

OCORRÊNCIA DE MONTMORILONITA EM ALGUNS SOLOS DESENVOLVIDOS DO ARENITO DE BOTUCATU *

J. L. I. DEMATTÊ **

A. C. TEIXEIRA MENDES **

L. GERALDI FILHO ***

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a ocorrência de montmorilonita em solos desenvolvidos do arenito de Botucatu no município de Piracicaba. Tais solos são os seguintes: Regossol (série Ribeirão Claro), Podzólico Vermelho Amarelo-variação Laras (série Ibitiruna) e Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho Amarelo. Foram selecionados cinco perfis, sendo dois pertencentes ao Regossol (perfis P₁ e P₂), dois ao Podzólico (perfis P₃ e P₄) e um ao Regossol "intergrade" (perfil P₅).

As amostras dos cinco perfis, em número de 33, foram tratadas convenientemente para se processar a eliminação de sais solúveis e agentes cimentantes (matéria orgânica, óxidos de ferro livres, etc), e assim facilitar o estudo da fração argila. Nesta fração foram feitas as determinações químicas (% de K₂O, sílica, alumina e C.T.C.) e mineralógicas (raios X e análise térmica diferencial). Também determinações granulométricas e químicas foram realizadas em todas as amostras.

Os perfis P₁ e P₂, que não apresentaram rocha consolidada, tiveram a caolinita como mineral dominante (acima de 50%). Os perfis P₃, P₄ e P₅, que apresentaram como material de origem a rocha arenítica consolidada, tiveram a montmorilonita como mineral dominante, apresentando todavia, diferenças quanto ao teor desse mineral.

Assim, o Podzólico Vermelho Amarelo-variação Laras, que possui o arenito de Botucatu de estratificação plano-paralela como material originário, teve um teor médio de montmorilonita de 35%, enquanto que o Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho Amarelo, com o mesmo arenito, mas de estratificação cruzada como material originário apresentou um teor médio de montmorilonita de 57%.

A presença da montmorilonita nestes dois solos se deve a uma herança do material originário e não à formação local, por intemperização. Neste caso, o material originário deve ter tido, em outras épocas, condições favoráveis para a formação deste mineral, ou seja, clima semi-árido,

* Entregue para publicação em 31-8-72.

** Professores do Departamento de Solos e Geologia — ESALQ-USP.

*** Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

riqueza de Ca, Mg, Na, baixa relação Si/Al e baixo teor de H.

Pelos resultados obtidos, os perfis P_1 e P_2 , parecem não pertencer ao arenito de Botucatu. Infelizmente, devido à falta de dados mineralógicos da rocha do arenito de Botucatu de outras regiões do Estado, não foi possível verificar se a ocorrência da montmorilonita é ou não comum neste arenito. Outras pesquisas devem ser executadas visando este objetivo.

INTRODUÇÃO

Estudando recentemente algumas amostras de argila obtidas de solos arenosos desenvolvidos do arenito de Botucatu no município de Piracicaba, observou-se pela difração dos raios X, a presença dominante de minerais de argila de grade expansiva.

Tal fato causou surpresa por diversos motivos, entre os quais:

- a. os solos possuem drenagem boa a excessiva;
- b. o complexo coloidal dos solos está saturado, principalmente, com íons de H^+ , sendo portanto, quimicamente pobre.

Fazendo uma revisão bibliográfica a respeito da influência do meio ambiente na formação de minerais de argila, KELLER (25) observou que as condições sob as quais a montmorilonita se forma contrastam com aquelas em que se desenvolve a caolinita. A montmorilonita forma-se em um sistema químico caracterizado pela alta relação Si/Al, relativa abundância de Mg, Fe, Ca, Na e K e, uma baixa concentração de íons H.

O clima, por sua vez, aliado a um sistema de drenagem eficiente, é tão importante quanto o material de origem. Se é semi-árido, a hidrólise da sílica se dá enquanto houver umidade no solo; mas, em advindo o período seco, a solução de cátions, originalmente diluída, torna-se saturada com Mg, Ca, Fe, Na, etc., que combinam com o grupo Si-O-Al formando montmorilonita. Desta maneira, pela utilização dos íons divalentes da água subterrânea, as rochas graníticas, que são ricas em K e Na, mas pobres em Ca, podem alterar-se para montmorilonita em climas semi-áridos.

Por outro lado, em clima úmido associado a uma boa drenagem do solo, as bases são normalmente eliminadas tornando-se o ambiente favorável à formação de caolinita.

Se nestas condições climáticas, a drenagem do solo for impedida (pobre), haverá concentração de bases e sílica que reconstituirão o sistema químico adequado à formação de montmorilonita.

A influência da drenagem do solo na formação de minerais de argila, em clima tropical, foi muito bem demonstrada pelos trabalhos de MOHR e Van BAREN (27). Tais autores verificaram que laterita e montmorilonita foram formadas a curta distância uma da

outra, provenientes do mesmo material de origem (rocha ígnea) e nas mesmas condições de clima. A única exceção imposta pelo meio ambiente, que proporcionou a formação tanto de laterita como de montmorilonita, foram as condições da drenagem, pois enquanto a primeira se formou em um ambiente de boa drenagem, a segunda foi formada em condições de drenagem pobre, rica em sílica e íons metálicos.

Segundo DE VILLIERS (14), nas condições de clima tropical úmido, o abundante suprimento da umidade e elevada temperatura acompanhados de uma rápida mineralização de grandes quantidades de matéria orgânica, são responsáveis por um intenso catamorfismo dos minerais primários. Solos destas regiões consistem de minerais primários resistentes, de argilas do tipo 1:1 e de óxido de ferro livre. Aliás, resultados semelhantes a estes foram encontrados por diversos autores que trabalharam com solos tropicais de drenagem boa (6, 8, 11, 12, 15, 28).

É fato passivo que, as condições de formação de montmorilonita, por intemperismo e em clima tropical, são as seguintes:

- a. grande concentração de Ca, Mg, Fe, Na;
- b. alta relação Si/Al;
- c. drenagem do solo impedida evitando, com isso, a perda de bases;
- d. baixo teor de H.

Entretanto, tais condições não foram observadas nos solos examinados. Um dos principais objetivos pretendidos neste trabalho é o de tentar interpretar a provável origem da montmorilonita e verificar, em quais solos, tal mineral ocorre dentre as unidades descritas pela COMISSÃO DE SOLOS (10) como sendo originada do arenito de Botucatu.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Solos

O presente trabalho tem como um de seus objetivos o estudo mineralógico da fração argila de solos desenvolvidos do arenito de Botucatu na região de Piracicaba. De acordo com a COMISSÃO DE SOLOS DO CNEPA (10) estes são os seguintes: Regossol, Podzólico Vermelho Amarelo-variação Laras e Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho Amarelo.

De acordo com RANZANI *et al* (30), as séries Ribeirão Claro e Ibitiruna enquadram-se, respectivamente, como Regossol e como PVA-variação Laras. Não se encontrou todavia, correspondência para o Regossol "intergrade" PVA.

Para a demarcação dos perfis, efetuou-se preliminarmente, uma excursão exploratória à área demarcada por RANZANI et al (30) com a finalidade de obter-se uma idéia da distribuição das unidades de solos.

Foi verificado que a série Ribeirão Claro está sempre associada com a série Ibitiruna, e que ocorre numa altitude de aproximadamente desde 580 a 630 m, estando sempre acima da série Ibitiruna. Devido a tal fato optou-se pela escolha de uma seqüência catenária que relacionasse os perfis destas duas séries, sendo coletadas amostras de dois perfis de cada uma delas.

O Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho Amarelo normalmente não está associado a nenhum outro solo. Sua área de ocorrência é homogênea e o material originário é o arenito de Botucatu eólico. Coletaram-se amostras de um perfil desta unidade de mapeamento.

