

SEÇÃO II - QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO

ATRIBUTOS MINERALÓGICOS DE TRÊS SOLOS EXPLORADOS COM A CULTURA DO MELÃO NA CHAPADA DO APODI - RN⁽¹⁾

Jaedson Cláudio Anunciato Mota⁽²⁾, Raimundo Nonato Assis Júnior⁽³⁾,
Joaquim Amaro Filho⁽⁴⁾, Ricardo Espindola Romero⁽³⁾, Francisco Ocian
Bastos Mota⁽³⁾ & Paulo Leonel Libardi⁽⁵⁾

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de caracterizar os principais solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi, Estado do Rio Grande do Norte, no tocante aos aspectos mineralógicos, visando fornecer subsídios para implantação de um manejo adequado à cultura e ao solo. Foram selecionados três solos: Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico - CXve (Typic Haplocambids), Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico argissólico - LV Ae (Typic Eutrotorrox) e Argissolo Vermelho distrófico arênico - PVd (Arenic Kandistults). Foram realizadas análises mineralógicas nas frações areia, silte e argila, por difratometria de raios X, além de estudos complementares em amostras indeformadas por meio da microscopia eletrônica de varredura. A composição mineralógica é semelhante nos perfis estudados; o quartzo predomina nas frações areia e silte, enquanto a fração argila é constituída predominantemente por caulinita. O perfil 1 (CXve), comparado com os outros dois, é o menos evoluído na escala pedogenética. Os perfis 2 (LV Ae) e 3 (PVd) apresentam praticamente a mesma maturidade, embora o primeiro seja um pouco mais evoluído. O fato de o perfil 1 (CXve) apresentar química de solo jovem e mineralogia de solo muito evoluído revela incoerência entre os atributos

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará – UFC. Financiada pelo convênio PROCAD-0095/00-1-CAPES/ESALQ/UFC. Recebido para publicação em julho de 2005 e aprovado em fevereiro de 2007.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo. Caixa Postal 137, CEP 59625-970 Mossoró (RN). Bolsista do CNPq no período de 04/2002-02/2004. E-mail: jaedsonmota@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará – UFC. Campus do PICI, Bloco 807, CEP 60021-970 Fortaleza (CE). E-mail: assisjr@ufc.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Caixa Postal 137, CEP 59625-970 Mossoró (RN). E-mail: jamaro@ufersa.edu.br

⁽⁵⁾ Professor Titular, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: pllibard@carpa.ciagri.usp.br

químicos e mineralógicos daquele solo. Pelas condições de semi-aridez do local em que os três perfis estão inseridos, o domínio da caulinita na fração argila sugere que os solos foram originados em condições climáticas diferentes das atuais, provavelmente mais úmidas, ou que eles tenham se desenvolvido a partir de um material pré-intemperizado.

Termos de indexação: mineralogia, Chapada do Apodi, *Cucumis melo* L.

SUMMARY: *MINERALOGICAL ATTRIBUTES OF THREE SOILS UNDER MELON CULTIVATION IN THE APODI TABLELAND, NORTHEASTERN BRAZIL*

The present study aimed at characterizing the main soil types under melon crop in the Apodi Tableland, state of Rio Grande do Norte. This investigation focused on the mineralogical soil features as an attempt to generate information for adequate soil and crop management. Three soil types were selected: Typic Haplocambids, Typic Eutrotorrox and Arenic Kandiusults. The mineralogy of sand, silt and clay fractions was evaluated through X ray diffraction analyses and scanning electron microscopy in complementary, undisturbed samples. The mineralogical composition was similar in the studied profiles; quartz prevailed in the sand and silt fractions, while the clay fraction consisted predominantly of kaolinite. Profile 1 (CXve), compared with the other two profiles, was the least developed according to the pedogenetic scale. The degree of profile development was almost the same in the profiles 2 (LVAe) and 3 (PVD), although profile 2 was slightly more developed. The fact that profile 1 (CXve) showed chemical properties of a very young soil in contrast with the mineralogy of a well developed soil, demonstrates an incoherence between the two soil attributes and the stage of soil development. Considering the semi-arid conditions of the sites from where the soil samples were collected, the predominance of kaolinite in the clay fraction suggests that the soils had been formed under climatic conditions distinct than the present. Former conditions were probably more humid, or the soils developed from pre-weathered parent material.

Index terms: mineralogy, Apodi Tableland, *Cucumis melo* L.

INTRODUÇÃO

A Chapada do Apodi, localizada na divisa dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará, tem se destacado como um importante pólo de exploração agrícola no Nordeste brasileiro. Embora os solos estejam sendo intensivamente explorados, são escassas as informações com relação à mineralogia, apesar de alguns estudos já realizados na região. Sabe-se que há uma malha de solos que se prestam de modo satisfatório para os cultivos agrícolas. Trata-se dos Argissolos, Cambissolos e Latossolos, que, associados às condições de luz, calor e umidade, bem como às modernas tecnologias de irrigação, são ideais para a exploração de cultivos de maior produtividade e rentabilidade.

Em se tratando de estudos da mineralogia dos solos da Chapada do Apodi, no Rio Grande do Norte, há registro dos trabalhos de Ernesto Sobrinho (1980) e Lemos et al. (1997). Alencar (2002), na porção mais elevada da Chapada, estudou a química e a mineralogia de três pedons do Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC), localizado no município de Limoeiro do Norte - CE.

A composição mineralógica do solo é, entre vários aspectos, o que mais influencia grande parte dos fenômenos físicos e químicos que nele ocorrem. Do ponto de vista da gênese de solos, a composição e as transformações mineralógicas dos seus materiais possibilitam melhor entendimento da evolução dos sistemas de intemperismo e pedogenético, já que os minerais são indicadores da dimensão com que os diferentes processos têm atuado nas paisagens atuais (Coelho & Vidal-Torrado, 2003).

