

HÚMUS E MINERALOGIA DOS HORIZONTES SUPERFICIAIS DE TRÊS SOLOS DE CAMPO DE ALTITUDE DOS ESTADOS DE MINAS GERAIS, PARANÁ E SANTA CATARINA⁽¹⁾

B. VOLKOFF⁽²⁾, C.C. CERRI⁽³⁾ & A.J. MELFI⁽⁴⁾

RESUMO

Estudaram-se o húmus e a composição mineralógica dos horizontes A11, A12 e A3, e parte superior do horizonte B de um Rubrozem e dois cambissolos. Estes solos que têm como material de origem, respectivamente, os sedimentos cenozóicos da Bacia de Curitiba (Paraná), basaltos (Santa Catarina) e migmatitos (Minas Gerais), encontram-se em zonas de altitudes e precipitações elevadas (1.500mm de chuva por ano) e apresentam cobertura vegetal de campo. Nos três, há uma nítida acumulação de húmus, que apresentam características semelhantes: elevadas proporções de ácidos fúlvicos livres, frações alcalino-solúveis e pouca húmina. A fração argila é constituída predominantemente de caulinita, de gibbsita e de vermiculita aluminizada. Em direção à superfície, verifica-se que as variações mineralógicas são muito pequenas. A acumulação orgânica poderia ser explicada pela formação de complexos organominerais estáveis com o alumínio.

SUMMARY: HUMUS AND MINERALOGY OF SUPERFICIAL HORIZONS OF THREE SOILS FROM UPLAND GRASS FIELDS OF MINAS GERAIS, PARANA AND SANTA CATARINA STATES, BRAZIL

Humus and mineral composition of A11, A12 and A3 horizons and upper part of horizon B of a Rubrozem and two Cambisols were studied. These soils originate respectively from Cenozoic sediments of the Curitiba Basin (Paraná), basalt (Santa Catarina) and migmatite (Minas Gerais), and are located at relatively high altitude and high precipitation (1,500mm rain per year) zones, which have a field plant cover. There is a clear accumulation of humus in the three soils, which show similar characteristics: high proportion of free fulvic acids, soluble alkaline fractions and little humine. The clay portion comprises predominantly of kaolinite, gibbsite, and of aluminized vermiculite. Towards the surface, mineral variations are very small. Organic accumulation might be explained by the formation of mineral-organo complexes stable with aluminium.

INTRODUÇÃO

Nas zonas de altitude do Sul do Estado de Minas Gerais e Leste dos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, solos desenvolvidos a partir de materiais originais muito diferentes apresentam várias características comuns. Solos geograficamente distantes, como os cambissolos da unidade Campos do Jordão, nos Estados de Minas Gerais e São Paulo, desenvolvidos a partir de rochas cristalinas do embasamento; os rubrozems, desenvolvidos a partir de sedimentos argilosos beidelíticos da formação Guabirubata, no Estado do Paraná; e os cambissolos e latossolos brunos derivados de rochas vulcânicas de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, têm uma composição mineralógica uniforme. Suas frações finas são constituídas por caulinita (e/ou haloisita), vermiculita aluminizada e gibbsita (Oliveira et alii, 1975; Lima et alii, 1977; Kämpf & Klamt, 1978; Modenesi, 1980, e Volkoff & Melfi, 1980). São também todos ácidos e bastante húmíferos.

Dessa forma, pode-se pensar que o conjunto dos solos de altitude da zona subtropical úmida brasileira tenha sofrido um mesmo processo de evolução responsável pela formação de um complexo mineral, caracterizado pela paragênese caulinita (haloisita), vermiculita aluminizada e gibbsita, e pela acumulação de matéria orgânica.

No presente trabalho, procurou-se definir melhor a natureza da matéria orgânica acumulada e analisar as variações mineralógicas que poderiam ser-lhe associadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e descrição dos perfis estudados— Na figura 1 encontram-se assinalados os três perfis estudados, bem como delimitadas as zonas com cotas superiores a 800m que determinam as áreas de altitude do Sul do Brasil.

O perfil MMG1 é um solo formado sobre material derivado de migmatitos pré-cambrianos da serra da Mantiqueira. Localiza-se no aeroporto da Vila Monte Verde (Município

(1) Trabalho realizado com suporte financeiro da CNEN e FAPESP. Recebido para publicação em outubro e aprovado em novembro de 1984.

(2) ORSTOM (França) e Instituto de Geociências da USP. Caixa Postal 20.899, CEP 01000 – São Paulo (SP).

(3) Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) – USP. Piracicaba (SP).

(4) Departamento de Geologia Geral do Instituto de Geociências da USP, São Paulo (SP).

de Camanducaia), aproximadamente 40km a oeste de Campos do Jordão, no Sul de Minas Gerais, 1.600m de altitude. A área apresenta morros desnudados e colinas encobertas de floresta de araucária (*Araucaria angustifolia*) e de campos. A pluviosidade é de 1.500mm anuais, havendo uma nítida estação seca entre os meses de maio e agosto. A temperatura média anual é 13,6°C. Trata-se de um Cambissolo da unidade Campos do Jordão (Brasil, 1960).

O perfil MPR4 é um Rubrozem, estudado anteriormente por Volkoff & Melfi (1980), e desenvolvido a partir de sedimentos cenozóicos nas proximidades da cidade de Curitiba, a cerca de 800m de altitude. A pluviosidade média da região é de 1.420mm por ano, sem estação seca marcada, e a temperatura média anual é 16,5°C.

