

SEÇÃO II - QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO

QUÍMICA E MINERALOGIA DE SOLOS DERIVADOS DE ROCHAS DO GRUPO BAMBUÍ NO NORTE DE MINAS GERAIS⁽¹⁾

C. V. OLIVEIRA⁽²⁾, J. C. KER⁽³⁾, L. E. F. FONTES⁽⁴⁾,
N. CURI⁽⁵⁾ & J. C. PINHEIRO⁽⁶⁾

RESUMO

Perfis de solos representativos do Distrito Agroindustrial do Jaíba, norte de Minas Gerais, foram descritos morfológicamente, tendo sido suas amostras coletadas e analisadas química, física e mineralogicamente, com o fim de obter informações que contribuam para sua melhor exploração agrícola. Embora provenientes, em sua quase totalidade, de calcário do grupo Bambuí, e com aparente homogeneidade fisiográfica (relevo plano e floresta caducifolia), os solos apresentaram grande diversidade nesses aspectos. Mineralogicamente, observaram-se a illita e a caulinita como minerais comuns, esta última presente mesmo em Vertissolo e Rendzina, solos com expressiva quantidade de carbonatos livres. A presença de esmectita no Vertissolo, na Rendzina e no Cambissolo de argila de atividade alta indica que a escassez de chuva, a riqueza do material de origem e sua superficialidade em topografia plana dificultam a saída de sílica e bases do sistema, favorecendo a formação de esmectita. Tal mineralogia, associada à sazonalidade climática, parece responsável pelo fendilhamento expressivo desses solos no período seco. Os solos apresentam cores variadas: solos vermelhos e vermelho-amarelados, graças à presença de hematita e goethita, referem-se principalmente aos Latossolos situados em posições ligeiramente mais elevadas na paisagem, dispondo de melhor drenagem; amarelos e bruno-amarelados, normalmente situados em áreas mais deprimidas, que, aliados à superficialidade e massividade do material de origem, restringem a drenagem, favorecendo a gênese da goethita e levando à formação de concreções ferro-manganosas em quantidades expressivas; nestes ambientes, foram constatados Cambissolos de argila de atividade alta (Ta) e baixa (Tb), Vertissolos ou solos com características vérticas, também brunados, e Rendzina. A baixa relação Fe_o/Fe_d (ferro oxalato/ferro ditionito) revelou predomínio de óxidos mais cristalinos. Os solos eutróficos e epieutróficos (distróficos ou álicos), com baixos teores de Na e relevo predominantemente plano e suave-ondulado, confirmam a grande potencialidade agrícola da área, sobretudo sob irrigação. A diversidade das características químicas, físicas e mineralógicas dos solos, entretanto, aponta variações de comportamento frente ao uso agrícola, indicando adequações diferenciadas de práticas de manejo.

Termos de indexação: Solos sobre calcário, Vertissolo, Rendzina, Latossolos.

⁽¹⁾ Trabalho referente ao desenvolvimento da Tese de Doutorado da primeira autora, financiado pela FAPEMIG. Recebido para publicação em janeiro e aprovado em julho de 1998.

⁽²⁾ Professora Assistente do Departamento de Geografia, IGC, UFMG. Av. Antônio Carlos 6627, CEP 31270-010 Belo Horizonte (MG).

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. Av. P.H. Rolfs s/n, CEP 36571-000 Viçosa (MG).

⁽⁴⁾ Professor Titular do Departamento de Solos, UFV.

⁽⁵⁾ Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. CEP 37200-000 Lavras (MG).

⁽⁶⁾ Estudante de Iniciação Científica, Agronomia, UFV.

SUMMARY: *CHEMISTRY AND MINERALOGY OF SOILS DERIVED FROM THE BAMBUÍ GROUP IN NORTHERN MINAS GERAIS STATE, BRAZIL*

Representative soil profiles from the Agroindustrial District of Jaíba in northern Minas Gerais State, Brazil, were morphologically described, sampled and chemically, physically and mineralogically analyzed, to obtain data which could contribute to their improved utilization. Although the parent material was almost the same (BambuÍ group limestone), and the apparent physiographical homogeneity (flat relief and deciduous forest), the soils presented great morphological, chemical and mineralogical diversity. From a mineralogical standpoint, illite and kaolinite are common minerals, the latter found even in Vertisols and Rendzinas, which are soils with substantial amounts of free carbonates. The presence of smectite in Vertisols, Rendzinas and Cambisols of high activity clay, indicates that rain shortage, richness of parent material and its shallow depth on a flat topography, hinder the escape of silica and bases from the system, favoring the smectite formation. The mineralogical composition, together with the climatic seasonal variability, appears to be responsible for the accentuated cracking of these soils in the dry season. The soils present various colors: red, and red-yellow, due to the presence of hematite and goethite, mainly in Oxisols on slightly elevated landscape positions, therefore with better drainage; yellow and yellowish-brown colors, normally in the more depressed areas, with worse drainage, associated with the shallow depth and high density of the parent material, favoring the genesis of goethite and leading to significant amounts of manganese-iron concretions, with occurrence of Cambisols with high (Ta) and low activity (Tb) clays, Vertisols or soils with vertic characteristics, also brownish, and Rendzinas. The low Fe_o/Fe_d ratio (iron oxalate/iron dithionite) revealed predominance of more crystalline iron oxides. The eutrophic and epieutrophic soils (dystrophic or allic) with low Na contents and a dominantly flat and gentle undulated relief confirm the great agricultural potential of the area, especially under irrigation. However, the soil chemical, physical and mineralogical characteristics diversity indicates variable soil behavior depending on land use, suggesting the adoption of differential soil management practices.

Index terms: Soils derived from limestone, Vertisols, Mollisols, Latosols.

INTRODUÇÃO

Situado no semi-árido brasileiro, o norte de Minas Gerais apresenta áreas de reconhecida potencialidade agrícola. Contribuem para isso as condições topográficas que favorecem a mecanização e os recursos de solos (EPAMIG, 1976; EMBRAPA, 1979). Entretanto, em razão das precipitações relativamente baixas (em torno de 800 mm anuais) e da má distribuição das chuvas (período seco de maio a outubro), o aproveitamento agrícola mais intenso das terras torna-se altamente dependente da irrigação.

Dada a proximidade de algumas dessas áreas em relação ao Rio São Francisco, a irrigação é plenamente possível. Assim, vem sendo instalado na região, desde a década de setenta, um dos maiores projetos de irrigação da América Latina, o Jaíba, que, após concluído, deverá possibilitar a irrigação de cerca de 100.000 ha. Hoje, com cerca de 22.000 ha ocupados, mais a participação de produtores da iniciativa privada, o referido projeto pode ser considerado um importante pólo agrícola da região, com exploração de cerca de 36 culturas, com destaque para a banana.

