

**CAPACIDADE DE TROCA DE
CÁTIONS DAS PRINCIPAIS CLASSES DE
SOLOS DA AMAZÔNIA, DETERMINADA A
DIFERENTES VALORES DE pH**

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

Fernando Henrique Cardoso

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO

Ministro

Marcus Vinícius Pratini de Moraes

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

Presidente

Alberto Duque Portugal

Diretores

Dante Daniel Giacomelli Scolari
Elza Ângela Battaglia Brito da Cunha
José Roberto Rodrigues Peres

Chefia da Embrapa Amazônia Oriental

Emanuel Adilson Souza Serrão - Chefe Geral
Jorge Alberto Gazel Yared - Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
Antonio Carlos Paula Neves da Rocha - Chefe Adjunto de Comunicação, Negócios e Apoio
Antonio Ronaldo Teixeira Jatene - Chefe Adjunto de Administração

**CAPACIDADE DE TROCA DE
CÁTIONS DAS PRINCIPAIS CLASSES DE
SOLOS DA AMAZÔNIA, DETERMINADA A
DIFERENTES VALORES DE pH**

Waldemar de Almeida Ferreira
Sonia Maria Botelho



Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Amazônia Oriental

Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n

Telefones: (91) 276-6653, 276-6333

Fax: (91) 276-9845

e-mail: cpatu@cpatu.embrapa.br

Caixa Postal, 48

66095-100 – Belém, PA

Tiragem: 250 exemplares

Comitê de Publicações

Leopoldo Brito Teixeira – Presidente

Antonio de Brito Silva

Antonio Pedro da S. Souza Filho

Expedito Ubirajara Paixoto Galvão

Joaquim Ivanir Gomes

Maria do Socorro Padilha de Oliveira

Maria de N. M. dos Santos – Secretária Executiva

Revisores Técnicos

Bernardo Van Raij – Embrapa Meio Ambiente

Emmanuel de Souza Cruz – Embrapa Amazônia Oriental

Expediente

Coordenação Editorial: Leopoldo Brito Teixeira

Normalização: Sílvia Leopoldo Lima Costa

Revisão Gramatical: Maria de Nazaré Magalhães dos Santos

Antonio Ronaldo Camacho Baena (texto em inglês)

Composição: Euclides Pereira dos Santos Filho

FERREIRA, W. de A.; BOTELHO, S.M. Capacidade de troca de cátions das principais classes de solos da Amazônia, determinada a diferentes valores de pH. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 22p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 2).

1. Química do solo – Brasil – Amazônia. 2. pH. 3. Capacidade de troca de cátions. I. Botelho, S.M., colab. II. Embrapa Amazônia Oriental (Belém, PA). III. Título. IV. Série.

CDD: 631.4209811

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	8
MATERIAL E MÉTODOS	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
CONCLUSÕES	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS DAS PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS DA AMAZÔNIA, DETERMINADA A DIFERENTES VALORES DE pH

Waldemar de Almeida Ferreira¹

Sonia Maria Botelho²

RESUMO: Visando definir a melhor metodologia para determinar a CTC de solos predominantes na Amazônia, foram analisadas amostras superficiais de solos de Capitão Poço-PA (PVA), Tracuateua-PA (PVA), Mazagão-AP (PVA e GPH), Altamira-PA (TRE e LVA), Boa Vista-RR (LA, LVA e Aluvial), Manaus-AM (LA) e Viseu-PA (GPH). Os teores de fósforo variaram de 0,48 mg/kg no LA de Boa Vista a 9,65 mg/kg no Aluvial do mesmo local. O segundo maior teor foi de 8,69 mg/kg no GPH de Mazagão e, nos demais solos, os teores foram sempre menores que 3,70 mg/kg. O potássio variou de 0,08 mg/kg, no LA de Manaus a 109,20 mg/kg no GPH de Viseu. Em 50% das amostras, os teores de potássio não ultrapassaram 15,60 mg/kg e o restante ficou entre 31,20 e 109,20 mg/kg. Os maiores teores de cálcio (8,23 mmol/kg) e de magnésio (5,07 mmol/kg) trocáveis foram do GPH, respectivamente, de Mazagão e de Viseu e, os menores (0,11 mmol/kg de Ca e 0,02 mmol/kg de Mg) foram do LA e do Aluvial, ambos de Boa Vista. Das doze amostras estudadas, 67% apresentaram teores de cálcio menores que 1,50 mmol/kg e 50% mostraram teores de magnésio menores que 0,50 mmol/kg. Conseqüentemente, os teores de alumínio trocável situaram-se entre 0,40 e 1,61 mmol/kg. Os teores de carbono orgânico e de nitrogênio tiveram a mesma tendência, tendo o carbono variado de 1,60 g/kg a 43,20 g/kg e o de nitrogênio, de 0,20g/kg a 33,10 g/kg, respectivamente, no LA de Boa Vista e no GPH de Viseu. Os valores do pH em água foram superiores aos do pH em KCl,