O perfil MSC1 é um Cambissolo Húmico da unidade Rocinha (Brasil, 1972), encontrado no planalto basáltico da Bacia do Paraná, a 1.550m de altitude, entre as cidades de Lauro Muller e Bom Jardim da Serra, a leste de São Joaquim, em Santa Catarina. A vegetação é de campos, com bosques de araucária. A pluviosidade média anual é 1.400mm, com chuvas bem distribuídas, e a temperatura média anual, 14°C.

Os solos apresentam, esquematicamente, os seguintes perfis:

Perfil MMG1: Unidade Campos do Jordão

- A11 0–10cm: Bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmido); argila; fraca; média; blocos subangulares; muitas raízes; transição gradual.
- A12 10–25cm: Bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmido); argila; fraca; grande; blocos angulares; poucas raízes finas; transição gradual.
- A3 25–50cm: Bruno-escuro (7,5YR 4/4 úmido); argila; forte; grande; prismática; que se rompe em grandes blocos; algumas raízes finas; transição difusa.
- B 50–100/130cm: Bruno-amarelado (8,75YR 4/5 úmido); os primeiros 10cm são mais escuros que o A3;

argilo-siltoso; fraca; grande; blocos angulares; tendência prismática; muito poroso (canais muito finos); friável, plástico; transição clara.

C 100/130cm : Migmatito alterado.

Perfil MPR4: Rubrozem

- A11 0–10cm: Bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmido); argila; forte; pequenos grumos; muitas raízes finas; transição clara.
- A12 10–25cm: Bruno-escuro (7,5YR 3/2 úmido); argila; fraca; pequena; blocos subangulares; tendência prismática; raízes poucas e finas; transição clara.
- A3 25–45cm: Bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4 úmido); argila; fraca; pequeno; blocos subangulares; tendência prismática; friável, plástico, raízes poucas e finas; transição gradual.
- B 45–105cm: Bruno-amarelado (8,75YR 5/8 úmido); argila; muito fraca; pequenos blocos angulares; muito poroso; muito friável; plástico; transição clara; com alguns seixos de quartzo na transição.
- C 105cm: Sedimento argiloso, ligeiramente avermelhado nos primeiros centímetros.

Perfil MSC1: Cambissolo Húmico

- A11 0–10cm: Preto (10R 2,5/1 úmido); orgânico; forte média grumosa; muitas raízes finas; transição clara.
- A12 10–30cm: Preto (10R 2,5/1 úmido); argilo-siltoso; forte; média; prismática; pequenos blocos angulares; poucos poros; raízes finas; transição gradual.
- A3 30–40cm: Preto (10R 2,5/1 úmido); argilo-siltoso; fraca; média; blocos subangulares; pouco poroso; raízes poucas e finas; transição gradual.
- B 40–120cm: Bruno-escuro (5YR 3/2 úmido) passando a bruno forte (7,5YR 5/6 úmido); argiloso; maciça;

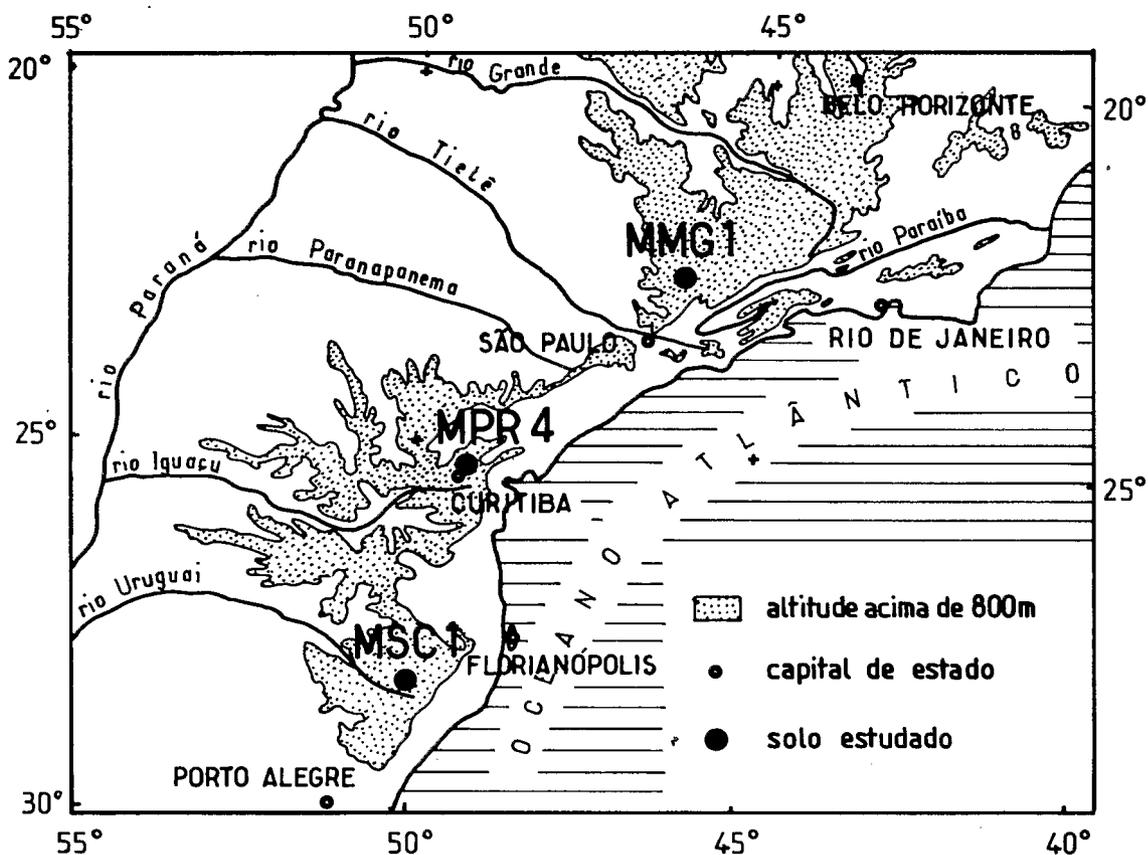


Figura 1. Mapa de localização dos solos estudados

muito poroso; friável; plástico. A partir de 70cm de profundidade, aparecem bolas de basalto alterado.

