

- Níveis de sulfato de zinco em milho (*Zea mays*) em solos de campo cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Série agron., 8:187-191, 1973.
- REUTHER, W. & LABANAUSKAS, C.K. - Copper. In: CHAPMAN, H.D., ed. *Diagnostic criteria for plants and soils*, Riverside, University of California, 1966, p.157-179.
- RITCHEY, K.D.; COX, F.R. & YOST, R.S. - Residual effects of zinc applications. In: NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY, Soil Science Department, Joint NCSU - Cornell Research at Cerrado Center of Brazil. *Annual Report*, 1975 - Raleigh, N.C. (under Contract AID/taC - 1236 with the U.S. Agency for International Development), 1976, p.34-39.
- ROSELL, R.A. & ULRICH, A. - Critical zinc concentrations and leaf minerals of sugar beet plants. *Soil Sci.*, 97:152-167, 1964.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. - Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ, 1974, 56p.
- SOARES, W.L. & VARGAS, M.A.T. - Ensaio exploratório de fertilização com duas leguminosas tropicais em três solos sob cerrado do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14. Santa Maria, 1973. *Anais...* Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1974, p.448-460.
- WALLIHAN, E.F. - Iron. In: CHAPMAN, H.D., ed. *Diagnostic criteria for plants and soils*, Riverside, University of California, 1966, p.203-212.
- WARNOCK, R.E. - Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus - induced zinc deficiency. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34:765-769, 1970.

COMISSÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

MINERALOGIA E GÊNESE DE UMA SEQUÊNCIA DE SOLOS DO DISTRITO FEDERAL ⁽¹⁾

T.E. RODRIGUES ⁽²⁾ & E. KLAMT ⁽³⁾

RESUMO

Foram estudadas as características morfológicas, químicas e mineralógicas de um Latossolo Vermelho Amarelo situado na crista ou topo, de um solo Litólico Concrecionário Laterítico encontrado na encosta, de Latossolos Vermelho Amarelo e Vermelho Escuro situados no pedimento, e de um Glei Pouco Húmico encontrado na planície aluvial.

Os principais constituintes da fração argila dos solos na ordem decrescente são: caulinita, materiais amorfos e gibbsita, ocorrendo também mica, pirofilita, clorita-Al, vermiculita e óxidos de titânio. Na fração silte ocorre predominantemente o quartzo, com presença de caulinita, materiais amorfos + gibbsita e traços de mica, clorita-Al e óxidos de ferro e titânio. Na fração areia ocorre predominantemente o quartzo. Os Latossolos Vermelho Escuros apresentam teores mais elevados de óxidos de ferro (12,8 - 18,6%) do que os Vermelho Amarelos (2,5 - 14,6%); sendo que hematita e goetita ocorrem nos primeiros e somente goetita nos últimos. Na área estudada, o estágio de evolução e as características dos solos relacionam-se com os processos erosionais e deposicionais, responsáveis pela evolução das superfícies geomorfológicas.

SUMMARY: MINERALOGY AND GENESIS OF A SEQUENCE OF A SOILS AT THE FEDERAL DISTRICT

Morphological, chemical and mineralogical characteristics of a Red Yellow Latosol found on the upland, a Concretionary Lithosol, found on the pediment backslope, of Dark Red and Red Yellow Latosols found on the pediment footslope, and a Low Humic Gley soil found on the alluvial toeslope, were determined.

The main mineralogical constituents of the clay fraction of these soils are kaolinite, amorphous clay and gibbsite, followed by mica, pyrophyllite, Al-Chlorite, vermiculite and titanium oxides. Quartz is the dominant component of the silt fraction, where also kaolinite, amorphous material + gibbsite and traces of mica, Al-chlorites and oxides of iron and titanium occur. In the sand fraction occurs predominantly quartz. The Dark Red Latosols show hematite and goethite and higher contents of iron oxides (12,8 - 18,6%) than the Red Yellow Latosols (2,5 - 14,6%), which presents just goethite. In the area studied, the stage of evolution and characteristics of soils are related to erosional and depositional processes and their distribution in the landscape.

INTRODUÇÃO

Nas áreas sob vegetação de cerrado, segundo Jacomine (1969) são encontrados os mais variados tipos de solos, dominando porém os altamente intemperizados e de baixa fertilidade

natural, representados pelos Latossolos Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo de textura média e argilosa, desenvolvidos de uma gama variada de rochas e apresentando um relevo suave ondulado. Esses solos ocorrem nas duas principais superfícies geomórficas do Brasil Central, descritas por Fewer (1956), Brasil (1966) e Cline e Buol (1973).

Segundo Moura Filho e Buol (1972), Moiz e Jackson (1967), Weaver (1974) e Mothci (1977), a fração argila dos Latossolos do Cerrado é constituída principalmente de cauli-

⁽¹⁾ Parte do trabalho apresentado à Faculdade de Agronomia da UFRGS, como requisito à obtenção do grau de Mestre em Agronomia, na área de Solos-1977. Recebido para publicação em julho de 1977 e aprovado em abril de 1978.

⁽²⁾ Pesquisador do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos - SNLCS/EMBRAPA.

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos da UFRGS. Bolsista do CNPq.

nita, gibbsita, materiais amorfos, óxidos de ferro livre, quartzo, óxidos de titânio e argilo-minerais 2:2. A presença de argilo-minerais 2:2, segundo Le Roux (1973), é uma decorrência da maior estabilidade da clorita pedogenética em meio ácido, do que da caulinita, devido a precipitação de hidróxido de alumínio nas entre-camadas de argilo-minerais 2:1, reduzindo a capacidade de troca de cátions e proporcionando maior estabilidade aos mesmos. Já os óxidos de titânio, segundo Jackson e Sherman (1953) revelam estágio avançado de alteração do material de origem.