¹Quím. Ind., M.Sc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Caixa Postal 48, CEP 66017-970, Belém, PA.

²Eng.- Agr., M.Sc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental.

em todos os solos, exceto no LA de Manaus, em que foram iguais, resultando em $\Delta pH = 0$, sendo que o ΔpH variou de 0 a 1,25. A relação Fe_o/Fe_d e a percentagem de Fe_o foram mais elevadas nos solos com maiores teores de matéria orgânica, sendo $Fe_o/Fe_d = 1.809,09$ e $Fe_o = 199,00$ no Aluvial; $Fe_o/Fe_d = 704,00$ e $Fe_o = 859,00$ e $Fe_o/Fe_d = 5.145,50$ e $Fe_o = 8.593,00$, respectivamente, no GPH, de Viseu e de Mazagão. No PVA, a relação foi de 272,62, 255,81 e 183,27, respectivamente, para as amostras de Capitão Poço, Tracuateua e Mazagão. A TRE de Altamira apresentou Fe_o/Fe_d de 33,18 e 48,45; o LA de Boa Vista, de 57,45; o LVA de Altamira, de 45,83 e o de Boa Vista, de 58,89. Os valores da CTC total acompanharam o aumento dos valores de pH das soluções extratoras tamponadas, aumentando as diferenças entre as CTC total e a respectiva CTC efetiva de cada solo. Isto significa que esta metodologia não é a mais adequada para solos com baixos valores de pH, devido superestimar a CTC efetiva.

Termos para indexação: CTC, química do solo, propriedades do solo.

CATION EXCHANGE CAPACITY OF THE MAIN SOIL CLASSES OF AMAZÔNIA, DETERMINED ON DIFFERENTS pH VALUES

ABSTRACT: Achieving to define the better methodology to determine CEC of the main soils in Amazônia, superficial soils samples were analysed from Capitão Poço - PA (RYP), Tracuateua - PA (RYP), Mazagão - PA (RYP and LHG), Altamira - PA (TRE and RYL), Boa Vista - RR (YL, RYL and AS), Manaus - AM (YL) and Viseu - PA (LHG). The P contents varied from 0,48 mg/kg on the YL of Boa Vista to 9,65 mg/kg on the Alluvial of the same place. The second higher content was 8,69 mg/kg on the LHG of Mazagão and on the others soils the P content was always smaller than 3,70 mg/kg. The K content varied from 0,08 mg/kg on the YL of Manaus to 109,20 mg/kg on the LHG of Viseu. In 50%