O Quadro 1 apresenta as designações dos perfis estudados e suas classificações, segundo diversos autores, enquanto que o 2, as principais características morfológicas dos perfis P₂, P₃ e P₅.

QUADRO 1 — Designação dos perfis estudados e as classificações correspondentes.

Perfil	Série (RANZANI et al, 30)	Grande grupo ou fase de grande grupo (COMISSÃO DE SOLOS, 10)	Ordem soil survey STAFF,31)
1	Ribeirão Claro	Regossol	Orthopsamment
2	Ribeirão Claro	Regossol	Orthopsamment
3	Ibitiruna	PVA — variação Laras	Typochrult
4	Ibitiruna	PVA — variação Laras	Typochrult
5	—————	Regossol "intergrade" para Podzólico Verme- lho Amarelo	Orthopsamment

Os perfis estudados situam-se no município de Piracicaba, sendo que os quatro primeiros foram amostrados no bairro Ibitiruna e o quinto a 15 km de Piracicaba, na estrada que o liga à cidade de Conchas.

A figura 1 apresenta a disposição, por altitude, dos perfis P₁, P₂, P₃ e P₄.

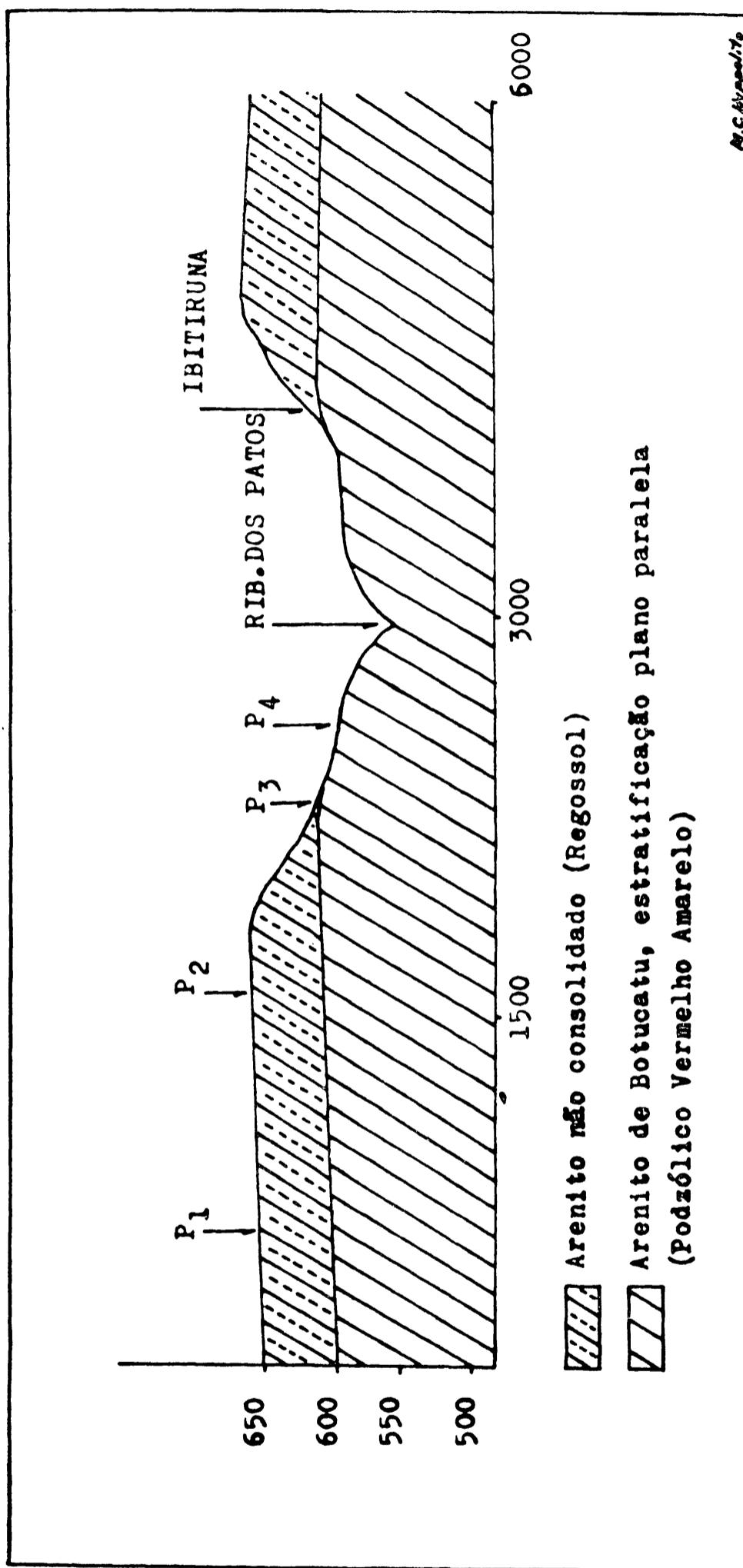


Fig. 1 — Corte esquemático da área de ocorrência dos perfis P₁, P₂, P₃ e P₄.

QUADRO 2 — Principais características morfológicas dos perfis P₁, P₃ e P₅.

Horizontes	Profundidade	Cor Umida		Textura	Estrutura	Consistência	Observações
		Matiz	Mosqueado				
Regossol — Perfil P ₁							
A11	0 — 20	5 YR 4/3		areia	maciça	mac., solto, não pl., não peg.	
A12	20 — 40	5 YR 4/4	2,5 YR 5/8	areia	maciça	mac., solto, não pl., não peg.	
C1	40 — 80	5 YR 4/6	2,5 YR 5/8	areia	maciça	mac., solto, não pl., não peg.	
C2	80 — 120	5 YR 4/6	2,5 YR 5/8	ar. bar.	maciça	mac., solto, não pl., não peg.	
C3	120 — 160	7,5 YR 5/6		ar. bar.	maciça	mac., solto, não pl., não peg.	
C4	160 — 200	7,5 YR 5/6		ar. bar.	maciça	mac., solto, não pl., não peg.	linha de pedras
Regossol "intergrade" — Perfil P ₅							
Ap	0 — 15	10 YR 4/2		ar. bar.	maciça	mac., fr., não pl., não peg.	
A2	15 — 30	10 YR 4/2	2,5 YR 4/8	areia	maciça	mac., fr., não pl., não peg.	
B21	30 — 50	7,5 YR 3/2	5 YR 4/6	b. aren.	bl. md. mod.	lig. duro, fr. pl., peg.	
B22	50 — 85	2,5 YR 3/4	5 YR 4/6	b. arg. aren.	bl. pq. fraco	mac., fr. lig. pl., lig. peg.	
B3	85 — 140	2,5 YR 3/4	5 YR 5/8	b. arg. aren.	maciça	mac., fr. lig. pl., lig. peg.	cerosidade
C1	140 — 160	2,5 YR 3/4	5 YR 5/8	b. arg. aren.			
C2	160 — 180	2,5 YR 5/8	5 YR 5/8	b. arg. aren.			
Podzólico Vermelho Amarelo — Perfil P ₃							
Ap	0 — 20	7,5 YR 4/2		ar. bar.	maciça	macio, fr. não pl., não peg.	
A3	20 — 40	5 YR 4/3		ar. bar.	maciça	macio, fr. não pl., não peg.	
(B2)	40 — 80	5 YR 4/6	2,5 YR 5/8	ar. bar.	maciça	macio, fr. não pl., não peg.	
(B3)	80 — 120	5 YR 4/8		ar. bar.	maciça	macio, fr. não pl., não peg.	
C	120 — 200	5 YR 4/8		ar. bar.	maciça	macio, fr. não pl., não peg.	

bl = bloco; md = média; mod = moderada; pq = pequena; mac = macio; pl = plástico; peg = pegajosos; fr = friável; lig = ligeiramente.