Weaver (1974), Moniz e Jackson (1967) e Mothci (1977) constataram que na fração argila de alguns Latossolos predomina a caulinita e em outros a gibbsita; isso demonstra que os Latossolos apesar de altamente intemperizados, apresentam estádios de intemperismo diferentes, sendo o grau de intemperização proporcional aos teores de gibbsita. Weaver (1974) observou também a presença de hematita e goetita nos Latossolos Vermelho Escuros, e apenas goetita nos Vermelho Amarelos, o que está correlacionado com o fato apontado por Jackson (1967) de que a hematita finamente dividida apresenta cores vermelhas e a goetita cores amarelas.

Essa diferenciação na composição mineralógica dos Latossolos é importante para avaliação da disponibilidade de nutrientes às plantas, que depende do total de nutrientes existentes nos minerais e das reações de liberação e fixação, normalmente relacionadas com os produtos resultantes dos processos de formação do solo (Shuffelen e Koenigs, 1962). Além disso, ela deve ser considerada na classificação e nos levantamentos mais detalhados de solos.

A presente pesquisa teve como objetivo o estudo da composição mineralógica das principais frações constituintes dos solos encontrados numa sequência sob vegetação de cerrados, no Centro de Pesquisas Agropecuárias dos Cerrados - CPAC, para estabelecer a influência dos diferentes fatores de formação nas características dos solos, e relacionar os solos com as superfícies geomórficas a fim de fornecer subsídios a levantamentos e mapeamentos de solos, tendo em vista melhor classificação dos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a definição das superfícies geomórficas adotaram-se os critérios de King (1953) e Ruhe (1960). Nos distintos elementos da paisagem, conforme ilustra a Figura 1, descreveu-se a seguinte sequência de solos: a) Latossolo Vermelho Amarelo textura média, vegetação cerrado (LVA mc) na crista ou topo (Ruhe, 1960), que equivale a superfície de erosão mais antiga e estável de Fewer (1956) e Cline e Buol (1973); b) Solos Litólicos Concrecionários Lateríticos (SLCL) na encosta ou escarpa; c) Latossolos Vermelho Amarelos textura argilosa cerradão (LVAaC) e Latossolos Vermelho Escuros textura argilosa cerradão/mata (LVEaC) e cerrado (LVEac) no pedimento, que coincidem com a segunda superfície erosional de Fewer (1956) e Cline e Buol (1973); d) Gleí Pouco Húmico (GPH) na planície aluvial recente. Além desses solos, descritos de acordo com as normas da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (1976), cujos detalhes encontram-se em Rodrigues (1977) e Brasil (1966), observou-se

a ocorrência de Gleí Pouco Húmico Distrófico e Solos Orgânicos Distróficos na zona de transição da crista ou topo para a encosta e desta para o pedimento (Brasil, 1966).

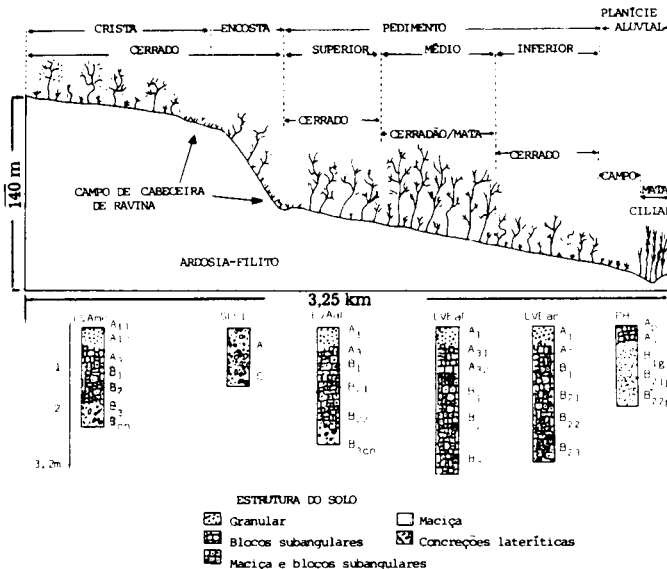


Figura 1. Relação solos-superfícies no Centro de Pesquisas Agropecuária dos Cerrados, Distrito Federal.

Análises granulométricas e químicas (como %C, pH H_2O e KCl; bases trocáveis; Al e H^+ extraível; cálculo dos valores S, T e V; ataque por H_2SO_4 , $d = 1,47$ e determinação da % de SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5) para levantamentos de solos foram determinadas pelos métodos descritos por Vettori (1969). Óxidos amorfos de ferro foram extraídos das amostras de terra fina (< 2mm) dos solos, com oxalato de amônio 0,2M a pH 3, com agitação de 4 horas, segundo o procedimento de McKeague e Day (1966) e determinação do ferro por absorção atômica.

A preparação das amostras para as análises mineralógicas constou da remoção da matéria orgânica com hipoclorito de sódio (6% de cloro) segundo o procedimento de Anderson (1963); os óxidos de ferro livre foram extraídos pelo método (Jackson, 1969) do citrato-ditionito-bicarbonato de sódio (CDB) e determinados pelo método do colorimétrico com ortofenantrolina, segundo Krishna Murti *et alii* (1966) e a dispersão das amostras foi feita com NaOH a pH 8,3 separadas em frações: areia (2000-50 μ) por tamisação úmida e silte (50-2 μ) e argila (< 2 μ) por centrifugação, segundo Jackson (1969).

