av. Fernando Corrêa da Costa s/n, CEP 78060-900 Cuiabá (MT). E-mail: oscsan@uol.com.br

⁽³⁾ Professor da Escola de Engenharia de Piracicaba – EEP. R. Monsenhor Martinho Salgot 560, CEP 13414-900 Piracicaba (SP). E-mail: jcchitolina@yahoo.com.br

⁽⁴⁾ Pesquisador Científico do Centro de Solos e Recursos Agroambientais, Instituto Agronômico de Campinas – IAC. Caixa Postal 28, CEP 13010-970 Campinas (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: ocamargo@iac.sp.gov.br

⁽⁵⁾ Professor Associado do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Caixa Postal 09, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: lrfalleo@esalq.usp.br

SUMMARY: STRUCTURAL AND VARIABLE ELECTRIC CHARGES OF HIGHLY WEATHERED TROPICAL SOILS

Highly weathered tropical soils present high amount of colloids with variable electrical charge. However, there are few references related to the quantification of such charges, mainly in soils with acric attributes, which represent one of the extremes in the weathering scale. In this study permanent and variable charges were determined in four Oxisols and compared to an Alfisol with predominantly permanent charge. Samples were investigated using the Cs⁺ adsorption method, which measures the structural permanent charge (σ_0) and is based on the preference of Cs⁺ over Li⁺ in the siloxane surface sites and the lower selectivity of ionizable surface group for the cesium ion. The variable charge represented more than 50% of the total charge of the evaluated soil samples. Two of the four Oxisols with acric properties had a significant permanent structural charge, probably due to small quantities of aluminum hydroxy-interlayer vermiculite and chlorite. The amount of permanent structural charges presented by the Alfisol was five times higher as compared to the Oxisols, which may be attributed to their mineral composition differences. The cesium adsorption method was able to quantify significant amounts of structural charges even in soils with a low amount of 2:1 clay minerals.

Index terms: cesium, electrochemical, ionic exchange.

INTRODUÇÃO

A maioria das reações que ocorrem na fração mineral da argila e na matéria orgânica coloidal, tais como: a adsorção e a dessorção de íons e a dispersão e flocação de coloides, são fenômenos de superfície. O entendimento da quantidade e da distribuição de cargas na superfície dos coloides é fundamental para explicar o comportamento das partículas coloidais, os atributos físicos e químicos do solo, bem como para recomendar o manejo dos solos das regiões dos trópicos úmidos e entender a evolução deles (Uehara, 1988).

As cargas elétricas nos coloides dos solos são didaticamente divididas em estruturais ou permanentes e variáveis. As permanentes desenvolvem-se na superfície da partícula sólida do solo por substituição iônica, enquanto as variáveis, por meio de dissociação e associação de prótons (H⁺) (protoação/deprotoação) e adsorção específica de cátions e ânions (Stumm & Morgan, 1981).

A fração argila dos solos das regiões de clima tropical e subtropical, por apresentar avançado grau de intemperização, é dominada por argilominerais do tipo 1:1, predominantemente caulinita. Este mineral, principal e virtualmente o único mineral silicatado em teor expressivo, e os óxidos e hidróxidos de Fe e de Al (Fontes et al., 2001) conferem superfície com carga elétrica variável nesses ambientes. É de se esperar que esses solos, principalmente nas camadas subsuperficiais, tenham baixíssimas quantidades de carga estrutural, à medida que avança o processo de intemperização, o que afeta a fertilidade do solo e a produtividade das culturas, como a da cana-de-acúcar (Landell et al., 2003).

Os solos ácricos são importantes do ponto de vista geográfico e econômico, uma vez que só em São Paulo totalizam aproximadamente 170.000 ha que assentam uma agricultura altamente tecnificada. Além disso, são importantes do ponto de vista taxonômico, visto que representam o extremo na escala de intemperização. Entretanto, seu comportamento eletroquímico, em relação à magnitude das cargas variáveis e estruturais, e sua relação com atributos físicos, químicos e mineralógicos têm sido pouco estudados.