2. Análises mecânica e química dos solos

Na determinação das classes dos separados do solo foi usado o método da pipeta descrito por KILMER e ALEXANDER (26), empregando-se como dispersante uma solução de hexametáfosfato de sódio.

A capacidade de troca de cátions, o cálcio e o magnésio trocáveis foram determinados segundo os procedimentos descritos por GLÓRIA et al (16, 17).

O potássio trocável, fósforo solúvel e hidrogênio foram determinados através das especificações de CATANI et al (9), e o pH com um potenciômetro "Leeds e Northrup", usando-se relação solo/água e solo/KCl de 1:1.

3. Análise da fração argila do solo

Os sais solúveis e cátions divalentes foram removidos através de solução de acetato de sódio (22). A oxidação da matéria orgânica e a eliminação do MnO_2 foram executadas tratando-se o solo com peróxido de hidrogênio (22). O método utilizado para a remoção do óxido de ferro livre foi o do ditonito — citrato — bicarbonato de sódio (22). A dispersão do solo e o fracionamento da argila em frações grossa e fina foram conseguidos seguindo-se as recomendações de JACKSON (22).

Após a separação as argilas foram saturadas com K^+ e com Mg^{++} e montadas em lâminas de vidro para exame difratométrico (22).

A identificação dos diversos minerais de argila e filossilicatos foi feita com o auxílio da difração dos raios X. Os espaçamentos basais de 1.^a ordem, levados em conta para a identificação, encontram-se no Quadro 3 (22 e 24).

QUADRO 3 — Influência dos diversos tratamentos nos espaçamentos basais dos minerais de argila

Tratamentos	Espaçamento basal em Angstrom						
	Gibbsita	Caolinita	Mica	Montmorilonita	Vermiculita	Vermiculita	Clorita
Mg — glicolada	4,85	7,2	10	17	14	14	14
K — 25° C	4,85	7,2	10	14	10	10–14	14
K — 350° C	0,00	7,2	10	10	10	10–14	14
K — 550° C	0,00	0,0	10	10	10	10–14	14

A mica foi determinada pelo potássio total (21); a caolinita e a gibbsita pela análise térmica diferencial (13); o material amorfo pela dissolução seletiva utilizando-se o NaOH 0,5 N (2); e finalmente, as vermiculita e montmorilonita pela C.T.C. (1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Quadros 4 e 5 apresentam a análise quantitativa da fração argila, dos cinco perfis estudados.

QUADRO 4 — Análise mineralógica quantitativa dos perfis P₁ e P₂

Horizonte	Profundidade	%						Total
		Caolinita	Material Amorfo	Gibbsita	Vermiculita	Mica	Montmorilonita	
Regossol — Perfil P₁								
A ₁₁	0— 20	74,0	17,3	1,0	1,6	2,5	8,8	105,2
A ₁₂	20— 40	73,0	14,0	0,5	4,2	2,0	1,4	95,1
C ₁	40— 80	80,0	13,4	1,0	4,9	1,4	2,0	102,7
C ₂	80—120	58,0	20,1	0,0	7,8	2,1	1,9	89,9
C ₃	120—160	86,0	10,8	0,5	2,6	1,6	2,3	103,8
C ₄	160—200	76,5	16,1	0,0	3,0	1,5	3,5	100,6
Regossol — Perfil P₂								
A ₁₁	0— 20	80,0	13,2	1,0	2,1	1,6	5,2	103,1
A ₁₂	20— 40	59,5	12,4	0,0	6,4	1,7	10,4	90,4
C ₁	40— 80	52,0	18,2	0,0	9,6	1,8	2,2	83,8
C ₂	80—120	53,0	18,4	0,0	9,0	1,6	4,4	86,4
C ₃	120—160	81,0	14,6	0,5	2,0	1,6	3,7	103,4
C ₄	160—240	55,5	14,9	0,0	9,9	1,9	2,9	85,1

QUADRO 5 — Análise mineralógica quantitativa dos perfis P₃, P₄ e P₅.

Horizonte	Profundidade	%						Total
		Caolinita	Material Amorfo	Gibbsita	Vermiculita	Mica	Montmorilonita	
Podzólico Vermelho Amarelo — Perfil P₃								
A ₂	20— 35	28,5	7,8	0,00	15,4	10,1	34,9	85,1
Ap	0— 20	21,0	3,7	0,00	14,8	15,0	32,5	98,6
B ₂₁	35— 50	27,0	8,1	0,00	19,0	12,0	28,3	94,4
B ₂₂	50— 85	19,0	8,3	0,00	19,4	13,4	22,8	82,9
B ₃	85—120	30,0	10,5	0,00	14,5	13,7	31,4	100,1
C ₁	120—145	28,0	6,8	0,00	16,0	12,6	33,9	97,3
C ₂	145—180	28,0	7,9	0,00	12,0	14,0	41,8	103,7
C ₃	180—200+	15,5	6,7	0,00	14,0	13,4	45,6	95,2
Podzólico Vermelho Amarelo — Perfil P₄								
Ap	0— 20	20,0	5,6	0,00	16,4	6,7	38,1	86,8
A ₂	20— 30	10,0	9,4	0,00	19,0	9,0	40,2	87,6
B ₂	30— 70	24,5	9,1	0,00	19,6	9,1	33,5	95,8
B ₃	70— 90	22,0	10,0	0,00	20,0	5,9	33,5	91,4
C	90—130	20,0	5,4	0,00	18,4	6,9	40,0	90,7
Regossol "Intergrade" para P.V.A. — Perfil P₅								
Ap	0— 20	18,5	5,9	0,00	12,4	5,1	31,8	73,7
A ₃	20— 40	21,0	6,6	0,00	13,8	6,1	47,7	95,2
(B ₂₁)	40— 60	10,0	7,4	0,00	16,0	5,8	48,5	87,7
(B ₂₂)	60— 80	6,0	6,0	0,00	18,4	4,9	52,5	87,8
(B ₃₁)	80—100	5,5	4,6	0,00	10,1	3,8	77,2	101,2
(B ₃₂)	100—120	5,5	4,9	0,00	14,5	3,6	70,4	98,9
C ₁	120—140	5,0	4,7	0,00	15,0	7,1	66,1	98,4
C ₂	140—160+	5,0	5,2	0,00	16,0	2,8	65,6	94,1

Este grupo de perfis pode ser dividido de acordo com a análise mineralógica, em dois subgrupos, ou seja, um contendo elevado teor de caolinita (perfis P₁ e P₂) e outro um baixo teor deste mineral (perfis P₃, P₄ e P₅).

Os teores de caolinita dos perfis P₁ e P₂ apresentam uma grande variação de acordo com a profundidade do solo. O teor máximo deste mineral é de 86% (perfil P₁, horizonte C₃) e o mínimo de 52% (perfil P₂, horizonte C₁).