Os materiais amorfos + gibbsita e a caulinita foram determinados nas frações silte e argila, respectivamente por dissolução seletiva com KOH 0,5N, NaOH 0,5N (Jackson, 1969). Na difratometria de raios X foi usado um aparelho Philips com tubo de Cu e filtro de Ni, com o exame da fração argila em forma de amostras orientadas, previamente saturadas com Mg ao natural e glicoladas e com K ao natural e aquecidas a 300°C e a 550°C. As frações silte e areia foram analisadas em forma de pó, em suporte de alumínio. Para a análise semi-quantitativa dos componentes mineralógicos de cada fração foram medidas as áreas dos picos nos difratogramas de raios X. A fração areia foi analisada, também em lupa binocular, por contagem de grãos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição e Morfologia dos Solos - A distribuição dos solos na área de estudos (Figura 1) apresenta estreita relação com os quatro elementos de uma paisagem desenvolvida de acordo com os conceitos de Ruhe (1960). Assim, na superfície erosional mais antiga (Fewer, 1956; Cline e Buol, 1973), em altitudes de 1000 e 1200 m, ocorre um Latossolo Vermelho-Escuro

(não estudado) e um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, vegetação de cerrado (LVAmc) desenvolvido possivelmente da cobertura detrito-laterítico descrita por Lindenmeyer (1972). Tradagens mostram que a cor do horizonte B desses Latossolos varia de vermelho-escuro (3,5YR 3,5/6) a vermelho amarelado (5YR 5/8), para bruno amarelado (10YR 5/4) com mosqueados vermelho escuros (2,5YR 3/6) e, para bruno amarelado com mosqueados vermelho escuros e com concreções lateríticas e mesmo contatos «Petroferric» (EUA, 1975), do centro da crista ou topo, para encosta. Na encosta, com desnível de 100 a 150 metros para o pedimento, ocorre o solo Litólico Concrecionário Laterítico (SLCL), sob vegetação de cerrado, apresentando sequência de horizontes A e C, com abundantes concreções lateríticas e fragmentos de rocha dispersa no perfil. Esses solos foram desenvolvidos da ardósia subjacente e da cobertura detrito-laterítica (Lindenmeyer, 1972).

Na segunda superfície erosional (Fewer, 1956; Cline e Buol, 1973), em altitudes de 800 a 1.000 m, que constitui o pedimento (Ruhe, 1960), foram descritos Latossolos Vermelho Amarelo e Vermelho Escuro. Na parte superior do pedimento ocorre um Latossolo Vermelho Amarelo, textura argilosa, sob vegetação de cerradão (LVAaC), desenvolvido provavelmente de sedimentos coluviais e rocha subjacente (ardósia), apresentando uma camada de concreções lateríticas no horizonte B_{cn}. Nas porções média e inferior do pedimento ocorrem Latossolos Vermelho Escuros, textura argilosa, respectivamente sob vegetação de cerradão/mata (LVEaC) e cerrado (LVEac), desenvolvidos provavelmente de ardósia.

Na superfície deposicional mais recente, representada por terraços e aluviões recentes, que constitui a declividade aluvial de Ruhe (1960), ocorre o solo Glei Pouco Húmico, sob vegetação de campo de várzea e mata ciliar, apre-

sentando cor cinza, relacionada com a drenagem deficiente.

A variação em cor e o aparecimento de concreções lateríticas e contatos «Petroferric» nos Latossolos da crista ou topo para a encosta, parecem indicar uma migração de ferro nesse sentido, que, inicialmente, devido ao acúmulo em melhores condições de oxidação, origina mosqueados e concreções isoladas, as quais com a continuidade do processo evoluem para a camada «Petroferric» (Alexander e Cady, 1962). A presença de solos Orgânicos Distróficos e Glei Pouco Húmico Distrófico nas transições crista-encosta e encosta e parte superior do pedimento, reforça a hipótese de migração lateral de água. Assim a cor vermelho amarela dos Latossolos Vermelho Amarelos da crista e parte superior do pedimento deve estar relacionada com a presença de goetita, que é formada em ambientes mais úmidos, que a hematita (Segalen, 1971), presente nos Latossolos Vermelho Escuros das porções média e inferior do pedimento.

Granulometria e Propriedades Químicas - Os Latossolos de textura argilosa, conforme mostra o Quadro 1, apresentam 46 a 62% de argila e o de textura média de 17 a 24%. A pequena diferença de textura com a profundidade assim como a ausência de argila dispersa em água nos horizontes B dos Latossolos estudados enquadra-os nos solos com horizonte subsuperficial *oxic* (EUA, 1975). A percentagem de silte nos Latossolos varia de 11 a 20%, estando dentro da variação máxima preconizada para solos do horizonte B Latossólico, segundo Bennema e Camargo (1964). O solo Litólico Concrecionário Laterítico e o Glei Pouco Húmico enquadram-se respectivamente nas classes texturais argila concrecionária e argila, pois apresenta mais de 35% de argila (Bennema e Camargo, 1964), na fração menor que 2 mm.

Quadro 1. Granulometria e propriedades químicas da fração < 2 mm de horizontes selecionados dos solos em estudo.

Solo	Horizonte	Profundidade	Granulometria				pH				S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	T	V
			Areia	Silte	Argila	Arg. nat.	C	H ₂ O	KCl						
cm			%				meq/100g				%				
LVEac	Al	0 – 20	29	13	58	0	1,9	4,4	4,0	0,7	1,4	6,5	8,6	8	
	B21	70 – 145	27	11	62	0	0,5	5,6	4,7	0,4	0,1	2,9	3,4	12	
	B23	220 – 300	26	12	62	0	0,3	5,8	5,7	0,5	0,0	1,8	2,3	22	
LVEaC	Al	0 – 25	34	20	46	0	2,2	4,4	4,0	0,8	2,1	8,1	11,0	7	
	B1	84 – 145	33	19	48	0	1,0	5,0	4,1	0,6	1,5	5,4	7,5	8	
	B3	215 – 320	34	18	48	0	0,3	5,6	5,2	0,6	0,0	2,3	2,9	21	
LVAaC	Al	0 – 15	34	18	46	19	2,0	4,7	4,0	1,1	1,5	5,9	8,5	13	
	B21	70 – 140	32	18	50	0	0,5	5,2	4,4	1,1	0,3	3,0	3,9	10	
LVAmc	All	0 – 18	68	14	18	3	0,9	5,2	4,2	0,3	0,9	3,2	4,4	7	
	B2	105 – 135	64	12	24	0	0,2	5,4	5,1	0,2	0,0	1,2	1,4	14	
	Ccn	175 – 215	66	17	17	0	0,9	5,6	5,6	0,1	0,0	0,7	0,8	13	
SLCL	A	0 – 30	37	21	42	25	1,6	5,3	4,2	0,8	0,6	4,6	6,0	11	
	C	30 – 115	34	25	40	0	0,6	5,6	5,0	0,6	0,1	4,4	5,1	12	
GPH	Ap	0 – 17	28	25	47	3	1,4	4,5	4,0	0,4	3,4	5,4	9,2	4	
	B21g	75 – 105	24	20	56	0	0,2	4,8	4,2	0,3	2,8	2,1	5,2	6	

Quadro 2. Composição química da fração <2,00 mm de horizontes selecionados dos solos em estudo.