C 120cm: Basalto alterado.

Métodos de análise — Somente as frações inferiores a 2mm, obtidas por peneiramento da terra total, foram analisadas.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta de Robinson, após ataque da amostra com água oxigenada, agitação mecânica e dispersão com pirofosfato de sódio. O pH foi medido em suspensão de solo com água e com solução normal de KCl (relação solo:solução 1:2,5). A avaliação do alumínio trocável foi feita por método gráfico, em curvas de extração do Al^{3+} por KCl N. Os cátions trocáveis foram extraídos por uma solução de acetato de amônio N, a pH 7, e dosados por absorção atômica. A capacidade de troca foi calculada a partir do NH_4^+ da solução de acetato de amônio N a pH 7 fixado pelo solo. O ferro total foi solubilizado por ataque fluorídrico-perclórico e dosado por absorção atômica. O carbono total foi determinado por oxidação em via úmida pelo bicromato de potássio em meio sulfúrico. O teor em matéria orgânica foi calculado multiplicando o teor em carbono pelo coeficiente 1,7 e, o nitrogênio total, obtido pelo método de Kjeldahl.

O estudo mineralógico foi conduzido mediante difração de raios X e análise térmica diferencial do solo total (fração inferior a 2mm), após ataque prolongado com água oxigenada e da fração argila, obtida pelo método de Robert & Tessier (1974). Quando necessário, o solo total foi deferrificado pelo método de Mehra & Jackson (1960) e a argila, pela técnica de De Endredy (Segalen, 1970).

Previamente ao estudo do húmus, as matérias leves e os fragmentos vegetais pouco alterados foram manualmente

separados do material totalmente humificado. O húmus foi fracionado pelo método de Dabin (1971). Os ácidos fúlvicos livres, os ácidos húmicos e fúlvicos extraíveis pelo pirofosfato 0,1M, os ácidos húmicos e fúlvicos extraíveis pela soda 0,1M e a humina, foram quantitativamente determinados por seu teor em carbono, obtido por oxidação pelo bicromato de potássio de uma alíquota de cada fração.

RESULTADOS

Características analíticas dos perfis

Os três perfis de solos são bastante húmíferos, especialmente o MSC1, cujos teores de matéria orgânica atingem valores da ordem de 50% no A11 e 28% no A3. No MMG1 e MPR4, os teores são 10% no A11 e 7-8% no A12 (Quadro 1). A taxa de matéria orgânica decresce gradativamente com a profundidade no MPR4 e MSC1. No MMG1, a distribuição da matéria orgânica é mais complexa, pois, após diminuição dos horizontes A11 para A12, a taxa volta a aumentar no horizonte A3. A relação C/N apresenta valores de 16 no A11 do MMG1, 17 no A11 do MPR4 e 18 no A11 do MSC1, aumentando sempre em profundidade. Os valores máximos de C/N são observados na base do horizonte A3 ou topo do B, atingindo 28 no MMG1, 20 no MPR4 e 21 no MSC1. Na parte inferior dos perfis, tal relação decresce gradativamente.

Os resultados das análises granulométricas são de difícil interpretação. A destruição da matéria orgânica, feita previamente ao fracionamento granulométrico, é sempre incompleta. Isso acarreta tanto uma dispersão parcial das argilas e, conseqüentemente, um aumento dos teores em silte fino, como um aumento artificial da fração argila, pois a matéria orgânica não destruída é contada como argila. Os teores em argila dados pela análise granulométrica são, portanto, pouco