De acordo com a sequência de intemperização dos minerais de diâmetro inferior a dois microns (19), o teor de caolinita tende a decrescer da superfície para os horizontes mais inferiores. Observando-se o comportamento nos teores de caolinita, notou-se que na altura dos horizontes C₃ dos dois perfis, os teores são os mais elevados, decrescendo em seguida. Tal fato pode sugerir a hipótese de que os quatro primeiros horizontes foram transportados e depositados sobre os demais horizontes dos dois perfis. Entretanto, uma conclusão segura a respeito desta provável descontinuidade litológica, poderia ser verificada com a análise mineralógica da fração areia, através de diversos índices (7). No entanto, este trabalho não foi executado visando tal finalidade. Por outro lado, o teor de mica da fração argila pode ser perfeitamente utilizado como um mineral índice para questões de intemperismo, aliás com resultados excelentes no diagnóstico de descontinuidades litológicas (11), desde que o teor deste mineral seja significativo. Entretanto, observando-se o comportamento da mica nestes dois perfis, notou-se que esta apresenta baixos valores (valor máximo de 2,5%), aliados também uma pequena variação em profundidade. Estas características excluíram-na pois, como um instrumento útil na elucidação do intemperismo, pois a pequena variação em profundidade poderia perfeitamente ser explicada pelas variações não do solo, mas sim das análises executadas. Além disso, de acordo com os trabalhos geomorfológicos da região (29), a presença de sedimentos profundos e arenosos, associados ao arenito de Botucatu, são explicados como sendo provenientes de diversos ciclos erosivos. Tal fato, portanto, sugere que os Regossóis da região onde estão incluídos os perfis P₁ e P₂, devem ter sido retrabalhados e depositados no local atual, resultando daí as variações nos teores de caolinita.

Logo após a caolinita, em quantidade, vem o material amorfo ou a alofana. Seus teores são relativamente elevados, estando na faixa dos 10 aos 20%. De acordo com JACKSON et al (19) a posição ocupada pelo material amorfo na escala do intemperismo é a de número 10, juntamente com a caolinita.

A montmorilonita, determinada por capacidade de troca de cátions, apresenta teores baixos, normalmente inferiores a 10%.

Finalmente, o mineral com mais baixo valor está representado pela gibbsita (teor máximo de 1,0%). Pôde-se observar ainda, que esta ocorre normalmente onde os valores de caolinita são máximos. A presença de gibbsita em solos de clima tropical normalmente se deve a um processo de dessilicatização de minerais em estágios anteriores ou, segundo JACKSON (23), a uma dessilicatização intensa

(laterização). No presente caso tal mineral deve ter sido formado por intemperismo da caolinita.

Como o teor de caolinita é relativamente elevado na maioria dos horizontes, inclusive nas camadas mais inferiores, ela deve ter sido, em parte, herdada do material originário e, em parte formada por intemperismo da mica via vermiculita. A presença da vermiculita em solos tropicais foi verificada por diversos autores (12, 15, 28) e MOHR e Van BAREN (27) explicam a sua ocorrência por ser ela um estágio intermediário entre o intemperismo da mica para a caolinita.

A figura 2 ilustra uma sequência de difratogramas dos principais horizontes do perfil P₁, e a 3, difratogramas correspondentes aos diversos tratamentos para o horizonte C₂ do perfil P₂. O espaçamento a 14 Å corresponde ao espaçamento de primeira ordem da vermiculita. A caolinita está representada pelos espaçamentos de 7,18 e 3,58 Å, de primeira e segunda ordem, respectivamente. Picos endotérmicos destes dois perfis, na região entre 550° e 600°C (caolinita) estão apresentados na figura 8.

Examinando-se as condições de solo e clima que agem no processo de transformação de material dos perfis P₁ e P₂ (Regossóis) pode-se notar diversos fatos. Assim é que:

- a. os regossóis são ricos em macroporos, resultando, com isto, uma rápida passagem da água através de seus perfis (veja-se a análise mecânica no Quadro 6);
- b. o clima da região é do tipo Cwa, com precipitações pluviométricas concentradas no período de setembro a fevereiro com uma média anual de 1.200 mm. A temperatura do mês mais quente é superior a 22°C;
- c. devido as condições apresentadas em **a.** e **b.**, há uma grande lixiviação do solo. As bases solúveis são facilmente removidas do perfil e o complexo coloidal fica saturado com íon hidrogênio (veja-se a análise química no Quadro 6). Neste caso, os solos tendem a ficar ácidos e o intemperismo se manifesta de maneira drástica (20, 23). Tais condições são favoráveis pois à formação de caolinita (25).

No Estado de São Paulo o arenito de Botucatu tem dado origem a diversos solos arenosos, entre os quais os regossóis, latossóis-fase arenosa e regossóis "intergrades" (10). Do exame do comportamento mineralógico de tais solos notou-se que o teor de gibbsita é sempre elevado. Assim é que ANDRADE (4), trabalhando com regossóis e

QUADRO 6 — Composição granulométrica e características químicas dos perfis P₁ e P₂

Hori- zontes	Granulometria* — %						pH	e. mg/100 g					V %	
	A mg	Ag	Am	Af	Amf	Argila		Ca	Mg	K	H + Al	CTC		
	Regossol — Perfil P ₁													
A ₁₁	0,13	3,39	26,05	53,65	7,16	3,63	6,49	5,3	0,80	0,12	0,12	1,82	2,78	34,21
A ₁₂	0,08	2,89	25,33	53,34	6,93	4,79	4,61	5,2	0,60	0,13	0,07	1,00	2,96	27,03
C ₁	0,07	3,32	26,09	50,31	8,38	0,80	10,95	4,6	0,40	0,06	0,03	2,65	2,40	20,42
C ₂	0,17	3,14	24,21	51,90	8,25	2,51	9,82	4,5	0,25	0,07	0,03	2,69	2,22	15,76
C ₃	0,13	3,45	25,26	52,41	7,00	1,33	10,42	4,5	0,24	0,08	0,03	2,09	2,16	16,20
C ₄	0,10	3,60	28,96	49,21	6,74	0,12	11,27	4,5	0,19	0,11	0,03	2,07	2,34	14,10
	Regossol — Perfil P ₂													
A ₁₁	0,09	1,13	20,13	66,36	6,80	1,01	4,48	5,4	0,79	0,34	0,14	1,68	2,72	46,32
A ₁₂	0,10	0,84	18,37	65,68	7,30	2,05	5,66	5,4	0,96	0,16	0,06	2,31	2,66	44,36
C ₁	0,05	1,00	19,15	63,27	7,21	2,53	6,79	5,3	0,59	0,14	0,04	1,80	2,36	32,63
C ₂	0,03	0,84	16,43	64,18	9,28	2,24	7,00	5,3	0,56	0,09	0,04	2,08	2,32	29,31
C ₃	0,03	0,77	17,55	64,77	7,96	1,28	7,64	4,6	0,36	0,04	0,03	2,50	2,22	19,34
C ₄	0,08	1,10	23,12	61,04	5,70	0,33	7,64	4,5	0,42	0,06	0,03	1,62	2,08	24,52

(*) Amg = areia muito grossa; Ag = areia grossa; Am = areia fina; Amf = areia muito fina.

latossóis-fase arenosa da região de Rio Claro, encontrou teores de gibbsita em torno de 20% para o regossol e 15% para o latossol-fase arenosa (ambos os solos desenvolvidos do arenito de Botucatu). AVELAR (5), trabalhando na região de Botucatu com solos semelhantes, encontrou resultados quase idênticos aos de ANDRADE (4). A gibbsita, para o regossol está em torno de 5% e para os fase arenosa 15%.

Comparando-se tais resultados pode-se notar que, os regossóis originados do arenito de Botucatu, normalmente apresentam elevado teor de gibbsita, o que não ocorre com os perfis P₁ e P₂. Devido a tal fato, possivelmente este solo não se formou do arenito de Botucatu e sim de um material mais recente e possivelmente retrabalhado.

PENTEADO (29) descreve a Bacia de Sedimentação de Rio Claro, como sendo formada por sedimentos arenosos, mal consolidados, que aparecem acima das cotas de 580 m e pertencente à Era Neo Cenozoica. Essa superfície corta, indiferentemente, sedimentos da Formação Botucatu e do Grupo Passa Dois e completa-se como superfície de agradação nos depósitos arenosos modernos. Mais adiante tal autora afirma que — “Nas superfícies cortadas no Botucatu chegam a confundir-se com os regossóis formados a partir destas rochas, dos quais apenas se distinguem pela presença de depósitos rudáceos basais”. De acordo com esta descrição, e considerando que os perfis P₁ e P₂ não são originados do Botucatu e sim de material mais jovem, crê-se que sejam desenvolvidos do arenito da Formação Rio Claro.