Ao longo dos últimos 30 anos, o principal método utilizado para determinar as cargas elétricas foi o da titulação potenciométrica (Gillman & Sumner, 1987; Alleoni & Camargo, 1994a,b). Nos anos 90s, o método da adsorção de Cs passou a ser empregado na determinação das cargas estruturais em solos de climas: temperado (Chorover et al., 1999), subtropical (Peixoto, 1995) e tropical (Fontes & Sposito, 1995).

O objetivo deste trabalho foi quantificar as cargas elétricas estruturais e variáveis de Latossolos ácricos, por meio do método da adsorção de Cs, e verificar sua relação com as cargas de um Nitossolo Vermelho, cujo estado de intemperização é menos avançado.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de solos da região norte do Estado de São Paulo, coletadas em duas profundidades: superficial (0–0,2 m) e subsuperficial, no horizonte B, de dois Latossolos Vermelhos acriférreicos (LVwf-1 e LVwf-2), dois Latossolos

Amarelos, um ácrico (L_{Aw}) e outro ácriférreco (L_{Awf}), e um Nitossolo Vermelho eutroférreco (N_{Vef}), incluído como padrão de solo com material de origem semelhante ao dos outros quatro, mas num estado menos adiantado de evolução.

As amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneiras com malha de 2 mm. A caracterização dos atributos do solo seguiu os métodos descritos em Camargo et al. (1986) e apresentados por Alleoni & Camargo (1995). Para o presente estudo, obtiveram-se os valores dos seguintes atributos: pH em água, carbono orgânico, ponto de efeito salino nulo (PESN), CTC, índice de intemperização $K_i = (SiO_2/60)/(Al_2O_3/102)$, análise granulométrica, análise mineralógica qualitativa, obtida por difração de raios-X, e análise quantitativa, para obter os teores de caulinita e de gibbsita, por meio da análise térmica diferencial (ATD).

Para determinar a carga estrutural, pesaram-se 3,5 g de amostra de solo em tubo de centrífuga de 50 mL. A amostra foi saturada com 24 g da solução de CsCl 0,5 mol kg⁻¹ de solução, agitada por 30 min, centrifugada em seguida, por 35 min, com força centrífuga relativa (FCR) de 9.820 x g, sendo descartada a solução sobrenadante.

Para reduzir a concentração do excesso de íons, a amostra do solo foi lavada três vezes com CsCl, adicionando-se nas duas primeiras lavagens, 20 g de CsCl 0,1 mol kg⁻¹. A amostra foi agitada por 30 min, centrifugada em 9.820 x g, por 35 min, e descartado o sobrenadante. Na terceira lavagem, foram adicionados 20 g de CsCl 0,05 mol kg⁻¹, sendo a amostra agitada por 30 min, centrifugada na mesma FCR e descartada a solução sobrenadante. Em seguida, homogeneizou-se a pasta de terra remanescente no tubo de centrífuga e retiraram-se subamostras de 0,5 g das amostras em triplicatas, transferindo-se para cadrinhos de porcelana, que foram posteriormente colocados a secar, por 48 h, a 110 °C. Com auxílio dessa umidade, determinou-se $M_{Pasta\ do\ solo\ seco}$.

Após secagem, as amostras foram transferidas para tubos de centrífuga de 50 mL, em triplicatas, 0,35 g de $M_{Pasta\ de\ solo\ seco}$, e suspensas em 3,5 g de solução de CsCl 0,05 mol kg⁻¹ a pH 6,0. O ajuste de pH foi feito com soluções de CsOH ou de HCl 0,05 mol kg⁻¹. As suspensões foram agitadas, por 60 min, num agitador; em seguida, centrifugadas a 8.820 x g, por 30 min, e descartadas as soluções sobrenadantes.

Para reduzir a concentração de Cs entrinhado e para que os complexos de esfera interna entre o íon Cs e as superfícies siloxanas se formassem, as subamostras de solo foram lavadas com 30 g de etanol (EtOH) a 95 % (v/v), passando-as em dois banhos ultra-sônicos por 5 min, alternando-se com três agitações num vortex por 10 seg. Centrifugaram-se as suspensões etanólicas a 8.820 x g, por 30 min, descartando-se as soluções sobrenadantes. Esta

lavagem foi repetida até que nenhum cloreto fosse detectado pelo teste com AgNO₃ 0,01 mol kg⁻¹, para, em seguida, as subamostras serem secas a 65 °C, por 48 h, em estufa de circulação de ar forçado.