Quadro 1. Características analíticas dos perfis estudados

Profundidade	Horizontes	Granulometria (1)						M.O.	C/N	pH		Cátions trocáveis					S	T	V	Fe ₂ O ₃
		a	sf	sg	af	ag	H ₂ O			H ₂ O	HCl	Ca	Mg	K	Na	Al				
cm		%								meq/100g									%	
Perfil MMG1																				
0-10	A11	32	14	7	21	10	6	10	15,7	4,8	4,0	0,16	0,15	0,18	0,03	2,8	0,68	12,6	5	6,8
10-20	A12	38	12	7	21	9	6	7	15,8	4,8	4,1	0,04	0,04	0,06	0,01	2,4	0,15	9,9	2	7,2
30-40	A12	43	10	8	22	10	4	3	19,3	4,9	4,3	0,04	0,03	0,03	0,01	1,6	0,11	6,6	2	7,9
40-50	A3	42	14	8	20	8	4	4	22,5	5,0	4,4	0,10	0,02	0,06	0,01	2,1	0,19	8,0	2	8,4
55-65	A3	29	20	10	22	10	5	4	28,2	5,1	4,5	0,07	0,02	0,02	0,01	1,9	0,12	8,8	1	7,9
75-85	B	28	21	11	22	13	3	2	23,9	5,1	4,5	0,05	0,01	0,02	0,01	1,4	0,09	5,4	2	7,6
90-100	B	18	23	12	25	19	2	1	28,1	5,2	4,6	0,05	0,01	0,03	0,01	1,4	0,10	3,0	3	7,2
Perfil MPR4																				
0-10	A11	47	11	8	13	6	6	11	16,9	5,0	4,1	2,59	1,18	0,55	0,05	4,4	4,37	18,56	24	5,7
10-20	A12	47	10	9	14	7	6	8	16,7	5,1	4,1	0,80	0,34	0,19	0,03	5,1	1,36	16,26	8	6,1
25-35	A12	50	10	9	15	7	5	5	16,9	5,1	4,1	0,39	0,16	0,11	0,02	5,1	0,68	12,61	5	6,9
35-45	A3	52	10	9	14	7	5	3	20,2	5,2	4,2	0,15	0,11	0,10	0,02	5,2	0,38	11,81	3	7,1
50-60	A3	54	11	8	14	6	5	2	16,8	5,1	4,2	0,09	0,10	0,12	0,03	5,2	0,34	11,33	3	7,5
70-80	B	54	10	9	14	6	5	2	15,2	5,2	4,2	0,05	0,08	0,10	0,03	5,2	0,26	10,69	2	7,1
85-95	B	55	9	9	14	7	5	1	11,9	5,2	4,1	0,06	0,12	0,15	0,04	7,0	0,37	11,14	3	6,3
Perfil MSC1																				
0-10	A11	30	26	3	2	4	15	57	17,7	4,7	3,9	1,10	1,80	0,80	0,45	4,0	4,15	43,0	10	10,7
10-20	A12	25	38	3	3	5	15	50	19,2	4,8	4,1	0,38	0,34	0,20	0,11	3,3	1,03	31,3	3	13,6
20-30	A12	29	30	4	4	8	14	34	19,9	5,0	4,2	0,16	0,15	0,15	0,09	1,9	0,55	26,9	2	17,2
30-40	A3	31	25	5	7	9	14	28	21,5	5,1	4,3	0,10	0,09	0,08	0,06	1,3	0,33	23,9	1	17,2
50-60	A3	32	16	5	9	22	14	9	19,4	5,2	4,4	0,06	0,05	0,03	0,04	0,6	0,18	12,0	2	20,0
05-115	B	42	7	7	9	17	8	2	16,4	5,3	4,2	0,39	0,15	0,05	0,07	2,9	0,66	10,4	6	19,3

(1) a: argila; sf: silte fino; sg: silte grosso; af: areia fina; ag: areia grossa; M.O.: matéria orgânica

confiáveis. Apenas os resultados das areias (fração 20-2.000 μ m) podem ser utilizados. Os teores em areia total são uniformes ao longo dos perfis MMG1 e MPR4, e crescentes em MSC1. Há cerca de 40% de areia total no perfil MMG1, 30% no MPR4 e 10%-30% no MSC1. Isso significa que os teores em fração fina (argila, silte fino, matéria orgânica e umidade), são da ordem de 60% em MMG1 e 70% em MPR4, e variam de 70% a 90% no MSC1.

Os três solos são ácidos (Quadro 1). O valor mínimo do pH (H_2O) é encontrado no horizonte A11, sendo 5,0 no perfil MPR4, 4,8 no MMG1 e 4,7 no MSC1. Há um aumento do pH em profundidade, mas muito pequeno. Com esses valores de pH, os teores em alumínio trocável são elevados e o grau de saturação em bases (valor V) do complexo sortivo é muito baixo.

Os teores em ferro total (Fe_2O_3) variam de 6,8 a 8,4% no solo MMG1 derivado de migmatito, de 5,7 a 7,5 no MPR4 derivado de sedimentos argilosos, de 10,7 a 20,0% no solo MSC1 derivado de basalto.

Características mineralógicas da fração argila

A fração argila dos horizontes superiores do perfil MPR4 (Volkoff & Meffi, 1980), é constituída de minerais 1:1 da família da caulinita e de minerais de um complexo 10-14 Å , onde se destaca a vermiculita fortemente aluminizada: esta parece se originar da transformação da illita, que, presente no material originário, desaparece gradativamente no perfil. Associada a caulinita e vermiculita, encontra-se gibbsita em pequenas quantidades.

A análise da fração argila dos perfis MMG1 e MSC1 mostra a presença de minerais 1:1, minerais 2:1 e gibbsita. No perfil MMG1 há uma porção notável de argilominerais da família caulinita (Figura 2). Pequenas quantidades de minerais de um complexo 10-14 Å aparecem também nitidamente na fração argila não deferrificada. São camadas ílticas fortemente vermiculitizadas e aluminizadas (Figura 4). A transformação das illitas em vermiculitas se processa no horizonte B do solo, enquanto, no horizonte A (nos subhorizontes A11, A12 e A3), não se percebe mais nenhuma evolução, tanto com respeito ao número de camadas vermi-

culitizadas como no seu grau de aluminização. Neste perfil, as proporções de gibbsita são importantes; elas parecem aumentar na parte superior, enquanto a caulinita diminui (Figura 2). Nos horizontes do perfil MSC1 (Figura 3), verifica-se a presença de minerais da família da caulinita com picos a 7,2 Å pouco agudos; argilominerais a 14,2 Å que, após testes de aquecimento (Figura 4), podem ser identificados como vermiculitas fortemente aluminizadas e gibbsita. Neste solo, a presença de óxidos em grande quantidade (Quadro 1) e provavelmente de materiais amorfos, dificulta muito a interpretação dos difratogramas da fração argila não deferrificada. Com base na intensidade dos picos, os difratogramas de argila deferrificada sugerem uma diminuição da caulinita e da gibbsita e um aumento de vermiculita em direção aos horizontes superiores (Figura 3).

