

# Contribuição para o estudo da evolução dos latossolos amarelos, distróficos, argilosos na borda do platô, na região de Manaus: mecanismos da gibbsitização(\*)

Armand Chauvel (\*\*)

## Resumo

Os latossolos argilosos são dominantes ao Norte e Este de Manaus, desenvolvendo-se sobre os baixos platôs sedimentares (Formação Barreiras). A sua evolução depende do clima úmido megatérmico e da cobertura florestal equatorial densa. Visando o estudo da dinâmica nestes solos, foram efetuadas análises microscópicas, químicas e mineralógicas em cerca de 50 amostras coletadas em toposseqüências selecionadas nas bacias hidrográficas estudadas pelo INPA. Os resultados mostraram que a circulação da água nestes latossolos se efetua por uma rede de vazios largos, contida nos setores "bioturbados". No seu interior observa-se dessilicificação intensa e neoformação de gibbsita. O complexo sortivo é globalmente muito desaturado, mas constata-se também uma retenção muito forte de cátions sob forma não trocável. Estas características estão de acordo com a idéia de circulação da água pelo "by pass" sugerida pelos hidrólogos. Esta dinâmica seria dependente das ações da fauna e do flora.

## INTRODUÇÃO

Uma parte importante da bacia amazônica é ocupada por sedimentos terciários. Na região de Manaus, reconhecem-se mais precisamente as formações desprovidas de fósseis, de origem continental, pouco consolidadas, reagrupadas sob a denominação de "Grupo Barreiras". Destas formações, algumas apresentam passagens laterais para bauxitas; as zonas de transição são então caracterizadas por nódulos gibbsíticos (Wolf, 1972).

A cobertura pedológica desenvolvida sobre estes sedimentos apresenta uma grande dominância de **Latossolos amarelos distróficos** (Projeto RADAM, 1976), freqüentemente caracterizados por uma textura muito argilosa. Assim, a prospecção feita pelo IPEAN (1969) na zona de "Manaus-Itacoatiara" indica para este setor,

que mais de 95% da superfície é ocupada por Latossolos amarelos, dos quais 53% com textura muito argilosa. Nosso estudo tratará, mais particularmente, deste último tipo de solo.

O material original destes solos, derivado de antigas alteritas elaboradas no decorrer do Terciário sobre os escudos, é constituído principalmente de minerais resistentes à alteração, tais como a caolinita, o quartzo, os óxidos e hidróxidos de ferro, e localmente de alumínio (gibbsita).

A evolução atual destes solos depende das condições bio-climáticas, que determinam a circulação e a composição das águas na cobertura pedológica, em relação com a morfologia dos solos e a topografia.

Para abordar este estudo, optamos por situar-nos em um ponto da paisagem onde é possível pensar que a dinâmica da água apresenta variações importantes em curtas distâncias, isto é, no limite entre a superfície plana de um platô e a vertente de declividade forte de um pequeno vale que entalha este último.

O estudo da diferenciação pedológica neste lugar, está baseado sobre a observação no campo, completada pela análise microscópica e ultramicroscópica e pela utilização de técnicas que possibilitam apreciar o tamanho, o arranjo, a natureza e o comportamento físico-químico dos constituintes. A interpretação é feita em relação com a dinâmica da água.

## MATERIAL E MÉTODOS

### CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ZONA ESTUDADA

Os solos estudados estão situados na reserva da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, a 60 km ao norte de Manaus, numa das bacias experimentais.

(\*) — Pesquisa desenvolvida com o apoio financeiro da OEA, em colaboração com o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

(\*\*) — Missão ORSTOM França e Instituto de Geociências da USP, São Paulo. SP.

Os dados climáticos relativos a esta região podem ser, em primeira aproximação, extrapolados a partir daqueles estabelecidos por Villa Nova *et al.* para Manaus (1976).

Os dados relativos à temperatura e ao balanço hídrico estão reagrupados no Quadro 1.

Constata-se que este clima é caracterizado por uma temperatura sempre elevada e pela alternância de uma longa estação úmida, durante a qual o excedente hídrico atinge aproximadamente 900 mm e uma estação seca de 5 meses nitidamente deficitária (-361 mm). Estas condições climáticas determinam normalmente um meio fortemente lixiviante.

O estudo hidroquímico (Sioli, 1968) evidencia a extrema pureza das águas naturais, comparáveis à de uma água destilada, que traduz por sua vez a importância do escoamento e a pobreza química dos materiais percolados. A análise das águas extraídas dos solos sob uma sucção de 600 cm de água, por Nortcliff & Thornes (1977) na Reserva Ducke, revela igualmente a existência de fracas concentrações iônicas.

A textura muito argilosa do material original dos solos estudados parece resultar da triagem granulométrica dos sedimentos detríticos, dependente das condições de escoamento na bacia amazônica no momento do depósito (Tricart, 1978).

O modelado é caracterizado por baixos "platôs", localmente dissecados pela rede hidrográfica, ligados por vertentes convexas com vales de fundo chato. A fotografia A, apresentando uma superfície desmatada situada na proximidade da estrada, dá uma idéia deste

tipo de modelado. O desnível entre a superfície plana e os cursos d'água é da ordem de 30 metros, o que assegura boas condições de drenagem na periferia do "platô".

#### OS SOLOS

Os dois perfis escolhidos para este estudo estão situados a uns 30 metros da distância um do outro. O primeiro (Nº 1 na Fig. 1) está situado numa superfície com fraca declividade (5%). O segundo (Nº 2) está localizado no alto de uma vertente de declividade já forte (35%) que se acentua mais abaixo, atingindo quase 70%.

A vegetação é comparável nos dois casos: trata-se de uma floresta tropical de baixa altitude, medianamente densa, apresentando dois estratos distintos: o mais baixo é em parte constituído de palmeiras.

Os dois perfis estão classificados como **Latosolos amarelos distróficos**, textura argilosa (Projeto RADAM, 1976). Correspondem a solos Ferralíticos, fortemente dessaturados no

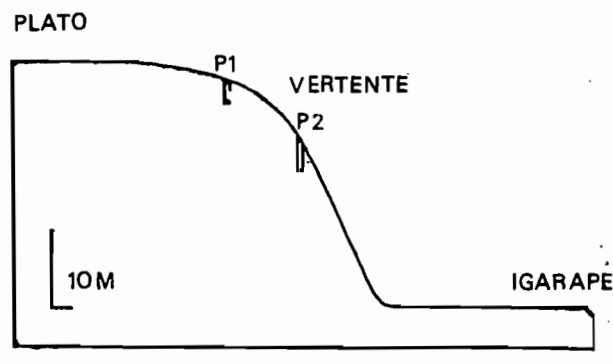


Fig. 1 — Corte esquemático da topossequência.

QUADRO 1 — Principais dados meteorológicos de Manaus.

Médias 1931 - 1960	Meses												Ano	
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
TEMPERATURA	25,9	25,8	25,8	25,8	26,4	26,5	26,9	27,5	27,9	27,7	27,3	26,7	26,7	26,7
CHUVA (mm)	276	277	301	287	193	98	61	41	62	112	165	228	228	2101
E.T.m (mm)*	121	113	118	108	121	123	143	158	156	155	138	127	127	1581
CHUVA-ETm/mês	155	164	183	179	72	-25	-82	-117	-94	-43	27	101	101	
CHUVA-ETm/estação	+881					-361								

(\* ) — Evapotranspiração potencial estimada expressa em mm/mês.

