

- DIAS, A.C.P. — Mineralogia da fração argila de alguns solos da Bacia Sedimentar do Recôncavo Baiano. Dissertação de Mestrado E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 1971. 75 p.
- DIXON, J.B. — Quantitative analysis of kaolinite and gibbsite in soils by differential thermal analysis and selective dissolution methods. In: Proc. 14th Conf. on Clays and Clay Miner., 1966, 83-98.
- ESCOBAR, E.H., DEMATTÉ, J.L.I. & MONIZ, A.C. — Genesis y clasificación de algunos suelos de la cuenca del arroyo Tijucó Preto, Municipio de Rio das Pedras. San Pablo. I. Analise mineralógica cuantitativa de la fraccion arcilla. Rev. Inv. Agropec. INTA, B. Ayres, Argentina. Série 3, IX:89-108, 1972.
- HARWARD, M.E. & THIESEN, A.A. — A paste method for preparation of slides for clay mineral identification by X-ray diffraction. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 26:335-341, 1969.
- JACKSON, M.L., TYLER, S.A., WILLIS, A.L., BOURBEAN, G. A. & PENNINGTON, R.P. — Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments. J. Phys. Col. Chem. 52:1237-1260, 1948.
- JACKSON, M.L. — Soil Chemical Analysis, Adv. Course, Univ. Wis. Md. Edited by Author. 1965. 895 p.
- KELLER, W.D. — Processes of origin and alteration of clay minerals. In: Soil Clay Mineralogy: A Symp. C.I. Rich and G.W. Kunze, ed. Univ. of North Carolina Press. 1964. p.3-76.
- KITTRICK, J.A. — Soil minerals in the $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ system and a theory of their formation. Clays Clay Miner. 17:157-167. 1969.
- LIMA, V.C. — Estudo pedológico de perfis de solos do grande grupo Rubrozem da bacia de Curitiba — Pr. Dissertação de Mestrado, E.S.A. "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP. 1974. 119 p.
- PAULA SOUZA, D.M. — Grande grupo de solo "Rubrozem". Contribuição à carta de solos do Paraná. Tese de Doutoramento. E.S.A. e Vet. do Paraná. Curitiba, PR. 1961. 62 p.
- SOUZA, J.J. — Estudo pedológico de perfis de solos da região de Iracemápolis. Dissertação de Mestrado. E.S.A. "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP. 1971. 100 p.

FERRO NOS LATOSSOLOS DO ESTADO DA BAHIA⁽¹⁾

B. VOLKOFF⁽²⁾ & V.R. da S. CESAR⁽²⁾

RESUMO

Após determinação analítica do ferro total, livre e amorfos de vários latossolos do Estado da Bahia, Brasil, e caracterização de seus produtos ferruginosos por difratometria de raios X e análise térmica diferencial, aparecem duas unidades distintas e não relacionadas ao clima atual. Uma, é constituída de solos desenvolvidos à partir de materiais derivados de quartzitos, arenitos, e areias. Nestes solos a relação ferro livre/ferro total é elevada (0,85-0,95) e o ferro encontra-se sob forma de goethita aluminosa, hematita e produtos amorfos, sendo estas duas últimas, dificilmente separáveis. A outra unidade é constituída de solos desenvolvidos a partir de materiais derivados do embasamento cristalino (granitos, gnaisses, migmatitos) onde a relação ferro livre/ferro total é menor (0,50-0,75) e a forma principal do ferro é a goethita aluminosa. Trata-se de latossolos vermelho-amarelo, que correspondem, de um lado aos solos ferralíticos fortemente desatados empobrecidos modais segundo a classificação francesa dos solos ou aos *Orthic ferralsols* segundo a legenda dos solos da F.A.O., e do outro lado aos solos ferralíticos fortemente desaturados empobrecidos amarelos ou *Xanthic ferralsols*. A distribuição dos solos segundo a litologia é provavelmente uma coincidência. A divisão em duas unidades geográficas de acordo com a natureza dos constituintes ferruginosos seria consequência de diferenças de evolução, em grande parte, paleoclimáticas.

SUMMARY: THE IRON IN THE LATOSOLS OF BAHIA (BRAZIL)

The analytic determination of total, free and amorphous iron of latosols from the State of Bahia, and the characterization of their ferruginous products by X-Ray diffraction and differential thermal analysis allow to separate them into two geographic groups that are not dependent of the present climatic conditions. The first one is constituted by soils formed in material derived from quartzite, sandstone and sand: These soils show a high value of the free iron in relation to the total iron (0.85-0.95) and the iron is found in the forms of aluminous goethite, hematite and amorphous, the last two being hardly dissociable. The other group includes soils formed in materials derived from granite gneisses and migmatites. In these soils the amount of the free iron in relation to the total iron is lower (0.50-0.75) and the aluminous goethite is the most frequent iron form. All they are ferralitic strongly leached, depleted soils, either of modal group (*Orthic ferralsols*) or of the yellow group (*Xanthic ferralsols*). Their distribution according to lithology seems to be coincidence. The separation into two geographic units according the nature of the ferruginous constituents is thought to be due to the differences in the evolution, related mainly to paleoclimatic conditions.

INTRODUÇÃO

Os latossolos do Estado da Bahia ocupam importantes setores regionais de climas muito diferentes: sempre úmico no litoral, árido no interior, muito chuvoso com nítida estação seca no oeste do Estado. A maior parte deles está localizada nas áreas mais planas das sucessivas superfícies de aplanaamento que, nesta parte do Brasil, se superpõem entre 200 e 1.200 m de altitude. Todas elas são caracterizadas por um modelado em longos glacis ou

pedimentos de pequeno desnível, os quais são cobertos por um espesso manto de materiais friáveis, retrabalhados, que servem de material de origem. Estes latossolos são bastante semelhantes, possuem cores vermelho-amarelo a amarelo e não apresentam concreções e/ou couraças ferruginosas, o que leva a supor que resultam todos de uma mesma evolução morfopedológica.

É conhecido o fato dos produtos ferruginosos do solo terem natureza variável de acordo com as condições do meio ambiente (Schwertmann, 1966; Lamouroux, 1972).

Desta forma o objetivo principal do presente trabalho foi verificar se nos latossolos da Bahia, apesar da aparente homogeneidade areolar apresentada, existem diferenças nos constituintes ferruginosos que poderiam ser correlacionados com particularidades climáticas.

23 OCT. 1978

O. R. S. I. O. M. 85-92 1978

Collection de Référence

349 Pedro

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

(2) Missão ORSTOM-Instituto de Geociências - UFBa, SALVADOR. Instituto de Geociências - USP, São Paulo.