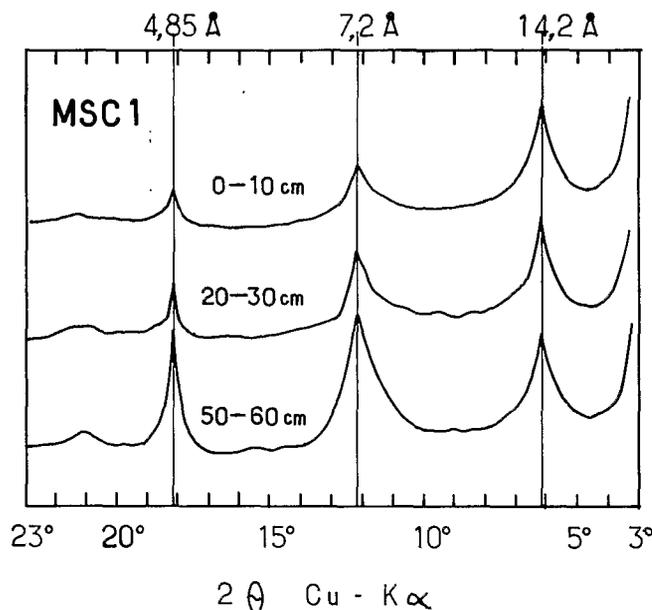


Figura 3. Difratogramas de argila deferrificada de três amostras do perfil MSC1.

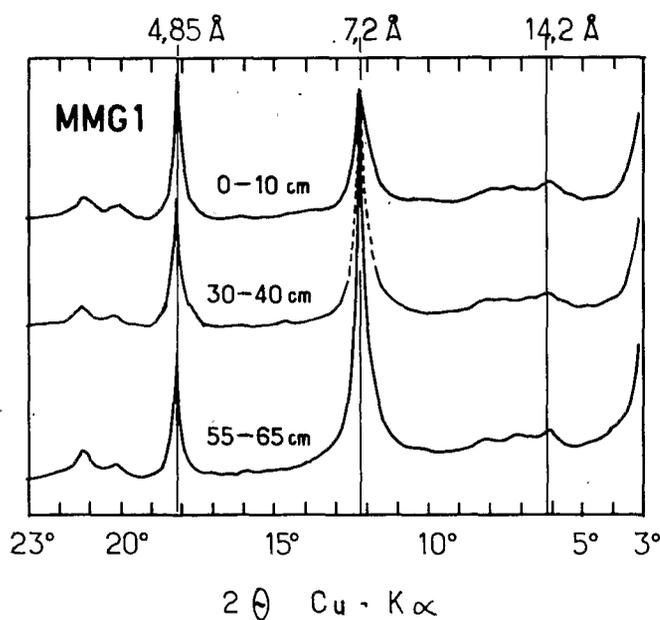


Figura 2. Difratogramas de argila não deferrificadas de três amostras do perfil MMG1.

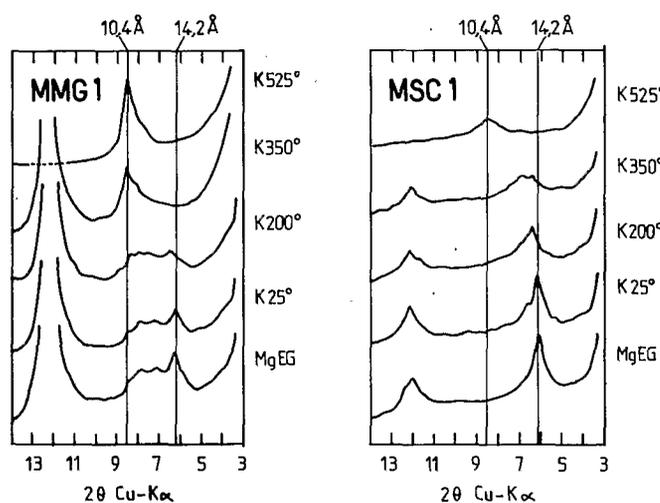


Figura 4. Difratogramas da fração argila deferrificada da camada 0-10cm de profundidade, perfil MMG1 e MSC1. MgEG: argila saturada com magnésio e tratada com etileno glicol; K 25°, K 200°, K 350°, K 525°C: argilas saturadas com potássio e aquecidas.

Comportamento da gibbsita e da caulinita nos perfis

As variações dos teores em gibbsita e caulinita nos perfis foram observadas por meio de análise térmica diferencial.

No perfil MMG1 (Figura 5) nota-se que os picos a 280°C da gibbsita e a 550°C da caulinita apresentam-se sensivelmente com a mesma intensidade, havendo um ligeiro aumento do pico da gibbsita e diminuição da intensidade do pico da caulinita em direção à superfície. No perfil MPR4 (Figura 6), a gibbsita é pouco representativa e exibe uma nítida diminuição na camada A11. Entretanto, a relação entre seu pico e o da caulinita permanece igual em todos os horizontes. No perfil MSC1 (Figura 7), como no MPR4, a gibbsita diminui no A11, mas a relação das intensidades de seu pico com o da caulinita não sofre modificações.