Horizonte B, típicos, amarelos, segundo a classificação francesa (CPCS, 1967), sendo o primeiro um **Haplorthox**, e o segundo um **Acrorthox** (tendo em conta a atividade mais fraca da sua fração argilosa) conforme a **Soil Taxonomy** (1973).

A descrição esquemática do perfil 1 é a seguinte :

O	3-0 cm	Camada formada de folhas e galhos em vários estágios de decomposição — concentrações localizadas de raízes finas;
A <sub>1</sub>	0-10 cm	Bruno amarelado (10 YR 6/4). Medianamente úmido — argiloso — estrutura fraca, maciça, localmente granular pequena — poros tubulares, preenchidos por grãos muito pequenos, brunos — concentrações de raízes finas e médias na parte superior — friável, plástico e pegajoso — transição plana e gradual;
AB	10-35 cm	Amarelo (10 YR 7/6) — úmido — argila pesada — estrutura fraca, em blocos subangulares, com subestrutura granular muito pequena — agregados com poros tubulares finos — friável, muito plástico e muito pegajoso — transição difusa;
B <sub>1</sub>	35-70 cm	Amarelo avermelhado (7,5 YR 7/6) — medianamente úmido — argiloso — estrutura fraca, maciça a granular, muito pequena — muito poroso, com tubos finos — friável, plástico e pegajoso — transição difusa;
B <sub>21</sub>	70-150 cm	Amarelo avermelhado (7,5 YR 7/6) — medianamente úmido — argiloso — estrutura fraca, localmente granular muito pequena — poroso, com tubos finos — friável, plástico e pegajoso — transição difusa;
B <sub>22</sub>	150-200 cm	Amarelo avermelhado a rosado (7,5 YR 7/6 a 7/4) — medianamente úmido — argiloso — estrutura fraca, maciça a granular muito pequena — pouco poroso, com tubos finos raros — friável, plástico e pegajoso.

Uma tradagem até três metros e cinquenta centímetros de profundidade não revelou nenhuma variação perceptível.

Este perfil, considerado no seu conjunto, é caracterizado pela cor amarela dominante, textura argilosa, estrutura apenas visível, essencialmente maciça, apresentando uma tendência a formar blocos subangulares no horizonte AB, e localmente uma estrutura granular

fina a muito fina nos outros horizontes. Os horizontes. Os horizontes pedológicos são pouco diferenciados.

A descrição esquemática do perfil 2 é a seguinte :

O	4-0 cm	Camada formada de folhas e galhos em decomposição, com um "feltro" denso e contínua de raízes finas e médias;
A <sub>1</sub>	0-13 cm	Bruno amarelado (10 YR 6/4) — medianamente úmido — argiloso — estrutura moderada, média, granular e subangular — agregados com poros finos numerosos — raízes finas e médias — atividade biológica alta — friável, plástico e pegajoso — transição plana e difusa;
AB	13-35 cm	Amarelado bruno (10 YR 6/6) com zoneações brunas amareladas claras (10 YR 6/4) — medianamente úmido — argiloso — estrutura maciça — porosidade média com tubos finos numerosos — raízes finas e médias — friável, plástico e pegajoso — transição difusa;
B <sub>1</sub>	35-70 cm	Amarelo (10 YR 7/6) — úmido — argiloso — estrutura fraca, maciça a granular muito pequena — porosidade média, com tubos preenchidos de terra bruna amarela — raízes finas e médias numerosas — transição difusa;
B <sub>21</sub>	70-125 cm	Amarelo avermelhado (7,5 YR 8/6) — úmido — argiloso — estrutura fraca, em blocos angulares, média, que se desfaz em granular muito pequena — porosidade alta, intergranular — transição clara e ondulada;
B <sub>22</sub> Cn	125-260 cm	Amarelo avermelhado (7,5 YR 8/6) — pouco úmido — estrutura fraca, maciça a prismática grande, localmente granular — pouco poroso, com tubos finos. Com nódulos: a quantidade de nódulos aumenta de 125 a 130 cm, para atingir o seu máximo nesta profundidade (perto de 1/3 do volume). Distinguem-se nódulos "branco marfim" de forma irregular, de dimensões inferiores ou iguais a 1 centímetro, de fratura lisa apresentando alguns grãos de quartzo; e nódulos "vermelhos violáceos" de forma mais achatada, atingindo alguns centímetros, com fratura muito irregular, pondo em evidência uma rede violácea muito fina, delimitando pequenas manchas brancas e vazios

parcialmente ocupados por quartzos grosseiros, fortemente incrustados de óxido de ferro; existem ainda nódulos constituídos pela união dos dois tipos precedentes. Os nódulos do primeiro tipo são dominantes no topo e na base do horizonte, enquanto que os "vermelho violáceos" estão melhor representados a 1,5 m. A dureza desses nódulos, é elevada de 1,25 a 1,50 m, diminui progressivamente mais embaixo, à medida que diminui também a sua abundância.

A sondagem com o trado, feita no fundo da trincheira, revela a presença de nódulos do primeiro tipo, mais e mais macios e raros até 2,6 m, além de um material de cor amarela avermelhada (7,5 YR 7/6) homogêneo, de textura argilosa com alguma areia grosseira, correspondente ao horizonte B3.

A comparação destes dois perfis evidencia numerosas semelhanças no que concerne à cor dominante, à textura argilosa e à estrutura muito fraca; revela diferenças que dizem respeito essencialmente à diferenciação vertical dos horizontes (pouco marcada no perfil 1 e mais acentuada no perfil 2) e a presença de um horizonte B22 Cn compreendido entre 1,25 e 2,60 m.

As sondagens entre o perfil 1 e o perfil 2, assim como as da parte inferior da toposseção, permitem constatar que o horizonte nodular aparece progressivamente na alta encosta, apresentando sua maior importância na passagem para a meia encosta, diminuindo progressivamente em direção ao fundo do vale. Esta diferenciação vertical e lateral está representada esquematicamente na Fig. 2.

Observa-se igualmente que a fraca diferenciação textural, a estrutura apenas discernível

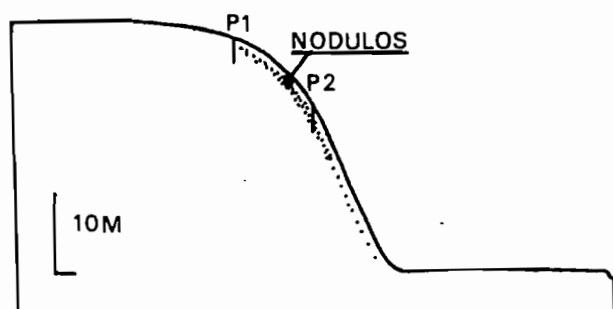


Fig. 2 — Posição do horizonte nodular.

e a ausência do horizonte nodular acima de 1,25 m, estão de acordo com a classificação segundo a **Soil Taxonomy**. A natureza destes nódulos deve ser determinada no laboratório.

#### OS MÉTODOS DE ANÁLISE

Os métodos utilizados podem ser reagrupados em quatro categorias:

##### Métodos de análise microscópica e ultramicroscópica

Cerca de trinta lâminas delgadas foram feitas nas amostras orientadas coletadas nos dois perfis, após consolidação. Foram, em seguida, estudadas ao microscópio óptico petrográfico, segundo os métodos de análise pedológica (Brewer, 1964). Os aumentos utilizados neste caso são da ordem de 10 a 100. O objetivo principal é a identificação dos constituintes e o estudo das relações existentes entre eles.