of the soil samples the K content do not exceed 15,60 mg/kg and the remaining ranges between 31,20 and 109,20 mg/kg. The highest Ca (8,23mmol/kg) and Mg (5,07 mmol/kg) contents were on the LHG of Mazagão and Viseu, respectively, and the smallest contents (0,11 mmol/kg of Ca and 0,02 mmol/kg of Mg) were on the YL and Alluvial both from Boa Vista. Of the twelve soil samples studied 67% presented Ca content smaller than 1,50 mmol/kg and 50% presented Mg content smaller than 0,5 mmol/kg. The exchangeable Al content ranges between 0,40 and 1,61 mmol/kg. The C and N contents presented the same tendency; the C content varied from 1,60 g/kg to 43,20 g/kg and the N content varied from 0,20 g/kg to 33,10 g/kg, respectively, in the YL of Boa Vista and in the LHG of Viseu. The values of pH in water were higher than the values of pH in KCl, in all the soils, except for the YL of Manaus on which the values were equal, resulting in $\Delta \text{pH}=0$, with the ΔpH ranging from 0 to 1,25. The Feo/Fed and the Feo percentage were higher on soils with the highest organic matter content, being Feo/Fed=1.809,09 and Feo=199,00 on the Alluvial; Feo/Fed=704,00 and Feo=859,00 and Feo/Fed=5.145,50 and Feo=8.593,00 on the GPH of Viseu and of Mazagão, respectively. On the RYP the relation was 272,62; 255,81 and 183,27 for soil samples of Capitão Poço, Tracuateua and Mazagão, respectively. The TRE of Altamira presented Feo/Fed=33,18 and 48,45; the YL of Boa Vista 57,45; the RYL of Altamira 45,83, and Boa Vista 58,89. The total CEC values followed the increases of the pH of buffered extraction solutions increasing the differences between total CEC and the respective effectives CEC of each soil. This imply that this methodology is not the one more adequate to soils with low pH values because it overestimates the effective CEC.

Index terms: CEC, soil, soil chemical, soil proprieties.

INTRODUÇÃO

A capacidade de troca de cátions de um solo (CTC), também conhecida como capacidade de troca catiônica, é uma propriedade, cuja importância no solo pode ser comparada a determinadas funções vitais, como a respiração para os animais e a fotossíntese para os vegetais.

É uma característica do solo que permite que os cátions, existentes na solução do solo, possam permutar cátions associados com sítios negativos das argilas silicatadas e, dependendo do pH, também com as cargas negativas das superfícies dos óxidos. É definida como sendo a capacidade máxima de retenção de cátions que o solo apresenta quando neutro ou a pH 7,0.

É importante, no entanto, levar em consideração que conceitos de CTC não podem ser desvinculados dos conceitos básicos de acidez. Assim, os principais componentes da acidez, em relação às frações ativas da matéria orgânica, minerais de argila, óxidos, oxi-hidróxidos de ferro e alumínio influenciam diretamente no valor da CTC do solo, conforme foi mostrado por Raij (1981), Quaggio (1986), Raij (1986), Raij (1973) e Raij (1973a). Por estas razões, dependendo da metodologia adotada, na determinação da CTC, os resultados podem conduzir a valores diferentes, principalmente quando não é levado em conta o valor do pH do solo (Raij & Kupper, 1966).

Desta maneira, a CTC efetiva é expressa pela soma de bases mais hidrogênio e alumínio trocáveis, adsorvidos por forças eletrostáticas, nas superfícies dos colóides minerais ou orgânicos, extraídos com soluções não tampoadas, de sais a valores neutros ou alcalinos de pH.

Do ponto de vista prático, a CTC a determinado valor de pH, é o valor da CTC do solo que seria atingido caso a calagem fosse feita para elevar o pH deste solo a esse referido valor, ou o máximo de cargas negativas liberadas nesse valor de pH, passíveis de serem ocupadas por cátions.

Reconhece-se, portanto, que a CTC do solo varia de acordo com o pH usado na determinação da mesma. Isto porque esta resulta da soma de dois tipos de cargas, a permanente e a dependente do pH. A carga permanente resulta das substituições isomórficas no interior do látice das argilas, enquanto que a fonte das cargas dependentes do pH, até hoje, tem sido motivo de investigações.

Considera-se como fonte primária da carga dependente do pH, a ionização de grupos funcionais na superfície de sólidos que constituem a matriz dos solos. Estes grupos funcionais incluem a hidroxila, os grupos carboxílicos dos ácidos orgânicos, fosfato diácido, sulfato ácido e muitos outros. O aparecimento de cargas variáveis em óxidos já foi amplamente estudado por diversos autores, que estabeleceram modelos para explicar o que ocorre nas suas superfícies, quando o pH do solo varia, pela adição de íons hidrogênio ou oxidrila (Keng & Uehara, 1974).