Nos três solos, especialmente nas amostras das partes superiores dos perfis, há um desdobramento, pouco nítido, mas perceptível, do pico da gibbsita, que aparece, constituído pela justaposição de um pico, cujo máximo seria em torno

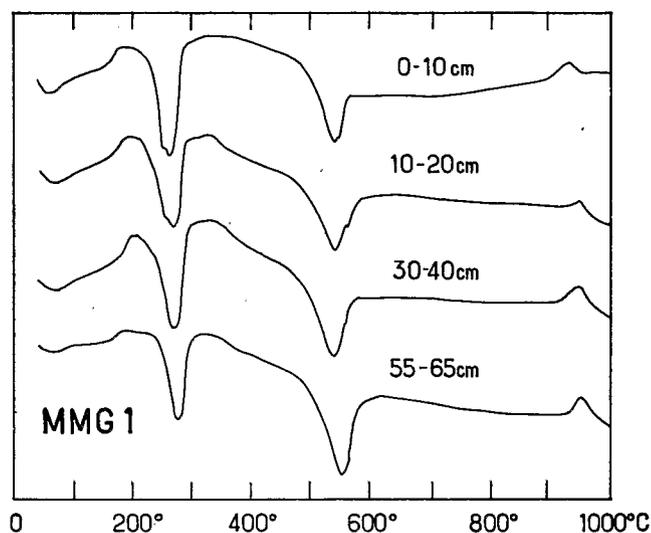


Figura 5. Curvas de ATD de amostras de solo total do perfil MMG1, sem matéria orgânica e deferrificadas, de várias profundidades.

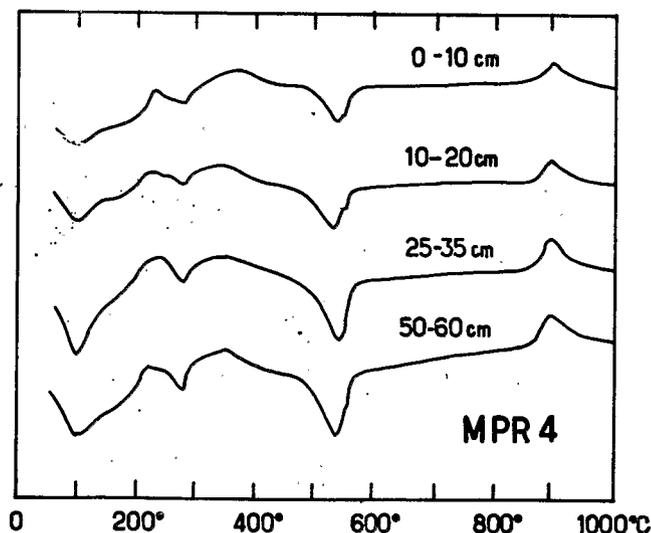


Figura 6. Curvas de ATD de amostras de solo total do perfil MPR4, sem matéria orgânica e deferrificadas, de várias profundidades.

de 250 a 260°C, e de outro a 280°C. Esta reação da gibbsita nas camadas húmicas do solo poderia ser relacionada a alguma modificação da granulometria ou da estrutura do mineral.

Húmus

A quase totalidade da matéria orgânica é constituída de substâncias húmicas. Os fragmentos vegetais, incompletamente decompostos e não retidos pelos colóides do solo, representam apenas 5% do carbono total no perfil MSC1, e menos de 1% nos outros dois.

Nota-se (Figura 8) que o húmus dos horizontes A11 dos três solos tem uma constituição semelhante: 10–20% do carbono encontra-se na fração ácidos fúlvicos livres, 40% nas frações alcalino solúveis (ácidos fúlvicos e húmicos extraídos pelo pirofosfato de sódio e pela soda) e cerca de 40% na humina. O perfil MMG1 é, em proporção, mais rico em ácidos fúlvicos livres.

Há um aumento gradativo dos ácidos fúlvicos livres em profundidade. As proporções máximas (40–50%) de carbono do solo são atingidas no horizonte B. O aumento é muito mais rápido nos perfis MSC1 e MMG1 do que no perfil MPR4. À medida que o húmus se enriquece em ácidos fúlvicos livres, ele se torna mais pobre em humina. Na base do horizonte A3 e no topo do horizonte B, apenas 20% do carbono (menos de 20% no perfil MMG1) encontra-se na humina. Tais teores devem ser considerados como muito baixos. As proporções de ácidos fúlvicos livres e de humina variam, portanto, fortemente dentro de um mesmo perfil. Por seu lado, as frações alcalino-solúveis (ácidos húmicos e ácidos fúlvicos extraídos pelo pirofosfato e pela soda) permanecem quase constantes. Elas representam cerca de 40% do carbono do solo nos horizontes A11, A12 e A3, e parte superior do horizonte B, diminuindo somente em profundidade. Os perfis diferem apenas por alguns detalhes. No MMG1, por exemplo, as proporções de frações alcalino-solúveis aumentam um pouco no A12 e depois diminuem no A3, voltando a aumentar na base do A3 e na parte superior do B, que corresponde à faixa escura observada neste perfil. O A12 do MPR4 é também mais rico em alcalino-solúveis que o A11; os teores decrescem continuamente em profundidade. No MSC1, as proporções de alcalino-solúveis aumentam gradativamente até um máximo de 50% no A3. As frações alcalino-solúveis nos três solos são extraídas, na sua maior parte, pelo pirofosfato de sódio.