Fragmentos destas mesmas amostras orientadas foram estudados com microscopia de varredura. A observação se fez em superfícies naturais (agregados, nódulos ou minerais) ou sobre fraturas. Os aumentos utilizados, neste caso, vão de 100 à 20.000.

A utilização de microsonda permitiu efetuar algumas dosagens semi-quantitativas elementares (silício, alumínio, ferro...) dos diferentes constituintes reconhecidos, de dimensões micrométricas;

##### Métodos de análise granulométrica

Os dados obtidos por diferentes métodos, associados aos resultados fornecidos pelas técnicas de investigação mineralógica e química, devem permitir uma estimativa da constituição real dos solos, uma avaliação do estado de associação dos constituintes e enfim uma apreciação do seu comportamento físico-químico;

##### Métodos de investigação mineralógica

Permitem a identificação e a dosagem semi-quantitativa global dos diferentes constituintes minerais, seja na amostra de terra total, seja nas frações isoladas (argila, areias, nódulos...). Utilizamos o raios X e sobretudo a análise térmica diferencial;

## Métodos químicos e físico-químicos

Algumas análises elementares foram feitas após ataque tri-ácido.

A determinação da capacidade de troca catiônica (T(Ca) a pH 7) permite uma avaliação da atividade físico-química do complexo absorvente dos solos estudados.

Os resultados da análise de bases trocáveis enfim (extraídas por uma solução de  $\text{CH}_3\text{COO}(\text{NH}_4)$  a pH 7) são aqui utilizados para permitir uma caracterização do comportamento do complexo absorvente em presença de soluções muito diluídas que percolam os solos.

## RESULTADOS

### DADOS DE ANÁLISE MICROSCÓPICA E ULTRAMICROSCÓPICA

Os principais resultados obtidos pela análise microscópica óptica estão aqui resumidos para expor as características comuns aos dois perfis, seguidos de uma descrição das particularidades próprias a cada um.

As *características comuns* mais importantes são as seguintes:

— Forte *dominância de um plasma* contínuo (ocupando até 75% do volume), cor dominante amarela à luz natural, de estrutura fracamente expressa ("argillasepic" contendo em todo o perfil finas "granulações" esbranquiçadas não identificáveis, e, nos horizontes A e AB somente algumas concentrações localizadas de partículas orgânicas (no plasma contínuo e nos "agrotubules" — Brewer, 1964).

— *Esqueleto raro* (menos de 10% do volume), constituído unicamente por grãos de quartzo, fortemente corroídos e fissurados, penetrados de plasma e de óxidos de ferro:

— geralmente grosseiros (de 200 a 2000  $\mu\text{m}$ ), arredondados e angulosos, parcialmente divididos em pequenos fragmentos guardando uma orientação cristalina comum (indício de que não sofreram deslocamento) abaixo de 1,25 m;

— mais ricos em grãos médios a muito finos (de 20 a 200  $\mu\text{m}$ ), angulosos a subangulosos entre 1,25 e 0,5 m.

— Relativamente enriquecidos em grãos grosseiros, arredondados e muito corroídos em superfície.

— *Distribuição relativa dos grãos do esqueleto, dispersos e isolados* num plasma quase contínuo ("Porphyroskelic fabric" — Brewer, 1964).

— *Distribuição dos vazios visível ao microscópio óptico, limitados a volumes tubulares* de dimensões milimétricas preenchidos por pequenos agregados (100  $\mu\text{m}$ ) que deixam entre si poros comunicantes. Estas organizações pedológicas (ou "agrotubules" se distribuem nos perfis da seguinte maneira: são raros (10 a 20% do volume total) e bem individualizados nos horizontes B22; muito mais numerosos (20 a 50% do volume) e se recortando mutuamente nos horizontes B21 e sobretudo no B1; pouco abundantes e fracamente individualizados nos horizontes AB; largamente "disseminados", de formas muito irregular e apresentando diversos graus de individualização no horizonte A. Nota-se nos horizontes A, AB e em menor grau B1 que os agregados contidos nestes "agrotubules" apresentam fragmentos orgânicos e estão ligeiramente tingidos de Bruno pelo húmus.

A existência destes dois tipos de distribuição de vazios aparece claramente na Fotografia B, correspondendo ao horizonte B22 do perfil 1: a parte superior esquerda recorta o volume de um "agrotubule" e apresenta vazios interagregados comunicantes, a parte inferior direita revela, ao inverso, a continuidade do plasma do fundo matricial.

— *Ausência total de concentrações argilosas orientadas ou "argillans"* (Brewer, 1964) em torno dos vazios.

Só são visíveis algumas fracas orientações plásticas com limites difusos em torno dos grãos de quartzo grosseiros e dos "nodules" (Brewer, 1964), nos horizontes B3 e B22.

— *Presença de "nodules" esbranquiçados e vermelho-violáceos de diversos tamanhos:*

"Micronodules" (de 10 a 500  $\mu\text{m}$ ), amorfos à criptocristalinos (na parte superior do perfil), microcristalinos (na parte inferior do perfil), em todos os horizontes dos dois perfis, são predominantemente vermelho violáceos a opa-

cos e de forma irregular no plasma contínuo do fundo matricial, com dominância esbranquiçada e apresentando limites difusos nos "agrotubules". Na Fotografia B, estes dois tipos de "micronodules" estão indicados pelos símbolos MV e ME.

"Nodules" de dimensões centimétricas e apresentando setores criptocristalinos e microcristalinos, assim como cristais reconhecíveis de hidróxido de alumínio (gibbsita), somente abundantes no horizonte B22 Cn do perfil 2.

As particularidades próprias a cada um dos perfis concernentes principalmente ao desenvolvimento dos vazios, o tamanho e a morfologia dos "nodules".

No que diz respeito à porosidade, parece que o volume ocupado pelos "agrotubules", que inclui a maior parte dos vazios comunicantes, é sensivelmente mais importante no perfil 2 que no perfil 1, particularmente a nível dos horizontes B1 e A.

As avaliações feitas a partir das medidas de umidade, densidade aparente e densidade real, realizadas sobre as amostras de 100 cc<sup>3</sup> coletadas num cilindro na estação seca, quatro dias após um chuva, confirmam estas observações. (Quadro 2). Considerando-se em primeira aproximação que os dois solos estão drenados, pode concluir-se que o volume ocupado pela água corresponde àquele dos microvasios (<30 µm) e o ocupado pelo ar àquele da macroporosidade, por onde se efetua a circulação dos fluidos.

Constatamos que :

- os volumes ocupados pela água na estação seca são da ordem de 30 a 40% do volume total.
- os volumes ocupados pelo ar, nas mesmas condições, variando fortemente segundo os horizontes e de um perfil a outro :
  - São fracos nos horizontes B22 e B21, apresentando um máximo relativo no horizonte B<sub>1</sub>, um mínimo relativo no horizonte AB e um máximo absoluto no horizonte A1.
  - São sensivelmente mais acentuados na parte superior do perfil 2 que nos horizontes equivalentes do perfil 1.

No que diz respeito aos "nodules", observa-se que os de dimensões centimétricas aparecem lateralmente (entre os perfis 1 e 2) ao nível dos horizontes B2, onde se observam, por sua vez, uma diminuição marcada do volume poral (de alto a baixo) e uma melhor individualização dos "agrotubules".