(3) Laboratório de Geoquímica — Instituto de Ciências-UFBa, SALVADOR.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Solos

Foram estudados 20 perfis distribuídos pelas principais áreas onde predominam os latossolos. Estas áreas estão esquematicamente indicadas no mapa de localização (Fig. 1) onde figuram também as isoetas anuais (Nimer, 1972) e os traços essenciais da litologia do Estado da Bahia (Brasil, 1971).

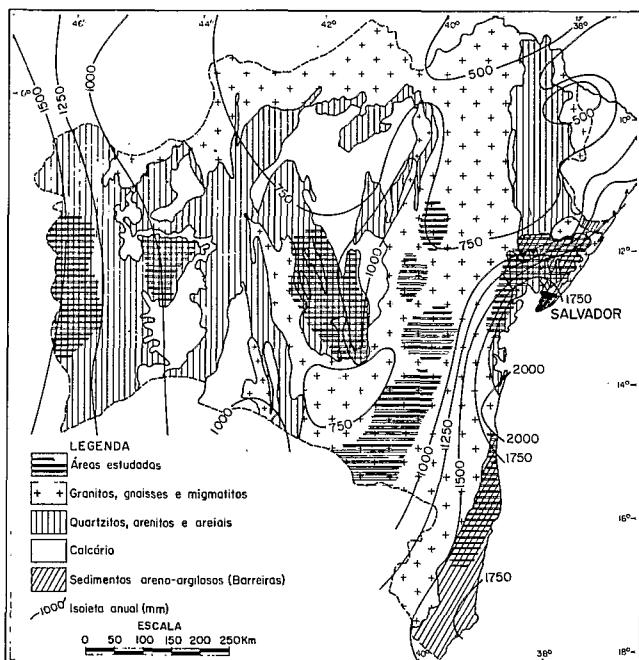


Fig. 1 Localização das áreas estudadas, base geológica (Brasil, 1971), e isoetas anuais no Estado da Bahia.

Os latossolos da Bahia ocorrem associados aos quatro tipos de substratos indicados no mapa, porém só foram estudados os latossolos desenvolvidos a partir das rochas cristalinas (granitos, gnaisses, migmatitos), das rochas silicosas (quartzitos, arenitos, areias) e do material arenoso-argiloso da formação Barreiras (Terciário). Os latossolos desenvolvidos a partir dos calcários, por constituiram uma categoria bastante diferente, não foram incluídos neste trabalho.

Os latossolos da Bahia, em sua maioria, são solos de áreas de relevo suavemente ondulado a plano, às vezes mesmo perfeitamente plano e estão quase sempre associados a materiais de recobrimento. Há muitas indicações que tais materiais sejam originados das rochas circunvizinhas sendo portanto diretamente derivados do substrato geológico local. Os solos estudados foram todos escolhidos em áreas planas e acima de materiais de recobrimento.

São latossolos Vermelho Amarelo, de acordo com a classificação brasileira ou solos ferrallíticos fortemente desaturados no horizonte B e empobrecidos, amarelos e modais (França, CPCS, 1967), ou ainda *Xanthic* ou *Orthic ferralsols* — segundo a legenda da F.A.O. UNESCO (1971).

O perfil apresenta sempre sucessão de horizontes A, B1, B2, B3 e IIC. O horizonte IIC corresponde ao substrato intemperizado o qual é atingido a uma profundidade de 4 a 6 metros. O horizonte B2 é o horizonte mais desenvolvido e apresenta todas as características de um horizonte latossólico (ou óxico). Excepcionalmente ele é vermelho, sendo a cor mais comum o vermelho-amarelo (5YR 5/8) para os solos derivados de quartzitos, arenitos e areias, e o bruno amarelado (10YR 5/8) para os solos derivados das rochas cristalinas. A drenagem interna é sempre muito boa, qualquer que seja a textura do horizonte B. Todos os perfis estudados foram escolhidos em áreas de vegetação natural; a qual segundo as regiões é a floresta, a caatinga, o campo cerrado ou o campo. No quadro 1 são dadas as amplitudes de variação das principais características analíticas dos horizontes A e B2 dos 20 perfis estudados.

Quadro 1 Amplitude de variação de algumas características analíticas dos horizontes A e B2 dos latossolos da Bahia estudados: a, argila; sf, silte fino; S, soma de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ trocáveis; Al^{3+} , Al^{3+} trocável; V, 100S/T; C, carbono orgânico.

Horizonte	a	sf	pH _{H2O}	S	Al^{3+}	V	C	C/N
	%	%		me/100g	%	%		
A	15-40	0-4	4,5-5,0	3-5	0,5-5,0	10-50	0,5-3,5	12-20
B2	30-70	0-4	4,5-5,0	1	0,0-5,0	20-40	0,2	9-15

Os 20 perfis foram detalhadamente analisados. Neste trabalho todos os resultados serão discutidos, mas apresentados apenas os dados referentes a 5 perfis, selecionados como os mais representativos. Dois deles representam solos desenvolvidos a partir de sedimentos argiloarenosos da formação Barreiras (perfis A e B), um sobre material derivado de rocha cristalina (Perfil C), um sobre materiais derivados de quartzitos (Perfil E).

2: Extração e dosagem do ferro

Três tipos de determinações foram realizadas: ferro total, ferro livre e ferro amorfo, todas na terra fina triturada à 80 mesh (0,177mm). O ferro total e o ferro livre foram analisados sistematicamente em todas as amostras coletadas dos 20 perfis estudados, enquanto que o ferro amorfo foi somente determinado nas amostras das partes centrais dos horizontes B1 e B2 de alguns perfis.

a) Extração do ferro total

Geralmente o ferro total é extraído à quente por ataque com uma mistura de reagentes ácidos, como por exemplo a triácida (011at e Peloux, 1957). Aqui foi preferida uma técnica mais simples, usando-se o ácido clorídrico concentrado a quente (Dabin, 1966) que dá resultados muito próximos do ataque triácido.

b) Extração do ferro livre

O método escolhido foi o de De Endredy apresentado por Segalen (1970). O solo é atacado pelo reagente de Tamm (ácido oxálico-oxalato de amônia a pH 3,5) e a dissolução acelerada por irradiação ultra-violeta; o tempo de iluminação foi de 2 horas e 30 minutos, tempo suficiente para atingir a taxa máxima de extração nas condições experimentais utilizadas.

c) Extração do ferro amorfo

O ferro sob a forma de óxido ou hidróxido amorfo é extraído por um método cinético. Admitindo-se que a velocidade de dissolução dos produtos amorfos é muito mais elevada do que a dos produtos cristalizados, é possível, a partir dos dados de extrações alternadas e repetidas com reagentes ácidos ($\text{HC}1\ 8\text{N}$) e alcalino ($\text{NaOH}\ 0,5\text{N}$), estabelecer curvas de dissolução do ferro e avaliar assim graficamente as quantidades de produtos amorfos (Segalen, 1968).

d) Dosagem do ferro nos extratos.