Solo	Hori- zonte	Profun- didade	SiO ₂ *	Al ₂ O ₃ *	Fe ₂ O ₃			Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Relação Molar Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
					Amorfo	CDB	H ₂ SO ₄				
		cm			%						
LVEac	A1	0 - 20	17	23	0,2	16,9	10,4	1,3	0,6	2,2	3,4
	B21	70 - 145	19	25	0,1	17,5	11,6	1,3	1,0	2,2	3,4
	B23	270 - 300	18	26	0,1	18,6	12,0	1,2	0,9	2,2	3,4
LVEaC	A1	0 - 25	15	18	0,4	12,9	8,8	1,5	1,1	2,0	3,1
	B1	84 - 145	16	18	0,2	14,3	9,3	1,5	1,1	2,0	3,1
	B3	215 - 320	16	19	0,1	14,3	9,3	1,4	1,1	2,0	3,2
LVAaC	A1	0 - 15	14	16	0,2	8,9	6,4	1,4	1,2	2,6	4,0
	B21	70 - 140	15	18	0,1	9,3	7,4	1,4	1,1	2,4	3,7
	B3cn	230 - 250	-	-	0,1	14,6	-	-	-	-	-
LVAmc	A11	0 - 18	4	10	0,1	4,3	3,7	0,7	0,6	2,6	4,1
	B2	105 - 135	4	12	0,1	5,6	3,9	0,6	0,5	3,1	4,9
	Ccn	175 - 215	5	10	0,02	2,5	4,6	0,9	0,7	2,1	3,3
SLCL	A	0 - 30	10	13	0,2	24,3	18,9	1,3	0,7	0,7	1,1
	C	30 - 115	11	14	0,1	32,8	27,6	1,3	0,6	0,5	0,8
GPH	Ap	0 - 17	21	19	0,0	0,8	0,8	1,9	1,8	23,1	36,3
	B21g	75 - 105	25	22	0,0	0,1	0,5	1,9	1,9	44,0	69,5

* Extraídos com H₂SO₄; CDB = método do citrato-ditionito, bicarbonato.

Os solos em estudo (Quadro 1) são ácidos, com variação de pH de 4,4 a 5,8. Os valores mais baixos de pH na superfície do solo estão relacionados principalmente com o Al⁺⁺⁺ trocável e com a dissociação do H⁺ dos grupos carboxílicos da matéria orgânica. Com o decréscimo do Al⁺⁺⁺ trocável e da concentração de matéria orgânica e do pequeno aumento em óxidos de ferro (Quadro 2) e gibbsita (Quadro 3) em profundidade ocorre o aumento no pH. A soma de bases e capacidade de troca de cátions são baixas nestes solos. O decréscimo da capacidade de troca de cátions com a profundidade deve estar relacionado com a distribuição da matéria orgânica. A saturação de bases (valor V) aumenta com a profundidade devido ao decréscimo da capacidade de troca de cátions e dos teores de alumínio e hidrogênio nesse sentido.

Mineralogia e Gênese dos Solos - Os teores de SiO₂ (Quadro 2), inferiores aos de Al₂O₃ e particularmente a baixa relação SiO₂/Al₂O₃ (Ki) indicam forte dessilicificação e elevado grau de alteração do material de origem dos solos. Os óxidos de ferro amorfo decrescem com a profundidade, o que parece mostrar a existência de uma relação entre eles e os teores de carbono, concordando com Schwertmann *et alii* (1968), uma vez que os compostos orgânicos podem reter os óxidos de ferro, prevenindo ou retardando a sua cristalização, o que explica essa distribuição. O conteúdo dos óxidos de ferro extraídos pelo citrato-ditionito-bicarbonato (CDB), considerados óxidos livres por Jackson (1969), foi maior do que os óxidos de ferro extraídos pelo ataque por H₂SO₄ (d= 1,47) considerados ferro total por Vettori (1969). Essa diferença entre os teores de ferro pelos dois procedimentos

não está de acordo com o esperado porque, segundo Vettori (1969), o ferro livre deveria ser aproximadamente 90% do ferro total, o que indica que o método CDB mostrou-se mais eficiente que o ataque sulfúrico para os solos em estudo. Quanto aos tipos de óxidos de ferro, os Latossolos Vermelho-Escuros apresentam hematita (2,69-2,48Å) e goetita (4,15-2,43Å), enquanto os Latossolos Vermelho Amarelos, somente goetita (Figuras 2 e 3), concordando com os resultados de Weaver (1974) e Jackson (1967). Isso parece indicar que a diferenciação dos Latossolos estudados pela cor, encontra explicação no tipo de óxidos de ferro, concordando com Jackson (1967), e não com a percentagem em óxidos de ferro, como foi proposto por Bennema e Camargo (1964).