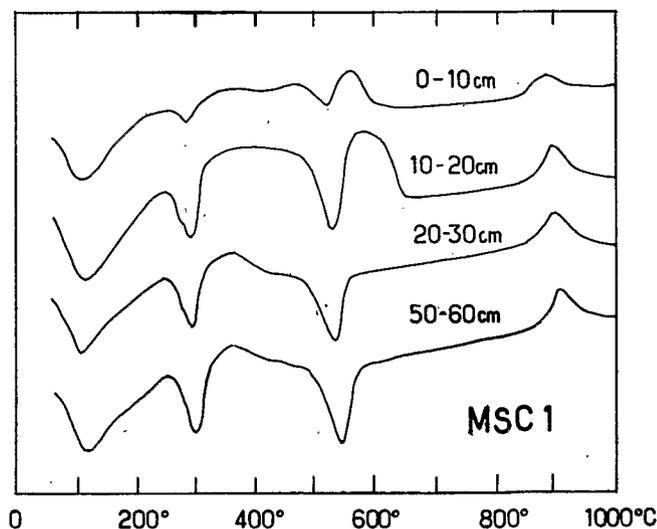


Figura 7. Curvas de ATD de amostras de solo total do perfil MSC1, sem matéria orgânica e deferrificadas, de várias profundidades.

DISCUSSÃO

Os horizontes A dos três solos analisados apresentam-se espessos, escuros e bastante orgânicos. A parte mais rica em matéria orgânica é sempre o subhorizonte A11. A matéria orgânica é principalmente constituída de substâncias húmicas, e mesmo com 50% de matéria orgânica total, encontra-se muito pouco resíduo vegetal. O caráter húmico dos solos está, portanto, relacionado com a concentração do húmus, e não com um acúmulo de resíduos vegetais em decomposição.

Nos três solos, o húmus é de natureza semelhante e constituído principalmente por ácidos húmicos e fúlvicos e por apenas uma pequena parte de humina. Entretanto, ele não é homogêneo no perfil. Observam-se diferenças quanto à distribuição relativa das diversas frações húmicas nos sucessivos horizontes. Nos três, as variações em profundidade se efetuam sempre no mesmo sentido. Pode-se, portanto, supor que nos três casos há uma mesma dinâmica da matéria orgânica. Constata-se que o húmus dos horizontes subsuperficiais A3 e B é muito mais rico em ácidos fúlvicos livres que o do A11. Esse fato evidencia uma migração de frações orgânicas pouco polimerizadas da superfície para a profundidade. Nos horizontes A11, A12 e A3 e parte superior do B, cerca de 40% do carbono, o que representa uma proporção elevada, pertence às substâncias húmicas alcalino-solúveis. Grande parte desse carbono é extraído pelo agente descomplexante pirofosfato de sódio. Este carbono pode ser, portanto, relacionado com ácidos húmicos e fúlvicos retidos no solo pela ação de cátions metálicos. A humina encontra-se em proporções significativas apenas no A11. É provável que, nesta parte do perfil, ela seja constituída principalmente de humina herdada (Duchaufour, 1976; Volkoff, 1977). A humina herdada, geralmente, desaparece em profundidade, enquanto as outras formas, humina de condensação e humina residual, associadas à primeira no A11, permanecem e se tornam predominantes na humina das camadas subsuperficiais do solo. As modificações observadas nos três perfis indicam que a humina das camadas subsuperficiais representa uma porção muito pequena do carbono total do solo. Haveria, pois, muito pouca humina residual e humina de condensação. Isso significa que as substâncias húmicas de pequeno tamanho, formadas no decorrer da humificação, não sofrem condensação em humina, e que a humina herdada evolui para frações pouco polimerizadas. Pode-se concluir que o

húmus é constituído de ácido fúlvicos e húmicos facilmente extraíveis, portanto, de produtos de pequeno grau de polimerização, e que há indicações de certa mobilidade das frações.

O húmus assim caracterizado é semelhante ao húmus dos horizontes Bh dos podzóis (Turenne, 1977) e A dos andossolos (Hetier, 1975), cujas propriedades foram atribuídas à existência de complexos organominerais, como o alumínio. Por isso, nos três solos estudados, a participação do alumínio no processo de acumulação húmica tem que ser levada em consideração.

O pH de todos os solos estudados (4,5–5,0) não é suficientemente ácido para que se efetue a dissolução total da gibbsita e da caulinita, com eliminação do alumínio em solução. Entretanto, parte desses minerais se desestabiliza e libera alumínio sob forma de cátions logo complexados pela matéria orgânica. O alumínio liberado permanece assim no meio.

Em presença de grandes quantidades de moléculas orgânicas pouco polimerizadas com forte poder de complexação, caulinita e gibbsita deveriam sofrer desse modo notável alteração. As determinações feitas mostram que a fração mineral fina (fração $0,20\mu\text{m}$), pelo menos a parte cristalizada, identificada através de raios X e análise térmica diferencial, não sofre variações qualitativas, na parte superficial do perfil. A mesma paragênese encontra-se no A11 e no B: caulinita, vermiculita aluminizada e gibbsita. A análise granulométrica mostra que não há perda muito forte de fração mineral na parte húmica do solo. Pode-se, portanto, concluir que a matéria orgânica não é tão agressiva como se poderia pensar.

A permanência da gibbsita nas camadas superficiais do solo tem significado importante. Seu aumento em relação à caulinita, observado em certas condições, indicaria que a gibbsita é mais estável. Por outro lado, o fato de a gibbsita permanecer, mesmo quando presente no solo em pequenas quantidades, como no Rubrozem, sugere que ela está em equilíbrio, porque se fosse alterada, desapareceria logo.

Conforme a dinâmica da fração orgânica, especialmente em consequência de sua biodegradação, parte do alumínio dos complexos poderia ser liberado e dar origem de novo a gibbsita. Esta teria, portanto, condição para se renovar, e por isso não desaparece. Esta gibbsita de neoformação superficial teria características um pouco diferentes da gibbsita formada nas camadas profundas do solo: isso poderia ser a explicação do desdobramento dos picos observado na análise térmica diferencial.