Especificamente no Jaíba, apesar da aparente homogeneidade fisiográfica (relevo plano e suave ondulado, destacando-se poucos morros e serras com afloramentos de calcário e vegetação primitiva representada pela caatinga/floresta caducifolia muito alterada), a diversidade de solos é bastante expressiva, inferindo-se pelo levantamento de reconhecimento, realizado na área (EPAMIG, 1976). Feições morfológicas diferenciadas, após exame de campo mais detalhado, como cor, profundidade, fendilhamento, presença de concreções ferromangânicas e carbonáticas, textura e estrutura confirmam esta afirmativa.

Embora alguns solos da região já tenham sido motivo de estudos no passado (Medeiros, 1977; Lopes, 1977), características como o fendilhamento pronunciado em alguns solos tipicamente latossólicos e a coloração bruno-amarelada de Cambissolos com argila de atividade baixa (Tb) e alta (Ta), sempre com expressivas quantidades de concreções de ferro e manganês distribuídas pela massa do solo, às vezes lado a lado com Latossolos Vermelho-Escuros, revelam a necessidade de se

levantar mais dados sobre solos de influência calcária em ambiente semi-árido do Brasil e reforçam a validade de novos estudos na área.

Assim, foi objetivo deste estudo caracterizar química, física e mineralogicamente os solos da área do Jaíba, a fim de fornecer subsídios para o melhor entendimento de sua gênese, aproveitamento e uso desses solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os solos estudados encontram-se localizados entre o município de Jaíba e a sede do Distrito Agroindustrial do Jaíba em Mocambinho, norte de Minas Gerais (Figura 1). O clima da região é do tipo Aw (Köppen) com inverno seco e verão chuvoso. A precipitação média anual é de aproximadamente 800 mm, concentrando-se entre novembro e abril, quando ocorrem normalmente 90% da precipitação anual, sendo os seis meses restantes praticamente secos (Medeiros, 1977). A área localiza-se no domínio da Superfície de Aplainamento da Depressão Sanfranciscana, sendo caracterizada por grandes superfícies rebaixadas, com poucas variações topográficas, possuindo tipicamente relevo plano ou suave ondulado, com presença marcante de dolinas, podendo ocorrer áreas onduladas e forte onduladas referentes às morrarias de Serra Azul e Morro Solto, onde afloram calcários do Grupo Bambuí.

Foram coletadas amostras de horizontes de dez perfis de solos representativos da área (Figura 1), as quais foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). As análises físicas consistiram da caracterização textural e argila dispersa em água (EMBRAPA, 1997a). As químicas constaram da determinação de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , H^+ + Al , carbono orgânico, pH em água e KCl e fósforo disponível (EMBRAPA, 1997a). Além disso, a fração argila, obtida por decantação após dispersão com NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, foi tratada com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Mehra & Jackson, 1960) e com oxalato ácido de amônio, na ausência de luz (McKeague & Day, 1966), para quantificação de ferro, de sílica e de alumínio (EUA, 1996).

Também foi determinado o equivalente de carbonato de cálcio no horizonte A da Rendzina e no Vertissolo (EMBRAPA, 1997a), além do teor de P_2O_5 extraído por ácido cítrico no horizonte A da Rendzina (EUA, 1996).

Após a remoção do ferro livre (DCB), tratamentos com potássio e aquecimento, com magnésio e com magnésio e glicerol, a fração argila foi caracterizada mineralogicamente (amostras analisadas em lâminas de vidro), com irradiação de 2 a $40^\circ 2\theta$, em difratômetro de raios-X com tubo de cobre e, ou, ferro, procedendo-se a ampliações de picos, quando necessário. Ainda na fração argila, foi feita a concentração de óxidos de ferro pelo tratamento com NaOH 5 mol L^{-1} (Kämpf & Schwertmann, 1982),

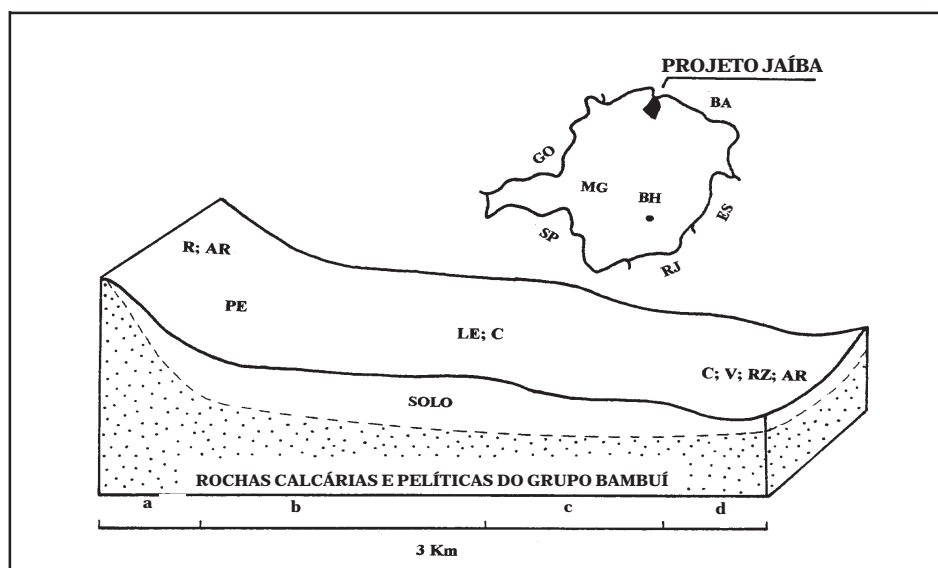


Figura 1. Mapa de localização da área, no estado de Minas Gerais, e blocodiagrama mostrando a distribuição dos solos na paisagem. R = Litólico; AR = Afloramento de Rocha; RZ = Rendzina; PE = Podzólico Vermelho-Escuro eutrófico argila de atividade baixa; LE = Latossolo Vermelho-Escuro; C = Cambissolo eutrófico argila de atividade alta e baixa; V = Vertissolo. (a) morrarias de relevo forte ondulado; (b) áreas de relevo plano e suave ondulado; e (c) áreas planas e dolinosas com acúmulo de água no período chuvoso.

os quais foram caracterizados por difratometria de raios-X (montagem em pó), ampliando-se as intensidades dos picos de hematita e, ou, goethita entre 20 e 45° 2 θ , utilizando-se tubo de cobre com monocromador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de carbono orgânico do horizonte A dos solos como um todo foram inferiores a 2,5 dag kg⁻¹, portanto, dentro de limites já constatados para outros solos em domínio semi-árido (Quadro 1). Destacou-se o teor de carbono da Rendzina (11,35 dag kg⁻¹), até o momento, o mais elevado valor encontrado para essa classe de solo no Brasil (BRASIL, 1971, 1973; EMBRAPA, 1971, 1975, 1977). Isto pode ser explicado pelo domínio de ácidos húmicos em relação aos fúlvicos da fração orgânica, os quais estariam complexados pelo cálcio, conferindo-lhes maior estabilidade, acumulando-se de forma mais expressiva na superfície (Stevenson, 1986). Além disso, interações entre argilominerais 2:1 expansivos e colóides orgânicos desempenham importante papel na estabilização da matéria orgânica do solo (Ernesto Sobrinho, 1979; Stevenson, 1986; Hendricks, 1991). Outro fator que pode explicar o acúmulo de matéria orgânica, em meio rico em nutrientes, é de ordem ecológica. Ou seja, a atividade microbiana estaria sendo limitada por uma combinação peculiar de falta d'água (causada pela má distribuição das chuvas) e de oxigênio (causada pela superficialidade e massividade do calcário, dificultando a drenagem da água, durante o período chuvoso), conforme já referido por Ernesto Sobrinho (1979) para Rendzinas do Rio Grande do Norte.