A mineralogia das frações areia e silte é constituída, em geral, por minerais resistentes ao intemperismo, como quartzo, além de outros minerais primários em quantidades variáveis, como olivinas, anfibólios, piroxênios, feldspatos e micas (Buckman & Brady, 1989; Fontes, 2002). A fração argila é constituída, via de regra, por minerais de natureza secundária, resultantes dos processos de alteração física, química e biológica, independentemente de terem sido formados *in situ* ou transportados (Allen & Hajek, 1989; Fontes, 2002).

Os minerais secundários são importantes na mineralogia dos solos porque são constituintes obrigatórios na fração argila. São responsáveis pela

maioria dos fenômenos importantes que dizem respeito à fertilidade, física, química e manejo dos solos. Ademais, têm grande importância em campos do conhecimento como geotecnia, geologia e em muitas indústrias (Fontes, 2002).

Dentre os minerais não-silicatados, os óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de Fe e Al – que por simplificação são genericamente chamados de óxidos – são minerais de natureza secundária de importância muito significativa para os solos de regiões tropicais em geral e dos solos brasileiros em particular. A presença desses elementos na fração argila dos solos mencionados é quase obrigatória, sendo a influência nas propriedades dos solos bastante expressiva (Fontes, 2002).

Os óxidos de Fe compreendem vários minerais que têm sua formação influenciada pelas condições do ambiente, cuja concentração está relacionada com o material de origem, com o grau de intemperização e com processos pedogenéticos de acumulação ou remoção. Mesmo em concentrações baixas no solo, os óxidos de Fe têm alto poder de pigmentação e influem na coloração dos solos de maneira bem nítida. As cores vermelhas, amareladas e intermediárias, típicas dos solos brasileiros, expressam bem essa afirmativa (Kämpf & Schwertmann, 1983; Kämpf & Curi, 2000; Fontes, 2002).

Via de regra, os óxidos de Fe têm elevada superfície específica e, devido à sua natureza química, podem adsorver ânions, principalmente os fosfatos, ou metais pesados, sendo, portanto, de elevada importância agrícola e ambiental. Além disso, os óxidos de Fe contêm microelementos essenciais às plantas e são agentes cimentantes que ajudam na formação de agregados de tamanho pequeno e na estabilidade destes (Melo et al., 2001; Fontes, 2002). Os principais óxidos de Fe encontrados nos solos são a hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$), magnetita (Fe_3O_4), maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$) e ferridrita ($5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) (Fontes, 2002).

A premência de um levantamento que contemple o solo não só como suporte físico para as plantas, mas como um ecossistema que possui características intrínsecas que interferem diretamente na produção e produtividade das culturas, é essencial para o desenvolvimento de técnicas que se traduzam em melhorias para a exploração do sistema como um todo. Assim, este trabalho teve por objetivo caracterizar os principais solos explorados com a cultura do melão no Rio Grande do Norte, em relação aos aspectos mineralógicos, visando fornecer subsídios para adoção de um manejo adequado à cultura e ao solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da região de estudo

O trabalho foi desenvolvido no pólo agrícola da região de Mossoró, oeste do Estado do Rio Grande do

Norte, na Chapada do Apodi, onde foram selecionadas três áreas com os principais solos representativos da região, cultivados com melão. As áreas estão sobre calcário da Formação Jandaíra, que, em determinados locais, é recoberta por sedimentos arenosos mais recentes do Grupo Barreiras.

A Formação Jandaíra é caracterizada por camadas de calcário calcítico de cor cinza-clara e branca ou amarela, com granulação fina a média, e por calcário dolomítico cinzento ou amarelo de granulação geralmente mais grosseira. Além desses, são encontrados outros tipos: calcário com pequenas conchas de moluscos, nodulosos, lageados, gredosos, arenosos e arenitos calcíferos. Por sua vez, o Grupo Barreiras é formado por sedimentos de areia, silte e argila de cores bastante variadas, predominando as avermelhadas (DNOCS, 1978).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo BSw'h', caracterizado por ser muito quente e semi-árido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono. Os índices pluviométricos situam-se, em média, em torno dos 677 mm por ano (Amaro Filho, 1991). Como a evaporação é sempre maior que a precipitação, as águas pluviais não são suficientes para formar mananciais perenes. A temperatura média anual é de 27,6 °C (Chagas, 1997; SERHID, 2001). Em geral, na região de estudo, predomina o relevo plano (DNOCS, 1978).

Método de trabalho

Trabalhos de campo

Após as áreas terem sido selecionadas, foram efetuadas observações de solos, vegetação e relevo. Em cada área foi aberta uma trincheira, para descrição do perfil representativo (perfil 1 - S 5 ° 04,882 ' WO 37 ° 41,717 ' ; perfil 2 - S 4 ° 52,929 ' WO 37 ° 26,808 ' ; perfil 3 - S 5 ° 3,646 ' WO 37 ° 24,005 '), seguindo os critérios estabelecidos por Lemos & Santos (1984). A nomenclatura dos horizontes diagnósticos e a classificação taxonômica dos solos foram feitas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999b).

Trabalhos de laboratório

As amostras coletadas em cada perfil foram analisadas no Laboratório de Química do Solo (Universidade Federal do Ceará - UFC) e Laboratório de Mineralogia e Núcleo de Pesquisas em Geofísica e Geoquímica da Litosfera (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP), quanto às determinações pertinentes ao objetivo do estudo.

Foram determinados os teores de Si, Al, Fe, P, Ti e Mn, por meio do ataque por H_2SO_4 ($d = 1,84$). O Si e Al do extrato sulfúrico foram quantificados em fotocolorímetro, conforme metodologia proposta por Korndörfer et al. (1999) e Embrapa (1999a), respectivamente. Os teores de P e de Ti foram quantificados por colorimetria. Já os teores de Fe e Mn foram

quantificados em espectrofotômetro de absorção atômica (Embrapa, 1997). Os índices Ki e Kr foram calculados, respectivamente, pelas relações moleculares $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$.

O preparo das amostras para identificação dos minerais nas frações areia, silte e argila baseou-se na metodologia descrita por Fontes (2002). Para isso, foram tomadas, em cada horizonte, amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) suficientes para obter aproximadamente 10 g de argila. Em parte da fração argila fez-se a remoção dos óxidos de Fe cristalinos com citrato-ditionito de Na. Os diluídos de argila livre de óxidos de Fe foram orientados em lâminas de vidro microscópicas, com secagem em temperatura ambiente, conforme Mendes (1972).