Para deslocar os íons Cs dos grupos funcionais ionizáveis, as subamostras de solo foram novamente suspensas em 30 g de LiCl 0,01 mol kg⁻¹ a pH 6,0. As suspensões foram agitadas por 30 min, utilizando-se agitador horizontal e, em seguida, centrifugadas a 8.820 x g por 60 min. As soluções sobrenadantes foram transferidas para recipientes plásticos, previamente pesados, e as massas dos extratos de LiCl foram registradas. Os tubos de centrífuga que continham os solos remanescentes e soluções entrinhadas ($M_{T+pasta\ do\ solo\ seco+sobren}$) foram pesados a fim de quantificar a massa de solução entrinhada ($M_{Li\ Entr}$) (Equação 1).

$$M_{Li\ Entr} = M_{T+pasta\ do\ solo\ seco+sobren} - M_T - M_{Pasta\ do\ solo\ seco} \quad (1)$$

Na sequência, extraiu-se o íon Cs dos sítios com carga estrutural, adicionando-se ao solo remanescente 30 g da solução de NH₄OAc 1,0 mol kg⁻¹. Agitaram-se as suspensões, por 30 min, em agitador horizontal e, então, centrifugaram-nas a 3.444 x g, por 15 min. As soluções sobrenadantes foram transferidas para frascos plásticos de 250 mL, pré-pesados. Repetiram-se as extrações por três vezes, combinando-se todas as soluções extraídas com NH₄OAc sendo a massa obtida pesada (M_{NH4EXT}) e armazenada para posterior análise.

As determinações de Cs⁺ nos extratos de LiCl e de NH₄OAc foram feitas por espectrofotometria de emissão atómica em chama de ar-acetileno. A curva-padrão foi preparada com base na massa da solução-estoque de CsCl 0,05 mol kg⁻¹ nas mesmas matrizes de soluções de LiCl e NH₄OAc. Todas as amostras, padrões e diluições devem conter potássio como KCl (5 g kg⁻¹ de K⁺).

A carga variável, σ_H , (mol_c kg⁻¹ de solo) foi calculada a partir da quantidade de Cs trocável liberada da superfície, após equilíbrio da amostra com LiCl (equação 2).

$$-\sigma_H = \kappa_{Cs(Lisobr)} \times \frac{MLadic}{M_{Pasta\ do\ solo\ seco}} \quad (2)$$

na qual $\kappa_{Cs(Lisobr)}$ é a molalidade de Cs⁺ na solução sobrenadante, $M_{Li\ adic}$ é a massa da solução de LiCl adicionada [$M_{Li\ Extrato}$ (massa da solução sobrenadante) + $M_{Li\ Entr}$ (solução entrinhada após centrifugação)], e $M_{Pasta\ do\ solo\ seco}$ é a massa da pasta seca do adsorvente usado quando do processo da adsorção.

A carga permanente, σ_0 (mol_c kg⁻¹ de solo) foi calculada como excesso de Cs⁺ retido na carga de superfície específica relativa, seguindo a troca Li⁺ → Cs⁺ (Anderson & Sposito, 1991) – equação 3:

$$-\sigma_0 = n_{Cs\text{Tot}(\text{NH}_4\text{Ext})} - M_{\text{LiEntr}} \times \kappa_{Cs(\text{Li sobre})} \quad (3)$$

em que $n_{Cs\text{Tot}(\text{NH}_4\text{EXT})}$ é o número total de mols de Cs^+ do solo extraído pelo NH_4OAc por unidade de massa do adsorvente seco; $M_{E(Li)}$ é a massa da solução de LiCl entranhada por unidade de massa do adsorvente seco.