Os resultados mineralógicos dos perfis P₃ e P₄ (Quadro 5) apresentam uma composição totalmente distinta dos perfis P₁ e P₂. Assim é que a montmorilonita é o mineral de argila dominante, com teores oscilando entre 22 e 45%, concentrando-se, ligeiramente, nos horizontes mais inferiores. Seguindo-se este mineral, a caolinita ocorre com teores em torno de 20% para o perfil P₄ e 25% para o P₃. Os demais minerais de grade 2: 1 (mica e vermiculita) somam 25%. O teor de material amorfo é baixo (menor do que 10%) e a gibbsita não ocorre.

Os difratogramas da figura 4 apresentam diversos espaçamentos correspondentes aos principais minerais aqui citados.

A montmorilonita, quando saturada com K⁺ e seca ao ar, apresenta espaçamentos, de primeira ordem, entre 12,4 e 12,8 (figura 5, difratograma 25°C). Com o aquecimento a 550°C tal espaçamento se contrai para a região dos 10 Å (figura 5, difratograma 550°C). Posteriormente, quando saturada com Mg e solvatada com glicerol

o espaçamento se expande para a região dos $17 \overset{\circ}{\text{Å}}$ (figura 5, difratograma glicolado).

O Regossol "intergrade" para Podzólico Vermelho Amarelo apresenta uma composição mineralógica (Quadro 5) semelhante à dos perfis do Podzólico Vermelho Amarelo. Difere, entretanto daquele solo, por apresentar um maior teor de montmorilonita (teor máximo de 77%). A caolinita apresenta-se com valores maiores nos horizontes superiores, decrescendo com o aumento da profundidade do solo, sendo seu valor mínimo de 5%. O pequeno valor deste mineral pode ser constatado pelo termograma apresentado pela figura 8. Nota-se que o pico endotérmico na região dos 550°C é pequeno. Os demais minerais de grade 2:1 (mica e vermiculita) apresentam teores entre 15 a 20%. A gibbsita é ausente também neste perfil e o material amorfo apresenta-se com valores inferiores a 7%.

A figura 6 indica uma sequência de difratogramas de amostras saturadas com K, e sem tratamento, dos principais horizontes deste solo. Nota-se que o espaçamento principal que ocorre neste perfil é o de $12,09 \overset{\circ}{\text{Å}}$. O reconhecimento preciso da montmorilonita pode ser observado pela figura 7.

Através do estudo das características dos perfis P_3 , P_4 e P_5 pôde-se notar que:

- a. os perfis da Podzólico Vermelho Amarelo são relativamente arenosos na superfície, e com teores de argila em torno de 20% nos horizontes inferiores (Quadro 7). Tais características, aliadas a uma boa estruturação favoreceram uma drenagem livre. O perfil P_5 , que é arenoso (Quadro 8), apresenta conseqüentemente uma drenagem boa;
- b. quimicamente, são solos pobres sendo o hidrogênio o íon dominante (Quadros 7 e 8).

Notou-se que o conjunto de características atualmente apresentadas por tais solos (perfis P_3 , P_4 e P_5) não são ideais para a formação de montmorilonita e sim de caolinita KELLER (25). Portanto, a caolinita seria o mineral dominante fato este que não ocorre.

De uma maneira geral os solos do Brasil, que apresentam boa drenagem e acidez acentuada, possuem a caolinita ou outro mineral mais intemperizado como mineral dominante.

Ora, se a montmorilonita ocorre em grande quantidade nestes solos e o ambiente atual não é favorável a sua formação, tudo leva a crer que tal mineral deve ter sido herdado do material originário destes solos. Tal hipótese é favorecida pelo ligeiro aumento deste mineral à medida que o solo fica mais profundo.

QUADRO 7 — Composição granulométrica e características químicas dos perfis P₃ e P₄

Horizontes	Granulometria* — %						pH	e. mg/100 g					V %	
	A mg	Ag	Am	Af	Amf	Silte		Argila	Ca	Mg	K	H + Al		CTC
Podzólico Vermelho Amarelo — Perfil P ₃														
Ap	0,00	0,07	5,09	43,85	34,84	11,10	5,05	5,4	2,02	0,38	0,38	3,02	5,96	49
A ₂	0,00	0,09	4,62	45,77	37,23	7,34	4,93	4,9	0,88	0,27	0,11	3,30	4,08	43
B ₂₁	0,00	0,07	4,19	38,51	33,76	7,44	16,03	4,6	2,73	0,47	0,20	3,49	8,06	56
B ₂₂	0,00	0,08	3,62	35,67	30,41	7,27	22,95	4,4	1,40	0,36	0,11	10,70	12,61	15
B ₃	0,00	0,03	3,25	33,33	33,48	8,01	21,90	4,4	0,48	0,26	0,10	11,70	12,60	8
C ₁	0,00	0,04	3,11	31,56	31,53	11,76	21,98	4,4	0,56	0,44	0,10	12,80	13,64	7
C ₂	0,00	0,09	2,30	31,06	31,06	15,61	19,88	4,4	0,64	0,48	0,10	14,00	14,66	5
C ₃	0,00	0,15	3,00	33,24	30,30	15,01	19,30	4,4	0,49	0,30	0,12	14,05	14,88	7
Podzólico Vermelho Amarelo — Perfil P ₄														
Ap	0,00	1,07	22,99	35,37	26,74	8,42	5,41	5,7	2,99	0,75	0,35	2,54	5,80	56
A ₂	0,00	0,41	21,90	36,65	30,66	5,21	5,17	5,9	1,55	0,30	0,11	2,60	4,60	45
B ₂	0,00	0,57	19,04	28,80	23,41	5,24	22,94	5,5	2,20	0,76	0,23	7,40	10,52	30
B ₃	0,00	0,40	18,24	30,27	24,20	5,12	21,77	4,9	2,48	1,05	0,22	9,50	11,86	26
C	0,00	0,90	27,94	28,88	18,40	7,03	16,85	4,8	1,06	0,67	0,27	12,60	14,56	14

(*) Amg = areia muito grossa; Ag = areia grossa; Am = areia fina; Amf = areia muito fina.

QUADRO 8 — Composição granulométrica e características químicas do perfil P₅ (Regossol "intergrade" para PVA)

Hori- zontes	Granulometria* — %							pH	e. mg/100 g					V %
	A mg	Ag	Am	Af	Amf	Silte	Argila		Ca	Mg	K	H + Al	CTC	
Ap	0,00	0,68	5,75	29,52	42,71	14,43	6,91	5,6	2,02	0,36	0,38	4,18	6,94	39
A ₃	0,00	1,08	7,09	28,55	38,36	13,56	8,36	5,3	1,60	0,29	0,11	4,09	6,09	32
(B ₂₁)	0,00	0,74	6,45	31,20	43,30	11,40	6,91	4,8	1,40	0,29	0,11	3,27	6,07	46
(B ₂₂)	0,00	1,49	10,58	27,68	37,46	15,72	7,07	4,8	0,60	0,51	0,11	8,28	9,40	12
(B ₃₂)	0,00	1,42	12,99	30,85	37,84	14,81	4,85	4,7	0,60	0,26	0,10	8,52	9,48	10
(B ₃₁)	0,00	1,91	13,96	27,24	37,23	12,34	4,56	4,7	0,48	0,70	0,10	8,62	9,80	13
C ₁	0,00	1,45	10,11	29,15	39,77	14,55	4,97	4,5	0,48	0,30	0,10	9,02	9,90	8
C ₂	0,00	0,47	12,90	25,81	33,19	22,50	5,13	4,5	0,40	0,22	0,10	9,18	9,90	7

(*) Amg = areia muito grossa; Ag = areia grossa; Am = areia fina; Amf = areia muito fina.