O aparelho usado na irradiação das amostras foi um difratômetro Philips PW 3730 BASED, controlado por computador, com goniômetro vertical e radiação de cobre ($\text{CuK}\alpha = 0,154186 \text{ nm}$), operado nas seguintes condições: tensão de 40 kV e corrente de 25 mA; uso de monocromador para eliminação da radiação $\text{K}\beta$; faixa de varredura de 3 a 65° (2 θ); e passo de 0,02° (2 θ), com tempo de acumulação de 1 s por passo.

As frações areia, silte e argila (argila natural, sem remoção dos óxidos de Fe) não orientadas foram irradiadas, na forma de pó, em suporte de Al. A irradiação da fração areia foi realizada em partículas com diâmetro entre 0,10 e 0,05 mm, correspondente à areia muito fina na classificação granulométrica do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

A identificação dos minerais foi feita com base nos espaçamentos basais de cada mineral, expressos nos difratogramas, conforme Brindley (1955) e Jackson (1969). A avaliação semiquantitativa dos minerais identificados na fração argila foi feita com base na intensidade dos picos característicos de cada mineral, mediante cálculos de suas áreas (Jonhs et al., 1954).

Quanto aos estudos complementares de amostras indeformadas, foram tomadas amostras dos horizontes Ap e Bt1 (perfil 1) e Ap1 e Bw (perfil 2), as quais foram recobertas com carbono e submetidas ao exame em microscópio eletrônico de varredura, marca JEOL, modelo JSM – 5600LV, acoplado a uma microsonda NORAN 692A – 1SPS TDS Voyager, para realização de microanálise química com raios X por espectrometria de energia dispersiva (EDS).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1 estão contidos os dados relativos aos constituintes (expressos na forma de óxidos), extraídos pelo ataque sulfúrico. Considerando que o ácido sulfúrico ataca somente a fração argila (Verdade, 1972), verificou-se que os teores de SiO_2 e Al_2O_3 nos três perfis estudados se correlacionam muito bem com os conteúdos da fração argila (Quadro 1). Alencar (2002) e Romero (2003) também verificaram o mesmo comportamento entre as variáveis quando estudaram solos da Chapada do Apodi e de Tabuleiros Costeiros, respectivamente.

Quadro 1. Teores de argila, óxidos extraídos pelo ataque sulfúrico e índices Ki e Kr

Horizonte	Profundidade	Argila	Óxidos						Ki	Kr
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO		
	cm		g kg ⁻¹							
			P1: Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico – Cxve							
Ap	0–10	229	239,5	163,30	123,2	0,20	16,31	0,67	2,49	1,68
BA	10–32	299	258,5	177,79	113,1	0,12	18,29	0,68	2,47	1,76
Bi1	32–48	309	259,1	179,34	111,7	0,12	20,02	0,74	2,46	1,76
Bi2	48–115	304	250,0	180,90	112,1	0,13	18,78	0,62	2,35	1,68
BC	115–163+	199	232,3	179,34	103,9	0,11	13,84	0,42	2,20	1,61
			P2: Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico argissólico - LV Ae							
Ap1	0–28	151	95,5	68,71	19,5	0,05	6,18	0,09	2,36	2,00
Ap2	28–63	146	92,1	71,04	16,9	0,03	6,18	0,07	2,20	1,91
BA	63–180	212	113,2	102,22	21,2	0,04	6,67	0,10	1,88	1,66
Bw	180–200+	251	132,9	127,33	26,0	0,06	6,92	0,16	1,77	1,57
			P3: Argissolo Vermelho distrófico arênico - PVd							
Ap	0–19	43	62,2	36,14	10,8	0,05	5,68	0,09	2,93	2,46
BA	19–85	143	84,4	54,60	19,2	0,06	9,89	0,09	2,63	2,15
Bt1	85–166	183	96,6	70,07	22,3	0,08	9,14	0,11	2,34	1,95
Bt2	166–210+	164	93,1	72,20	22,9	0,08	9,89	0,11	2,19	1,82

Os teores de Fe_2O_3 são relativamente baixos e estão dentro dos valores encontrados normalmente em solos afins (Resende, 1989; Ferreira et al., 1999; Nunes et al., 2001; Alencar, 2002; Romero, 2003), caracterizando o perfil 1 (CXve) como mesoférrico e os perfis 2 (LVAe) e 3 (PVd) como hipoférricos (Embrapa, 1999b). Os outros óxidos (P_2O_5 , TiO_2 e MnO) apresentam distribuição relativamente uniforme dentro de cada perfil, e os baixos teores refletem a pobreza do material de origem nesses elementos. Em linhas gerais, o perfil 1 (CXve) apresenta quantidade maior de constituintes (expressos em óxidos) quando contrastado com os perfis 2 (LVAe) e 3 (PVd), o que sugere, segundo Nunes et al. (2001) e Corrêa et al. (2003), tanto diferenciação do material de origem quanto possíveis mudanças nos pedoambientes.

A relação sílica/alumina (índice K_i) maior que 2, exceto para os horizontes BA e Bw do perfil 2 (LVAe), indica menor solubilização e saída de sílica do sistema, não por drenagem deficiente, mas por precipitação pluviométrica baixa e temperatura e evapotranspiração elevadas. O índice $K_i > 2$ indica a presença de minerais do tipo 2:1, e é provável que os valores mais elevados estejam associados à presença da ilita. Além disso, os conteúdos elevados de areia fina que os solos apresentam podem contribuir para elevação desse índice. No caso dos horizontes BA e Bw do perfil 2 (LVAe), os valores de K_i indicam a presença de minerais do grupo da caulinita, típicos de horizontes B latossólicos. Os valores do índice K_r , sempre superiores a 0,75, sugerem que os três perfis sejam enquadrados na categoria de solos cauliniticos (Embrapa, 1999b), fato que se confirma com a análise mineralógica, que será discutida posteriormente.