O termo $n_{Cs\text{Tot}(\text{NH}_4\text{EXT})}$ da equação 4 foi calculado da seguinte forma:

$$n_{Cs\text{Tot}(\text{NH}_4\text{EXT})} = \kappa_{Cs\text{EXT}} \times \left(\frac{M_{\text{NH}_4\text{EXT}}}{M_{\text{Pastado solo seco}}} \right) \quad (4)$$

em que, $\kappa_{Cs\text{EXT}}$ é a molalidade do Cs na solução extratora NH_4OAc ; $M_{\text{NH}_4\text{EXT}}$ é a massa da solução extratora de NH_4OAc .

A densidade da carga total de superfície, σ_{TOTAL} ($\text{mol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo) foi calculada como a soma de σ_0 e σ_H , ($\sigma_0 + \sigma_H = \sigma_{\text{TOTAL}}$)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice de intemperização é um bom indicador da dessilicatização do material de solo e, consequentemente, do estado de intemperização (Bennema et al., 1970), sendo o valores 2,2 admitido

como limite superior para os Latossolos. Valores altos indicam predomínio de minerais de argila do tipo 2:1, enquanto valores baixos indicam predomínio de óxidos de Fe e de Al na fração argila. Os solos áricos apresentaram valores inferiores a esse limite (variação de 0,60 a 0,99), indicando acentuada dessilicatização e presença de gibbsita. O NVef apresentou Ki 1,74 no horizonte A e 1,89 no B. Dentre os Latossolos áricos, o LVwf-2 apresentou menor Ki (Quadro 1), enquanto, nas outras amostras, o índice esteve próximo a 1,0.

Os difratogramas da fração argila deferrificada revelaram presença de caulinita e gibbsita em todas as amostras, tendo sido os picos de gibbsitas mais intensos. Na fração argila de alguns Latossolos, predomina a caulinita e, em outros, a gibbsita, e a variação depende do estado de intemperização dos solos (Motchi, 1977). Quanto maior o grau de intemperização, maiores os teores de gibbsita (Rodrigues & Klamt, 1978). Nos Latossolos áricos, observaram-se valores de gibbsita bem maiores do que os de caulinita (Quadro 1), diferentemente do que foi encontrado no NVef. Traços de minerais interestratificados e de minerais 2:1 individualizados foram identificados em quase todos os solos. A presença de interestratificados tem sido reportada em vários solos brasileiros (Kämpf et al., 1995).

Nas amostras da camada superficial, foram observados os menores valores de PESN, o que está de acordo com Alleoni et al. (2003). Nas amostras

Quadro 1. Atributos químicos, físicos e mineralógicos em duas profundidades dos solos estudados

Solo	Prof.	pH H ₂ O	PESN ⁽¹⁾	CTC ⁽²⁾	C ⁽³⁾	Silte	Argila	Ct ⁽⁴⁾	Gb ⁽⁵⁾	2:1+ minerais mal cristalizados ⁽⁶⁾	Ki ⁽⁷⁾	Mineralogia
NVef	0-0, 20	5,7	3,7	167	26	120	820	297	124	579	1,89	C > G > VHE cloritzada Gt ≥ Hm > Mh > Magn
	0,75-0,95	6,0	3,6	81	07	220	700	289	145	566	1,74	
LVwf-1	0-0,20	6,4	3,6	93	20	230	600	266	463	271	0,93	G > C > VHE cloritzada Hm ≥ Gt ≥ Mh
	0,80-1,00	5,3	5,7	22	05	230	640	234	492	274	0,87	
LVwf-2	0-0,20	5,1	3,4	100	25	120	700	111	449	440	0,60	G>C>VHE cloritzada Hm ≥ Gt ≥ Mh
	1,00-1,50	5,1	5,8	18	06	160	730	134	567	299	0,66	
LAW	0-0,20	4,6	3,4	49	16	40	350	235	247	518	0,98	G ≥ C > VHE cloritzada Gt > Hm > Fh > Qz
	0,30-0,70	5,1	6,1	14	06	40	450	209	235	556	0,97	
LAWf	0-0,20	4,9	3,4	82	24	90	630	183	369	448	0,87	G > C > VHE cloritzada Gt > Hm > Fh > Qz