Suspeitou-se, ainda, para a Rendzina, possível contribuição de material orgânico resultante de ocupação humana pretérita, em razão de alguns objetos, semelhantes a utensílios domésticos encontrados no local de coleta, e do elevado teor de P₂O₅ extraído com ácido cítrico (232 mg g⁻¹). O valor de equivalente de carbonato de cálcio (6,85%) caracteriza uma Rendzina com carbonato (EMBRAPA, 1997b).

Os solos são, na sua maioria, eutróficos, com teores elevados de cálcio, refletindo a natureza do material de origem (rochas calcárias do Grupo Bambuí), em ambiente semi-árido. Fogem desta tendência dois Latossolos Vermelho-Escuros: distrófico (P10) e álico (P9), ainda que epieutróficos. Postula-se, para estes solos, e para o Cambissolo (P4), em função do teor mais baixo de cálcio em profundidade (Quadro 1), uma mistura de calcário com rocha pelítica mais aluminosa (ardósia), também observada em alguns locais da área, ainda que como rocha solta. Neste contexto, deve-se ressaltar ser praticamente impossível separar, no campo, solos eutróficos dos distróficos ou álicos em razão da posição semelhante na paisagem e da vegetação:

todos ocorrem em relevo plano e, às vezes, lado a lado, sob floresta subcaducifólia transicional com caatinga. É possível que o estabelecimento de floresta, e não de cerrado (encontrado nas proximidades da área), seja devido à melhor fertilidade dos solos, ainda que referidos como álicos, pois a soma de bases em superfície e subsuperfície apresenta-se bem superior àquela encontrada em Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelho-Escuros sob cerrado (dados catalogados e não apresentados). Isso concorda com as premissas de Resende et al. (1988), ao destacarem que, em ambientes com déficit hídrico pronunciado, a reciclagem é menos eficiente, e a vegetação passa a depender mais dos teores de nutrientes do solo.

O teor de Na mostrou-se baixo em todos os solos (Quadro 1). Isso, aliado à qualidade da água do Rio São Francisco para a irrigação (Cordeiro & Lima Filho, 1995), como é o caso da área em pauta, revela pequeno risco de salinização, particularmente nas áreas de Latossolos, pela eficiência da drenagem.

Todos os solos apresentaram valores de Δ pH (pH KCl - pH H₂O) negativos, indicando o predomínio de carga líquida negativa. Além disso, alguns solos (P1, P2 e alguns horizontes do P3) mostraram valores elevados de pH (> 7,0). Normalmente, acima deste valor iniciam-se problemas de disponibilidade de micronutrientes (boro, zinco, cobre, ferro e manganês) (Miller & Donahue, 1990) e de fósforo pela sua reação com cálcio (Ryan et al., 1985).

Os valores de fósforo disponível foram baixos para praticamente todos os solos, e se encontram dentro da faixa observada para solos afins no domínio semi-árido (EMBRAPA, 1971, 1977). O valor mais elevado foi encontrado na Rendzina (Quadro 1), também dentro dos limites observados para esta classe de solo no Brasil. Ressalta-se que, para solos influenciados por calcários, o extrator utilizado (Mehlich-1), devido ao seu baixo pH, tende a superestimar os teores de fósforo em função da liberação do fósforo ligado ao cálcio (Braidá et al., 1996). Isso indica que o teor de P nesses solos é realmente baixo, visto que, mesmo desenvolvidos de calcário e às vezes com concreções carbonáticas, os valores de P constatados não foram altos, confirmando resultados obtidos por outros pesquisadores (Lemos et al., 1997).

Com relação à atividade da argila (CTC da argila), após correção para carbono, observaram-se, em alguns solos de morfologia tipicamente latossólica (P8, P9 e P10), resultados maiores que aqueles permitidos para esta classe (13 cmol_c dm⁻³) (Quadro 1). Isto indica solos menos evoluídos e intermediários para Cambissolo (Latosolo Câmbico, como deveria ser classificado o P8). Utilizando apenas o teor de argila, sem emprego da correção de carbono e o valor 17 cmol_c dm⁻³ estabelecido para solos com horizonte Bw (EMBRAPA, 1997b), todos os solos (P8, P9 e P10) seriam classificados como Latossolos.

Quadro 1 - Características físicas e químicas de horizontes selecionados dos solos estudados