Mineralogia da fração areia

Os principais componentes da fração areia dos três perfis estudados podem ser identificados pelas reflexões características de cada mineral, expressas nos difratogramas das figuras 1, 2 e 3. Em linhas gerais, os minerais facilmente decomponíveis já não estão presentes na referida fração, uma vez que já sofreram alteração, restando apenas os mais resistentes ao intemperismo.

Os difratogramas da figura 1 evidenciam a similaridade da composição mineralógica entre os horizontes do perfil 1 (CXve). O quartzo é o mineral predominante, acompanhado da goethita, que vem em segundo plano. Há também a ocorrência de hematita e magnetita. Moreira (2000), estudando um Cambissolo Háplico da Chapada do Apodi, encontrou minerais de quartzo predominando em relação a ortoclásio, piroxênio e ilmenita, além de pequenas quantidades de caulinita, hematita e goethita.

Na figura 2 encontram-se os difratogramas inerentes ao perfil 2 (LVAe). A mineralogia é muito uniforme em todo o perfil, sendo composta essencialmente por quartzo, que predomina em relação

aos demais constituintes. A ilmenita, óxido de Fe e Ti, ocorre em segundo plano, além de magnetita e goethita, como recobrimento dos grãos. A mineralogia do perfil 3 (PVd - Figura 3) é muito semelhante à do perfil 2, com a ocorrência de quartzo, ilmenita, magnetita e goethita em todos os horizontes, dando uma configuração bastante semelhante aos difratogramas.

Uma análise mais detalhada deve revelar a existência de outros minerais que ocorrem em pequenas quantidades e que não podem ser detectados pela difratometria de raios X. Alencar (2002), utilizando técnicas mais apuradas para identificação de minerais em solos da Chapada do Apodi, na porção localizada no Estado do Ceará, registrou a ocorrência de outros minerais, como zircônio, rutilo, concreções ferruginosas e minerais opacos, na fração areia.

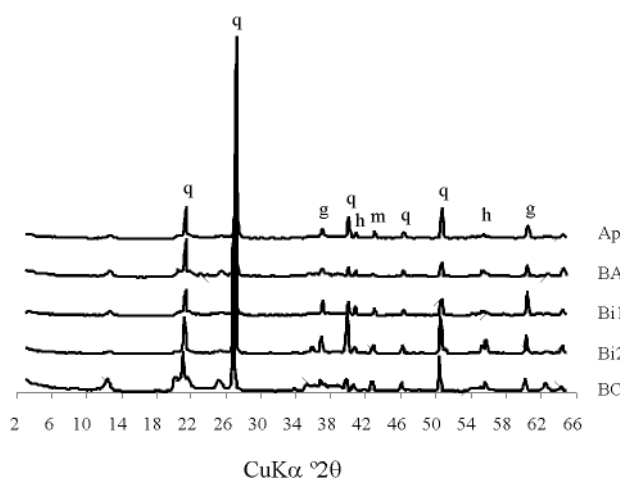


Figura 1. Difratogramas de raios X da fração areia dos horizontes do Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico (g = goethita; h = hematita; m = magnetita; q = quartzo).

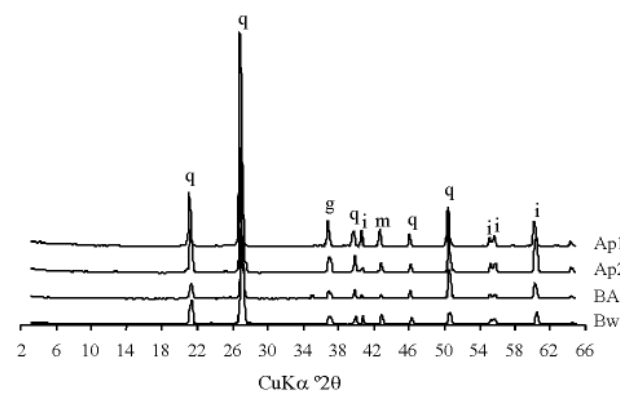


Figura 2. Difratogramas de raios X da fração areia dos horizontes do Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico argissólico (g = goethita; i = ilmenita; m = magnetita; q = quartzo).

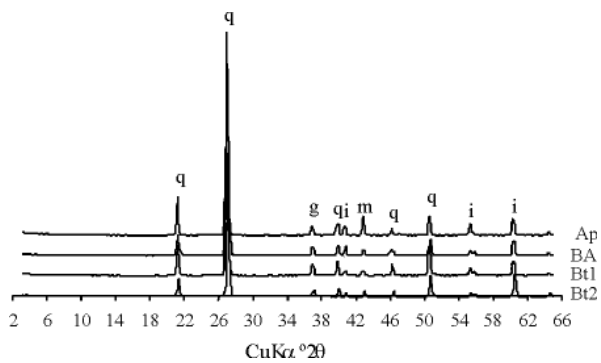


Figura 3. Difratogramas de raios X da fração areia dos horizontes do Argissolo Vermelho distrófico arênico (g = goethita; i = ilmenita; m = magnetita; q = quartzo).

Mineralogia da fração silte

Os minerais referentes à fração silte estão expressos nos difratogramas das figuras 4, 5 e 6. A mineralogia é muito parecida com a encontrada na fração areia, mas difere por apresentar minerais silicatados já bastante intemperizados, de natureza secundária, como é o caso da caulinita.