Neste trabalho, são mostrados e discutidos os valores da CTC, das principais unidades de solos da Amazônia, determinados a diferentes valores de pH, com objetivo de contribuir para a escolha da metodologia que forneça os dados analíticos que melhor representem a capacidade de troca de cátions desses solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas doze amostras de solos de grande ocorrência na região amazônica, coletadas na profundidade de 0-15 cm, com auxílio de uma espátula de madeira. Foram retiradas três amostras de Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico, sendo uma de Capitão Poço-PA, uma de Tracuateua-PA e uma de Mazagão-AP; duas de Terra Roxa Estruturada de Altamira-PA; duas de Latossolo Amarelo, sendo uma de Boa Vista-RR e uma de Manaus-AM; duas de Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo uma em Altamira-PA e outra em Boa Vista-RR; duas de Gleí Pouco Húmico, sendo uma em Viseu-PA e outra em Mazagão-AP.

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno e transportadas para o Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, onde foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de aço inoxidável, com malha de 1 mm de abertura.

Em seguida, foram submetidas à análise, sendo o fósforo assimilável, o sódio e o potássio trocáveis extraídos pelo extrator de Mehlich 1. O fósforo foi dosado por colorimetria (método do molibdato), enquanto o sódio e o potássio foram dosados por fotometria de chama.

O carbono orgânico foi determinado pelo método de Walkley & Black (1934), descrito no Manual de Métodos de Análise de Solos (Embrapa, 1979).

O cálcio e o magnésio trocáveis foram extraídos com solução 1N de cloreto de potássio e dosados por espectrofotometria de absorção atômica. O alumínio, extraído pelo mesmo extrator, foi dosado por volumetria de neutralização, usando-se como agente titulante a solução de hidróxido de sódio (Guimarães et al. 1970).

A capacidade de troca de cátions total a pH 8,2 (CTC pH 8,2) foi determinada segundo Hesse (1971), usando sódio como índice e, para a determinação da CTC a pH 5,0 e CTC a pH 7,0 foi adotada a mesma metodologia, modificando-se o pH da solução de acetato de sódio para 5,0 e 7,0, respectivamente.

A capacidade de troca de cátions efetiva ou permanente (CTC efetiva) foi determinada pela soma de cátions trocáveis (Ca + Mg + K + Na + Al + H).

A capacidade de troca de cátions dependente de pH (Δ CTC) foi obtida pela diferença entre a CTC total a pH 8,2 e a CTC efetiva.

O delta pH (Δ pH) foi determinado pela diferença entre o valor do pH, medido em solução 1N de cloreto de potássio e o valor do pH medido em água, de acordo com metodologia de Mekaru & Uehara (1972).

Os amorfos foram extraídos com oxalato de amônio a pH 3,0 (McKeague & Day, 1966) e, os óxidos livres, pelo método do citrato-ditionito-bicarbonato (CDB), de acordo com Jackson (1970). O ferro e o alumínio dos extratos foram determinados, respectivamente, pela ortofenantrolina e aluminon.

A análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta modificado, de acordo com Guimarães et al. (1970) e Embrapa (1979).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das determinações físicas apresentados na Tabela 1, quando comparados com os dados das análises químicas, constantes da Tabela 2, indicam para todos os solos, que maiores conteúdos de argila correspondem a maiores teores de hidrogênio trocável e, conseqüentemente, a menores valores de pH e maiores teores de alumínio trocável.

Os valores de pH dos solos foram determinados em solução de cloreto de potássio e em água, com o objetivo de se estabelecer, através da diferença entre estes valores (pH em H_2O - pH em KCl), o balanço final de cargas de cada solo, expresso como Δ pH, de acordo com Mekaru & Uehara (1972).