Hor.	Análise granulométrica				ADA	GF	pH		C org.	Complexo sortivo							Tr	P	V	PST	m	
	AG	AF	SIL	ARG			H ₂ O	KCl		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	Al ³⁺	H+Al						T
	dag kg ⁻¹						%	dag kg ⁻¹		cmol _c dm ⁻³												mg kg ⁻¹
P1 - Rendzina textura argilosa																						
A	6	17	41	36	3	92	7,1	6,0	11,35	0,2	0,2	24,6	1,1	26,1	0,0	3,2	29,3	-	17,8	89	0,8	0
P2 - Vertissolo A moderado textura argilosa																						
A	5	6	33	56	29	48	7,3	6,0	1,81	0,3	0,3	17,1	1,7	19,4	0,0	1,4	20,8	22,6	6,7	93	1,3	0
Cv1	5	5	33	57	41	28	8,2	6,6	0,63	0,1	0,1	21,7	1,4	23,3	0,0	0,5	23,8	36,7	0,6	98	0,4	0
Cv2	6	5	36	53	24	55	8,3	7,0	0,34	0,1	0,1	21,5	0,8	22,5	0,0	0,5	23,0	40,5	0,7	98	0,5	0
P3 - Cambissolo eutrófico Ta A moderado textura argilosa																						
A	14	11	27	48	9	81	7,1	5,9	2,36	0,3	0,2	12,7	1,1	14,3	0,0	0,9	15,2	9,6	3,3	94	1,5	0
Bi1	13	10	29	48	12	75	6,4	5,2	0,76	0,1	0,0	11,4	0,6	12,1	0,0	1,7	13,8	21,7	0,3	88	0,4	0
Bi2	11	8	29	52	12	77	5,3	4,3	0,38	0,1	0,0	12,2	0,3	12,6	0,1	2,6	15,2	26,0	0,3	83	0,4	1
Bi3	12	8	29	51	16	69	5,3	3,8	0,31	0,1	0,0	13,4	0,1	13,6	0,3	3,5	17,1	30,8	0,3	80	0,4	2
BCv	10	10	32	48	31	35	7,8	6,0	0,25	0,1	0,0	20,8	0,2	21,1	0,0	1,1	22,3	44,2	3,3	95	0,6	0
P4 - Cambissolo eutrófico Tb A moderado textura argilosa																						
A1	22	31	10	37	3	92	5,5	4,5	1,45	0,1	0,1	5,0	0,8	6,0	0,1	3,3	9,3	7,5	1,0	64	1,1	2
Bi1	16	28	9	47	1	98	4,7	3,9	0,44	0,1	0,0	3,5	1,3	4,9	0,3	2,6	7,5	11,7	0,3	65	0,4	6
BC1	15	29	9	47	1	98	4,6	3,6	0,13	0,0	0,0	1,9	0,9	2,8	1,6	3,8	6,6	12,6	0,2	43	0,3	36
P5 - Cambissolo eutrófico Tb A moderado textura média																						
A1	23	44	9	24	8	66	6,5	5,6	2,17	0,2	0,1	9,0	0,8	10,1	0,0	2,3	12,4	11,1	0,3	81	1,4	0
Bi1	19	40	7	34	5	85	5,5	4,2	0,62	0,1	0,0	5,0	0,8	5,9	0,1	2,1	8,0	15,2	0,3	74	0,4	2
BC2	21	37	10	32	3	84	5,1	3,9	0,34	0,0	0,0	5,9	0,8	6,7	0,2	1,7	8,4	21,5	0,3	80	0,3	3
P6 - Cambissolo eutrófico Tb A moderado textura média																						
A1	27	42	10	21	6	71	5,6	4,4	1,73	0,2	0,1	5,1	0,7	6,1	0,1	3,5	9,6	8,4	0,3	63	1,3	2
Bi1	16	37	11	36	4	89	4,9	3,8	0,45	0,1	0,0	4,2	1,0	5,3	0,5	2,6	7,9	16,7	0,3	67	0,4	9
BC1	25	35	11	29	5	83	5,1	3,9	0,38	0,1	0,0	3,8	0,6	4,5	0,3	1,5	6,0	14,6	0,2	75	0,5	6
P7 - Podzólico Vermelho-Escuro eutrófico Tb A moderado textura argilosa																						
A	12	3	43	42	24	43	5,6	4,3	1,43	0,3	0,3	6,1	1,7	8,4	0,3	3,8	12,2	13,7	1,5	69	2,3	3
Bt2	8	3	36	53	32	40	5,7	4,5	0,33	0,1	0,1	6,7	0,9	7,8	0,3	1,7	9,5	15,1	1,4	82	1,0	4
BC	7	4	34	55	37	33	6,2	4,6	0,38	0,2	0,1	7,4	1,1	8,8	0,0	1,5	10,3	15,6	2,0	85	1,5	0
P8 - Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico A moderado textura argilosa																						
A	5	8	31	56	39	30	6,1	5,0	2,09	-	-	6,5	1,0	7,5	0,0	2,6	10,1	1,2	3,4	75	-	0
Bw2	4	7	34	55	1	98	5,2	4,5	0,24	0,1	0,0	4,2	2,0	6,3	0,0	2,3	8,6	13,6	0,3	73	0,5	0
Bw4	5	8	31	56	1	98	4,3	3,8	0,11	0,1	0,0	4,8	1,5	6,4	0,2	2,3	8,7	14,7	0,7	74	0,9	3
P9 - Latossolo Vermelho-Escuro álico A moderado textura muito argilosa																						
A	9	5	24	62	6	90	5,2	4,0	1,91	0,1	0,1	3,4	1,0	4,6	0,6	4,4	9,0	0,7	1,6	51	1,2	12
Bw1	5	5	22	68	1	98	4,7	3,7	0,23	0,1	0,0	0,2	0,8	1,1	1,8	3,9	5,0	5,8	0,7	21	0,8	63
Bw3	3	4	19	74	1	98	4,6	3,6	0,19	0,1	0,0	0,2	0,8	1,1	2,3	4,4	5,5	6,3	1,2	20	0,8	68
P10 - Latossolo Vermelho-Escuro distrófico A moderado textura muito argilosa																						
A	5	9	25	61	16	74	6,3	5,1	2,39	1,2	1,0	5,3	0,9	8,4	0,0	3,1	11,5	1,3	3,8	73	7,9	0
Bw2	5	8	22	65	1	98	4,6	3,8	0,21	0,1	0,0	1,2	1,2	2,5	0,8	3,1	5,6	7,2	0,8	45	1,0	24

Hor. = horizonte; AG = areia grossa; AF = areia fina; SIL = silte; ARG = argila; ADA = argila dispersa em água; GF = grau de floculação; Tr = $[CTC - (4,5 \times C \text{ org.}) / \%ARG] \times 100$; SB = $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}$; T = SB + H + Al; V = SB x 100/T; PST = $Na^{+} \times 100/T$; m = $Al^{3+} \times 100/SB + Al^{3+}$.

O Cambissolo com argila de atividade alta (P3) apresenta fendilimentos pronunciados no horizonte imediatamente superior à rocha calcária, inclusive com superfícies de fricção, indicando a ocorrência de argilas 2:1 expansivas. Isto se deve ao acúmulo de cátions e sílica no meio, impostos pela restrição de drenagem, (Jackson & Sherman, 1953;

Keller, 1968), fato confirmado pelo maior teor de cátions, principalmente cálcio no horizonte com características vérticas (Quadro 1), e de sílica. Os outros Cambissolos observados na área apresentam argila de baixa atividade (Quadro 1), indicando diferenciação de drenagem, possivelmente ditada pelo fraturamento do calcário (é comum na área a

ocorrência de pequenas grutas e sumidouros), favorecendo maior lixiviação de bases e de sílica.

No Vertissolo, por definição de argila de alta atividade, ainda que a ocorrência de concreções carbonáticas verificadas nos horizontes Cv1 e Cv2 indique a presença de horizonte Ck, os valores observados de equivalente de carbonato de cálcio (3,88 dag kg⁻¹ para o horizonte Cv1 e 4,34 dag kg⁻¹ para o Cv2) não se mostraram suficientes para tal caracterização (EMBRAPA, 1997b). Nódulos endurecidos ou concreções de carbonatos secundários são feições comuns em muitos Vertissolos de origem calcária e estão normalmente associados a locais de

acúmulo (dolinas ou não) que sofreram enriquecimento em cálcio e magnésio via sedimentação em ambientes quentes e de pouca precipitação (Hendricks, 1991). A formação dessas concreções é devida à alteração "in situ" do carbonato original, com posterior translocação como bicarbonato e precipitação, principalmente, como calcita (Rabenhorst et al., 1991).