A observação dos "nodules" nos leva a distingui-los, de início, em função do seu tamanho :

A) os menores ou "micronodules", medindo algumas dezenas ou algumas centenas de micra (como os siltes grosseiros ou as areias). Duas espécies são reconhecidas :

— "micronodules" vermelho violáceos a opacos de forma irregular, contidos no plasma contínuo do fundo matricial (Foto B, MV); estão presentes em todo o perfil, mais numerosos e melhor individualizados nos horizontes profundos;

QUADRO 2 — Abundância relativa das frações: sólido, água e ar (expressas em % do volume total), na estação seca. (A abundância de nódulos no horizonte B22 Cn impediu as medidas)

PERFIS	1			2		
HORIZONTES	VOLUMES SÓLIDOS	OCUPADOS ÁGUA	POR AR	VOLUMES SÓLIDOS	OCUPADOS ÁGUA	POR AR
A1	34	33	33	35	28	37
AB	44	40	16	44	33	23
B1	39	35	26	40	29	31
B21	45	41	14	46	37	17
B22 e B22 Cn	48	44	8	"	"	"

— "micronodules" esbranquiçados: ao inverso dos precedentes, eles se distribuem principalmente nos volumes dos "agrotubules". Seu grau de individualização é muito variável:

- Alguns (Foto B, ME), de dimensões geralmente inferiores a  $100\ \mu\text{m}$  são apenas discerníveis, apresentando limites difusos, são reniformes a arredondados e não contém nenhuma cristalização visível.

- Outros (Foto C), maiores, têm limites bastante nítidos, com protuberâncias irregulares, são constituídos principalmente de microcristais brancos, não identificáveis ao microscópio óptico, mas contém também encraves de plasma amarelo, idêntico ao do fundo matricial em torno. Uma observação, com aumento maior (Foto D), revela que seus limites apresentam numerosas protuberâncias e que são contornados por orientações plásmicas (OP) e fissuras e, também, por pequenas ilhas (I) de material microcristalizado de composição análoga à do "nodule".

B) Os "nodules" de dimensões centimétricas são igualmente contornados por "agrotubules" e pertencem a dois tipos diferentes:

Uns esbranquiçados (Fotos E, F, G) apresentam todas as dimensões intermediárias com os precedentes; são reconhecidos setores mais cinza (SC na Foto), microcristalinos incluindo alguns "micronodules" vermelhos, e outros tingidos de amarelo (SA na Foto), geralmente situados na periferia dos "nodules", separados dos precedentes por limites difusos, nos quais se distinguem apenas alguns cristais brancos finos. Estes "nodules" contém grãos de quartzo grosseiros (Q na Foto), corroídos a tal ponto que aparecem freqüentemente divididos em grãos menores, conservando uma orientação cristalina comum (Foto E). Todos estes quartzos estão profundamente recortados por golfos de corrosão, parcialmente ocupados por cristais brancos brilhantes, atingindo algumas dezenas de  $\mu$ , identificados como gibbsita (G na Foto F). Estes cristais apresentam uma continuidade, de dimensão e aspecto, com os microcristais contidos no fundo matricial do "nodule".

De resto, são observados vazios de dimensões diversas, por vezes parcialmente ocupados por fragmentos de quartzo e contornados por cristalização de gibbsita.

O limite externo do nódulo (Foto G), bastante nítido, apresenta protuberâncias no contato com o plasma em torno. Neste último, são reconhecidos pequenos grãos disseminados de gibbsita, assim como fissuras e orientações plásmicas.

Certos grãos de quartzo (Foto G) estão parcialmente incluídos nos "nodules", no contato com o fundo matricial -: constata-se que o seu limite com o material microcristalizado gibbsítico (MG) é marcado pelos efeitos de uma forte corrosão, enquanto que aqueles que estão em contato com o plasma amarelo (PA) são nítidos. Parece, portanto, que a corrosão do quartzo se exerce de maneira muito mais enérgica no interior dos "nódulos" que no fundo matricial que os envolve.

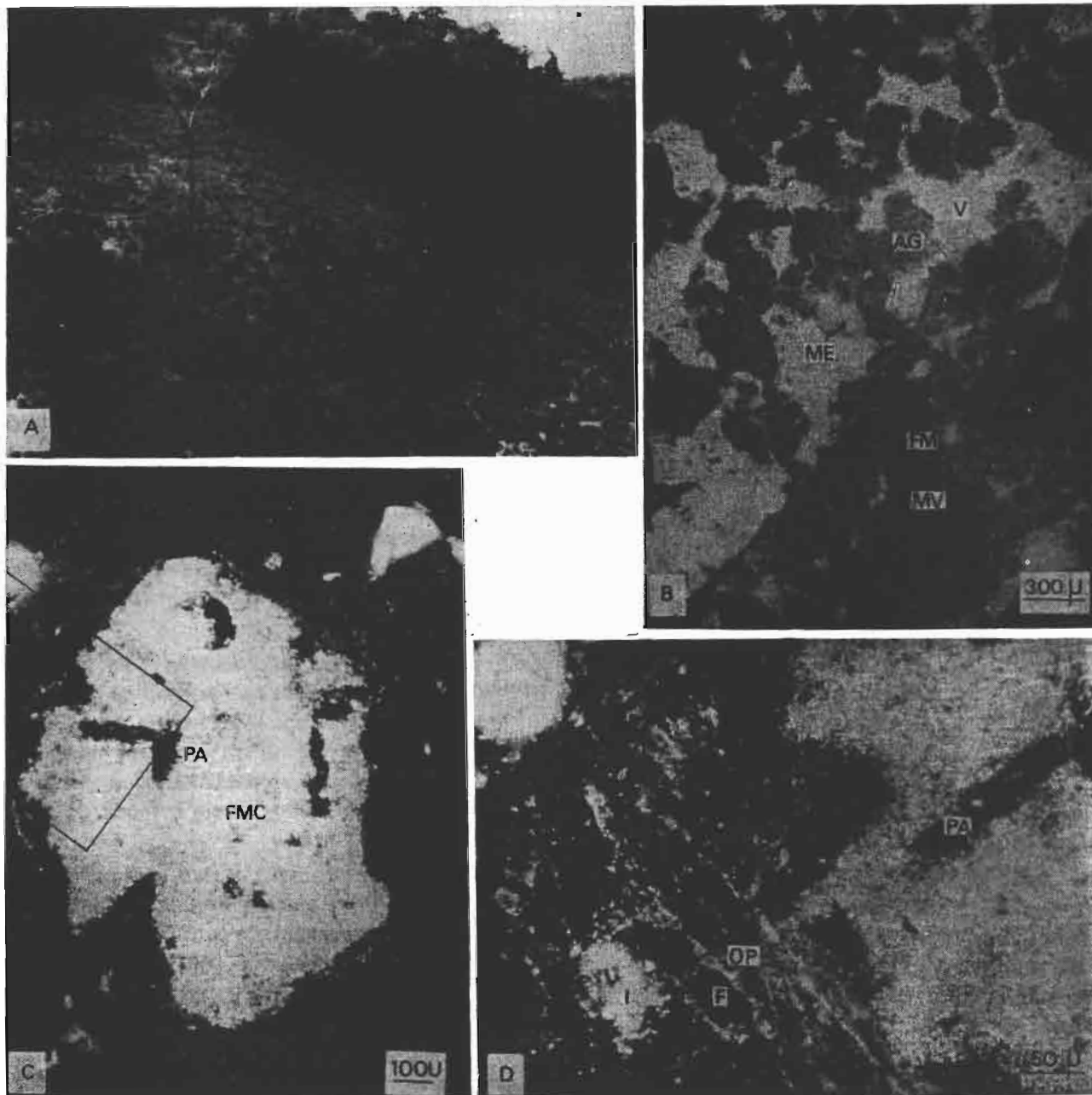
Os outros "nodules" de dimensões um pouco superiores (2 a 3 cm) apresentam uma rede de cor vermelho-violácea, cujas malhas estão ocupadas seja por volumes esbranquiçados microcristalinos gibbsíticos, análogos aos que foram precedentemente descritos, seja por grãos de quartzo fortemente corroídos e incrustados de óxidos de ferro (hematita). Estes "nodules" geralmente de forma achatada, apresentam limites nítidos com o fundo matricial.