Observando-se a Tabela 2, verifica-se que os valores de pH em água foram superiores aos do pH medido em solução de cloreto de potássio, exceto no Latossolo Amarelo de Manaus, em que foram iguais, resultando em Δ pH igual a zero. O sinal negativo do Δ pH de um solo indica balanço final de cargas negativas deste solo, e que o mesmo apresenta

capacidade de troca de cátions. Da mesma maneira, o sinal positivo do ΔpH indica balanço final de carga positivo ou solo com capacidade de troca aniônica (CTA). Neste trabalho, em que o ΔpH é igual a zero, o balanço final de cargas é zero, o que é interpretado como ponto de carga zero ou pH, no qual a carga do solo é zero. Os valores do ΔpH variaram de 0 a -1,2 unidades de pH, e em 50% das amostras, o pH situou-se entre -0,4 e 1,0 e, nos 50% restantes, entre -1,1 e 1,2.

TABELA 1. Resultados de determinações físicas e classificação textural das amostras dos solos estudados, coletadas à profundidade de 0 - 20 cm.

Local	Argila	Areia	Limo	Textura
------(g/kg)-----				
Podzólico Vermelho-Amarelo				
CapitãoPoço-PA	140	710	150	Franco-arenoso
Tracueteua-PA	80	860	60	Areia franca
Mazagão-AP	490	320	190	Argila
Terra Roxa Estruturada				
Altamira-PA	670	150	180	Muito argiloso
Altamira-PA	610	150	240	Muito argiloso
Latossolo Amarelo				
Boa Vista-RR	250	690	60	Franco-argilo-arenoso
Manaus-AM	730	160	110	Muito argiloso
Latossolo Vermelho-Amarelo				
Altamira-PA	280	580	140	Franco-argilo-arenoso
Boa Vista-RR	230	670	100	Franco-argilo-arenoso
Solo Aluvial				
Boa Vista-RR	140	380	480	Franca
Glei Pouco Húmico				
Viseu-PA	410	50	540	Argila-siltosa
Mazagão-AP	210	20	770	Franco-siltoso

Os teores de fósforo variaram de 4,8 mg/kg, no Latossolo Amarelo de Boa Vista a 96,5 mg/kg, no Aluvial, do mesmo município. O segundo maior teor encontrado foi de 86,9 mg/kg no Gleí Pouco Húmico, de Mazagão-AP. Nos demais solos, os teores foram sempre inferiores a 37,0 mg/kg.

Com relação ao potássio trocável, a variação foi de 0,8 mg/kg, no Latossolo Amarelo de Manaus, a 1.092,0 mg/kg no Gleí Pouco Húmico, de Viseu. No entanto, em 50% das amostras, os teores não ultrapassaram 156,0 mg/kg e, em um terço das amostras, os teores situaram-se entre 310,0 e 500,0 mg/kg.

Os maiores teores de cálcio (82,3 mmol_e/kg) e de magnésio (50,7 mmol_e/kg) trocáveis foram, respectivamente, do Gleí Pouco Húmico, de Mazagão e de Viseu. Os teores de cálcio decresceram até 1,1 mmol_e/kg, no Latossolo Amarelo e no Aluvial de Boa Vista.

Das doze amostras analisadas, 66,6% apresentaram teores menores que 15,0 mmol_e de cálcio/100g e, 50% menores que 5,0 mmol_e de magnésio/100g, considerados baixos pela maioria dos laboratórios de solos.

Os teores de carbono orgânico nos solos variaram de 1,6 g/kg no Latossolo Amarelo, de Boa Vista, a 43,2 g/kg, no Gleí Pouco Húmico, de Viseu e, em 75% dos solos, os teores foram menores que 15,0 g/kg. Este mesmo comportamento foi observado para os teores de nitrogênio.

Os teores de ferro livre (Fe_a) e de amorfos (Fe_o), apresentados na Tabela 3, indicam o estado de cristalização dos óxidos de ferro no solos.

TABELA 3. Teores de ferro e de alumínio livres (Fe_d e Al_d) e de amorfos (Fe_o e Al_o) e relação Fe_o/Fe_d das amostras dos solos estudados, coletadas à profundidade de 0-20 cm.