O ferro das diversas soluções de extração foi dosado por absorção atômica e por colorimetria (com orthofenantrolina) no caso de extratos de produtos amorfos devido a carga elevada $\text{NaCl}\ 8\text{N}$ das soluções de extração.

e) Difratometria e Raios X e análise térmico diferencial.

A difratometria de raios X foi realizada em amostras naturais pulverizadas e/ou somente nas frações menores que 53 micra, obtidas por peneiramento a seco. Foi utilizado um aparelho Philips com tubo de cobre. Para as análises térmico diferencial, realizadas nos mesmos materiais, a velocidade de aquecimento foi de 15°C por minuto.

RESULTADOS

1. Resultados quantitativos obtidos por via química

a) Ferro total.

Num perfil, como indicam os resultados do quadro 2, os teores em ferro total variaram pouco. Nota-se simples-

mente um aumento progressivo das taxas de ferro paralelamente ao aumento dos teores em argila em profundidade. Tal variação ocorre perto da superfície; no resto do perfil, isto é, em toda a espessura dos horizontes B, os teores em ferro permanecem constantes.

Considerando-se agora os 20 perfis observou-se que os teores extremos em Fe_2O_3 total nos horizontes B estão compreendidos entre 0,5 e 12%, o que corresponde a uma faixa de variação bastante elevada.

Por outro lado quando foram comparados os teores em ferro dos solos de uma mesma área, constatou-se

que, apesar do intervalo de variação ser menor, não existe uniformidade, e que era muito difícil achar uma distribuição regional dos solos em função dos teores em ferro total. Somente os solos dos tabuleiros (solos formados a partir dos sedimentos arenoso-argilosos da formação Barreiras) aparecem sistematicamente pobres em ferro.

A conclusão do estudo do ferro total é que os latossolos estudados não são ricos em ferro; as taxas médias, em Fe_2O_3 total, oscilam entre 3 e 8%, sendo os limites entre 3 e 5% característicos dos solos dos tabuleiros e os limites entre 5 e 8% dos outros solos.

Quadro 2 Variações dos teores em ferro total e em ferro livre com a profundidade em alguns perfis de latossolos da Bahia (a = argila, 0-2 μ ; sf = silte fino, 2-20 μ)

Profundidade cm	a %	sf %	Fe_2O_3 total %	Fe_2O_3 livre %	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ livre}}{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{total}}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ livre}}{a + sf}$
PERFIL A						
0- 5	11	2	2,5	0,8	0,33	0,06
5- 15	12	2	1,5	0,9	0,58	0,06
25- 35	19	1	2,3	1,3	0,56	0,06
50- 60	30	1	4,6	2,5	0,54	0,08
80- 90	30	3	4,6	2,6	0,57	0,08
105-115	31	2	4,7	2,6	0,56	0,08
135-145	31	2	3,9	2,2	0,56	0,07
175-185	30	1	3,1	1,9	0,60	0,06
230-240	30	3	3,2	1,9	0,61	0,06
290-300	33	2	3,1	1,8	0,57	0,05
PERFIL B						
0- 5	40	0	3,4	1,6	0,46	0,04
5- 12	39	0	3,7	1,5	0,40	0,04
12- 25	43	0	4,1	1,8	0,44	0,04
25- 35	51	4	4,2	2,0	0,47	0,04
45- 55	56	3	4,4	2,2	0,51	0,04
80- 90	58	0	4,4	2,3	0,51	0,04
110-120	64	0	4,6	2,4	0,52	0,04
160-170	59	0	4,4	2,2	0,50	0,04
230-240	62	1	4,4	2,1	0,48	0,03
290-300	61	1	4,5	2,2	0,49	0,04
PERFIL C						
0- 5	35	1	5,1	3,7	0,72	0,10
5- 15	33	1	5,6	3,6	0,65	0,11
15- 25	32	1	5,3	3,8	0,72	0,12
25- 35	36	1	5,8	4,2	0,71	0,11
40- 50	41	1	6,8	4,9	0,72	0,12
55- 65	47	1	7,3	5,5	0,75	0,11
65- 75	49	1	7,5	5,8	0,77	0,11
85- 95	50	1	7,5	5,8	0,77	0,11
100-110	52	1	7,5	5,8	0,76	0,11
130-140	53	1	7,7	5,9	0,77	0,11
165-175	51	2	7,5	5,8	0,77	0,11
205-215	53	0	7,5	5,7	0,76	0,11
250-260	54	0	7,4	5,7	0,77	0,11
PERFIL D						
0- 8	26	1	5,0	4,7	0,94	0,18
8- 15	25	0	4,0	3,4	0,85	0,14
20- 30	25	1	3,7	3,0	0,80	0,12
40- 50	30	0	5,0	3,9	0,78	0,13
60- 70	34	0	5,2	4,4	0,85	0,13
80- 90	36	1	5,8	5,7	0,93	0,14
100-110	38	0	5,9	5,1	0,86	0,13
140-150	39	0	5,7	5,0	0,87	0,13
190-200	36	1	5,6	4,9	0,86	0,13
240-250	36	2	6,0	5,1	0,85	0,14
290-300	44	0	5,6	4,8	0,86	0,11
PERFIL E						
0- 8	32	1	6,0	5,8	0,97	0,17
8- 20	29	3	6,6	6,5	0,99	0,20
20- 30	30	3	6,2	5,8	0,94	0,18
30- 40	34	1	7,6	6,7	0,88	0,19
45- 55	41	2	7,1	6,5	0,98	0,16
65- 75	42	3	7,1	6,9	0,97	0,15
100-110	42	4	7,5	7,5	1,00	0,16
160-170	36	5	7,7	7,4	0,96	0,18
230-240	38	5	7,9	7,4	0,93	0,17

b) Ferro livre, relação ferro livre/ferro total e relação ferro livre/argila.

O ferro extraído pela técnica de De Endredy é suposto ser o ferro livre, representando uma porção variável do ferro total. Esta porção, apesar de ser relativamente constante num mesmo perfil, pode variar bastante de um perfil para outro conforme dados constantes no quadro 2.