As análises mineralógicas, por métodos químicos e difratometria de raios X (Quadro 3 e Figuras 2 e 3), mostram que a fração argila dos solos é constituída predominantemente por caulinita (7,15-3,57Å), seguida de materiais amorfo e gibbsita (4,83-4,34Å) e com presença de mica (10Å), pirofilita (9,2-3,05-2,59Å), clorita aluminosa (14Å), vermiculita (14-15Å) e óxidos de titânio (anatásio - 3,53Å e rutilo - 3,24Å). Os picos referentes a mica, pirofilita, rutilo, anatásio e clorita-Al foram intensificados pela calcinação (Figura 3). A concentração de caulinita (NaOH 0,5N) varia de 37-72% e decresce com a profundidade na fração argila dos solos, e a de gibbsita varia de 8 a 34% nessa mesma fração. Parece existir uma relação inversa entre a concentração de gibbsita e de caulinita na fração argila dos solos em estudo (Quadro 3), pois, quando a concentração de caulinita é baixa a de gibbsita é alta, como observado no Latossolo Vermelho Amarelo textura média e vice-versa, no Latosso-

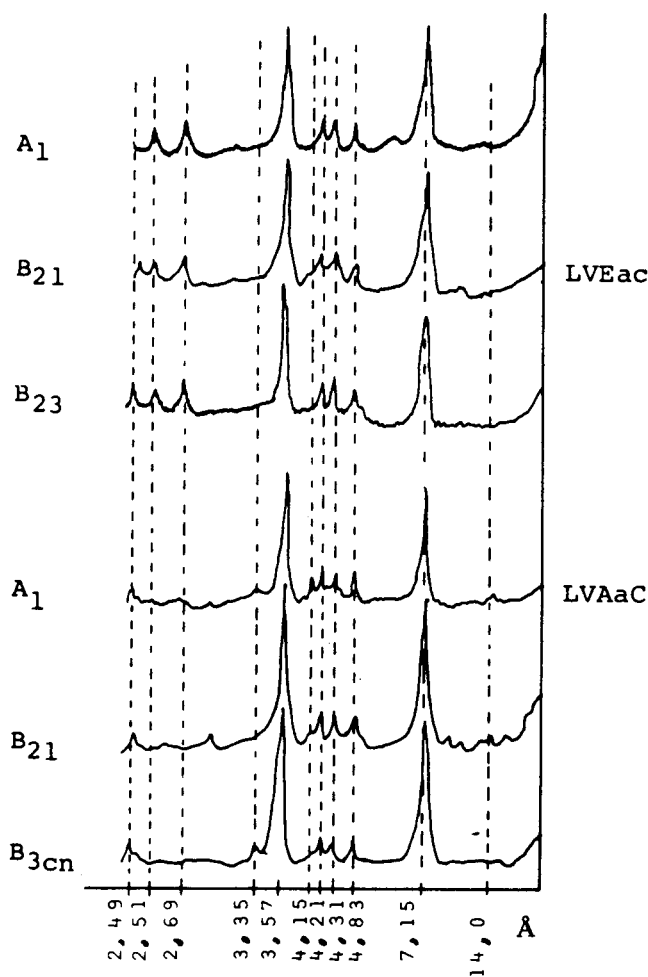


Figura 2. Difrátogramas de raios X da fração argila sem a remoção dos óxidos de ferro com CDB.

lo Vermelho Escuro argiloso cerradão/mata. Isso concorda com o constatado por Moniz e Jackson (1967) e Weaver (1974) para solos semelhantes. Na fração areia e silte foi constatada a dominância de quartzo (Quadro 4), com traços de mica e clorita/vermiculita na areia, e a presença de caulinita, materiais amorfos + gibbsita e traços de mica, clorita-Al e óxidos de titânio, no silte.

A presença de vermiculita, clorita, mica e pirofilita (Figuras 2 e 3 e Quadros 3 e 4) nestes solos altamente intemperizados e ácidos, pode estar relacionada com a aluminação das intercambadas dos minerais de argila 2:1, que segundo Le Roux (1973), reduz a capacidade de troca de cátions e proporciona maior estabilidade aos mesmos. Os resultados das determinações mineralógicas refletem a intensidade de transformação sofrida pelo material de origem, e essa transformação é responsável pela baixa soma de saturação de bases, condicionada pela dominância de minerais cauliniticos, óxidos de ferro livre, materiais amorfos e gibbsita, que são também responsáveis pela baixa capacidade de troca de cátions (Schuffelen e Koenigs, 1962).

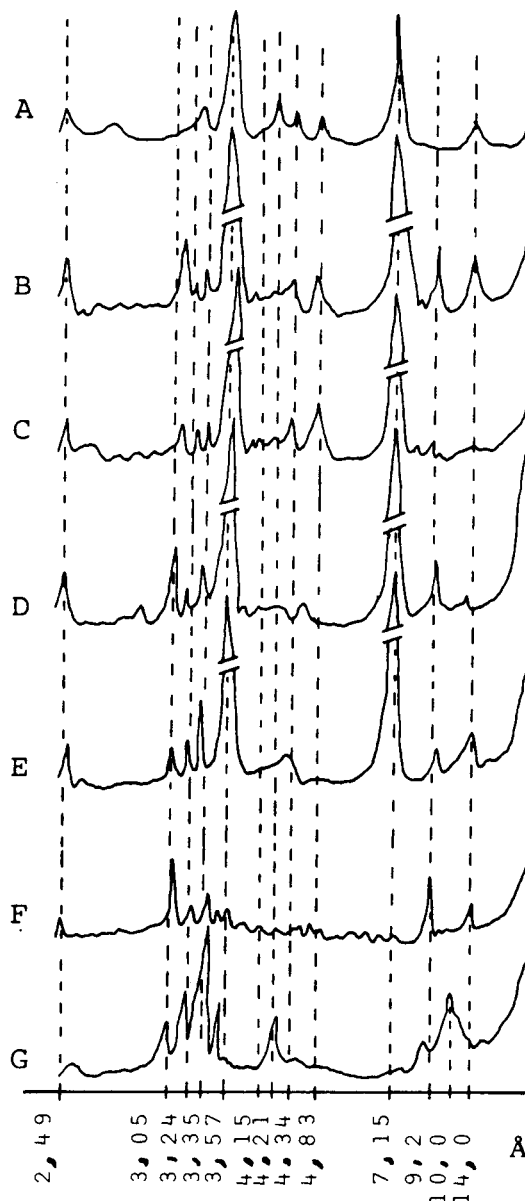


Figura 3. Difrátogramas de raios X da fração argila do horizonte A₁ do Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa cerradão: A e B - respectivamente com e sem ferro livre saturada com K a 25°; C - sem ferro livre saturada com Mg e glicolada; D - sem ferro livre saturada com K e calcinada a 300°; E - sem ferro livre e sem materiais amorfos; F e G - sem ferro livre e sem materiais amorfos e caulinita.