Genericamente, a mineralogia da fração silte dos três pedons é muito semelhante e composta predominantemente por quartzo. Além disso, ocorrem também muscovita, caulinita e goethita. Alencar (2002) encontrou, para os mesmos solos, quartzo e, em menor proporção, mica, atribuindo a esta a possibilidade de ser muscovita. Moreira (2000), em Cambissolo Háplico, registrou a ocorrência de

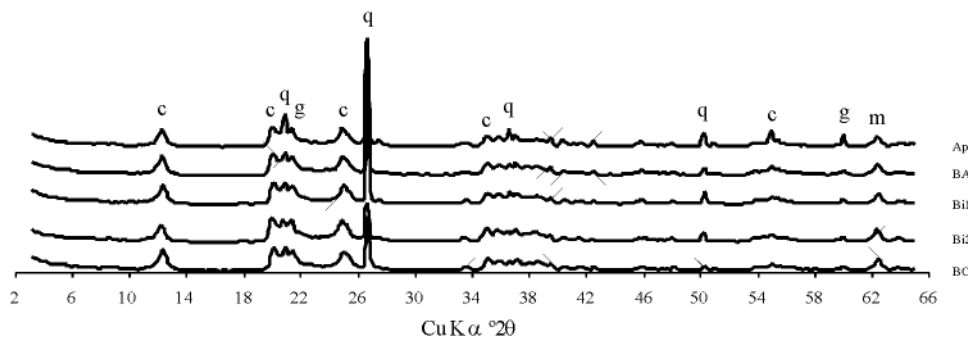


Figura 4. Difratogramas de raios X da fração silte dos horizontes do Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico (c = caulinita; g = goethita; m = muscovita; q = quartzo).

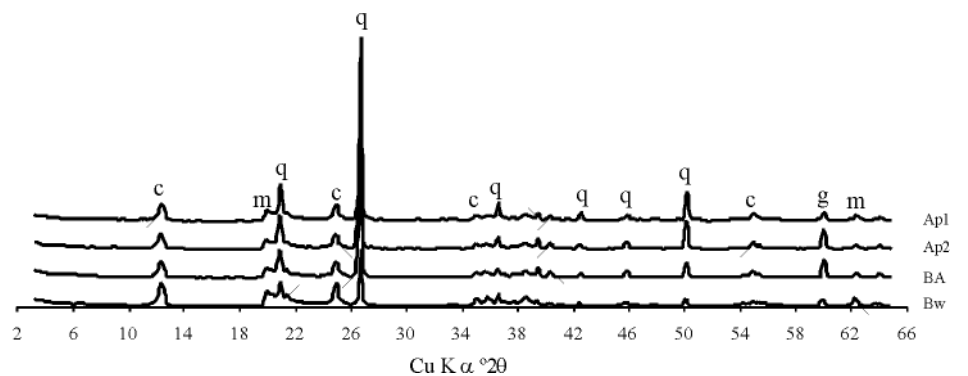


Figura 5. Difratogramas de raios X da fração silte dos horizontes do Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico argissólico (c = caulinita; g = goethita; m = muscovita; q = quartzo).

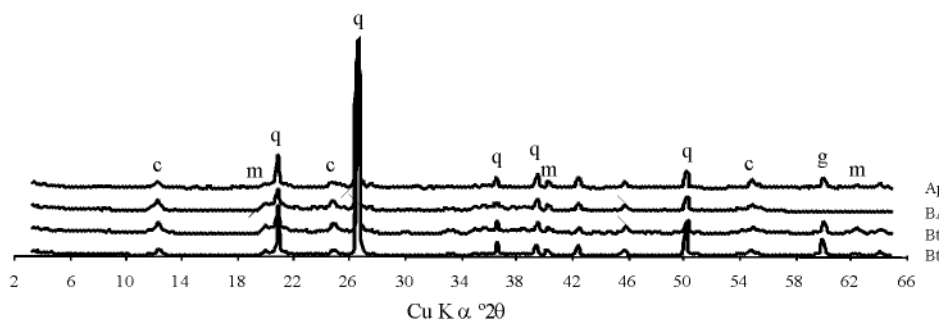


Figura 6. Difratogramas de raios X da fração silte dos horizontes do Argissolo Vermelho distrófico arênico (c = caulinita; g = goethita; m = muscovita; q = quartzo).

caulinita e goethita em silte fino, como pseudomorfo, e recobrimento.

A uniformidade no sentido superfície-profundidade em todos os perfis é bem nítida, o que evidencia não haver descontinuidade litológica, ou seja, o material de origem é o mesmo para todos os horizontes, fato que fora confirmado também pela mineralogia da fração areia.

Mineralogia da fração argila

Os difratogramas da fração argila, com todos os tratamentos aplicados, são apresentados nas figuras 7 a 9. Para o perfil 1 (CXve – Figura 7), os minerais identificados pelos picos característicos nos difratogramas indicam ser a caulinita o mineral dominante, seguido de ilita, em menor proporção. A caulinita está bem caracterizada pela eliminação dos picos a 550 °C, dentre os quais se destacam os de espaçamento (d) de 0,718, 0,357, 0,256, 0,238, 0,199, 0,179 e 0,166 nm. A ilita foi constatada pela permanência de picos em todos os tratamentos correspondentes aos seus espaçamentos, como, por exemplo, os de 0,996 e 0,496 nm. O anatásio foi identificado pelo pico característico de 0,352 nm. Em que pese a elevada resistência do quartzo ao intemperismo, foi encontrado na fração argila quartzo coloidal, evidenciando efeitos de forças mecânicas, reduzindo-o ao tamanho da fração argila sem, contudo, provocar alterações no seu comportamento químico. Moreira (2000) e Rebouças (2001) também encontraram quartzo em tamanho coloidal na fração argila de alguns solos do Estado do Ceará, próximo à região do presente estudo.

Estimativa baseada na análise semiquantitativa dos argilominerais encontrados indica haver aproximadamente 90 % de caulinita e 10 % de ilita, corroborando dados obtidos por Moreira (2000) em

Cambissolo na mesma região. Alencar (2002) também observou o predomínio de caulinita, em relação à mica. Apesar de o material de origem ser o mesmo, o tipo e a quantidade de argilominerais formados dependem das características peculiares a cada ambiente.

Quanto ao perfil 2 (LVAe - Figura 8), a mineralogia é semelhante à do perfil 1, ou seja, predomina caulinita, com ilita em segundo plano. A diferença para o perfil 1 é que, pela análise semiquantitativa, a caulinita representa cerca de 95 % dos minerais encontrados, enquanto a ilita corresponde a apenas 5 %.