Com os resultados dos 20 perfis, foi possível observar que a relação ferro livre/ferro total oscila entre os extremos 0,45 e 0,95. Se notou uma maior frequência de um lado dos valores entre 0,50 e 0,60 e de outro lado dos valores entre 0,85 e 0,95. O conjunto dos valores baixos da relação correspondente aos solos mais pobres em ferro (principalmente os solos dos tabuleiros) enquanto que o conjunto dos valores altos caracteriza os solos formados a partir de materiais derivados de rochas silicosas como também de alguns solos derivados de rochas cristalinas, que são as mais ricas em ferro. De um modo geral, nos solos derivados de rochas cristalinas, a relação ferro livre/ferro total não varia numa faixa tão restrita como nas duas outras categorias de solos mencionados; ela pode apresentar quaisquer valores intermediários entre os extremos 0,45-0,95, mas permanece, sobretudo, entre 0,45 e 0,75.

Dentro de um perfil a relação ferro livre/argila varia muito pouco. Entretanto de um perfil para outro, as diferenças são importantes; segundo os perfis a relação oscila entre 0,03 e 0,20. Sem que haja regras absolutas, o valor da relação fica compreendido entre 0,03 e 0,10 para a maioria dos solos de cor amarela e é comumente mais elevado nos solos de cor vermelho-amarelado.

c) Cinética de dissolução do ferro e ferro amorfó

Examinando-se as curvas cumulativas do ferro extraído pelos sucessivos tratamentos ácido-básicos em vários solos (Fig. 2), notam-se três velocidades de dissolução diferentes que evidenciam a presença de três formas de produtos ferruginosos: (a) uma primeira é de dissolução muito rápida, estando totalmente dissolvida, quando presente (perfis E e D), após a segunda ou a terceira extração; o seu comportamento é o de um produto amorfó; (b) outra forma é de dissolução linear apresentando-se dissolvida, segundo os perfis, após a quinta (Perfis A e B), a sexta (perfil C), a oitava (perfil E) ou a nona extração (perfil D); seu comportamento corresponde ao de um produto cristalizado facilmente extraível; (c) uma última forma é também de dissolução linear, porém mais lenta que a anterior: aparece a partir da sexta extração do perfil A, e da décima extração do perfil D, seu comportamento é o de um produto cristalizado dificilmente extraível.

Constatou-se que a forma amorfó de ferro não é comum a todos os solos. Ela por exemplo não existe nos solos dos tabuleiros (Fig. 2 perfis A e B) e existe raramente nos solos sobre rochas cristalinas. Nestes, quando é encontrada, apresenta-se como raços (perfil C). A presença de ferro sob forma amorfó parece sobretudo caracterizar os solos derivados dos quartzitos e arenitos; estes solos contém de 1 a 2% de Fe_2O_3 amorfó (Fig. 2: perfis D e E). É possível que tais produtos amorfos sejam simples-

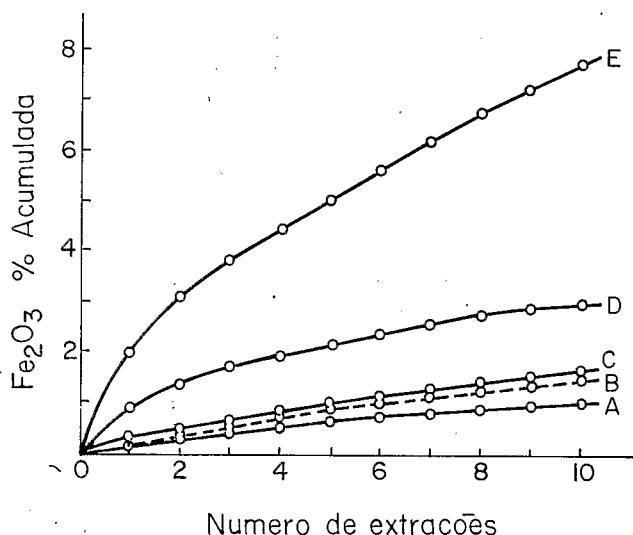


Fig. 2 Curvas cumulativas de dissolução do ferro por sucessivos tratamentos ácido-básicos nos horizontes B2 de alguns latossolos da Bahia (perfis A, B, C, D e E).

mente formas criptocristalinas, comportando-se porém como tal quando extraídas por agentes químicos bastante fortes (Quantin e Lamouroux, 1974). A sua natureza pode ser melhor definida utilizando-se um reagente de extração mais brando, HCl 4N por exemplo no lugar de HCl 8N. Fazendo-se tal experiência mostra-se que, em ambos os casos, com HCl 4N ou com HCl 8N, as curvas indicam sempre a presença de ferro de dissolução muito rápida e que as quantidades determinadas graficamente são iguais (Fig. 3), tanto no caso dos solos com traços (Fig. 3: exemplo a) como nos solos mais ricos em ferro e dissolução muito rápida (Fig. 3: exemplo b). Isto seria a confirmação da existência de produtos ferruginosos realmente amorfos nestes solos.

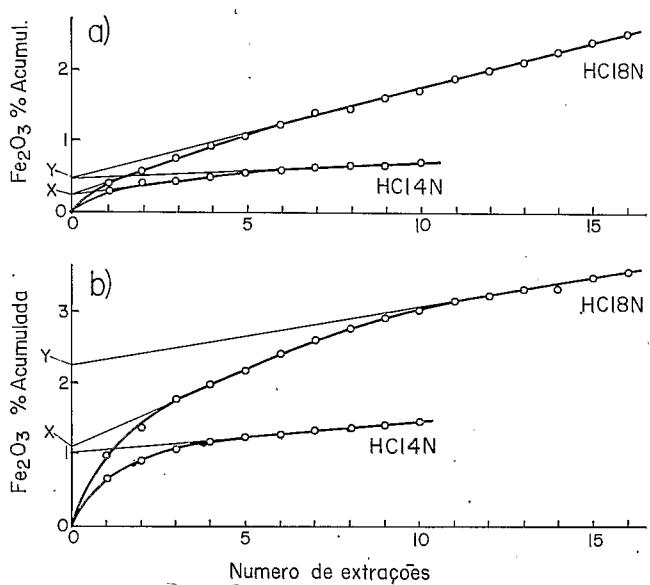


Fig. 3 Taxa acumulada de Fe_2O_3 extraído utilizando HCl 8N e HCl 4N nas amostras de horizontes B2 de dois latossolos da Bahia: (a) solo sobre material derivado de rocha cristalina; (b) solo sobre material derivado de arenitos.
(OX = teor em ferro muito facilmente extraível ou amorfó; OY-OX = teor em ferro facilmente extraível).