Com relação à cor, observam-se solos bastante diversificados (Quadro 2), com coloração avermelhada dentro do matiz 2,5YR (P7, P8, P9 e P10), revelando influência de hematita (Schwertmann & Lentze, 1966; Resende, 1976), confirmada por difratometria

Quadro 2. Cor úmida e teores de ferro extraído pelo DCB (Fe_d), relação Fe_o/Fe_d, teores de SiO₂ e Al extraídos pelo DCB e oxalato, relação Si_o/Si_d e Al_o/Al_d de horizontes selecionados dos solos estudados

Horizonte	Cor	Fe _d ⁽¹⁾	Fe _o /Fe _d	SiO _{2d}				SiO _{2o} ⁽²⁾	Si _o /Si _d	Al _o ⁽²⁾	Al _d ⁽²⁾	Al _o /Al _d
				1ªext.	2ªext.	3ªext.	Total					
		dag kg ⁻¹		— dag kg ⁻¹ —						— dag kg ⁻¹ —		
P1 - Rendzina textura argilosa												
A	10YR 2/2	1,98	0,27	4,37	1,29	0,93	6,59	0,46	0,11	0,80	0,39	2,05
P2 - Vertissolo A moderado textura argilosa												
A	10YR 4/4	3,43	0,06	1,95	1,01	0,92	3,88	0,37	0,19	0,26	0,44	0,59
Cv1	2,5Y 5/6	2,69	0,04	3,29	2,06	1,21	6,56	0,53	0,16	0,34	0,32	1,06
Cv2	2,5Y 5/6	2,80	0,03	3,31	2,17	1,66	7,14	0,62	0,19	0,30	0,28	1,07
P3 - Cambissolo eutrófico Ta A moderado textura argilosa												
A	10YR 5/4	4,26	0,10	2,43	1,13	0,88	4,44	0,36	0,15	0,30	0,52	0,58
Bi1	10YR 5/8	3,93	0,05	2,39	1,31	0,45	4,15	0,39	0,16	0,37	0,53	0,70
Bi2	2,5Y 6/4	3,71	0,04	2,29	0,92	0,90	4,11	0,42	0,18	0,30	0,48	0,62
Bi3	2,5Y 6/4	3,63	0,05	3,27	1,77	1,03	6,07	0,60	0,18	0,31	0,40	0,77
BCv	2,5Y 5/4	2,67	0,09	3,64	3,10	3,20	9,94	0,63	0,17	0,33	0,26	1,27
P4 - Cambissolo eutrófico Tb A moderado textura argilosa												
A	10YR 5/3	1,07	0,09	1,27	0,77	0,65	2,69	0,24	0,19	0,27	0,29	0,93
Bi1	2,5Y 6/4	0,81	0,06	1,63	0,69	0,62	2,94	0,32	0,20	0,36	0,28	1,29
BC1	2,5Y 6/4	0,19	0,21	1,82	0,69	0,58	3,09	0,32	0,18	0,33	0,21	1,54
P5 - Cambissolo eutrófico Tb A moderado textura média												
A	10YR 4/3	1,88	0,09	1,47	0,73	0,69	2,89	0,26	0,18	0,28	0,38	0,74
Bi1	7,5YR 5/8	2,19	0,06	1,69	0,97	0,77	3,43	0,34	0,20	0,40	0,39	1,03
BC2	2,5Y 6/6	1,33	0,03	3,21	1,05	0,62	4,88	0,47	0,15	0,34	0,30	1,13
P6 - Cambissolo eutrófico Tb A moderado textura média												
A	10YR 4/3	1,79	0,08	2,42	1,43	0,64	4,49	0,26	0,11	0,30	0,30	1,00
Bi1	10YR 6/8	1,86	0,07	2,03	0,96	0,64	3,63	0,34	0,17	0,35	0,28	1,25
BC1	2,5Y 6/4	1,08	0,04	2,54	0,86	0,60	4,00	0,43	0,17	0,36	0,23	1,56
P7 - Podzólico Vermelho-Escuro eutrófico Tb A moderado textura argilosa												
A	2,5YR 4/4	4,78	0,08	2,32	0,69	0,74	3,75	0,22	0,09	0,25	0,40	0,62
Bt2	2,5YR 4/6	5,98	0,07	3,23	1,06	0,77	5,03	0,35	0,11	0,23	0,41	0,56
BC	2,5YR 4/8	5,83	0,06	3,48	2,07	0,86	6,42	0,41	0,12	0,23	0,38	0,60
P8 - Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico A moderado textura argilosa												
A	2,5YR 3/4	8,87	0,05	2,95	0,87	0,53	4,35	0,28	0,09	0,25	0,34	0,73
Bw2	2,5YR 3/6	8,86	0,05	2,40	0,90	0,43	3,73	0,28	0,12	0,23	0,35	0,66
Bw4	2,5YR 4/6	8,94	0,05	2,36	1,03	0,63	4,02	0,33	0,14	0,22	0,36	0,61
P9 - Latossolo Vermelho-Escuro álico A moderado textura muito argilosa												
A	2,5YR 3/4	6,70	0,05	1,67	0,43	0,43	2,53	0,17	0,10	0,27	0,36	0,75
Bw1	2,5YR 4/6	7,29	0,05	2,38	0,71	0,47	3,56	0,25	0,11	0,22	0,37	0,59
Bw3	2,5YR 3/6	7,41	0,02	2,95	0,73	0,66	4,34	0,31	0,11	0,21	0,35	0,60
P10 - Latossolo Vermelho-Escuro distrófico A moderado textura muito argilosa												
A	2,5YR 3/4	7,56	0,03	1,81	0,44	0,21	2,46	0,17	0,09	0,29	0,35	0,83
Bw2	2,5YR 3/6	7,05	0,03	2,05	0,68	0,66	3,39	0,25	0,12	0,24	0,35	0,67

⁽¹⁾ Total de 5 extrações. ⁽²⁾ Dados da 1ª extração.

Obs: Os teores de alumínio extraídos por oxalato e DCB foram lidos no ICP, CPMTCC - Instituto de Geociências - UFMG.

de raios-X, após concentração de óxidos de ferro com NaOH 5 mol L⁻¹ (Figura 2). Nesses casos, a formação da hematita é favorecida pelos valores elevados de pH e drenagem desimpedida (Schwertmann & Taylor, 1977). Tal coloração é encontrada tanto nos Latossolos (P8, P9 e P10) como no Podzólico Vermelho-Escuro (P7), que tendem a ocupar áreas mais elevadas e de melhor drenagem (sem acúmulo de água no período chuvoso – Figura 1).