⁽¹⁾ PESN = ponto de efeito salino nulo. ⁽²⁾ CTC = capacidade de troca catiônica. ⁽³⁾ C = carbono orgânico. ⁽⁴⁾ Ct = Caulinita. ⁽⁵⁾ Gb = gibbsita. ⁽⁶⁾ 2:1+ minerais mal cristalizados, estimados = 1.000 – (Caulinita–Gibbsita) (Peixoto, 1995). ⁽⁷⁾ ki = índice de intemperismo; NVef = Nitossolo Vermelho eutrófico; LVwf-1 = Latossolo Vermelho acríferrico textura argilosa; LVwf-2 = Latossolo Vermelho acríferrico textura arenosa; LAW-1 = Latossolo Amarelo árico; LAW-2 = Latossolo Amarelo acríferrico.

subsuperficiais, tais valores foram maiores, exceto para as amostras do NVef, cujos PESNs foram semelhantes nas duas profundidades, na faixa de 3,6. Destacam-se os elevados valores de PESN no horizonte B dos Latossolos ácricos (de 5,5 a 6,0), decorrente da menor participação de matéria orgânica e do efeito mais pronunciado dos óxidos de Fe e de Al, principalmente a gibbsita, que naturalmente tende a elevar o PESN dos solos (Hendershot & Lavkulich, 1978).

Em profundidade, o PESN dos Latossolos foi superior ao pH do solo, o que lhes conferiu carga líquida positiva nesta camada. Essa reversão de cargas no horizonte B é típica de solos tropicais altamente intemperizados, como os ácricos (Alleoni & Camargo, 1994a), e isso pode ser constatado nos valores de Ki dos solos (Quadro 1). Ao correlacionar a gibbsita com o PESN destes solos, foi possível fazê-lo associando o PESN do NVef com os Latossolos LVwf 1 e 2, os quais apresentaram correlação positiva ($r = 0,83$), confirmando o efeito da mineralogia na definição das cargas em profundidade.

Para todos os solos, os valores da carga elétrica variável (σ_H) das amostras superficiais foram maiores do que em profundidade, em virtude do maior teor de matéria orgânica. A carga variável correspondeu, em média, a 70 % da carga total nas camadas superficiais dos solos, com valor mínimo de 55 %, para o NVef, e máximo de 77 %, para o LAwf (Quadro 2). Em média, o valor de σ_H entre os horizontes A e B diminuiu 71 %, acompanhando uma queda média de 3,5 vezes no teor de carbono em profundidade. Tais resultados demonstram o importante papel que a matéria orgânica exerce na capa-

cidade de troca de íons, corroborando as observações de Raij & Peech (1972) e Yagi et al. (2003).

O NVef apresentou carga permanente quase cinco vezes superior à dos demais solos, o que pode ser consequência da constituição mineralógica, pois os Latossolos continham teores de gibbsita de quatro a cinco vezes maiores que os das amostras do NVef, que, por sua vez, apresentou teores mais elevados de caulinita e minerais 2:1 (VHE) + minerais mal cristalizados.

No NVef, no LVwf e no Lawf, obtiveram-se correlações positivas entre o índice Ki e os valores de σ_o ($r = 0,96$). As amostras do NVef, que é menos intemperizado e por isso tem maior Ki, apresentaram os maiores valores de σ_o . Dentre os Latossolos, o LVwf-1 e o LAwf, com valores próximos de Ki, tiveram cargas permanentes semelhantes e superiores aos das amostras do LVwf-2, cujos valores de Ki foram os mais baixos. As únicas exceções foram as amostras do LAwf, nas quais o Ki esteve próximo de 1,0 (na faixa do LVwf-1 e do LAwf), mas a σ_o foi bem mais baixa. Isto pode ser explicado pelo menor teor de silte destas amostras (40 g kg^{-1}), em relação aos demais. Na fração silte, é comum a presença de minerais 2:1 + minerais mal cristalizados, os quais constituem fonte potencial dessas cargas (Lim et al., 1980). Neste solo, a carga permanente de $3,7 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo no horizonte B deu-se, provavelmente, às cargas originadas de substituição iônica na caulinita, que pode chegar a $20 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo, segundo Sposito (1989), e à presença de minerais 2:1 que podem estar presentes como impureza na superfície da caulinita, recobrindo parte deste mineral (Lim et al., 1980).