A análise ao *microscópio eletrônico de varredura* completa as observações precedentes, permite fazer um inventário morfológico dos minerais argilosos e de alguns hidróxidos, proceder ao estudo do estado da superfície dos quartzos e, sobretudo, revela o modo de arranjo dos constituintes.

O *fundo matricial do solo*, essencialmente constituído pelo plasma argiloso amarelo isotropo está representado na Foto H, tomada com forte aumento ( $\times 20.000$ ). São reconhecidas pequenas plaquetas hexagonais a arredondadas. Uma sondagem pontual semi-quantitativa revela que se trata de caolinita (CA). Observa-se que estas partículas são muito finas (da ordem de  $0,1\ \mu\text{m}$ ) e reunidas de forma desordenada, sem orientação privilegiada, deixando entre si vazios, cujas dimensões são da ordem de  $0,1\ \mu\text{m}$  (criptovazios). No interior do plasma, são observados alguns quartzos mais ou menos corroídos e cristais de gibbsita, muito pequenos, disseminados.

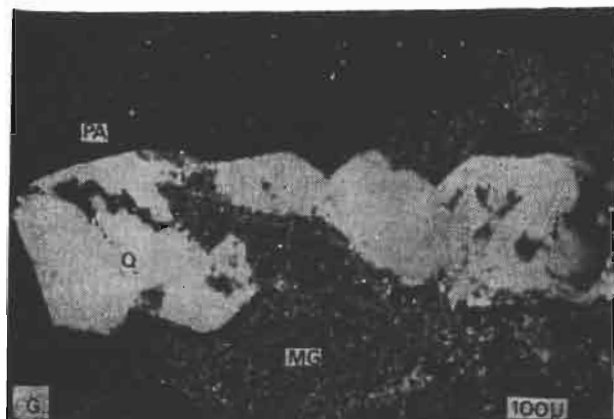
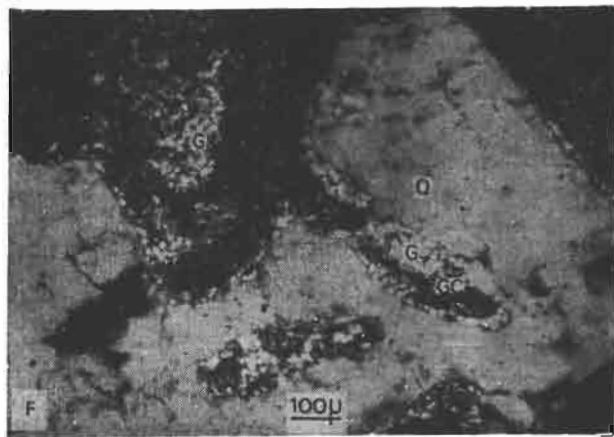
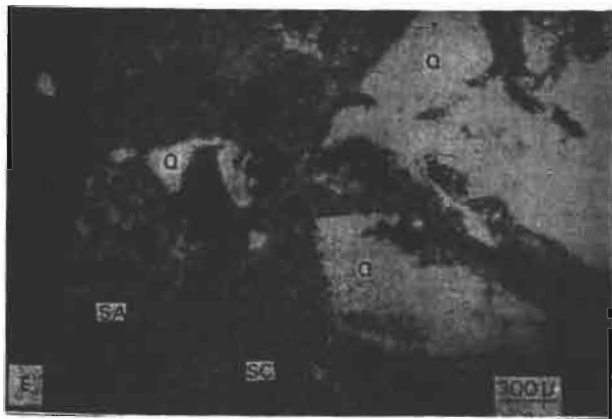
O fundo matricial de um "nodule" esbranquiçado, de dimensão centimétrica é visível na Foto I, tomada com o aumento  $\times 1.000$ . São reconhecidos dois tipos de constituintes: pequenas plaquetas grosseiramente hexagonais mais ou menos irregulares de caolinita

(CA na Foto) e cristais tabulares, com forma de hexágono a losângo, cujas dimensões são da ordem de 10 a 20  $\mu\text{m}$ . Uma sondagem pontual indica que estes cristais são constituídos essencialmente de alumínio neste caso a gibbsita (G na Foto). Observam-se a perfeição



Fotos A/D: A — Modelado característico dos rebordos de "platôs" na região considerada (observado em uma zona parcialmente desmatada, à margem da estrada); B — Horizonte B22 do perfil 1, observado ao microscópio óptico (luz natural): — a parte superior esquerda recorta o volume de um "aggrotubule" onde se observam agregados (AG), vazios (V) e "micronodules" esbranquiçados (ME); — a parte inferior direita corresponde ao fundo matricial contínuo (FM) contendo "micronodules" vermelho violáceo (MV); C — "Micronodule" esbranquiçado no horizonte B22 do perfil 1 (luz polarizada) — fundo matricial microcristalino (FMC) — encraves de plasma amarelo (PA); D — Limite do mesmo "micronodule" observado com aumento maior (luz polarizada) — orientações plásmicas (OP) e fissuras (F).





Fotos E/G — Microscópio óptico: E — Parte de um "nodule" de dimensões centimétricas (luz polarizada); — setores cinza (SC) e setores tingidos de amarelo (SA) — grãos de quartzo grosseiros corroídos (Q); F — Detalhe de um quartzo contido dentro do mesmo "nodule" (luz polarizada). — golfos de corrosão (GC) — cristais de gibbsita (G); G — Grão de quartzo (Q) parcialmente incluído num "nodule" (luz polarizada): — limite com material microcristalizado gibbsítico (MG) marcado pelos efeitos de uma forte corrosão; — limite em contato com o plasma amarelo (PA) nítido.

das suas formas (indício de uma boa cristalização), assim como a sua concentração e sua orientação relativa em torno de um vazio ("Crystal chamber". Brewer, 1964). Os grãos de quartzo (Q) contidos no fundo matricial apresentam, em toda a sua superfície, cavidades de formas geométricas (Foto N) que parecem resultar de uma corrosão muito intensa.

A organização dos "nodules" de rede vermelho violácea é visível na Foto J. São reconhecidas superfícies de "ferrans" (Brewer, 1964 — FE na Foto) apresentando um aspecto globular irregular, e constituídos por óxidos de ferro amorfo ou criptocristalinos, assim como fissuras e cavidades parcialmente ocupadas por cristais tabulares com forma de losângulo a hexágono, identificados como gibbsita (G na Foto). A observação com um aumento maior (Foto K) revela bem o aspecto globular dos "ferrans" e a organização da gibbsita em "crystal chambers". Os grãos de quartzo inclusos nestes "nodules" (Q) apresentam o aspecto visível nas Fotos L e M: contornados por "ferrans" (FE na Foto), ocupam apenas uma pequena parte dos volumes assim delimitados; sua superfície observada com maior aumento (Foto M) é caracterizada por alinhamentos de pequenas pontas em forma de pirâmide, correspondentes a figuras de dissolução.