Observam-se, também, solos de coloração amarela e bruno-amarelada (matizes 2,5Y, 10YR e 7,5YR) (Quadro 2), indicando a presença de goethita e ausência de hematita (Figura 2). É provável que isso se deva à localização desses solos (P2, P3, P4, P5 e P6) em locais de drenagem mais deficiente (baixadas e dolinas), onde a superficialidade e a massividade do calcário controlam o movimento de água no perfil, estabelecendo-se um ambiente mais úmido no período chuvoso, que favorece a gênese da goethita (Schwertmann & Taylor, 1977). Essa alternância de condições: úmidas (período chuvoso) e secas (período seco), portanto de variações no potencial redox, também explica a ocorrência de quantidades expressivas de concreções ferromangânicas nesses solos (Schwertmann & Fanning, 1976; Khan & Fenton, 1996).

Ressalta-se a presença de concreções também nos solos de coloração avermelhada, as quais se apresentam de tamanho pequeno (“chumbinho de caça”) e distribuídas por todo o perfil, demonstrando que estes já passaram por uma possível condição mais redutora pretérita, necessária para a redução e posterior movimentação e acumulação de ferro.

A difratometria de raios-X revela a ocorrência de caulinita e argilominerais 2:1 em todos os solos estudados, inclusive naqueles com morfologia latossólica, onde se observa presença significativa de ilita (Figura 3). Os solos menos evoluídos (Cambissolo de argila de atividade alta e Vertissolo), além de caulinita e ilita, apresentam, considerando os pequenos picos nos difratogramas, pequenas quantidades de argilominerais 2:1 expansivos (esmectita e possivelmente interestratificados mica-vermiculita). A sazonalidade climática (período seco de maio a outubro) e as elevadas temperaturas, que favorecem a evapotranspiração, bem como a superficialidade, riqueza e compacidade da rocha calcária, que restringem a drenagem e dificultam a saída de bases e sílica do sistema, são responsáveis pela presença de argilominerais 2:1 na fração argila dos solos estudados. O fendilhamento observado no horizonte BCv do perfil P3 e, de forma mais

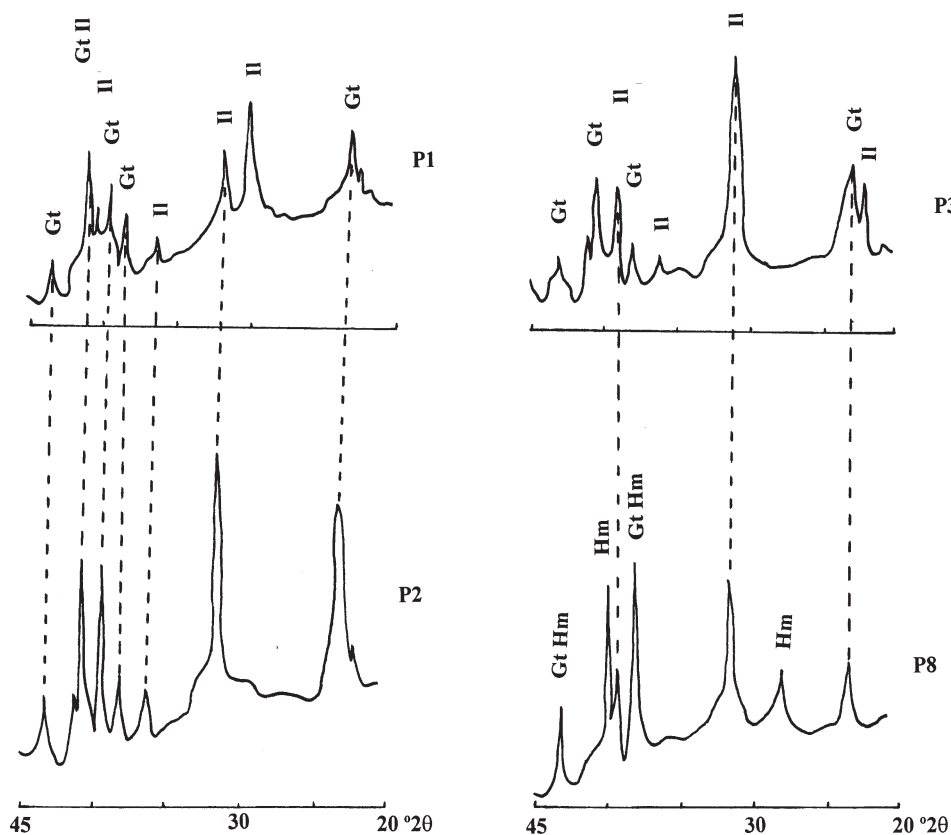


Figura 2. Difratogramas de raios-X da fração argila, após concentração de óxidos de ferro, de solos selecionados. Il = ilita; Gt = goethita; Hm = hematita.

expressiva ainda, em todos os horizontes do perfil P2, são compatíveis com sua mineralogia, a inferir-se pela expressão de pico de mineral 2:1 expansivo (Figura 3).

A Rendzina apresenta, além da caulinita, vermiculita e esmectita. É interessante destacar que tal solo não aparece fendilhado, não obstante a expressividade de ocorrência desses minerais 2:1 expansivos (esmectita e vermiculita). Isto pode ser atribuído ao teor elevado de carbono orgânico do solo, cuja interação com argila pode inibir sua capacidade de expansão e contração (Davidson & Page, 1956).

Os teores de ferro extraído com ditionito (Fe_d) foram compatíveis com o grau de evolução dos solos, sendo maiores nos Latossolos e no Podzólico, tendo esse teor aumentado em profundidade, fato que não se observa nos Cambissolos e no Vertissolo, os quais, além de valores menores, mostram diminuição dos teores em profundidade (Quadro 2). A relação Fe_o/Fe_d situa-se dentro dos limites normais encontrados para outros solos do Brasil, Latossolos ou não. Os baixos valores dessa relação, sobretudo nos horizontes subsuperficiais dos solos estudados, indicam o predomínio de formas de ferro (Hm, Gt)