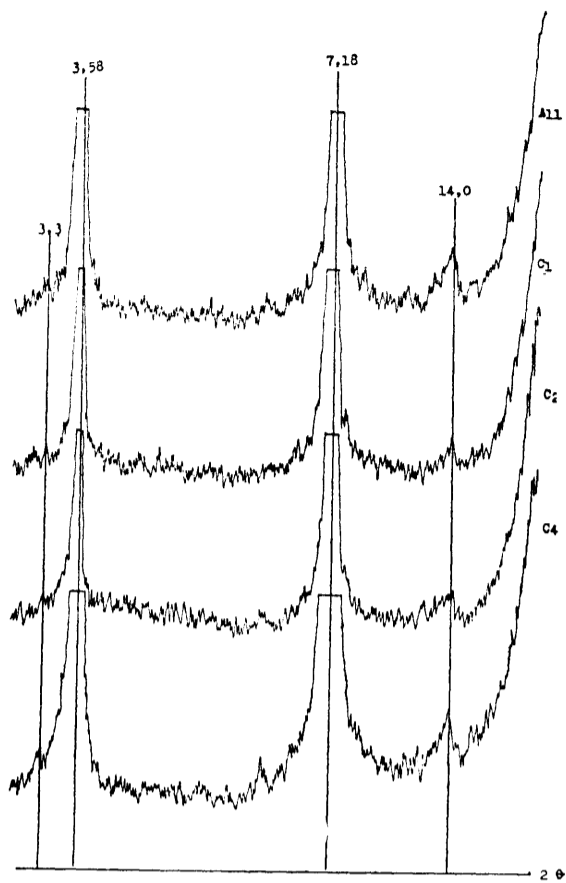


Fig. 2 — Difractogramas da fração argila dos principais horizontes do perfil P₁.

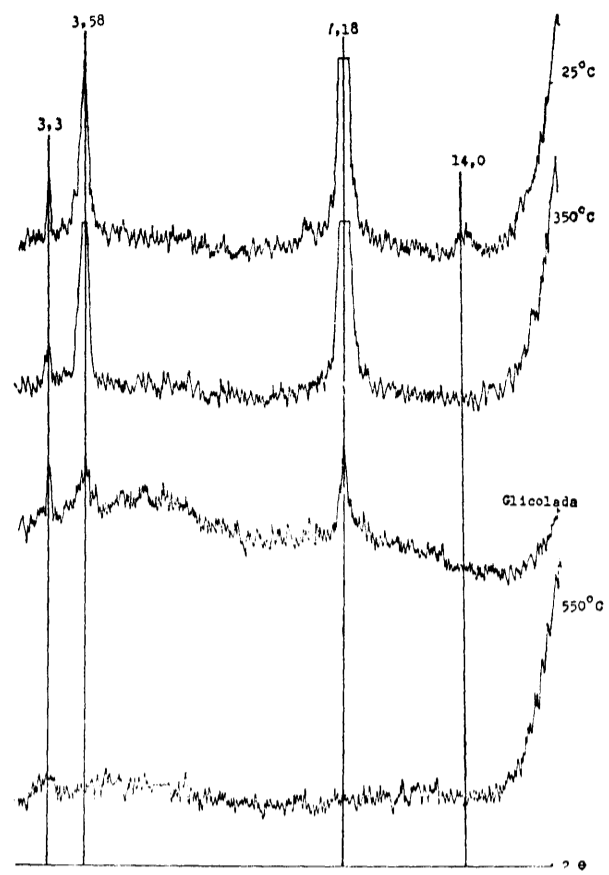


Fig. 3 — Difractogramas da fração argila, com diversos tratamentos, horizonte C₂, perfil P₂

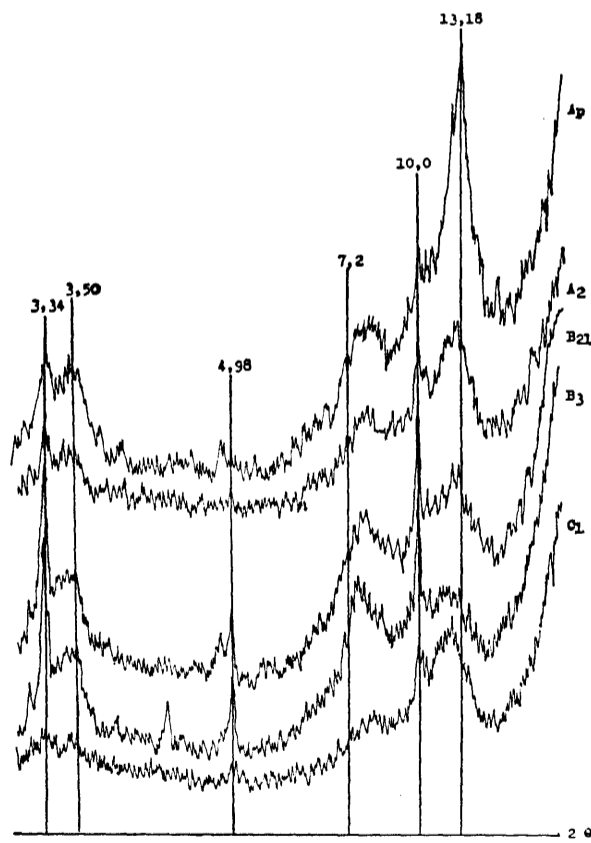


Fig. 4 — Difractogramas da fração argila dos principais horizontes do perfil P₃

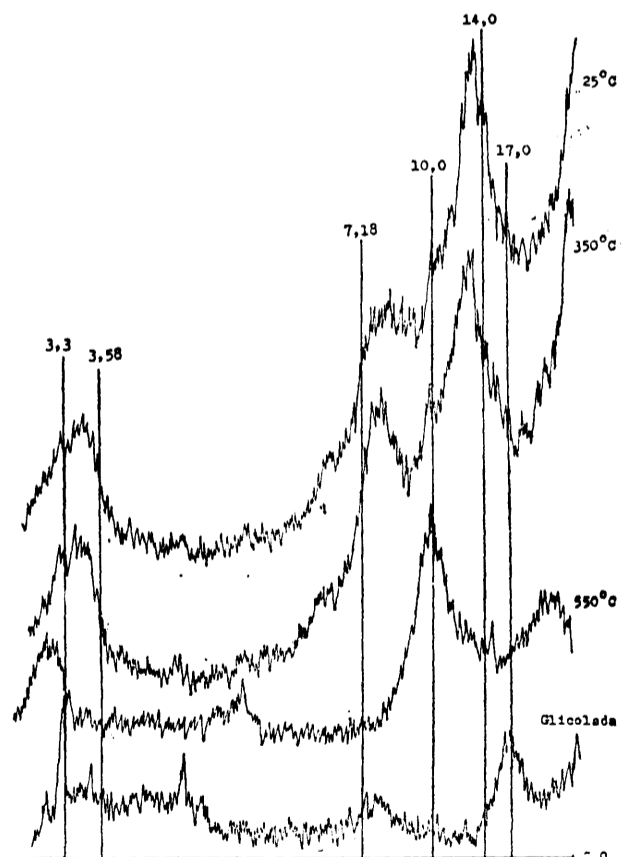


Fig. 5 — Difractogramas da fração argila, com diversos tratamentos, horizonte A₂, perfil P₄