Os principais dados obtidos pela análise microscópica e ultramicroscópica podem ser assim resumidos:

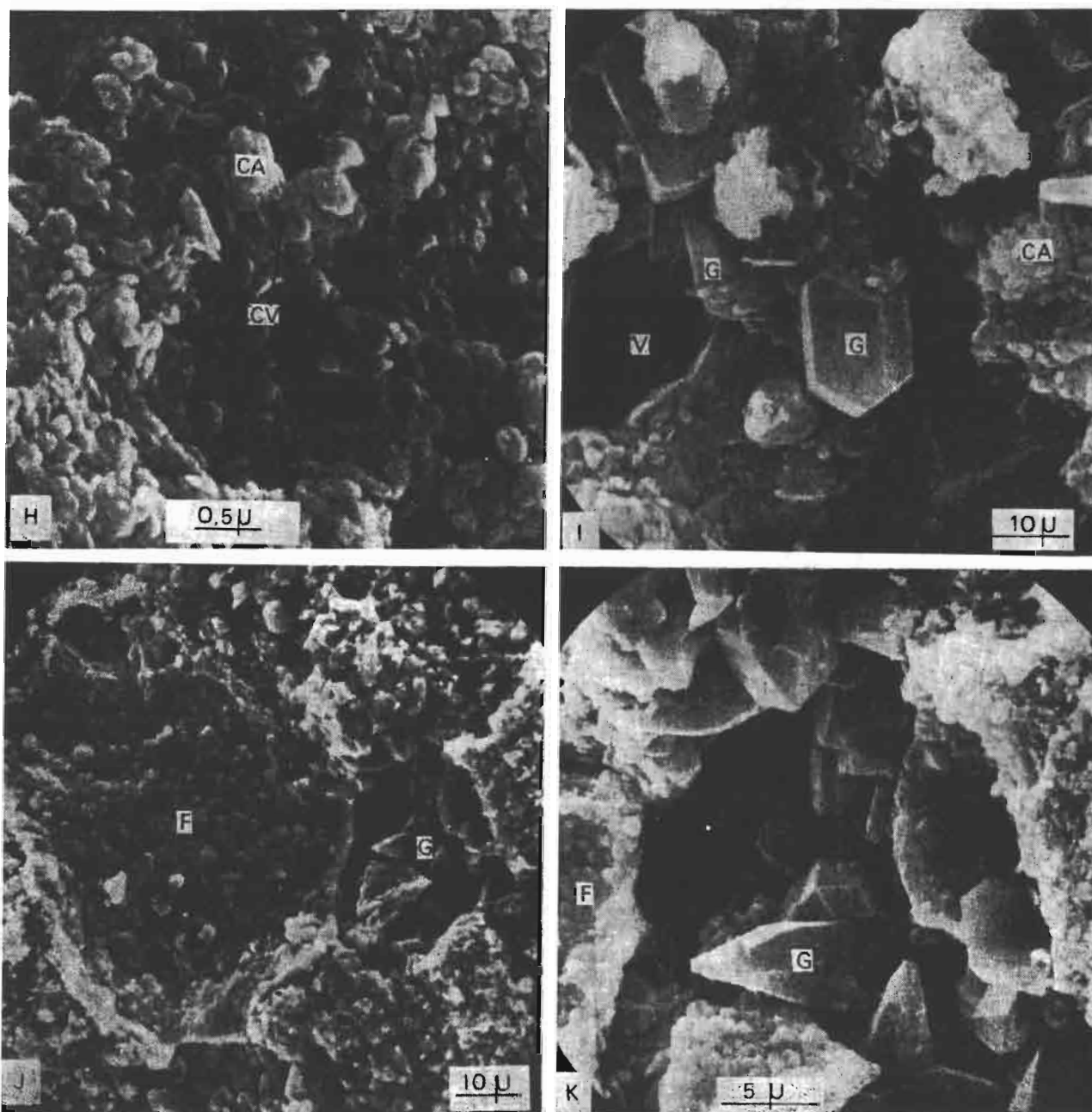
Os materiais pedológicos estudados são compostos por volumes distintos, encaixados uns nos outros, caracterizados por porosidades diferentes:

— a maior parte do fundo matricial, de estrutura contínua, contém apenas microvazios (diâmetro da ordem de  $0,1 \mu\text{m}$ ).

— Neste fundo matricial, volumes tubulares (ou "aggrotubules") parcialmente ocupados por pequenos agregados, abrigam a totalidade dos vazios grosseiros comunicantes.

— Contornados por estes "aggrotubules" os "nodules" apresentam também uma porosidade interna.

Os constituintes minerais destes materiais se distribuem de maneira específica nestes volumes:



Fotos H/K — Microscópio eletrônico de varredura: H — Fundo matricial do solo (x 20.000): — caolinita (CA), criptovazios (CV); I — Fundo matricial de um "nodule" esbranquiçado (x 1.000): — caolinita (CA) — gibbsita (G) — vazios (V); J — Organização de um "nodule" de rede vermelho violáceo (x 800): — ferrans (F) — gibbsita (G); K — Detalhe do mesmo "nodule" de rede vermelho violáceo (x 2.500): — ferrans (F) — cristais de gibbsita (G).

+ pequenas partículas de caolinita constituem o essencial do fundo matricial;

+ grãos de quartzo, geralmente grosseiros, são observados no todo, corroídos medianamente no fundo matricial e fortemente nos "nodules".

+ a gibbsita aparece nos "micronodules" sob forma criptocristalina, constitui microcristais

no fundo matricial dos "nodules" e "crystal chambers" em torno dos vazios destes últimos.

+ Os óxidos de ferro são observados sob forma de "ferrans", unicamente nos "nodules" vermelho violáceos.

Deslocando-se do perfil 1 para o perfil 2 e em cada um deles, dos horizontes B1 para os horizontes B21, B22 e B22 Cn, observa-se uma

Individualização mais e mais marcada destes volumes.

#### OUTROS DADOS RELATIVOS À CONSTITUIÇÃO DOS MATERIAIS PEDOLÓGICOS

Os resíduos totais da peneiragem (cascalhos > 2 mm) e os resultados da análise granulométrica, obtidos após dispersão com o pirofosfato, figuram no Quadro 3.

Constata-se que :

— os fortes teores em argila estão de acordo com a predominância do plasma, observada ao microscópio. Nota-se, toda vez que o máximo é observado no horizonte B1 e que os teores diminuem sensivelmente nos horizontes B21, B22, B22 Cn e B3, enquanto que aumentam as quantidades de areias grosseiras;

— os teores em silte fino são bastante elevados nos horizontes B21 e B22 do perfil 1 e na totalidade do perfil 2;

— os elementos muito grosseiros (cascalho > 2 mm) estão pouco representados no perfil 1, aparecem bem mais no perfil 2, particularmente ao nível dos horizontes B21 e B22 Cn.

Os resultados das investigações mineralógicas e químicas feitas sobre as amostras totais e sobre as frações granulométricas separadas, completam estes primeiros dados e permitem precisar a sua significação.