Local	Fe_d	Al	Fe_o	Al_o	Fe_o/Fe_d
----- (g/kg) -----					
Podzólico Vermelho-Amarelo					
Capitão Poço-PA	8,4	13590	2290	1150	2726,2
Tracuateua-PA	4,3	0	1100	1040	2558,1
Mazagão-PA	28,7	14780	5260	1590	1832,1
Terra Roxa Estruturada					
Altamira-PA	152,5	227340	5060	23830	331,8
Altamira-PA	152,5	227340	7390	22920	484,5
Latosolo Amarelo					
Boa Vista-RR	4,7	7290	270	640	574,5
Manaus-AM	---	---	---	---	---
Latosolo Vermelho-Amarelo					
Altamira-PA	24,0	9450	1100	1090	458,3
Boa Vista-RR	9,0	2550	530	1640	588,9
Solo Aluvial					
Boa Vista-RR	1,1	0	1990	700	18090,9
Glei Pouco húmico					
Viseu-PA	12,2	5210	8590	1210	7040,0
Mazagão-PA	16,7	5220	85930	77000	51455,0

A extração com ditionito-citrato-bicarbonato (CDB), de acordo com Mehara & Jackson (1960) e Holmgren (1967), citados por Kampf (1981), dissolve todos os óxidos de ferro "livres" cristalinos e não cristalinos como, por exemplo, hematita, goetita, lepidocrocita e ferrihidrita. Por outro lado, a extração com oxalato de amônio ácido (Schwertmann, 1964; McKeague & Day, 1966) extrai somente os óxidos de ferro pouco cristalizados, como por exemplo, a ferrihidrita e certas lepidocrocitas, denominadas de óxidos de ferro amorfo.

A relação entre os teores de óxido de ferro amorfo e de óxido de ferro livre (Fe_o/Fe_d) permitiu a determinação dos "Índice de cristalinidade" ou "Índice de atividade" dos óxidos dos solos estudados. Os resultados apresentados na Tabela 3 são bastante elevados em relação aos apresentados por Kampf (1981) devido, provavelmente, às condições climáticas, em particular, às altas temperaturas e aos elevados índices de pluviosidade da região amazônica, em relação às do Rio Grande do Sul.

Observa-se, também, que os teores de Fe_o e a relação Fe_o/Fe_d são mais elevados nos solos com maiores teores de matéria orgânica (Tabela 2), o que inibe a cristalização. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Kampf (1981), em três solos hidromórficos do Rio Grande do Sul, nos quais, o autor observou que o teor de Fe_o e a relação Fe_o/Fe_d foram mais elevados nos horizontes superficiais. Kampf & Dick (1984) também encontraram correlações significativas entre o teor de carbono orgânico e Fe_o ($r = 0,947$) e o teor de carbono orgânico e a Fe_o/Fe_d ($r = 0,958$).

Além da influência dos teores de matéria orgânica, a cristalinidade (Fe_o/Fe_d) dos óxidos de ferro também foi determinada pelas características texturais ou de drenagem dos solos. Assim, para uma mesma classe de solo, conforme pode ser observado nas Tabelas 1 e 3, as amostras com maiores conteúdos de argila e com teores mais baixos de matéria orgânica, apresentaram menores relações Fe_o/Fe_d , ou seja, boa cristalização.

As pesquisas direcionadas para interpretar os níveis de CTC dos solos da Amazônia são praticamente inexistentes. Raji (1969), estudando a CTC das frações orgânicas e minerais dos solos de São Paulo, mostrou que a CTC específica da matéria orgânica, determinada com solução de acetato de cálcio, variou de 1.900 a 4.000 mmol/dm³ para amostras superficiais, enquanto a CTC específica para a fração mineral ficou entre 270 e 200 mmol/dm³.

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que a CTC dos solos variou de acordo com a metodologia usada na determinação. Os valores das CTC total dos solos acompanharam os aumentos dos valores de pH utilizados das soluções extratoras tamponadas, aumentando, conseqüentemente, as diferenças entre a CTC total e a CTC efetiva desses solos.

TABELA 4. Capacidade de troca de cátions efetiva e capacidade de troca total determinadas a diferentes valores de pH, e carga variável (CTC) das amostras dos solos estudados, coletadas à profundidade de 0 - 20 cm.