Quadro 2. Cargas elétricas variáveis, permanentes e totais determinadas pelo método da adsorção de Cs em amostras de um Nitossolo e de quatro Latossolos ácricos

Solo	Profundidade	$-\sigma_H^{(1)}$		$-\sigma_o^{(2)}$		$-\sigma_{\text{TOTAL}}^{(3)}$	
		m	$\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo	% ⁽⁴⁾	$\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo	%	$\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo
NVef	0,0-0,20		$61,8 \pm 0,4$	55	$51,1 \pm 0,7$	45	$112,9 \pm 0,3$
	0,75-0,95		$35,8 \pm 0,6$	47	$41,1 \pm 0,1$	53	$77,0 \pm 0,6$
LVwf-1	0,0-0,20		$28,3 \pm 0,9$	71	$11,7 \pm 0,2$	29	$40,0 \pm 0,8$
	1,00-1,40		$17,8 \pm 0,7$	66	$9,1 \pm 0,3$	34	$27,0 \pm 0,6$
LVwf-2	0,0-0,20		$32,0 \pm 0,5$	76	$10,4 \pm 0,2$	24	$42,4 \pm 0,4$
	1,00-1,50		$15,8 \pm 0,1$	73	$5,9 \pm 0,0$	27	$21,6 \pm 0,1$
LAwf	0,0-0,20		$14,1 \pm 0,3$	71	$5,8 \pm 0,2$	29	$19,9 \pm 0,2$
	0,30-0,70		$10,1 \pm 0,6$	73	$3,7 \pm 0,2$	27	$13,8 \pm 0,9$
LAwf	0,0-0,20		$33,7 \pm 0,3$	77	$10,6 \pm 0,3$	23	$44,3 \pm 0,4$
	0,60-0,90		$18,5 \pm 0,3$	69	$8,4 \pm 0,1$	31	$27,0 \pm 0,3$

⁽¹⁾ σ_H = adsorção do íon Cs^+ para os sítios de carga variáveis. ⁽²⁾ σ_o = adsorção do íon Cs^+ para sítios de carga permanente. ⁽³⁾ σ_{total} = adsorção do íon Cs^+ para sítios de carga total. ⁽⁴⁾ % = percentagem em relação ao total.

NVef = Nitossolo Vermelho eutroférico; LVwf-1 = Latossolo Vermelho acríferrico textura argilosa; LVwf-2 = Latossolo Vermelho acríferrico textura média; LAwf = Latossolo Amarelo ácrico; LAwf = Latossolo Amarelo acríferrico.

Após exame da fração areia muito fina no microscópio óptico, observou-se que os óxidos de Fe recobriam as superfícies de minerais micáceos e não-micáceos. Esses recobrimentos, segundo Ghabru et al. (1990), reduzem o número de sítios acessíveis à adsorção catiônica da superfície siloxana dos argilominerais.

Os valores da carga total seguiram a tendência das cargas variáveis e das permanentes, isto é, decresceram em profundidade (Quadro 2). Tanto em superfície, quanto em subsuperfície, o NVef apresentou maior σ_{TOTAL} , e o LVwf-1 apresentou a menor.

O método de adsorção de Cs, adotado com grande eficácia na determinação de carga permanente para solos de clima temperado, mostrou-se capaz de detectar significativo teor dessa carga em solos tropicais, principalmente nos Latossolos ácricos, que, apesar de estarem no último nível de intemperização, mantêm cargas estruturais protegidas do desgaste natural.

CONCLUSÕES

1. A carga variável representou mais que 50 % da carga total dos solos, sendo mais acentuada nos Latossolos ácricos, nos quais ela representou média de 70 % do total.

2. Os Latossolos ácricos exibiram teor significativo de carga permanente, a qual foi atribuída à presença de VHE, mesmo em baixíssimos teores. O NVef apresentou carga permanente cinco vezes maior que os Latossolos ácricos.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela bolsa de Doutoramento concedida à primeira autora; ao Dr. Ricardo Trippia G. Peixoto, do IAPAR, pelo apoio técnico e científico durante a realização do trabalho.