A forma cristalina facilmente extraível é encontrada em todos os solos. Ela é evidenciada nas mesmas quantidades utilizando-se como reagente de extração tanto o HCl 8N quanto HCl 4N (Fig. 3: exemplo a).

As duas formas, amorfa e cristalina facilmente extraível, fazem parte do ferro livre, sendo isto válido para os solos isentos de magnetita (Segalen *et alii*, 1972), como no caso dos solos estudados onde a magnetita não foi identificada. Pela técnica de De Endredy constata-se que a quantidade de ferro dissolvido é sempre superior à soma do ferro amorfo e do ferro facilmente extraível. Portanto no ferro livre encontram-se outras frações. Estas só podem ser cristalizadas e pouco solúveis. Elas vão então constituir mais uma forma que seria uma forma de ferro dificilmente extraível. Por outro lado, o ferro não dissolvido pelo reativo de Tamm, isto é, o ferro representado pela diferença ferro total menos ferro livre, pode ser relacionado a uma última forma, que neste caso, seria muito dificilmente extraível.

Definem-se assim quatro formas de apresentação dos produtos ferruginosos: amorfa, cristalina facilmente extraível e cristalina muito dificilmente extraível. As proporções relativas de cada uma delas, em % do ferro total, estão dadas sob forma de diagramas para os horizontes B1 e B2 dos 5 perfis de latossolos representativos escolhidos (Fig. 4).

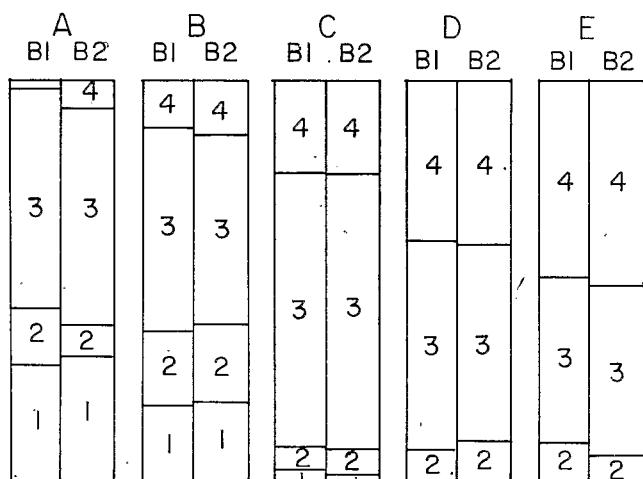


Fig. 4 Distribuição relativa das várias formas do ferro nos horizontes B1 e B2 de alguns latossolos da Bahia: 1, Fe_2O_3 muito facilmente extraível ou amorfo; 2, Fe_2O_3 cristalizado facilmente extraível; 3, Fe_2O_3 cristalizado dificilmente extraível; 4, Fe_2O_3 cristalizado muito dificilmente extraível.

Nota-se que as formas guardam as mesmas proporções nos horizontes B1 e nos horizontes B2 o que seria a indicação da ausência de evolução e portanto da estabilidade dos produtos ferruginosos destes solos.

Por outro lado a comparação dos diagramas evidencia os seguintes fatos: (a) os solos com ferro amorfo tem pouquíssimo ferro muito dificilmente extraível; é evidente que tais solos apresentam uma relação ferro livre/ferro total elevada; (b) nos solos com alta proporção de ferro muito dificilmente extraível não aparece a forma amorfa; nestes solos a relação ferro livre/ferro total é baixa; (c) nos casos intermediários o solo tem pouco ferro amorfo e proporções médias de ferro muito dificilmen-

te extraível; a relação ferro livre/ferro total também é intermediária.

Os três casos correspondem com bastante precisão a três tipos de situações no Estado da Bahia: o primeiro corresponde aos solos derivados de arenitos e quartzitos do centro e do oeste do estado, o segundo aos solos dos tabuleiros das regiões litorâneas e o terceiro, caso intermediário, aos solos derivados das rochas cristalinas.

2. Natureza dos produtos ferruginosos — Relação entre as formas definidas por seu comportamento físico-químico e sua natureza cristalina.

a) Os constituintes minerais do solo total.

Nos perfis estudados o quartzo e as argilas do grupo da caulinita são sistematicamente os constituintes mais importantes. Os outros minerais encontram-se em proporções bem menores. Alguns deles ocorrem esporadicamente enquanto que outros são comuns a todos os solos. Assim entre os minerais argilosos a ilita aparece somente em alguns solos de tabuleiros. A gibbsita é totalmente ausente dos solos dos tabuleiros. Nos solos derivados das rochas cristalinas este mineral aparece às vezes, mas sempre em muito pequenas quantidades; ele é, por outro lado, constante nos solos não excessivamente arenosos derivados dos arenitos e quartzitos do interior e do oeste do Estado. O anatase (TiO_2) está sistematicamente presente em pequenas quantidades.

Em todos os solos encontram-se óxidos e hidróxidos de ferro. As quantidades são também sempre pequenas, o que geralmente dificulta sua identificação pelas técnicas clássicas de difratometria de raios X e análise térmica diferencial.

A goethita está sempre presente. Nos difratogramas de raios X ela é caracterizada pelos picos à 4,13, 2,65 e 2,41 Å (Fig. 5a e 5b) e na análise térmica diferencial por uma reação endotérmica entre 390 e 415°C (Fig. 6). O desvio dos picos de difração e do pico da reação endotérmica indica a possibilidade de uma forte substituição do ferro pelo alumínio (Janot *et alii*, 1971).

A hematita é um mineral que não pode ser identificado com certeza, mas cuja existência é muito provável nos solos com produtos amorfos. Nestes solos os difratogramas de raio X mostram uma banda entre 2,65 e 2,69 Å (Fig. 5: b1 e b3) que inclui o pico 2,65 da goethita. Como não aparece nenhum alargamento nos outros picos de goethita (picos 4,13 e 2,41 Å) pode-se supor que a referida banda resulte da justaposição dos picos 2,65 da goethita e 2,69 da hematita. A confirmação da existência da hematita pelo pico 2,51 Å é muito difícil por causa da proximidade dos picos 2,56, 2,53 e 2,49 Å da caulinita.