A evolução genética e a distribuição desses solos parece estar relacionada também com os processos responsáveis pela evolução e estabilidade das superfícies geomórficas; pois, na superfície erosional mais antiga e elevada (Fever, 1956; Cline e Buol, 1973), que corresponde à crista ou topo da paisagem (Ruhe, 1969), ocorre o Latossolo Vermelho Amarelo textura média, com os teores mais elevados de gibbsita e caulinita na fração argila (Quadro 3). Já na encosta ou escarpa que constitui uma superfície instável, ocorre o solo Litólico Concrecionário Laterítico, pouco desenvolvido, com grande quantidade de concreções lateríticas e fragmentos de rochas semi-alteradas dispersas no perfil. Na segunda super-

fície de erosão de Fewer (1956) e Cline e Buol (1973), aqui representada pelo pedimento (Ruhe, 1960), ocorrem o Latossolo Vermelho Amarelo argiloso na parte superior, o Latossolo Vermelho Escuro argiloso sob vegetação de cerrado/mata na parte média, e o Latossolo Vermelho Escuro argiloso de cerrado na parte inferior do pedimento, com teores intermediários de gibbsita. Na superfície mais recente, representa-

da por terraços e aluviões recentes, ocorre o solo Glei Pouco Húmico, ou seja, um solo pouco desenvolvido (Bennema e Camargo, 1964) apresentando os menores teores de gibbsita.

Problemas de Classificação dos Latossolos - De acordo com o *Soil Taxonomy* (EUA, 1975), os Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro textura argilosa são classificados como *clayey, oxidic, kaolinitic, isothermic, Typic Acrus-*

Quadro 3. Composição mineralógica da fração argila (<2 μ) de horizontes selecionados dos solos estudados.

Solo	Horizontes	Amorfos			Ki	Materiais amorfos	Gibbsita	Caulinita		Outros*
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃				NaOH 0,5N	Raio-X	
		%					%			
LVEac	A1	6,0	9,7	1,3	1,0	19	12	62	65	6 (TQCP)
	B21	5,7	6,4	1,3	1,5	16	16	57	63	10 (CQPT)
	B23	5,2	7,8	1,2	1,2	16	18	52	61	13 (PTCQ)
LVEaC	A1	6,0	5,9	1,7	1,6	16	8	72	73	2 (CQTP)
	B1	7,9	6,1	1,9	2,2	19	10	66	67	3 (CPQT)
	B3	7,1	5,7	1,8	1,8	18	11	66	66	3 (CPTQ)
LVAaC	A1	5,5	4,2	2,7	2,2	12	10	63	64	12 (CPTQ)
	B21	5,6	5,1	3,5	2,2	18	11	58	62	10 (PCTQ)
	Bcn	8,3	4,5	4,2	3,1	14	12	53	60	17 (CPTQ)
LVAmc	A11	2,9	8,2	3,3	0,6	14	27	47	44	7 (QCMTP)
	B2	1,7	2,4	2,5	1,2	5	34	40	41	20 (QCMTP)
	Ccn	1,9	1,2	1,6	2,2	5	29	37	40	23 (QCMT)
SLCL	A	5,2	6,8	8,0	1,3	15	10	63	68	17 (CTQ)
	C	6,1	3,1	11,6	3,3	10	12	57	63	21 (CTMQ)
GPH	Ap	10,9	8,0	0,3	2,3	22	5	55	65	18 (CQT)
	B21g	12,3	12,0	0,3	1,7	28	5	60	60	17 (CQTP)

* T = óxidos de titânio (Anatásio e Rutilo); C = clorita/vermiculita; P = pirofilita; M = mica; Q = quartzo.

Quadro 4. Composição mineralógica das frações areia (2000-50 μ) e silte (50-2 μ) de horizontes selecionados.

Solo	Horizon- tes	Fração areia		Fração Silte					
		Quartzo	Outros*	Fe ₂ O ₃	Amorfos + gibbsita	Caulinita		Quartzo	Outros*
						NaOH	Raio-X		
%									
LVEac	Al	95	M.Cl.	1,0	7	8	13	63	17 (An. Ru. M.)
	B21	95	M.Cl.	0,9	6	12	15	62	10 (An. Ru. Cl.)
	B23	95	M.Cl.	0,5	8	13	28	55	9 (Am. Ru.)
LVEaC	Al	95	M.Cl.	0,2	3	1	6	83	9 (Cl. Ru. An.)
	B1	90	M.Cl.C.	0,3	2	4	10	82	5 („)
	B3	90	M.Cl.C.	0,4	3	3	11	80	6 („)
LVAaC	Al	95	Cl.	0,4	3	1	7	84	6 (Cl. Ru. An.)
	B21	95	Cl.M.	0,3	1	1	—	92	6 („)
	B3cn	90	Cl.C.	3,0	2	1	7	84	7 („)
LVAmc	A11	95	M.Cl.	0,3	3	1	4	88	5 (Ru. An.)
	B2	90	M.Cl.C.	0,3	3	1	10	84	4 (Cl. Ru. An.)
	Ccn	95	M.Cl.	0,9	2	8	28	60	10 (M. Cl. Ru. An.)
SLCL	A	90	M.Cl.C.	3,4	5	5	13	82	3 (Ru. An.)
	C	90	M.Cl.C.	6,9	9	11	34	60	4 (Ru. An. M.)
GPH	Ap	95	Cl.M.	0,1	1	2	5	84	8 (Ru. An. M.)
	B21g	95	M.Cl.	0,2	1	1	6	81	9 („)

* An. = anatásio; C. = caulinita; Cl. = clorita/vermiculita; M. = mica; Ru. = rutilo.