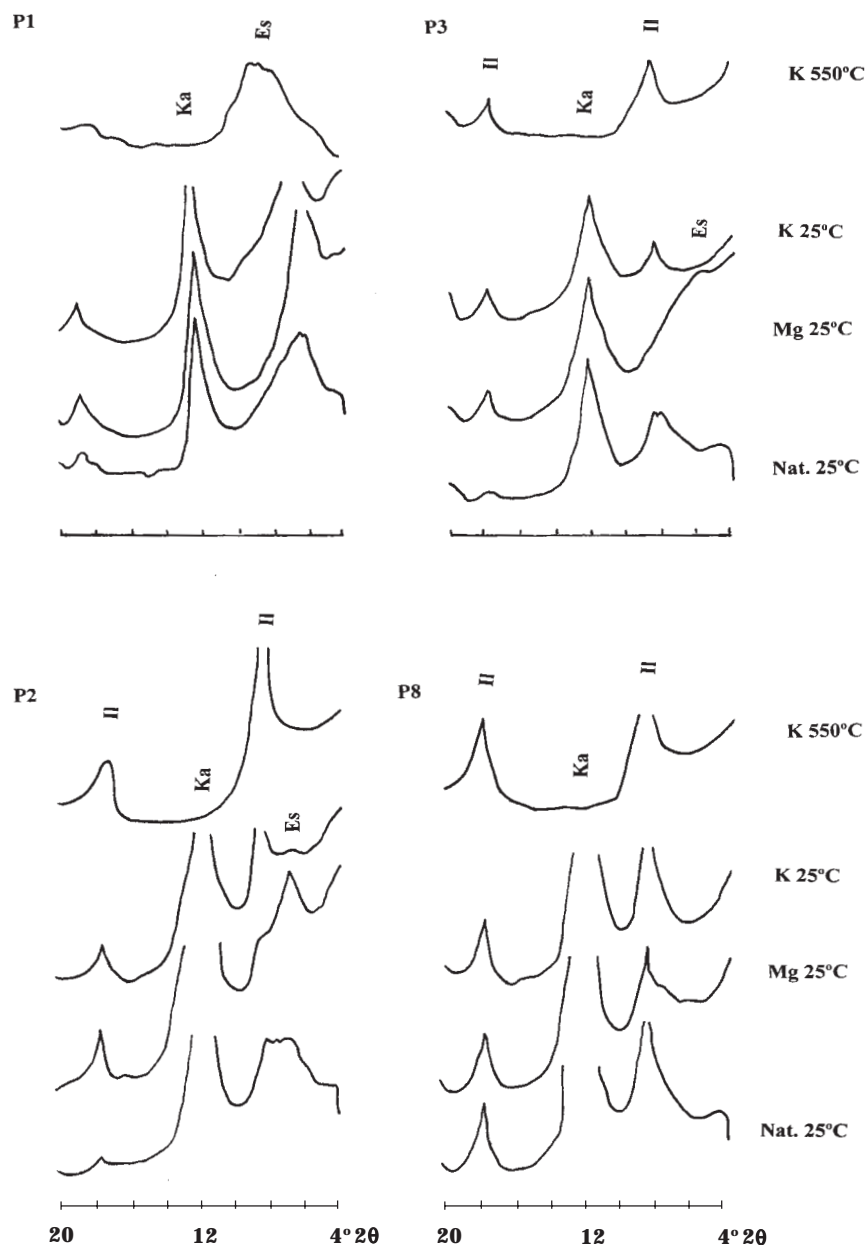


Figura 3. Difratogramas de raios-X da fração argila desferrificada de solos selecionados. II = illita; Ka = caulinita; Es = esmectita.

de maior grau de cristalinidade. Os maiores valores dessa relação, em superfície, para o Podzólico Vermelho-Escuro, os Cambissolos e o Vertissolo revelam o efeito da matéria orgânica como inibidora da cristalinidade dos óxidos de ferro (Schwertmann, 1966), fato também observado no horizonte A chernozêmico da Rendzina, o qual apresentou a maior relação Fe_o/Fe_d (Quadro 2). Esta tendência não ficou bem evidenciada nos Latossolos.

Os dados de SiO_2 (extração com DCB) (Quadro 2) mostraram diferenças expressivas de acordo com as classes de solos, com os valores mais baixos nos Latossolos, seguindo-se o Podzólico, o Cambissolo e o Vertissolo, confirmando a maior dessilicificação das duas primeiras classes. Merece destaque o fato de que em três extrações sucessivas com ditionito, continua havendo recuperação de sílica e em quantidades maiores no Cambissolo e Vertissolo. Tais valores elevados, observados no horizonte Cv2 do Vertissolo e no BCv do Cambissolo, indicam a grande influência exercida pela rocha calcária (massividade e superficialidade) e pela posição desses solos na paisagem em áreas de baixada, às vezes dolinosas, o que dificulta a drenagem, reduzindo a perda, com conseqüente acúmulo de sílica nestes horizontes profundos e próximos da rocha. Essa recuperação, verificada nas três extrações sucessivas em todos os solos, evidencia liberação de sílica ligada a ferro (El-Swaify & Emerson, 1975; Resende, 1976) ou mesmo ataque do ditionito a filossilicatos que contêm ferro em sua estrutura (Smith & Mitchell, 1987).

A extração de SiO_2 com oxalato (Quadro 2) também resultou em valores diferenciados para cada classe de solo, sendo os maiores valores observados no Vertissolo e no Cambissolo com argila de alta atividade, e os menores no Podzólico Vermelho-Escuro e nos Latossolos, com a Rendzina e os Cambissolos com argila de baixa atividade apresentando valores intermediários. Os maiores valores, assim como ocorreu na extração com o ditionito, foram no horizonte Cv2 do Vertissolo e no BCv do Cambissolo, indicando a influência da restrição de drenagem na lixiviação da sílica, conforme já destacado.

Os valores de alumínio extraído com ditionito foram maiores para o Cambissolo Ta (Quadro 2), tendo os outros solos apresentado teores semelhantes entre si. A extração com oxalato resultou em valores diferenciados para as classes de solos, com a Rendzina apresentando o maior valor e os Latossolos Vermelho-Escuros e o Podzólico Vermelho-Escuro os menores, com os outros solos apresentando valores intermediários (Quadro 2). A relação Al_o/Al_d indicou valores bastante discrepantes, enquanto os Latossolos e o Podzólicos revelaram valores mais baixos, a Rendzina e alguns horizontes do Vertissolo e dos Cambissolos apresentaram valores maiores que a unidade, sugerindo ataque a formas de alumínio menos cristalinas. Essa maior extração de alumínio pelo oxalato em relação ao

ditionito pode ser devida não só à eficiência desse extrator na dissolução de minerais aluminossilicatados amorfos ou de pior cristalinidade, mas também do Al ligado à matéria orgânica (McKeague & Day, 1966). No entanto, como as formas de Al extraídas por oxalato ainda não são completamente conhecidas, interpretações desses resultados não podem ser feitas de forma segura (Juo et al., 1974), particularmente no que se refere à cristalinidade das formas envolvidas.

CONCLUSÕES

1. As análises realizadas confirmam grande diversidade de solos presentes na área, onde os Latossolos tendem a ocupar cotas um pouco mais elevadas com relevo plano e suave ondulado e, apesar de alguns se caracterizarem como endoálicos e endodistróficos, são epieutróficos. O Vertissolo e os Cambissolos ocupam as partes mais baixas do terreno, sujeitas à inundação no período chuvoso, dificultando o manejo (são argilosos e contêm argilominerais 2:1).