As pequenas quantidades de produtos ferruginosos presentes, tornam difíceis os estudos das variações num mesmo perfil. Se existem variações, estas devem ser muito pequenas porque nenhuma modificação aparece nitidamente, nem nos difratogramas de raios X, nem nas curvas de análise térmica diferencial. Com os raios X observam-se simplesmente picos mais agudos perto da superfície, o que significaria uma melhor cristalização dos produtos ferruginosos no horizonte A. Com a análise térmica diferencial, nota-se um desdobramento do pico endotérmico da goethita nos horizontes A (Fig. 6 - termo-

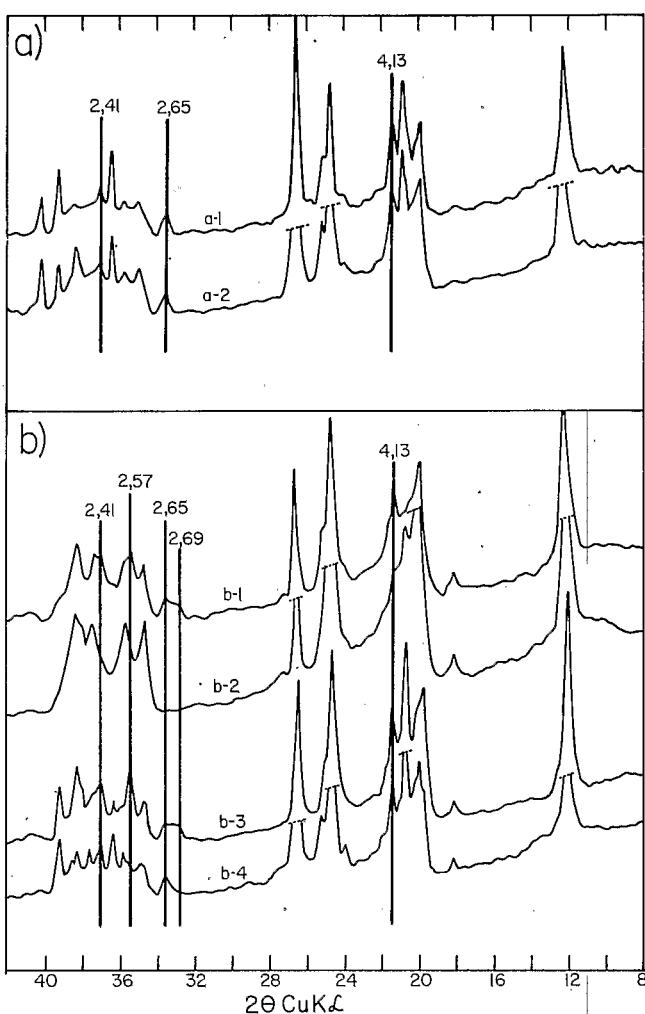


Fig. 5 Difratogramas de raios X nos horizontes B2 de dois latossos da Bahia.

5a. Perfil C, solo sobre material derivado de rocha cristalina: (a-1) amostra total, natural; (a-2) amostra total depois dissolução do ferro por 10 tratamentos ácido-básicos sucessivos.

5b. Perfil D, solo sobre material derivado de arenito: (b-1) na fração $< 53 \mu$, natural; (b-2) na fração $< 53 \mu$ depois eliminação do ferro livre; (b-3) amostra total, natural; (b-4) amostra total depois dissolução do ferro por 10 tratamentos ácido-básicos sucessivos.

grama 1 e 2 dos perfis C e B). Isto significaria que uma parte apenas da goethita sofre interferência da matéria orgânica. Nos horizontes humíferos a goethita estaria presente sob duas formas, uma ligada à matéria orgânica e outra não.

b) Efeitos da extração do ferro livre.

O estudo das amostras de horizontes B2 antes e depois da extração do ferro livre pela técnica de De Endrey por difratometria de raios X indica que o tratamento elimina totalmente, pelo menos aparentemente, goethita e hematita: os picos de difração correspondentes desaparecem (Fig. 5: b1 e b2). Poderia ser mostrado do mesmo modo que a reação endotérmica da goethita não é mais visível nos termogramas da análise térmica diferencial. Deixando-se de lado a possibilidade da caulinita ser ferrífera, o ferro muito difficilmente extraível corresponderia ou a resíduo de goethita ou a resíduo de hematita; per-

manecendo sob a forma de traços não detectáveis, ou ainda a produtos ferríferos dificilmente solúveis, como ilmenita que poderia ser igualmente presente sob forma de traços não detectáveis.

c) Efeitos da extração dos produtos amorfos.

Nos solos com goethita, sem hematita e sem produtos amorfos, nenhuma modificação foi observada aos raios X após os sucessivos tratamentos ácido-básicos (Fig. 5: a1 e a2). Nos solos com goethita e hematita, a banda 2,65-2,69 Å é reduzida a um pico simples a 2,65 Å; notase que ao mesmo tempo, uma diminuição do pico 2,51 Å (Fig. 5: b3 e b4). A hematita seria assim preferencialmente dissolvida no decorrer dos tratamentos.

Os fracos teores iniciais, bem como as pequenas quantidades dissolvidas em cada extração, tornam aleatória qualquer tentativa de determinação precisa das formas do ferro evidenciadas pelas curvas de dissolução. Entretanto pode-se ao menos observar que a forte solubilidade notada para a hematita implica numa fase cristalina muito fina que, em primeira aproximação, deveria corresponder à forma facilmente solúvel definida anteriormente. Esta forma, contudo, aparece a todos os solos e é sempre encontrada nas mesmas proporções, mesmo nos solos onde a hematita não foi identificada. Tal ferro, facilmente solúvel, seria, conforme o caso, hematita cristalina muito fina ou goethita muito fina. Ainda haveria a possibilidade de ser o ferro amorfo e a hematita apenas uma única fase, sendo que neste caso o ferro, apresentando um comportamento de produto amorfo, seria uma forma imperfeitamente cristalina da hematita (Quantin e Lamouroux, 1974).