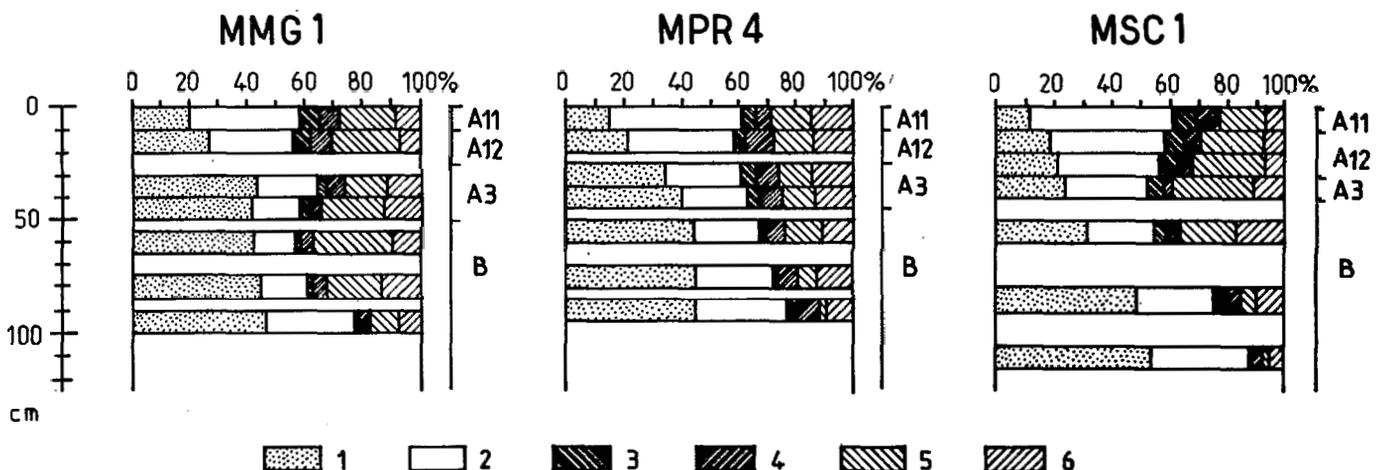


Figura 8. Variações da distribuição do carbono nas frações do húmus com a profundidade nos três perfis estudados: 1) ácidos fúlvicos livres; 2) humina; 3) ácidos húmicos extraídos pela soda; 4) ácidos fúlvicos extraídos pela soda; 5) ácidos húmicos extraídos pelo pirofosfato de sódio e 6) ácidos fúlvicos extraídos pelo pirofosfato de sódio.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que nas condições climáticas dos campos de altitude, a temperatura suficientemente baixa impede a mineralização rápida das substâncias húmicas do solo. Estas são de pequena massa molecular e têm forte poder de complexação: alteram a caulinita e a gibbsita e formam complexos organominerais com o alumínio extraído desses minerais. A alteração não é muito intensa. Sendo os complexos relativamente estáveis, há um acúmulo de húmus. O alumínio não é exportado, fora do perfil, mas voltaria, em parte, a precipitar "in situ" para dar origem a uma gibbsita secundária.

LITERATURA CITADA

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, 1960. 364p. (Boletim, 12)
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina. R. Cent. Ci. Rurais, Santa Maria, 2:1-494, 1972.
- DABIN, B. Étude d'une méthode de fractionnement des matières humiques du sol. *Science du Sol*, Versailles, 1:47-63, 1971.
- DUCHAUFOR, Ph. Dynamics of organic matter in soils of temperate regions: its action on pedogenesis. *Geoderma*, Amsterdam, 15:31-40, 1976.
- HETIER, J.M. Formation et évolution des andosols en climat temperé. Nancy, Université de Nancy, 1975. 194p.
- KÄMPF, N. & KLAMT, E. Mineralogia e gênese de Latossolo e solos podzólicos da região nordeste do Planalto Sul Riograndense. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 2:68-73, 1978.
- LIMA, V.C.; DEMATTE, J.L.; MONIZ, A.C. Mineralogia da Argila do Rubrozem (Paleohumult), Bacia de Curitiba, Paraná. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 1:81-85, 1977.
- MEHRA, U.B. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE CLAYS AND CLAY MINERALOGY, 7., London, Pergamon Press, 1960. p.317-327.
- MODENESI, M.C. Intemperismo e morfogênese do Planalto de Campos do Jordão, SP. R. bras. Geoc., São Paulo, 10:213-225, 1980.
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.; ROTTA, C.L. Solos do Parque Estadual de Campos do Jordão. *Silvicultura em São Paulo*, 9:125-156, 1975.
- ROBERT, M. & TESSIER, D. Méthode de préparation des argiles des sols pour l'étude mineralogique. *Annls. Agron., Paris*, 25:859-882, 1974.
- SEGALEN, P. Extraction du fer libre des sols à sesquioxides par la méthode de De Endredy par irradiation à l'ultraviolet de solutions oxaliques. *Cah. ORSTOM-Pedologie*, Paris, 8:483-496, 1970.
- TURENNE, J.F. Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. *Mem. ORSTOM*, Paris, 1977. p. 173.
- VOLKOFF, B. La matière organique des sols ferrallitiques du Nordeste du Brésil. *Cah. ORSTOM - Pedologie*, 15:61-75, 1977.
- VOLKOFF, B. & MELFI, A.J. Transformações mineralógicas em Rubronzens de bacia sedimentar de Curitiba, PR. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 4:173-181, 1980.