A mineralogia do perfil 3 (PVd - Figura 9) é constituída pelos mesmos minerais que compõem a mineralogia dos perfis 1 e 2, isto é, apresenta a caulinita como mineral predominante (cerca de 90 %) e ilita como mineral de segundo plano (cerca de 10 %).

O domínio da caulinita na fração argila dos perfis estudados sugere, segundo Alencar (2002), uma transformação quase que direta da mica em caulinita, especialmente no perfil 1, ou seja, os argilominerais não passam pelo estágio 2:1, que compreende a formação de vermiculita ou esmectita.

A presença de caulinita em solo jovem, como é o caso do perfil 1 (CXve), parece estranha, pois, segundo Resende (1989), era de se esperar a formação bem mais intensa de argilominerais 2:1, fato não confirmado pelas análises de difratometria de raios X. Desse modo, estudando solos da região, esse autor desenvolveu uma hipótese para explicar o domínio da caulinita neles. É que a presença de muscovita no resíduo do material de origem, a rocha calcária, e a maior solubilização da sílica em pH elevado, associadas ao equilíbrio da relação entre as atividades dos íons K^+ e $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, favorecem a rápida formação da caulinita mesmo na ausência de lixiviação pronunciada.

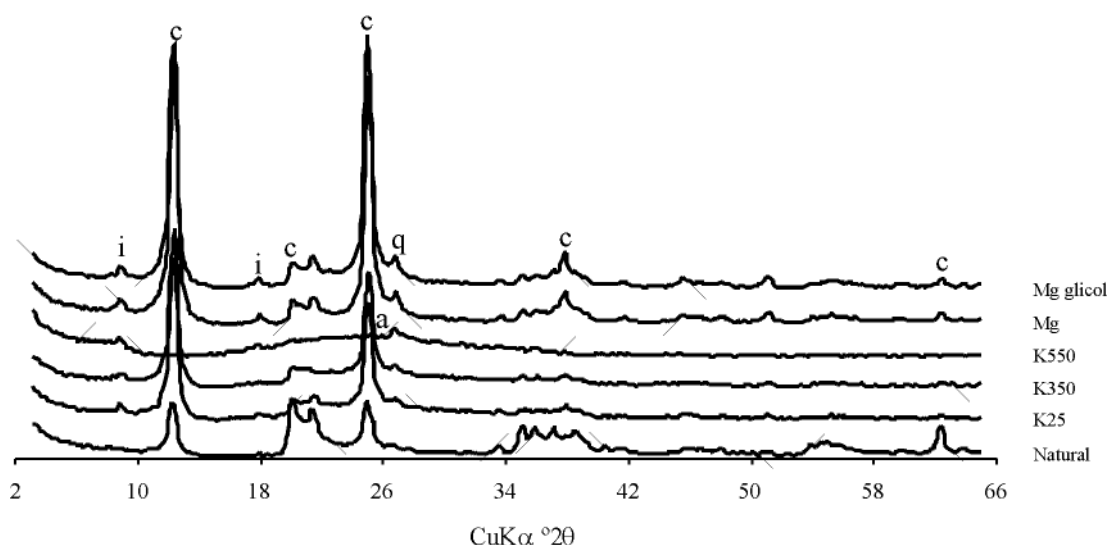


Figura 7. Difratogramas de raios X da fração argila, com todos os tratamentos, do horizonte Bi2 do Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico (a = anatásio; c = caulinita; i = ilita; q = quartzo).

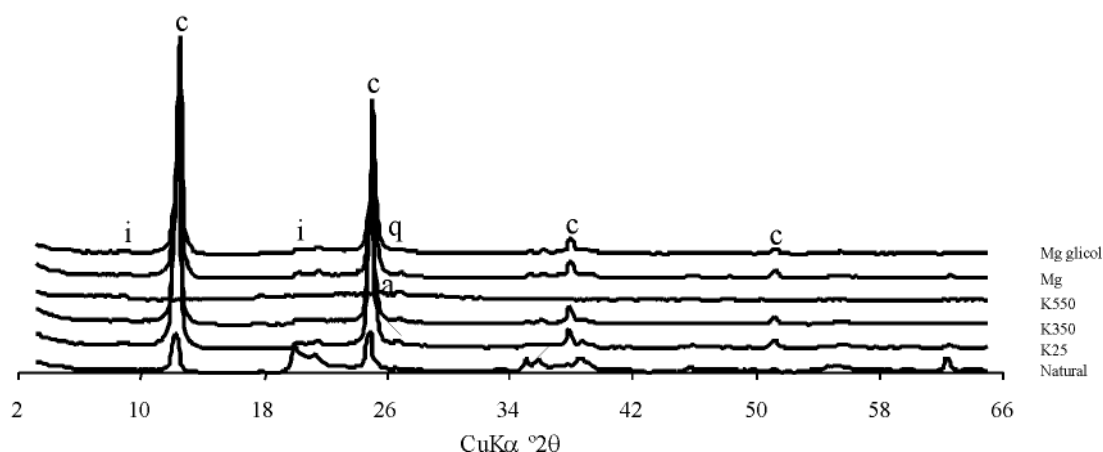


Figura 8. Difratogramas de raios X da fração argila, com todos os tratamentos, do horizonte Bw do Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico (a = anatásio; c = caulinita; i = illita; q = quartzo).