Como conclusão, pode-se admitir que: (a) existe uma associação ferro amorfo-hematita característica de ape-

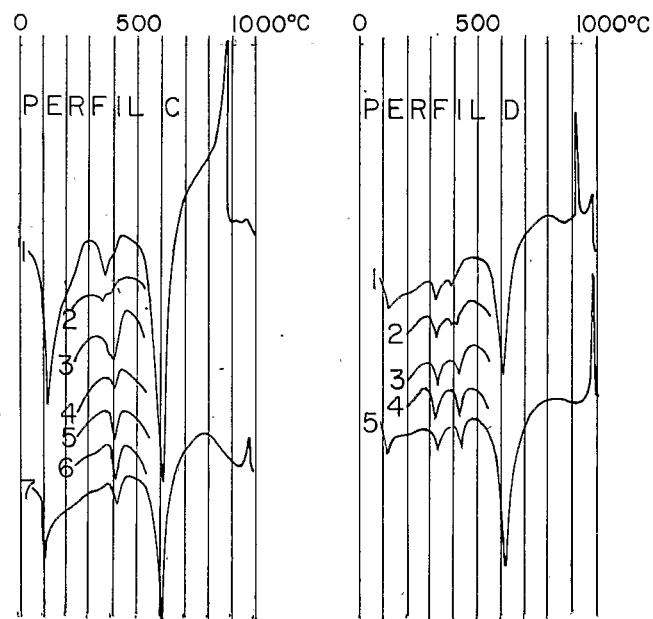


Fig. 6 Curvas de ATD na fração $< 53 \mu$ de amostras de várias profundidades de dois latossos da Bahia.

Perfil C, solo sobre material derivado de rocha cristalina: (1) 5-15 cm; (2), 15-25 cm; (3) 40-50 cm; 4, 55-65 cm; 5, 100-110 cm; 6, 165-175 cm; 7, 250-260 cm.

Perfil D, solo sobre material derivado de arenito, 1, 8-15 cm; 2, 20-30 cm; 3, 60-70 cm; 4, 190-200 cm; 5, 290-300 cm.

nas certos solos; (b) todos os solos apresentam goethita aluminosa e esta é geralmente bem cristalizada; (c) um certo antagonismo se manifesta entre o conjunto ferro amorfo-hematita e uma forma de ferro cristalizado dificilmente solúvel mineralogicamente não identificado.

Se tomarmos em consideração: a cor do solo, a relação ferro livre/ferro total, o teor em ferro amorfo, a pre-

sença ou a ausência de hematita e a presença ou a ausência de gibbsita, os latossolos de platôs não muito arenosos e de meio não calcário se separam em dois conjuntos geográficos localizados de um e de outro lado de uma linha norte-sul seguindo a margem oriental da Chapada Diamantina. As características ligadas ao ferro para cada conjunto foram reunidas no quadro 3.

Quadro 3 Características dos horizontes B ligadas ao ferro nos dois conjuntos geográficos de latossolos de platôs do Estado da Bahia.

Características	Localização Geográfica	
	Leste	Oeste
Cor	Amarela	Vermelho-amarelo
Classificação (Sub-Grupo)	Amarela* — Xanthic**	Modal* — Orthic**
Fe ₂ O ₃ livre /Fe ₂ O ₃ total	0,50 a 0,75	0,85 a 0,95
Fe ₂ O ₃ amorfo/Fe ₂ O ₃ total	0,05	0,15 a 0,30
Hematita	traços ou sem	presente
Goethita	presente	presente
Gibbsita	traços ou sem	presente

* Classificação Francesa;

** Legenda da F.A.O.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Nos latossolos de platôs do Estado da Bahia estudados foram identificados goethita aluminosa e hematita, sendo esta estreitamente associada a ferro amorfo. Talvez exista outras formas muito dificilmente extraíveis; elas são porém pouco representadas e não foi possível identificá-las.

Todas estas formas encontram-se em quantidades e proporções muito variáveis. De um modo geral os solos são relativamente pobres em ferro, apresentando teores em Fe₂O₃ total que raramente ultrapassam 10%. As formas cristalinas, principalmente representadas pela goethita, sempre predominam.

Num perfil, as variações tanto quantitativas como qualitativas são sempre mínimas. De um solo para outro, ao contrário, as diferenças podem ser importantes.

Levando em consideração as diferenças, principalmente aquelas ligadas a natureza dos produtos ferruginosos, pode-se definir dois conjuntos de latossolos cujas áreas de distribuição no estado da Bahia são geograficamente distintas. Uma corresponde ao Centro-Oeste do Estado e outra ao Leste. Nesta última os solos dos tabuleiros litorâneos constituem um conjunto particular. Na primeira região, goethita, hematita e ferro amorfo aparecem juntos, os latossolos são vermelho-amarelo (solos ferralíticos modais ou *Orthic ferralsols*), enquanto que na segunda, a hematita e amorfos são inexistentes e os latossolos apresentam cores mais amareladas (solos ferralíticos amarelos ou *Xanthic ferralsols*).

Tal distribuição geográfica conduz a algumas observações a respeito das condições de gênese desses latossolos.

Em primeiro lugar deve ser notado que as duas regiões pedológicas definidas não coincidem com nenhuma zona climática específica. Os solos avermelhados (solos ferralíticos modais) e, ainda mais, os solos amarelos encontram-se em áreas de clima bastante diferente, sendo os amarelos extensamente representados nos setores os mais úmidos e os mais secos do Estado. Aparentemente, considerando-se apenas o Estado da Bahia, não existe repartição geográfica dos constituintes ferruginosos

conforme uma zonalidade climática atual.

A distribuição dos solos poderia parecer desta forma ser diretamente dependente do substrato geológico. Com efeito os solos de cor vermelho-amarelo estão diretamente associados às rochas silicosas (quartzitos, arenitos, areias) enquanto que os solos amarelos estão associados às rochas cristalinas (granitos, gnaisses, migmatitos). Os solos dos tabuleiros litorâneos apresentam as características dos solos amarelos, o que seria uma indicação de que o material da formação Barreiras seria diretamente proveniente do cristalino. A presença ou ausência do conjunto ferro amorfo-hematita e a importância do ferro livre em relação do ferro total, principais elementos da diferenciação, seriam assim caracteres determinados pela rocha mãe.

Entretanto é bem provável que a distribuição dos solos segundo a litologia seja uma coincidência e que a origem das diferenças seja ligada à natureza dos meios pedológicos. O fato de encontrar, de um lado, solos com goethita aluminosa e sem gibbsita e, de outro, solos com goethita aluminosa, ferro amorfo parcialmente ou imperfeitamente cristalizado em hematita e gibbsita, implica condições de gênese bastante diferente, talvez não totalmente determinada pela rocha mãe.

A repartição geográfica como a extensão das áreas de distribuição sugere a intervenção de um fator de diferenciação como o clima. Nesta hipótese só poderia se tratar de um clima anterior, porque o de hoje não apresenta, principalmente na área dos solos amarelos, uniformidade suficiente.