tor, o Latossolo Vermelho-Amarelo textura média enquadra-se na classe textural *loamy*, o solo Litólico Concrecionário Laterítico como *fragmental, oxidic, isothermic Lithic Ustorthent*, e o Gley Pouco Húmico como *clayey, kaolinitic, isothermic, Aeric Tropaquept*. O *Soil Taxonomy* não permite a distinção a nível de Grande Grupo ou mesmo Família de Latossolos morfologicamente distintos como o Vermelho-Escuro e o Vermelho-Amarelo estudados. No Sistema Brasileiro de Classificação (Bennema e Camargo, 1964), esses Grandes Grupos são distinguidos na base de parâmetros, como cor, teor em óxidos de ferro ($>18\%$; $>8\%$ e $<18\%$ e $<9\%$ respectivamente para Latossolos Roxo, Vermelho-Escuro e Vermelho-Amarelo), quando de textura argilosa e relação $\%Al_2O_3 / \%Fe_2O_3$ (<2 e >2 respectivamente para Latossolo Vermelho-Escuro e Vermelho-Amarelo), ou relação molecular Al_2O_3/Fe_2O_3 ($>3,14$ e $<3,14$ respectivamente para os Latossolos Vermelho-Escuro e Vermelho-Amarelo) quando de textura média. Conforme mostram os dados do Quadro 2, os Latossolos estudados se enquadram nesses parâmetros. No entanto, na região sob vegetação de cerrados (Goiás, 1976), considerando o parâmetro cor ocorrem Latossolos vermelho-amarelos com teores de Fe_2O_3 , superiores a 9%. Além disso, no presente estudo constatou-se que os Latossolos Vermelho-Escuros apresentam hematita e goetita e os Vermelho-Amarelos apenas goetita (Figuras 2 e 3), concordando com Weaver (1974) e Jackson (1967), de que a cor dos Latossolos depende do estado sob o qual se encontram os produtos ferruginosos e não das quantidades de ferro presentes. Por conseguinte, o teor de ferro total ou livre em si não é bom critério para distinção de Latossolos e, a pesquisa de parâmetros adequados para possibilitar essa distinção a nível de Grande Grupo ou Subgrupo no *Soil Taxonomy* e melhorar o Sistema Brasileiro de classificação, se faz necessária.

AGRADECIMENTOS

Ao Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos - SNLCS, da EMBRAPA, pelas análises granulométricas e químicas dos solos; ao Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelos recursos financeiros concedidos na execução deste trabalho; e, ao CNPq, pela bolsa de pesquisa ao segundo autor.

LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, L.T. & CADY, J.G. - Genesis and hardening of laterite in soils. Washington. U.S. Depart. of Agric. Soil Conservation Service, 1962. 90p.
- ANDERSON, J.W. - An improved pretreatment for mineralogical analysis of samples containing organic matter. *Clays Clay Miner.*, 10:380-88, 1963.
- BENNEMA, J. & CAMARGO, M.N. - Esboço parcial da segunda aproximação de classificação de solos brasilei-

- ros. Min. da Agricultura, Divisão de Pedologia e Fertilidade do solo. Rio de Janeiro. 17p. (mimeografado), 1964.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo - Levantamento Semidetalhado dos solos de áreas do Ministério da Agricultura no Distrito Federal. Rio de Janeiro, 1966. (Bol. 8), 135p.
- CLINE, M.G. & BUOL, S.W. - Solos do Planalto Central do Brasil. Ithaca. Universidade de Cornell. Agronomy, 73-133, 1973. 27p.
- E.U.A. Soil Survey Staff - Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification, for Mapping and Interpreting Soil-Survey. USDA. Agriculture Handbook, 436, 1975.
- FEWER, R. - An exploratory investigation of the soil and agricultural potencial of the soils of the Federal District in the Central Plateau of Brasil. Thesis (Ph.D. - Soils), Cornell University, Ithaca. 432p., 1956.
- GOIÁS. Secretaria da Agricultura - Relatório do Levantamento dos Solos do Estado de Goiás. 1.^a etapa: Micro-Região do Mato Grosso Goiano. Goiânia. 372p. (mimeografado), 1977.
- JACKSON, M.L. - Chemical composition of soils. In: BEAR, F.E., ed. Chemistry of the Soil. 3.^a ed. New York, Reinhold, 1967. p.71-141.
- JACKSON, M.L. - Soil Chemical Analysis; advanced course. Madison. University of Wisconsin. Published by the author, 1969. 894p.
- JACKSON, M.L. & SCHERMAN, G.D. - Chemical Weathering of minerals in soils. In: NORMAN, A.C., ed. Advances in Agronomy. New York, Academic Press. v.5, 1953. p.219-318.
- JACOMINE, R.K.T. - Descrições das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas de alguns perfis de solos sob vegetação de cerrado. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Ministério da Agricultura. Boletim Técnico, 11. Rio de Janeiro, 1969. 126p.
- KING, L.C. - Canons of landscape evolution. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 64:721-752, 1953.
- KRISHNA MURTI, G.S.; VOLK, V.V. & JACKSON, M.L. - Colorimetric determination of iron mixed valence by orthophenantroline. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 30:633-4, 1966.
- LE ROUX, J. - Quantitative clay mineralogical analysis of Natal Oxisols. *Soil Sci.*, 115(2):137-44, 1973.
- LINDENMAYER, Z.C. - Sobre a geologia do Estado de Goiás. Min. de Minas e Energia. DNPM, 6.^o Distrito Goiânia. 43p. (Mimeografado), 1972.
- McKEAGUE, J.H. & DAY, J.H. - Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, 46(1):13-22, 1966.
- MONIZ, A.C. & JACKSON, M.L. - Quantitative mineralogical analysis of Brazilian soils derived from basic rocks and slate. University of Wisconsin. Madison. Wisconsin Soil Science Report, 212, 1967. 74p.
- MOTHCI, E.P. - Características e gênese de uma sequência de Oxisols no Planalto Central Brasileiro. Tese de Mestrado. Departamento de Solos da UFRGS. Porto Alegre, 1977. 107f.
- MOURA FILHO, W. & BUOL, S.W. - Studies of a Latosol Roxo (Eutrustox) in Brasil: Clay mineralogy. *Experiência, Viçosa*, 12:218-234, 1972.
- RODRIGUES, T.E. - Mineralogia e gênese de uma sequência de solos dos cerrados, no Distrito Federal. Tese de Mestrado. Depto. de Solos da UFRGS. Porto Alegre, 1977. 101p.
- RUHE, R.W. - Elements of soil landscape. In: Int. Congr. Soil Sci., 7.^o, Transactions. Madison. V.4, p.165-70, 1960.
- SCHUFFELEN, A.C. & KOENIGS, E.F.R. - Plant nutrients in soils of different genesis. In: Joint Meeting of Commission IV and V: Int. Soc. Soil Sci., Transactions. Lower Hutt, New Zeland. p.105-120, 1962.
- SEGALEN, P. - Metallic and hydroxides in soils of warm and humid areas of the world: formation, identification, evolution. In: SOILS AND TROPICAL WEATHERING, Proc. Bandung Symposium. Paris, UNESCO, p.25-37, 1971.