2. A contribuição química do material de origem, a escassez de chuva e a topografia plana típica da área dificultam a saída de bases e sílica do sistema e possibilitam a formação de minerais 2:1, sendo comum a presença de illita nos Latossolos, no Podzólico e nos Cambissolos de argila de atividade baixa, e de illita e de esmectita no Cambissolo de argila de atividade alta e no Vertissolo.

3. A relação Fe_o/Fe_d foi baixa na maioria dos horizontes diagnósticos subsuperficiais dos solos estudados, indicando predomínio de óxidos de ferro de maior grau de cristalinidade.

4. O eutrofismo da maioria dos solos, o relevo suavizado, os baixos teores de sódio trocável e a proximidade do Rio São Francisco confirmam o grande potencial agrícola dessa área para agricultura irrigada. A diversidade das características químicas, físicas e mineralógicas dos solos, entretanto, apontam para variações de comportamento frente ao uso agrícola, indicando adequações diferenciadas de práticas de manejo.

LITERATURA CITADA

- BRAIDA, J.A.; CAMARGO, F.A.O.; ROSSO, I.J.; GIANELLO, C. & MEURER, E.J. Comparação de métodos de determinação da disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. R. Bras. Ci. Solo, 20: 345-347, 1996.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica, DNPEA. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte. Recife, Convênio MA/DNPES-SUDENE/DRN, MA/USAID/BRASIL, 1971. 530p. (Boletim Técnico, 21).

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica, DNPEA. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife, Convênio MA/DNPES-SUDENE/DRN, MA/CONTAP/USAID/ETA, 1973. 502p. (Boletim Técnico, 28)
- CORDEIRO, G.G. & LIMA FILHO, J.M.P. Management of salt affected soils of the middle San Francisco river valley. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON INTEGRATED SOIL MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE USE OF SALT AFFECTED SOILS, 1995, Manila. Proceedings. Manila, Bureau of Soils and Water Management, 1995. p.87-94.
- DAVIDSON, S.E. & PAGE, J.B. Factors influencing swelling and shrinking in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 20:320-324, 1956.
- EL-SWAIFY, S.A. & EMERSON, M.M. Changes in the physical properties of soil clays due to precipitated aluminum and iron hydroxides I. Swelling and aggregate stability after drying. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39:1056-1062, 1975.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do sul do estado de Mato Grosso. Rio de Janeiro, Convênios EMBRAPA/SNLCS-INCR/DRF/DRN, MA/USAID/ETA, 1971. 839p. (Boletim Técnico, 18)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Sergipe. Recife, Convênios EMBRAPA/PPP-SUDENE/DRN, MA/USAID/ETA, 1975. 506p. (Boletim Técnico, 36)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco, estado da Bahia. Recife, Convênios EMBRAPA/SNLCS-SUDENE/DRN, MA/USAID/ETA, 1977. 296p. (Boletim Técnico, 52)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Norte de Minas Gerais (Área de atuação da SUDENE). Recife, 1979. 407p. (Boletim Técnico, 60)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997a. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos - 4ª aproximação. Rio de Janeiro, 1997b. 169p.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS - EPAMIG. Levantamento de reconhecimento com detalhes dos solos do Distrito Agro-industrial de Jaíba - Minas Gerais. Belo Horizonte, 1976. 242p. (Boletim Técnico, 54)
- 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, Universidade Federal de Viçosa, 1979. 133p. (Tese de Mestrado)
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil survey laboratory methods manual. Washington, 1996. 693p.
- HENDRICKS, D.M. Genesis and classification of Arid Region soils. In: SKUJINS, J., ed. Semiarid lands and deserts: soil resource and reclamation. s.l., Marcel Dekker, 1991. p. 33-80.
- JACKSON, M.L. & SHERMAN, G.D. Chemical weathering of minerals in soils. *Adv. Agron.*, 5:219-318, 1953.
- JUO, A.S.R.; MOORMANN, F.R. & MADUAKOR, H.O. Forms and pedogenetic distribution of extractable iron and aluminum in selected soils of Nigeria. *Geoderma*, 11:167-179, 1974.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5-M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays Clay Miner.*, 30:401-408, 1982.
- KELLER, W.D. The principles of chemical weathering. s.l., Lucas Brothers Publishers, 1968. 111p.
- KHAN, F.A. & FENTON, T.E. Secondary iron and manganese distributions and aquic conditions in a Mollisol catena of central Iowa. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60: 546-551, 1996.
- LEMOS, M.S.S.; CURTI, N.; MARQUES, J.J.G. de 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.
- LOPES, O.F. Caracterização de Latossolos Vermelho-Escuros no norte de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1977. 89p. (Tese de Mestrado)
- McKEAGUE, J.A. & DAY, J.H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soil. *Can. J. Soil Sci.*, 46:13-22, 1966.
- MEDEIROS, L.A.R. Caracterização e gênese de solos derivados de calcário e de sedimentos terciários da região da Jaíba, norte de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1977. 107p. (Tese de Mestrado)
- MEHRA, J.P. & JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.*, 7:317-327, 1960.
- MILLER, R.W. & DONAHUE, R.L. Soils: an introduction to soils and plant growth. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1990. 768p.
- RABENHORST, M.C.; WEST, L.T. & WILDING, L.P. Genesis of calcic and petrocalcic horizons in soils over carbonate rocks. In: NETTLETON, W.D., ed. Occurrence, characteristics and genesis of carbonate, gypsum and silica accumulations in soils. s.l., SSSA, 1991. p.61-74. (SSSA Special Publication Number, 26)

- RESENDE, M. Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1976. 237p. (Tese de Doutorado)
- RESENDE, M.; CURI, N. & SANTANA, D.P. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. Brasília, MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 84p.
- RYAN, I.; CURTIN, D. & CHEEMA, M.A. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:74-76, 1985.
- SCHWERTMANN, U. Inhibitory effect of soil organic matter on the crystalization of amorphous ferric hydroxide. *Nature*, 212:645-646, 1966.
- SCHWERTMANN, U. & LENTZE, W. Bodenfarbe and eisenoxidform. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.*, 115:209-214, 1966.
- SCHWERTMANN, U. & FANNING, D.S. Iron-manganese concretions in hydrosequences of soils in Loess in Bavaria. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:731-738, 1976.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. *Minerals in soil environments*. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p.145-180.
- SMITH, B.F.L. & MITCHELL, B.D. Characterization of poorly ordered minerals by selective chemical methods. In: WILSON, M.J., ed. *A handbook of determinative methods in clay mineralogy*. London, Blackie & Son, 1987. p.275-294.
- STEVENSON, F.J. *Cycles of soil; carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrientes*. New York, John Wiley & Sons, 1986. 380p.