Local	CTC (Efetiva)	CTC (pH 5,0)	CTC (pH 7,0)	CTC (pH 8,2)	ΔCTC
------(mmolc/kg)-----					
Podzólico Vermelho-Amarelo					
Capitão-Poço-PA	36,8	35,0	35,7	39,6	2,8
Tracuateua-PA	49,2	46,7	47,6	52,8	3,6
Mazagão-AP	140,0	171,3	182,6	193,6	53,6
Terra Roxa Estruturada					
Altamira-PA	75,6	148,0	150,8	162,1	86,5
Altamira-PA	77,3	144,1	146,8	149,6	72,3
Latossolo Amarelo					
Boa Vista-RR	13,5	27,3	27,8	30,8	17,3
Manaus-AM	69,3	132,4	134,9	174,6	105,3
Latossolo Vermelho-Amarelo					
Altamira-PA	53,9	82,6	95,3	105,6	51,7
Boa Vista-RR	21,6	42,8	43,7	52,8	51,7
Solo Aluvial					
Boa Vista-RR	34,4	31,2	31,7	39,6	5,2
Glei Pouco Húmico					
Viseu-PA	205,9	264,8	261,9	277,5	71,6
Mazagão-AP	153,9	202,5	198,4	224,4	71,2

Esse aumento mostra que a metodologia adotada na determinação da CTC total não foi adequada para esses solos, com baixos valores de pH (Tabela 2) e significativo conteúdo de carga variável, porque superestimam a verdadeira capacidade de troca de cátions. Resultados semelhantes foram encontrados por Sanchez (1981), para diversas classes de solos da Colômbia.

Os maiores valores da CTC, independente da classe do solo estudado, variaram de acordo com o conteúdo de carbono orgânico. Assim, o Gleí Pouco Húmico, de Viseu, com maior teor de carbono orgânico (43,2 g/kg), foi o solo que apresentou maiores valores de CTC, enquanto o Latossolo Amarelo, de Boa Vista, com menor teor (1,6 g/kg), foi o que apresentou menores valores de CTC (Tabela 2). Esses resultados, também podem ser observados nas correlações positivas entre CTC e carbono orgânico (Tabela 5).

Os solos estudados apresentaram altos teores de carga variável que, na mesma classe de solo, foram tanto mais elevados, quanto maiores foram os teores de argila, conforme pode ser observado nas Tabelas 1 e 5. Essa correlação foi altamente significativa ($r = 0,87^{**}$).

Provavelmente, o maior conteúdo de carga variável ou carga dependente de pH, pode ser atribuído aos altos teores de óxidos de ferro, em particular, ao óxido de ferro livre, e que tiveram comportamento semelhante aos da argila. A correlação $r = 0,66^{*}$ pode ser observada na Tabela 6.

Além disso, verificou-se que houve variação dos valores da CTC, conforme o conteúdo de carbono orgânico do solo, tendo apresentado o GPH de Viseu, com 43,20 g/kg de carbono, maiores valores de CTC, enquanto o LA de Boa Vista, com 1,60 g/kg de carbono, mostrou os menores valores de CTC, o que é reforçado pela correlação positiva ($r = 0,88^{**}$). Os solos estudados apresentaram altas percentagens de carga variável que, na mesma classe de solo, foram mais elevadas quanto maiores foram as percentagens de argila, com correlação altamente significativa ($r = 0,87^{**}$).

TABELA 5. Correlação entre CTC efetiva e CTC total a diferentes valores de pH, Δ CTC, Δ pH, carbono orgânico e teor de argila das amostras dos solos estudados, coletadas à profundidade de 0 - 20 cm.

Variáveis	CTC efetiva	CTC pH 5,0	CTC pH 7,0	CTC pH 8,2	Δ CTC	C (%)	Argila (%)	Δ pH
CTC efetiva	1	0,95**	0,95**	0,94**	0,54ns	0,88**	0,29ns	0,09ns
CTC pH 5,0		1	1**	0,99**	0,76**	0,83**	0,53ns	--0,06ns
CTC pH 7,0			1	0,99**	0,76**	0,83**	0,55ns	--0,09ns
CTC pH 8,2				1	0,80**	0,81**	0,57ns	--0,12ns
Δ CTC					1	0,45ns	0,87**	--0,44ns
C (%)						1	0,36ns	0,06ns
Argila							1	--0,76**
pH								1**

TABELA 6. Correlações entre carga dependente de pH (Δ CTC), CTC efetiva, CTC a pH 5,0, CTC a pH 7,0 e CTC a pH 8,2, e o ferro livre (Fe_d), ferro amorfo (Fe_o), alumínio livre (Al_d) e alumínio amorfo (Al_o).