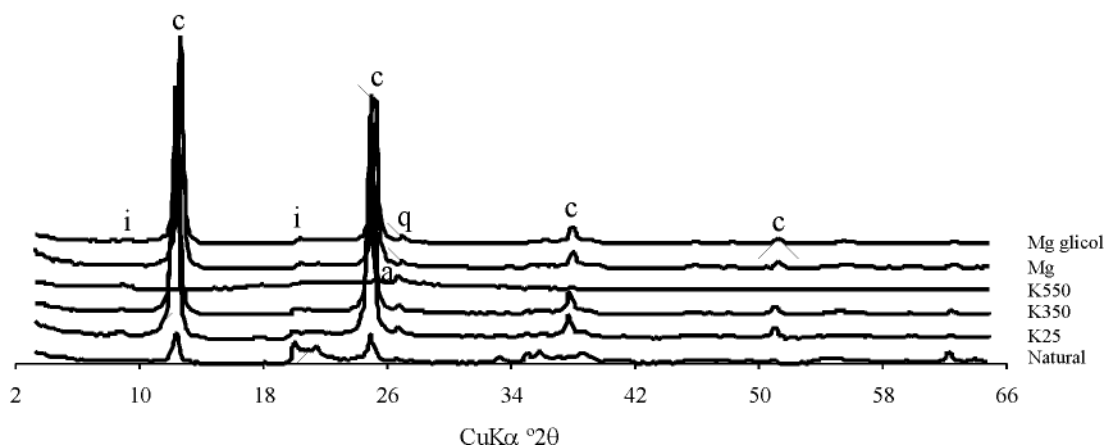


Figura 9. Difratogramas de raios X da fração argila, com todos os tratamentos, do horizonte Bt2 do Argissolo Vermelho distrófico arênico (a = anatásio; c = caulinita; i = illita; q = quartzo).

Uma outra corrente de pensamento (Alencar, 2002; Silva, 2006) lança mão de aspectos paleoclimáticos para explicar a presença da caulinita em solos relativamente jovens. Essa vertente fundamenta-se no fato de a região da Chapada do Apodi, de clima semi-árido, com formação geológica do Cretáceo, apresentar solos atuais e subatuais, ambos em vários estádios de meteorização. Nesse caso, os solos subatuais teriam sido formados sob clima quente com precipitações abundantes e passam, atualmente, por uma meteorização sob clima semi-árido. Melo et al. (2003), estudando a mineralogia de solos do Triângulo Mineiro (MG), atribuíram o predomínio da caulinita, também em solos mais jovens, ao clima encontrado na região, em que as altas temperaturas, a umidade elevada e a boa drenagem do solo favoreceram o intemperismo do material de origem.

Assim posto, o solo do perfil 1 (CXve), apesar de atender a todos os requisitos que o configuram como um solo ainda em fase de formação, apresenta mineralogia de solos altamente intemperizados. Em síntese, é um solo jovem com mineralogia de solo bem evoluído.

Quanto aos perfis 2 (LVAe) e 3 (PVd), a mineralogia é coerente com o estágio de evolução que os solos apresentam.

Microscopia eletrônica de varredura em amostras indeformadas

A microscopia eletrônica é uma das poucas ferramentas disponíveis que permite a observação de minerais separadamente, apresentando a vantagem de os constituintes encontrarem-se em sua condição estrutural natural.

As figuras 10 e 11 são fotomicrografias obtidas em amostras indeformadas. Como as frações areia, silte e argila não foram observadas separadamente, a identificação de minerais isolados ficou bastante dificultada, uma vez que essas partículas se agregam, formando microagregados constituídos por minerais bastante diversificados. No entanto, os processos de alteração ou pseudomorfose de alguns argilominerais puderam ser visualizados, inclusive com o espectrograma, identificando os constituintes do mineral formado (caulinita) ou em processo de alteração/pseudomorfose.

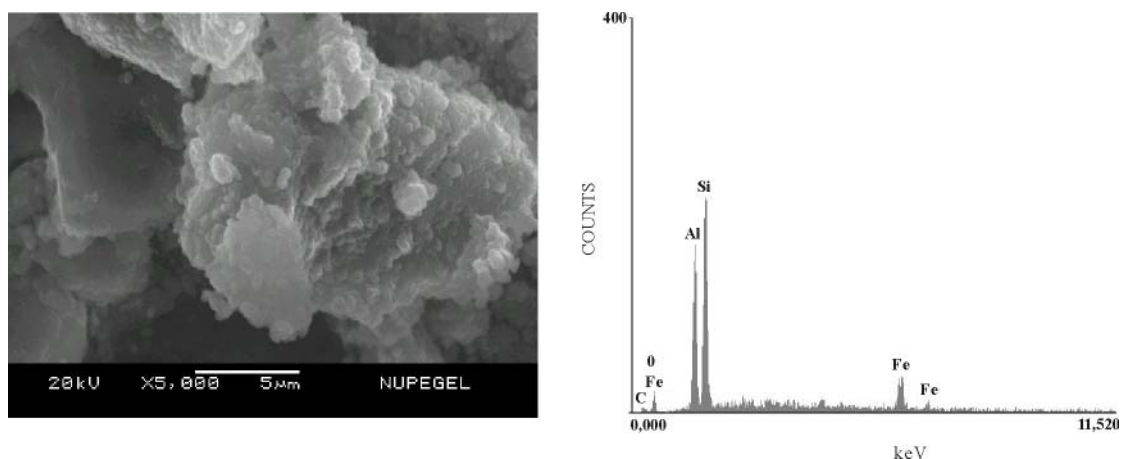


Figura 10. Fotomicrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura e o espectrograma geral de mica em processo de alteração para caulinita no horizonte B11 do Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico.

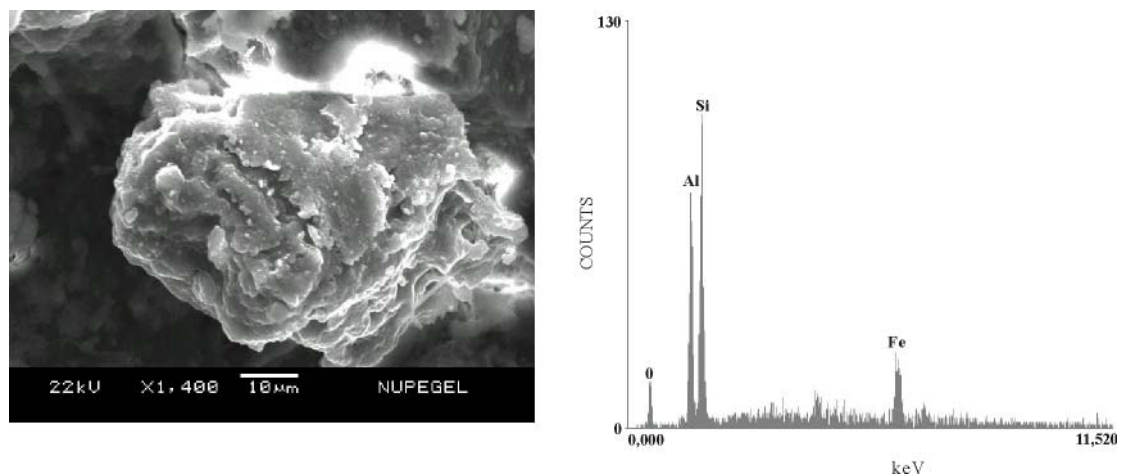


Figura 11. Fotomicrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura e o espectrograma geral de mica em processo de alteração para caulinita no horizonte Bw do Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico argissólico.