SCHWERTMANN, U.; FISCHER, W.R. & PAPENDORF, H. The influence of organic compounds on the formation of iron oxides. In: Int. Congr. Soil Sci. 9.^o Adelaide, Transaction. V.1, p.645-656, 1968.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - Manual de Métodos de Trabalho de Campo. 2.^a aproximação. Rio de Janeiro, 1976. 33p.

VETTORI, L. - Métodos de Análise de Solos. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Boletim Técnico, 7. Rio de Janeiro, 1969: 24p.

WEAVER, R.M. - Soils of the Central Plateau of Brasil: Chemical and mineralogical properties. New York, Ithaca, Cornell University. Agronomy Mimeo. 74-8, 1974. 45p.

POROSIDADE DE SOLOS: MICROESTEREOMETRIA ⁽¹⁾

D. PERECIN ⁽²⁾ & D.A.F. CAMPOS ⁽³⁾

RESUMO

O volume de vazios (porosidade) em 34 horizontes de 7 séries de solos foi determinado com auxílio de ocular de integração e microscópio polarizante. A porosidade mostrou-se elevada nos horizontes superficiais e dependente do teor de argila e da estrutura (*fabric*) do solo nos horizontes de subsuperfície. Considerando horizontes com a mesma percentagem de argila, a porosidade é maior nos óxicos do que nos argílicos. Verificou-se correlação positiva e significativa entre porosidade e valores da corda menor de vazios correspondentes.

SUMMARY: SOIL POROSITY: MICROSTEREOMETRY

The volume of voids (porosity) in 34 horizons of 7 soils series was determined by means of the integration ocular under polarizing microscope. In subsurface horizons the porosity values was under the influence of the clay content and of the soil fabric. For the same clay content the porosity in the oxic horizons is larger than in the argilic horizons. It was observed a positive and significant correlation between the porosity and the diameter of correspondent voids.

INTRODUÇÃO

A determinação do volume de constituintes, através da aplicação de técnicas microscópicas vem despertando interesse dos pedologistas. Diversos são os métodos de determinação volumétrica por via microscópica, todos eles baseados em cálculos estatísticos, conduzindo a resultados semelhantes, Chayes (1956), Mandarino (1956), Anderson e Binnie (1961), Percin e Campos (1975). A conversão em volume-percentagem baseia-se nas equações de Delesse, propostas inicialmente em 1848 e deduzidas em Chayes (1954, 1956), Anderson e Binnie (1961), Percin e Campos (1975).

O volume de vazios (porosidade) obtido em seções delgadas é de interesse, tanto para gênese de solo (Bennema *et alii*, 1970), como para estudos de sua estrutura (Swanson e Peterson, 1942; Guardiola e Delgado, 1969). Segundo Bennema *et alii* (1970), existe diferença entre o volume de vazios em horizontes óxicos e argílicos; considerando solos com mesmo teor de argila há maior porosidade nos primeiros. Essa técnica é também especialmente importante para estudar alterações da porosidade na zona de crescimento das raízes (Blevins *et alii*, 1970); esses autores mostram ainda que o volume de vazios maiores que 50 μ , obtido no microscópio,

é um valor próximo do obtido com uma tensão correspondente a 60 cm de coluna de água.

A identificação dos vazios pode ser facilitada aumentando o contraste entre eles e os constituintes do solo. Para isso utilizam-se corantes, substâncias fluorescentes, nicóis parcialmente inseridos, luz polarizada circular (Pape, 1974), ou compensadores, como lâmina de gesso, lâmina de quartzo de coloração azul de segunda ordem (Guardiola e Delgado, 1969).

Neste trabalho a porosidade é determinada com auxílio de contador de pontos e os vazios (seções de poros) são medidos individualmente. Os resultados são discutidos em relação aos modelos de distribuição da porosidade e às interpretações pedogenéticas.

MATERIAL E MÉTODOS

O volume de vazios de horizontes de 7 perfis de solos foi obtido com ocular de integração Zeiss (8x) e objetiva (10x), sob microscópio polarizante e através de seções delgadas de amostras inalteradas de solos. No Quadro 1 apresentam-se os perfis e horizontes estudados, de solos do município de Piracicaba, SP. A classificação ao nível de série é devida a Ranzani *et alii* (1966) e ao nível de grande grupo é obtida segundo os critérios da Comissão de Solos (Brasil, 1960).

As seções delgadas, uma por horizonte, foram obtidas segundo Campos *et alii* (1973). A porosidade foi obtida utilizando um total de mil pontos por seção delgada. Admitindo que a distribuição de pontos sobre vazios é binomial, determinaram-se os erros de acordo com Plas e Tobi (1965) e Percin e Campos (1975), para uma confiança de aproximadamente 95% de que a percentagem real da porosidade, em cada horizonte, pertence ao intervalo (P - 2s, P + 2s),

⁽¹⁾ Recebido para publicação em junho de 1977 e aprovado em maio de 1978.

⁽²⁾ Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Jaboticabal.

⁽³⁾ Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, Piracicaba.