Portanto, ressalta-se como conclusão que nos latossolos do Estado da Bahia os constituintes ferruginosos não sofrem transformações importantes e que se de uma região para outra existem diferenças ligadas às suas naturezas, tais diferenças nem sempre são consequências das particularidades regionais do clima atual.

LITERATURA CITADA

BRASIL — Mapa geológico do Brasil a escala 1/5.000.000. Rio de Janeiro, Dep. Nac. de Pes. Min. 1971.

- DABIN, B. — Application des dosages automatiques à l'analyse des sols: 2.º partie. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., IV: 77-103, 1966.
- F.A.O./UNESCO — Definitions of soil units for the soil map of the world. Rome, World soil resource report, 1971, 72p.
- FRANÇA, C.P.C.S. — Classification des sols. Laboratoire de Géologie-Pédologie de L'E.N.S.A. de Grignon, 1967, 96p.
- JANOT, C.; GIBERT, H.; GRAMONT, X. DE & BIAIS, H. — Estude des substitutions Al-Fe dans les roches lateritiques. Bull. Soc. fr. Mineral. Cristallogr., 94: 367-380, 1971.
- LAMOIROUX, M. — Estude des sols formés sur roches carbonatées: Pedogenèse ferrallitique au Liban. Mémoire ORSTOM n.º 56. Paris, 1972, 266p.
- NIMER, E. — Climatologia da Região Nordeste do Brasil: Introdução à climatologia dinâmica. Rev. Bras. Geogr., 34(2): 3 - 51, 1972.
- OLLAT, C. & PELLOUX, P. — Analyse d'un échantillon de sol ou d'argile par attaque triacide. ORSTOM-França, 1957, 16p.
- QUANTIN, P. & LAMOIROUX, M. — Adaptation de la méthode cinétique de Segalen à la détermination des constituants minéraux de sols variés. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XII: 13-46, 1974.
- SCHWERTMANN, U. — La formation de goethite et d'hémataïte dans les sols et les sédiments. Int. Clay. Conf. 1966, Jérusalem, 1: 159-165, 1966.
- SEGALEN, P. — Note sur méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VI: 105-126, 1968.
- SEGALEN, P. — Extraction du fer libre des sols à sexquioxides par la méthode de Endredy par irradiation à l'ultraviolet de solutions oxaliques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VIII: 483-496, 1970.
- SEGALEN, P.; PARROT, J.F.; ICHTERZ, M.N. & VERDONI, P. — Effet de la méthode d'extraction des produits ferrugineux sur quelques minéraux purs. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., X: 251-271, 1972.

SOLOS DA REGIÃO DE SÃO PEDRO, ESTADO DE SÃO PAULO. I. PROPRIEDADES GRANULOMÉTRICAS E QUÍMICAS⁽¹⁾

J.L.I. DEMATTÉ⁽²⁾ & N. HOLOWAYCHUK⁽³⁾

RESUMO

Aspectos granulométricos e químicos foram estudados em oito pedons localizados em uma toposequência de 25 km de extensão, norte do rio Piracicaba, na região de São Pedro. Existem diferenças marcantes entre os solos localizados nas superfícies mais elevadas (Pedons 6, 7 e 8) quando comparados com os solos localizados nas superfícies mais baixas (Pedons 1 a 5). Geralmente o primeiro grupo de solos é mais argilosos e o teor de argila fina é proporcionalmente menor que os solos do segundo grupo. A quantidade de silte é normalmente baixa para todos os solos com exceção do Pedon 8. A argila natural parece estar relacionada com a magnitude das cargas positivas ou negativas, indicadas pelo Δ pH.

Quimicamente também existem diferenças entre os dois grupos de solos. O teor de carbono orgânico para os solos localizados nas superfícies mais baixas é menor quando comparado com os demais solos, sendo que a textura mais grosseira, o uso atual e a altitude foram considerados como fatores que contribuiram para esta diferença. De uma maneira geral tais solos são pobres em bases e ácidos. Cargas positivas foram encontradas somente nos solos localizados nas superfícies mais elevadas (solos mais intemperizados). A capacidade de troca catiônica é normalmente baixa, com exceção do Pedon 3, refletindo o elevado grau de intemperismo destes solos. O alumínio trocável está normalmente associado com os valores de Δ pH.

SUMMARY: SOILS FROM SÃO PEDRO REGION, SÃO PAULO STATE. I. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES.

Eight pedons representing soils found on successively higher landscapes along 25 km transect north of Piracicaba River were investigated as to their physical and chemical properties.

There is a marked difference among the soils located on higher surfaces and the soils located on lower surfaces in these properties. Pedons 6, 7 and 8 more clay and a low proportion of fine clay than the other pedons. The amount of silt is low with exception in Pedon 8. The contents of water dispersable clay appear to be related to the magnitude of the negative or positive charge as indicated by Δ pH.

The soils on the lower surfaces have markedly lower contents of organic carbon compared to soils on the higher surfaces. The coarse texture, cultivation, and lower altitude are considered to be the factors that contributed to the lower carbon content found in the soils on the lower surfaces. In general the soils studied are characterized by higher acidity, very low contents of exchangeable bases, and low base saturation. Positive values for Δ pH are found in the lower horizons of pedons located on the higher surfaces. The cation exchange capacity (CEC) is low in most of the soils, except to Pedon 3 and it is related to organic matter content, especially in soils on the higher surface. Exchangeable Al is related to Δ pH values.

INTRODUÇÃO

A região de São Pedro, no Estado de São Paulo, tem sido objeto de estudos nas mais diversas áreas entre as quais a geomorfológica principalmente com os trabalhos de Penteado (1969) e Queiroz Neto, este sobre as formações superficiais em texto ainda não publicado, e na área pedológica (Dematté, 1975). Esta região foi selecionada

devido a uma série de razões, entre as quais os seguintes fatores foram considerados importantes: a grande variedade do material superficial, das características dos solos, topográficas e geomorfológicas além das diversas alternativas e uso da terra.

Neste trabalho propõe-se estudar as propriedades granulométricas e químicas em uma toposequência de solos da região de São Pedro.

MATERIAL E MÉTODOS

A área selecionada para este estudo está localizada no distrito de São Pedro, 4 km a oeste da cidade do mesmo nome, no Estado de São Paulo. Ela forma uma toposequência, que vai desde o rio Piracicaba,

(1) Extraído da tese não publicada de Ph.D. "Characteristics and Classification of a toposequence of soils near Piracicaba, Brazil." Recebido para publicação em março de 1977 e aprovado em setembro de 1977.

(2) Departamento de Solos e Geologia, E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP

(3) Agronomy Department, Ohio State University, EUA.