CONCLUSÕES

1. A composição mineralógica é semelhante nos perfis estudados; o quartzo predomina nas frações areia e silte, enquanto a fração argila é constituída predominantemente por caulinita.

2. O perfil 1 (CXve), em contraste com os outros dois perfis, é o menos evoluído na escala pedogenética. Os perfis 2 (LVAe) e 3 (PVD) apresentam praticamente a mesma maturidade, muito embora o primeiro seja um pouco mais evoluído.

3. Pelas condições de semi-aridez do local em que os três perfis estão inseridos, o domínio da caulinita na fração argila sugere que os solos foram originados em condições climáticas diferentes das atuais, provavelmente mais úmidas, ou que eles tenham se desenvolvido a partir de um material pré-intemperizado.

LITERATURA CITADA

ALENCAR, E.L.L. Química e mineralogia de três pedons originários de calcário da Chapada do Apodi - CE. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2002. 61p. (Tese de Mestrado)

ALLEN, B.L. & HAJEK, B.F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, S.B. & WEED, S.B. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of American, 1989. p.199-278.

AMARO FILHO, J. Contribución al estudio del clima del Rio Grande do Norte. Madrid, ETSIA/UPM, 1991. 311p. (Tese de Doutorado)

BRINDLEY, G.W. Identification of clay minerals by X-ray diffraction analysis. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAY TECHNOLOGY, 1., San Francisco, 1955. Proceedings. San Francisco, Department of Natural Resources, 1955. p.119-129.

- BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. 7.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989. 594p.
- CHAGAS, F.C. Normais climatológicas para Mossoró-RN (1970-1996). Mossoró, ESAM, 1997. 40p. (Monografia de Graduação)
- COELHO, M.R. & VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. II - Mineralogia. R. Bras. Ci. Solo, 27:495-507, 2003.
- CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; RUIZ, H.A. & BASTOS, R.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB). R. Bras. Ci. Solo, 27:311-324, 2003.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA SECAS - DNOCS. Plano diretor para o aproveitamento dos recursos de solo e água do Vale do Apodi - Rio Grande do Norte. São Paulo: Hidroservice/Ministério do Interior/DNOCS (3ª Diretoria Regional), v.I, Tomo 1, 1978.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999a. 370p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999b. 412p.
- ERNESTO SOBRINHO, F. Caracterização, gênese e interpretação para uso de solos derivados de calcário da região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1980. 133p. (Tese de Mestrado)
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudoeste do Brasil, R. Bras. Ci. Solo, 23:507-514, 1999.
- FONTES, M.P.F. Mineralogia do solo (Versão Resumida). Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. não paginado.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Advanced course. 2.ed. Madison, University of Wisconsin, 1969. 895p.
- JONHS, W.D.; GRIM, R.E. & BRADLEY, W.F. Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. J. Sedim. Petrol., 24:242-251, 1954.
- KÄMPF, N. & CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogenéticos e geoquímicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.107-138.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos caulínticos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 7:27-31, 1983.
- KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G.H. & MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. R. Bras. Ci. Solo, 23:101-106, 1999.
- LEMOS, M.S.S.; CURI, N.; MARQUES, J.J.G.S.M. & ERNESTO SOBRINHO, F. Evaluation of characteristics of Cambisols derived from limestone in low tablelands in Northeastern Brazil: Implications for management. Pesq. Agropec. Bras., 32:825-834, 1997.
- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta do solo no campo. Campinas, SBSC/SNLCS, 1984. 46p.
- MELO, V.F., FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; SINGH, B. & SCHAEFER, C.E.G.R. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos. R. Bras. Ci. Solo, 25:19-32, 2001.
- MELO, V.F.; CORRÊA, G.F.; MASCHIO, P.A.; RIBEIRO, A.N. & LIMA, V.C. Importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. R. Bras. Ci. Solo, 27:807-819, 2003.
- MENDES, A.C.T. Identificação das argilas do solo por difração do raio X. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1972. 34p.
- MOREIRA, F.L.M. Influência de atributos físicos, químicos e mineralógicos sobre a capacidade de adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2000. 68p. (Tese de Mestrado)
- NUNES, W.A.G.A.; KER, J.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I. & GOMES, F.H. Relação solo-paisagem-material de origem e gênese de alguns solos no domínio do “Mar de Morros”, Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 25:341-354, 2001.
- REBOUÇAS, H.G.P. Adensamento ou compactação de Argissolos do município de Pacajús – Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2001. 78p. (Tese de Mestrado)
- RESENDE, M. Nordeste: Ambiente agrícola, problemas e sugestões de pesquisa. Mossoró, 1989. (Coleção Mossoroense, Série A, 29)
- ROMERO, R.E. Gênese e degradação de duripãs em uma toposseqüência dos tabuleiros costeiros, Conde - BA. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003. 144p. (Tese de Doutorado)
- SERHID. Bacia 01 - Apodi-Mossoró. Disponível em <<http://www.serhid.rn.gov.br/detalhe.asp?IdPublicacao=137>>. Acesso em 22 ago. 2001.
- SILVA, F.J. Classificação de alguns solos identificados na Chapada do Apodi. Disponível em <<http://www.ia.ufrj.br/cpacs/tese/resumos/res007.htm>>. Acesso em 21 out. 2006.
- VERDADE, F.C. Análise química total. In: MONIZ, A.C., ed. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono, 1972. p.209-221.