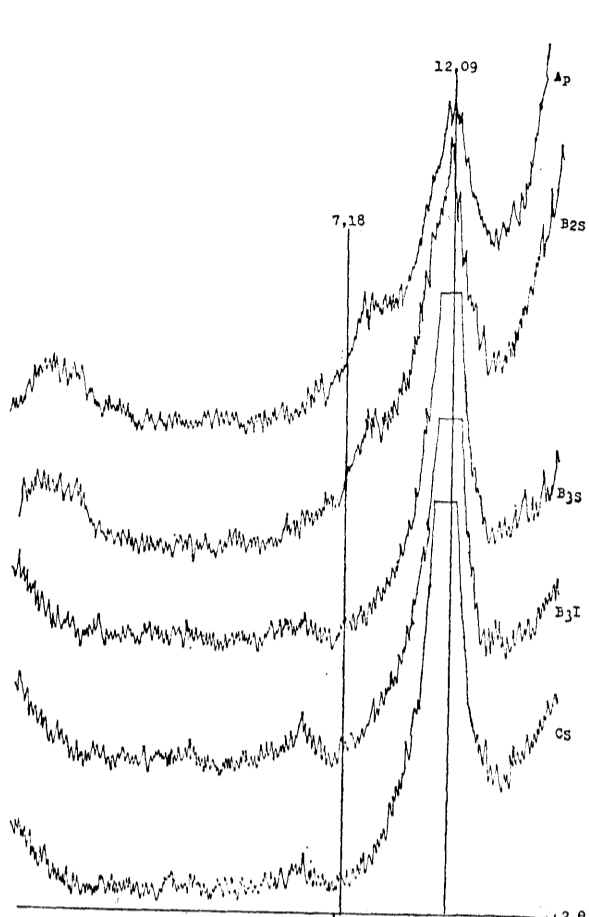


Fig. 6 - Difratogramas da fração argila dos principais horizontes do perfil P5.

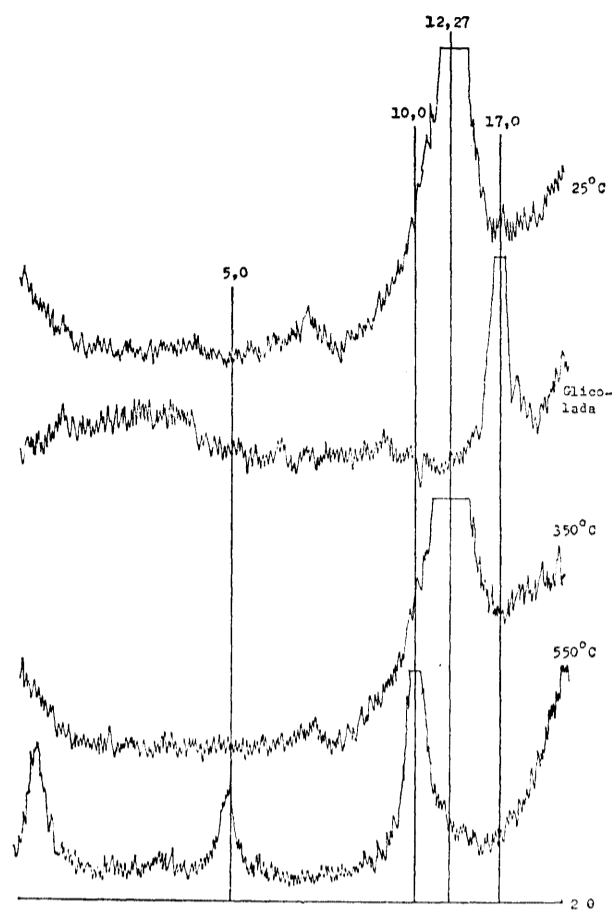


Fig. 7 - Difratogramas da fração argila, com diversos tratamentos, horizonte B3t, perfil P5.

De acordo com esta hipótese, o ambiente de formação do arenito de Botucatu ou do arenito que deu origem ao Podzólico Vermelho Amarelo e ao Regossol "intergrade" deve ter tido condições favoráveis à formação da montmorilonita. Em outras palavras, o ambiente deve ter sido rico em Ca, Mg, Fe, Na etc., ter uma baixa relação Si/Al e baixo teor de H, aliado a um clima semi-árido. Ou então, todas estas condições em clima mais úmido, porém com uma drenagem tal que impedisse a eliminação das bases e da sílica.

ALMEIDA (3) em 1964, descreveu duas fácies no arenito de Botucatu, uma fluvial e outra lacustre, ambas possuindo um ambiente úmido em sua formação. Tal autor salienta que não é rara a presença de cimentação calcária nestes depósitos, principalmente na fluvial. Ora o ambiente lacustre (úmido) aliado a uma riqueza de cálcio, ofereceria condições favoráveis à formação de montmorilonita. Tais observações sugerem, mas não provam, que todos os arenitos das fácies fluvial e lacustre da formação Botucatu, possuem montmorilonita como mineral dominante. Esta afirmação baseia-se unicamente no pequeno número de trabalhos publicados a respeito da mineralogia da fração argila destes arenitos. Particularmente, para a região de Piracicaba e para os solos estudados, pode-se afirmar que o arenito de Botucatu contém elevado teor deste mineral.

O teor de montmorilonita do Podzólio Vermelho Amarelo (média de 35%) é menor do que no Regossol "intergrade" (média de 57%). Foi observado que este fato sempre estava relacionado com a natureza da rocha: quando o arenito de Botucatu tinha uma estratificação plano-paralela, o solo originado era o Podzólio Vermelho Amarelo e, quando a estratificação era cruzada ocorria o Regossol "intergrade".

Partindo-se do princípio de que, na região de Piracicaba, o arenito de Botucatu possui grande teor de montmorilonita, os perfis P₁ e P₂ (Regossóis) não são originados desta formação geológica, pois tais perfis apresentam a caolinita como mineral dominante.

A presença de caolinita nos perfis P₃, P₄ e P₅ pode ser explicada, em parte, pela dessilicatização da montmorilonita. Assim é que, quanto maior o teor de montmorilonita, menor é o de caolinita (Quadro 8). A ausência de gibbsita nestes perfis e a pequena quantidade de caolinita indicam que tais solos são ainda muito jovens quando comparados com outros solos de clima tropical, principalmente os latossóis.

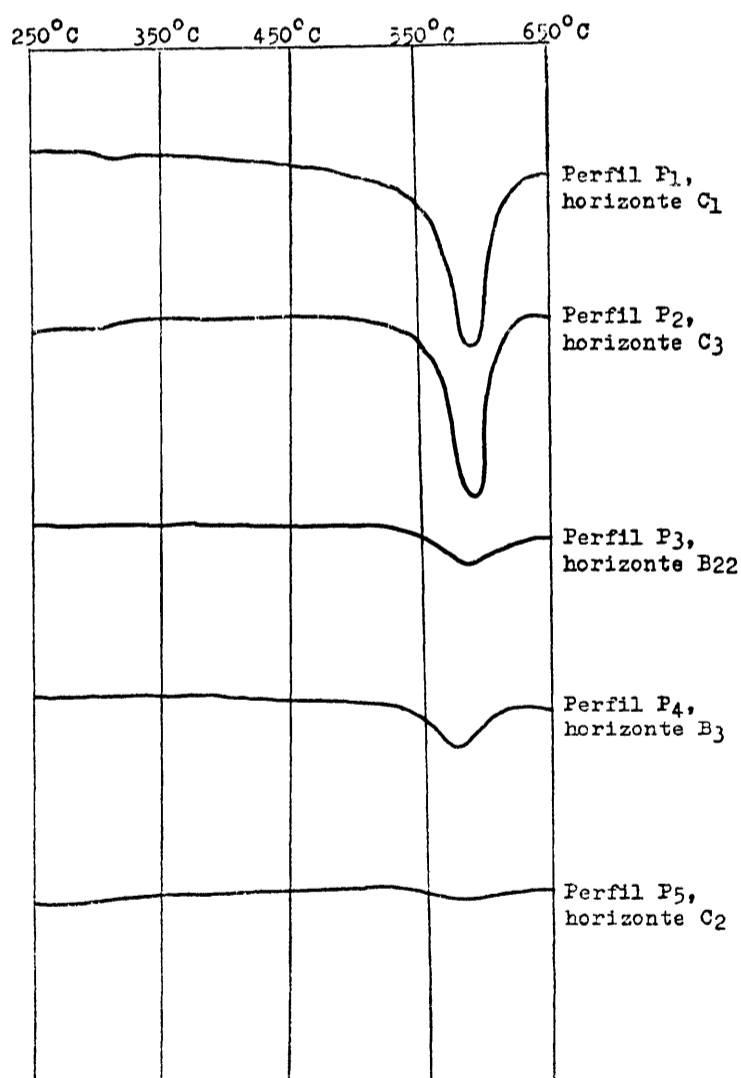


Fig. 8 - Termogramas da fração argila de horizontes dos perfis estudados.