Variáveis	Fe_d	Al_d	Fe_o	Al_o
Δ CTC	0,66*	0,59ns	0,38ns	0,52ns
CTC efetiva	0,06ns	0,01ns	0,49ns	0,39ns
CTC a pH 5,0	0,30ns	0,23ns	0,47ns	0,46ns
CTC a pH 7,0	0,31ns	0,24ns	0,45ns	0,44ns
CTC a pH 8,2	0,28ns	0,21ns	0,49ns	0,47ns

CONCLUSÕES

Entre as metodologias utilizadas, a que melhor expressa a CTC dos solos estudados é a adotada para determinar a CTC efetiva.

A CTC dos solos estudados é altamente influenciada pelos seus teores de matéria orgânica.

A propriedade do solo que mais influencia nos teores de carga variável (Δ pH) é a percentagem de argila.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 1979, 212p.
- GUIMARÃES, G. de A.; BASTOS, J.B.; LOPES, E. de C. **Métodos de análise física, química e instrumental de solos**. Belém: IPEAN, 1970, 112p.
- HESSE, P.R. A textbook of soil chemical analysis. London: I. Murray, 1971, 520p.
- JACKSON, M.L. **Análisis químicas de suelos**. Barcelona: Omega, 1970, 526p.
- KAMPF, N. **Die eisenoxidmineralogie einer klimasequenz von boden aus eruptiva in Rio Grande do Sul, Brasilien**, BRD, Univ. Muchen, 1981. 271p. Tese de Doutorado.
- KAMPF, N.; DICK, D.P. Óxidos de ferro em cambissolos brunos no Rio Grande do Sul e sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.8, p.183-188. 1984.
- KENG, J.C.W.; UEHARA, G. Chemistry mineralogy and taxonomy of oxisols and ultisols. Soils and Crop Science Society of Florida. **Proceedings**. v.33, p.119-126, 1974.

- McKEAGUE, J.A.; DAY, J.H. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal Soil Science**, v.46, p.13-22, 1966. .
- MEHARO, O.P.; JACKSON, N.L. Iron oxide removal from soil and clays by a dithionite-citrate systems buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE CLAYS & CLAY MINERALS, 7., 1960. Ottawa. **Proceedings...**[S.l.: s.n.], 1960. p.317-327.
- MEKARU, T.; UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soil. **Soils Science Society American Proceedings**, v.36, p.296-300, 1972.
- QUAGGIO, J.A. Reação do solo e seu controle. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. 1., 1986, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.53-89.
- RAIJ, B. van. **Avaliação da Fertilidade do Solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fósforo/Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.
- RAIJ, B. van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânicas e minerais em solos. **Bragantia**. v.28, p.85-112, 1969.
- RAIJ, B. van. Determinação de cargas elétricas em solos. **Bragantia**, v.32, p.171-183, 1973a.
- RAIJ, B. van. Determinação do ponto de carga zero em solos. **Bragantia**, v.32, p.337-347, 1973.
- RAIJ, B. van. Propriedades eletroquímicas de solos. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1., 1986, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.9-41.
- RAIJ, B. van; KÜPPER, A. Capacidade de troca de cátions em solos. Estudo comparativo de alguns métodos. **Bragantia**, v.25, n.30, p.327-336, 1966.

- SANCHEZ, P.A. Soil management in Oxisol savannahs and Ultisol jungles of Tropical South America. In: GREENLAND, D.J., ed. **Characterization of soils in relation to their classification and management for crop production**: examples from some areas of the humid tropics. Oxford: Claredon, 1981. p.214-253.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit saurer Ammoniumoxalat-Lösung. **Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.**, v.105, p.194-202, 1964.
- WALKLEY, A.; BLACK, J.A. An examination of the DeBjareff Method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v.37, p.29-38, 1934.