As curvas de análise térmica diferencial, obtidas a partir da terra fina, estão representadas na Figura 3, correspondem às amostras dos horizontes AB, B1 e B22 do perfil 1 (Gráfico A) e as amostras dos horizontes AB, B21, B22 Cn e B3 do perfil 2 (Figura 3 — Gráfico B). Ressalta do exame destas curvas que a composição da terra fina é, em todos os casos, comparável, marcada pela dominância da caolinita (picos endotérmicos próximos de 600° e exotérmico a 980°) e pela presença de gibbsita (pico endotérmico a 330°).

Os cálculos efetuados a partir dos resultados da análise química, após ataque tri-ácido das mesmas amostras de terra fina (reproduzidos em anexo), confirmam a constância da composição mineralógica, expressa no Quadro 4.

Nota-se :

— que as fracas variações observadas não

estão em relação com a diferenciação granulométrica dos horizontes;

— que os teores em caolinita são por vezes superiores às taxas de argila, enquanto que os teores em quartzo permanecem iguais ou inferiores à taxa de areia. Isto nos leva a examinar a composição mineralógica das diferentes frações granulométricas, em particular das partículas mais grosseiras, cuja composição pode ser complexa.

A análise térmica diferencial permite constatar que a fração argilosa é sempre essencialmente constituída de caolinita, acompanhada por fracas quantidades de gibbsita e provavelmente de hidróxido de ferro (goetita); que os siltes finos são compostos de quartzo (quase exclusivamente quando os teores são fracos) e de gibbsita; que os siltes grosseiros, as areias finas e sobretudo as areias grosseiras (Figura 3, Gráfico C), são compostos por uma mistura de grãos de quartzo e "micronodules" gibbsíticos (bem visíveis à lupa nas areias grosseiras), estes últimos estão sobretudo representados nas areias extraídas dos horizontes B21 e B22 do perfil 1, e mais ainda nos horizontes B21, B22 Cn e B3 do perfil 2.

Com relação aos "nodules" "branco marfim" e "vermelho violáceos", enfim, somente presentes nos horizontes B21 e B22 Cn do perfil 2, as curvas de análise térmica diferencial, reproduzidas no Gráfico D da Figura 3, mostram que são compostos principalmente pela gibbsita e por fracas quantidades de caolinita e de hidróxido de ferro (pico endotérmico entre 300° e 400° superposto ao da caolinita).

Ainda que considerada globalmente, a terra fina apresenta uma composição mineralógica relativamente homogênea, com dominância de caolinita, descobrimos nas frações mais e mais grosseiras, um gradiente de concentração de gibbsita, que se acentua passando-se do perfil 1 para o perfil 2.

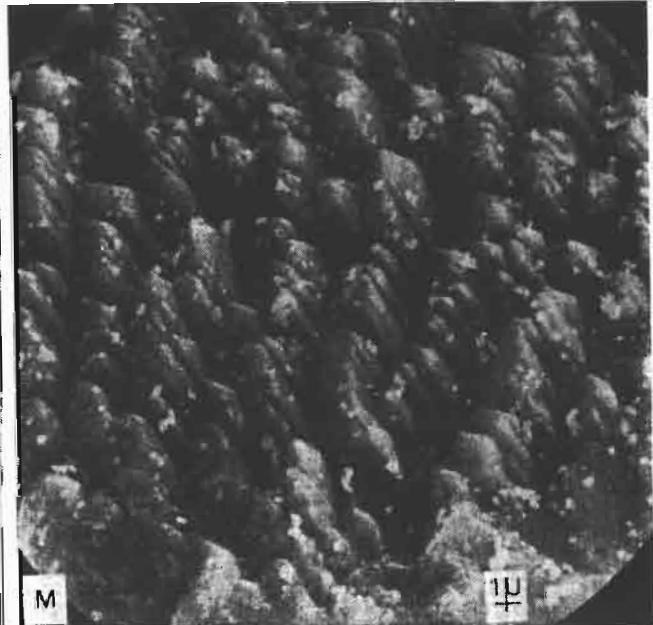
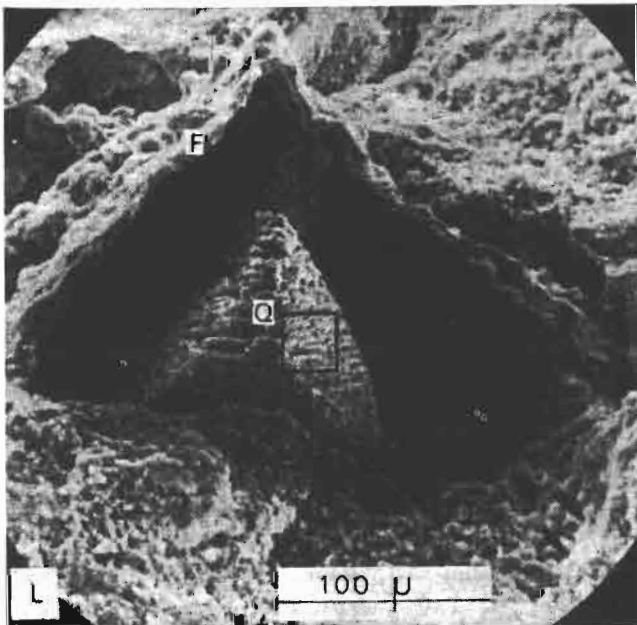
#### DADOS RELATIVOS AO COMPORTAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DOS MATERIAIS PEDOLÓGICOS ESTUDADOS E O SEU COMPLEXO ABSORVENTE

O teste de dispersão na água destilada (sem reativo dispersante), indica os teores em argila "natural". No perfil 1, estes valores se elevam a 15% nos horizontes A1, a 5% no

horizonte AB e a aproximadamente 1% nos outros horizontes. No perfil 2, estes teores são um pouco mais fortes para os horizontes A e AB (18 e 10%), mas quase nulos em profundidade.

Após tratamento com água oxigenada e lavagem com água destilada, observa-se, em todos os horizontes, uma dispersão nula. Deduz-se que a argila dita "natural" é de fato constituída por argila complexada pela matéria orgânica e, desta forma, dispersável. Após destruição destes complexos por peroxidação, parece que os constituintes mineralógicos da fração argilosa não se dispersam na água.

Os ensaios de separação granulométrica realizados após ataque com água oxigenada, saturação do complexo adsorvente pelo potássio e ajuste do pH a valores variáveis (compreendidos entre 3 e 10), pela adição de pequenas quantidades de HCl e NH<sub>4</sub>OH, não permitem em nenhum caso obter qualquer dispersão. Isto significa que a argila contida nestes solos, desembaraçada da sua fração orgânica, não apresenta para nenhum valor de pH, uma predominância de cargas positivas ou negativas, susceptível de assegurar a formação de uma suspensão estável.



Fotos L/N — Microscópio eletrônico de varredura: L — Grão de quartzo num "nodule" de rede vermelha violácea (x 300): — quartzo (Q) — "ferrans" (F); M — Aspecto da superfície do mesmo grão de quartzo (x 3.500): — alinhamentos de pequenas pontas em forma de pirâmide, correspondentes a figuras de dissolução; N — Aspecto da superfície de um grão de quartzo contido em um "nodule" esbranquiçado: cavidades de formas geométricas resultantes de uma corrosão intensa.