SUMMARY

OCCURENCE OF MONTMORILLONITE IN SOME SOILS DEVELOPED FROM BOTUCATU SANDSTONE

Five soil profiles developed from Botucatu Sandstone were selected for a study of the occurrence of montmorillonite. These were, respectively, two Regosols (P_1 and P_2), two Red-Yellow Podzolic-Laras variation (P_3 and P_4) and an Intergrade Regosol (P_5). A total of 33 samples were taken from these profiles. Particle size distribution and routine chemical characterization was done for all samples.

The clay fraction of each sample was submitted to the following analysis: determination of $\%K_2O$, silica, aluminum, cation exchange capacity, X-ray diffraction and DTA.

Kaolinite was the dominant clay mineral in the soil profiles overlying unconsolidated rock material (P_1 and P_2) whereas montmorillonite was dominant in those overlying consolidated rock (P_3 , P_4 and P_5).

Average content of montmorillonite in the Red-Yellow Podzolic profiles overlying stratified sandstone was 35%, whereas for the Intergrade Regosol the average was 57%.

The results obtained indicate that montmorillonite is an inherited character in these soils. Profiles P_1 and P_2 are probably derived from materials other than Botucatu Sandstone.

LITERATURA CITADA

1. ALEXIADES, C. A. and M. L. JACKSON - 1965 — Quantitative determination of vermiculite in soils - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: 522-527.
2. ———— 1966 — Quantitative clay mineralogical analysis of soils and sediments Clays and clay minerals 14 th. Conf. p. 35-52. Pergamon Press. New York.
3. ALMEIDA, F.F.M. — 1964 — Grupo São Bento — Em Geologia do Estado de São Paulo — Boletim n.º 41. Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo.
4. ANDRADE, S. S. de — 1971 — Gênese e classificação de solos de tres catenas nos municípios de Piracicaba e Rio Claro — Tese de Mestre — E. S. A. "Luiz de Queiroz" USP.
5. AVELAR, B. C. — 1971 — Gênese e classificação dos solos de uma catena da região de São Manuel — S.P. — Tese de Mestre — E.S.A. "Luiz de Queiroz" — USP.
6. BATES, T. F. — 1960 — Rock weathering and clay formation in Hawaii — Mineral Industries, 29: 1-6.

7. BREWER, R. — 1964 — Fabric and mineral analysis of soils — Wiley Sans, Inc., New York — London — Sydney 470 p.
8. CARVALHO, A. and R. F. MONTGOMERY — 1971 — Estudo de uma ocorrência de Terra Roxa Estruturada e Latossol Roxo numa sequência topográfica no Estado de São Paulo — XII Cong. Brasil. de Ciência do Solo — Vitória-ES.
9. CATANI, R. A.; J. R. GALLO e H. GARGANTINI — 1955 — Amostragem de solo. Métodos de análise. Interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade — Instituto Agrônomo de Campinas — S. Paulo.
10. COMISSÃO DE SOLOS DO CNEPA — 1960 — Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de São Paulo — Rio de Janeiro — Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agrônomicas — Boletim 12. 634 p.
11. DEMATTÊ, J. L. I. — 1970 — Gênese e classificação de solos originados de sedimentos do grupo geológico Estrada Nova — município de Piracicaba.
12. ————— e A. C. MONIZ — 1969 — Estudo pedológico de três perfis da série Guamium — XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo — Curitiba — Paraná.
13. DIXON, J. B. — 1966 — Quantitative analysis of kaolinitic and gibbsite in soils by differential thermal analysis and selective dissolution methods — Clays and clay minerals, 14 th. Conf. pg. 83-89 — Pergamon Press, New York.
14. DE VILLIERS, J. M. — 1964 — The genesis of some Natal soils — I — Clovelly, Kranskop, Kranskop and Balmoral series — S. Afr. J. Agric. Sci. 7: 417-438.
15. ESCOBAR, E. H.; J. L. I. DEMATTÊ e A. C. MONIZ — 1971 — Gênese e classificação de alguns solos da Bacia do Ribeirão Tijuco Preto — Município de Rio das Pedras, S.P. XIII Congr. Brasil. de Ciência do Solo — Vitória-ES.
16. GLORIA, N. da; R. A. CATANI e T. MATUO — 1965 — Determinação da capacidade de troca de cátions do solo por fotometria de chama — Anais da ESALQ — XXII: 4-9 Piracicaba-SP.
17. ————— 1964 — Método do EDTA na determinação do cálcio e magnésio “trocável” do solo — XXI — Anais da ESALQ — Piracicaba, S.P.
18. INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO — 1963 — Mapa geológico do Estado de São Paulo.
19. JACKSON, M. L.; B. A. TYLER; A. L. WILLIS; G. A. BOURBEAU and R. P. PENNINGTON — 1948 — Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments: I. Fundamental generalization — Jour. of Phys. and Colloid Chemistry 52: 1237-1260.
20. ————— and G. D. SHERMAN — 1953 — Chemical weathering of minerals in soils — Advanced Agronomy 5: 219-318.
21. ————— 1956 — Soil Chemical Analysis — Prentice Hall. Inc. Englewood Cliffs, New York — 498 p.
22. ————— 1965 — Soil chemical analysis — Advanced Course — Un. of Wisconsin. Madison, Wis. U.S.A. 991 p. (mimeografado).
23. ————— 1965 — Clay transformation in soil genesis during the quaternary — Soil Sci. 99: 15-22.

24. JOHNSON, L. J.; R. P. METELSKI and C. F. ENGLE — 1963 — Clay mineral characterization of modal profiles in several Pennsylvania Counties — Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 27: 568-572.
25. KELLER, W. D. — 1964 — Processes of origem and alteration of clay minerals — Soil clay mineralogy — A symposium. C. I. Rich and Kunze — ed. Univ. of North Carolina Press, Chape Hill.
26. KILMER, V. J. and L. T. ALEXANDER — 1949 — Method of making mechanical analysis of soils — Soil Sci. 68: 15-26.
27. MOHR, E. C. J. and F. A. Van BAREN — 1954 — Tropical soils Interscience — New York.
28. MONIZ, A. C. and M. L. JACKSON — 1967 — Quantitative mineralogical analysis of Brazilian soils deriveted from basic rocks and slate. Wisconsin Soil Sci. Report 212.
29. PENTEADO, M. M. — 1969 — A bacia de sedimentação de Rio Claro — Geographica — Soc. de Geografia de Lisboa. Ano V: 17.
30. RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO — 1966 — Carta de solos do município de Piracicaba — E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, S.P.
31. SOIL SURVEY STAFF — 1967 — Supplement to Soil Classification System (Seventh Approximation). Second Printing. Soil Conservation Service, USDA. 207 pp.