LITERATURA CITADA

ALLEONI, L.R.F & CAMARGO, O.A. Pontos de efeito salino nulo de Latossolo ácrico. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:175-180, 1994a.

ALLEONI, L.R.F & CAMARGO, O.A. Potencial elétrico superficial e carga elétrica líquida de latossolos ácricos. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:181-185, 1994b.

ALLEONI, L.R.F. & CAMARGO, O.A. Óxidos de ferro e de alumínio e a mineralogia da fração argila deferrificada de latossolos ácricos. *Sci. Agric.*, 52:416-421, 1995.

ALLEONI, L.R.F.; ZAMBROSI, F.C.B.; MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I. & PAULETTI, V. Liming and electrochemical properties of an oxisol under no tillage. *Sci. Agric.* 60:119-123, 2003.

ANDERSON, S.J. & SPOSITO, G. Cesium adsorption methods for measuring accessible structural surface charge. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:1569-1576, 1991.

BENNEMA, J.; JONGERIUS, A. & LEMOS, R.C. Micromorphology of some oxic and argilic horizons in South Brazil in relation to weathering sequences. *Geoderma*, 4:333-358, 1970.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 1986. 94p. (IAC-Boletim Técnico, 106)

CHOROVER, J.; DiCHIARO, M.J. & CHADWICK, O.A. Structural charge and cesium retention in a chronosequence of tephritic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:169-177, 1999.

FONTES, M.P.F. & SPOSITO, G. Medição da densidade de carga estrutural acessível em Latossolos brasileiros com diferentes mineralogias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.292-294.

FONTES, M.P.F.; CAMARGO, O.A. & SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Sci. Agric.*, 58:627-646, 2001.

GHABRU, S.K.; ARNAUD, R.J.S.T. & MERMUT, A.R. Association of DCB extractable iron with minerals in coarse soil clays. *Soil Sci.*, 149:112-120, 1990.

GILLMAN, G.P. & SUMNER, M.E. Surface charge characterization and soil solution composition of four soils from the Southern Piedmont in Georgia. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 5:589-594, 1987.

HENDERSHOT, W.H. & LAVKULICH, L.M. The use of zero point of charge (ZPC) to assess pedogenic development. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:468-472, 1978.

KÄMPF, N.; AZEVEDO, A.C. & COSTA Jr., M.I. Estrutura básica de argilomineral 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas em Latossolo Bruno do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:185-190, 1995.

LANDELL, M.G.A.; PRADO, H.; VASCONCELOS, A.C.M.; PERENCIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDOIA, M.A.P.; SILVA, M.A. & XAVIER, M.A. Oxisol subsurface chemical attributes related to sugarcane productivity. *Sci. Agric.*, 60:741-745, 2003.

LIM, C.H.; JACKSON, M.L.; KOONS, R.D. & HEIMKE, P.A. Kaolins: sources of different cation exchange capacities and cesium retention. *Clays Clay Miner.*, 28:223-229, 1980.

MOTCHI, E.P. Características e gênese de uma sequência de oxisolos no Planalto Central Brasileiro. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1977. 107p. (Tese de Mestrado)

- PEIXOTO, R.T.G. Surface chemical properties of Oxisols derived from Paraná basalt (Brazil). Ohio, Ohio State University, 1995, 188p. (Tese de Doutorado)
- RAIJ, B. van & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:587-593, 1972.
- RODRIGUES, T.E. & KLAMT, E. Mineralogia e gênese de uma seqüência de solos do Distrito Federal. *R. Bras. Ci. Solo*, 2:132-139, 1978.
- SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York, Clarendon Press, 1989. 262p.
- STUMM, W. & MORGAN, J.J. Aquatic chemistry. New York, Wiley-Interscience, 1981. 780p.
- UEHARA, G. Aeric properties and their significance to soil classification. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., Rio de Janeiro, 1986. Proceedings. Rio de Janeiro, Embrapa/SNLCS, 1988. p.19-22.
- YAGI, R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. & BARBOSA, J.C. Organic matter fractions and soil fertility under the influence of liming, vermicompost and cattle manure. *Sci. Agric.*, 60:549-557, 2003.