**QUADRO 3 — Características analíticas dos solos estudados: Cas = Cascalho; a = argila; sf = silte fino; sg = silte grosso; AF = areia fina; Ag = areia grossa; U = umidade; MO = matéria orgânica; Ca, MG, K, Na = cátions trocáveis; S = soma de cátions trocáveis; Al = alumínio trocável; T = capacidade de troca; V = relação 100. S/T.**

Horizonte	PROF. cm.	CAS.	A	SF	SG	AF	AG	U	MO	pH		Ca	Mg	K	Na	S	Al	T	V	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
										H <sub>2</sub> O	KCl									
A1	0,10	0,3	70,2	3,9	4,0	2,9	14,0	1	4,6	4,1	3,8	0,06	0,03	0,05	0,04	0,18	1,76	9,75	2	2,4
AB	15,30	0,4	76,0	4,7	9,0	2,1	5,5	0,9	2,4	4,5	4,3	0,06	0,03	0,02	0,02	0,13	1,14	5,00	3	3,2
B1	50,70	0,3	88,5	1,0	0,8	2,2	5,5	0,9	1,5	4,4	4,4	0,06	0,03	0,01	0,01	0,11	0,95	3,50	3	3,1
B21	80,90	0,3	76,2	9,3	1,0	4,1	7,5	0,8	0,9	5,3	4,6	≤ 0,05	0,09	≤ 0,01	0,01	≤ 0,16	0,63	3,00	5	2,8
B21	110,120	0,2	70,0	7,8	1,2	4,8	13,7	0,8	0,8	5,6	4,9	≤ 0,05	0,09	≤ 0,01	0,01	≤ 0,16	0,33	1,75	9	2,8
B22	180,200	0,4	66,5	9,2	3,0	5,0	14,8	0,8	0,5	6,0	5,1	≤ 0,05	0,09	≤ 0,01	0,01	≤ 0,16	0,05	2,00	8	2,2
A1	0,10	2,2	61,2	12,8	1,5	5,0	15,1	0,9	4,4	4,7	4,2	0,06	0,03	0,04	0,02	0,15	1,65	9,50	2	2,1
AB	15,30	1,3	71,0	8,5	0,5	4,4	12,5	0,9	2,4	4,9	4,4	0,06	0,03	0,02	0,01	0,12	0,72	5,25	2	2,4
B1	40,55	1,5	78,0	8,0	0,5	3,3	7,5	0,9	1,6	4,9	4,5	≤ 0,05	0,09	0,01	0,01	≤ 0,16	0,96	4,25	4	2,3
B21	100,110	2,9	78,0	8,0	0,4	3,2	8,4	0,8	0,8	5,2	4,7	0,06	0,03	≤ 0,01	0,01	≤ 0,11	0,73	2,25	5	2,7
B22Cn	125,130	48,3	69,5	8,2	1,4	4,4	13,7	0,9	0,5	5,6	4,8	0,06	0,03	≤ 0,01	0,01	≤ 0,11	0,51	2,00	6	2,9
B22Cn	180,200	8,1	66,5	7,5	2,1	5,0	17,8	0,6	0,3	5,9	4,9	≤ 0,05	0,09	≤ 0,01	0,01	≤ 0,16	0,31	1,50	11	3,0
B3	300,350	1,3	63,9	8,0	1,7	4,5	22,0	0,4		5,4	5,1	≤ 0,05	0,09	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,16	0,15	0,75	21	2,8

QUADRO 4 — Composição mineralógica da terra fina dos perfis 1 e 2 (Horizontes A1 excluídos)

Constituintes	Caolinita	Gibbsita	Ox. e Hidrox. de ferro	Ox. de titânio	Quartzo
Teores em %	76 à 79	7 à 8	3 à 4	2 à 3	7 à 10

Os resultados das separações granulométricas, que figuram no Quadro 3, mostram que, após adição de pirofosfato, a maior parte da argila torna-se dispersável. Isto seria devido à fixação de moléculas de pirofosfato sobre as partículas coloidais, que lhe dão uma carga suficiente para assegurar a formação de uma suspensão coloidal (como aquela produzida com os constituintes orgânicos da argila "natural").

Todos estes testes de dispersão evidenciam o caráter pouco coloidal da fração argilosa dos solos considerados.

As medidas de capacidade de troca (T), que figuram no Quadro 3, completam a caracterização do comportamento físico-químico dos solos estudados. Nota-se que se os valores de T nos horizontes orgânicos A e AB são relativamente elevados, eles diminuem fortemente nos horizontes B1, B21 e B22 do perfil 1, e se tornam muito fracos nos horizontes B22 Cn e B3 do perfil 2. Este último horizonte apresenta, com efeito, uma capacidade de troca da ordem de 1 filequivalente por 100 gramas de argila; sua aptidão para reter os cátions trocáveis é portanto praticamente nula. A atividade físico-química mais forte dos horizontes superficiais parece, portanto, ser atribuída principalmente aos constituintes orgânicos, bem distribuídos nos horizontes superiores, nos solos desta floresta amazônica (Volkoff & Cerri, 1981), que exercem neste domínio um papel primordial.

Os cátions trocáveis (Ca, Mg, K e Na) apresentam valores muito fracos, próximos ao limite das possibilidades de dosagem, em profundidade, apenas superiores nos horizontes superficiais (exceto o Mg que parece ser ligeiramente mais abundante em profundidade).

A comparação com os resultados da análise química após ataque tri-ácido (Quadro 5) mostra, entretanto, que estes cátions básicos não estão totalmente ausentes no solo.

Constata-se, assim, que numa quantidade de cálcio vizinha a 5 meq/100g contida no solo, um tratamento pelo acetato de amônio permite

QUADRO 5 — Comparação dos teores em bases trocáveis e em bases totais (expressas em meq/100g), no perfil 1

Horizontes	Ca	Mg	K	Na	Total	
AB	Bases trocáveis	0,06	0,03	0,02	0,02	0,13
	Bases totais	4,6	1,5	<0,2	3,5	9,9
B22	Bases trocáveis	<0,05	0,09	<0,01	0,01	<0,16
	Bases totais	6,4	1,5	<0,2	3,2	11,3

extrair somente aproximadamente 0,50 meq, ou seja, 1% do total. Um tratamento com cloreto de potássio (N) ou ácido clorídrico (0,05 N) dá valores um pouco mais elevados, da ordem de 0,1 a 0,2 meq. Mais de nove décimos, entretanto, se encontram energeticamente retidos pelos coloides dos solos, e podem ser liberados apenas pelo ataque destes últimos por reativos concentrados.

Estas propriedades de forte fixação de cátions (em particular de Ca), sob formas não extraíveis pelo acetato de amônio a pH 7, são consideradas por Stoops (1980) como características dos solos mais alterados dos trópicos úmidos. Este autor propõe duas explicações possíveis a este comportamento particular: o tipo de carga variável dos coloides desses solos e a presença no seu plasma, pouco dispersável, de uma microporosidade elevada (evidenciada por Tsuji *et al.*, 1975), susceptível de afetar suas trocas iônicas.

#### DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

##### AS CARACTERÍSTICAS COMUNS AOS DOIS PERFIS ESTUDADOS

Todos os dados disponíveis evidenciam similitudes entre os dois perfis, mais particularmente no que concerne aos horizontes A, AB, B1 e B21. Estes horizontes são todos pouco diferenciados, de textura argilosa, estrutura apenas visível.

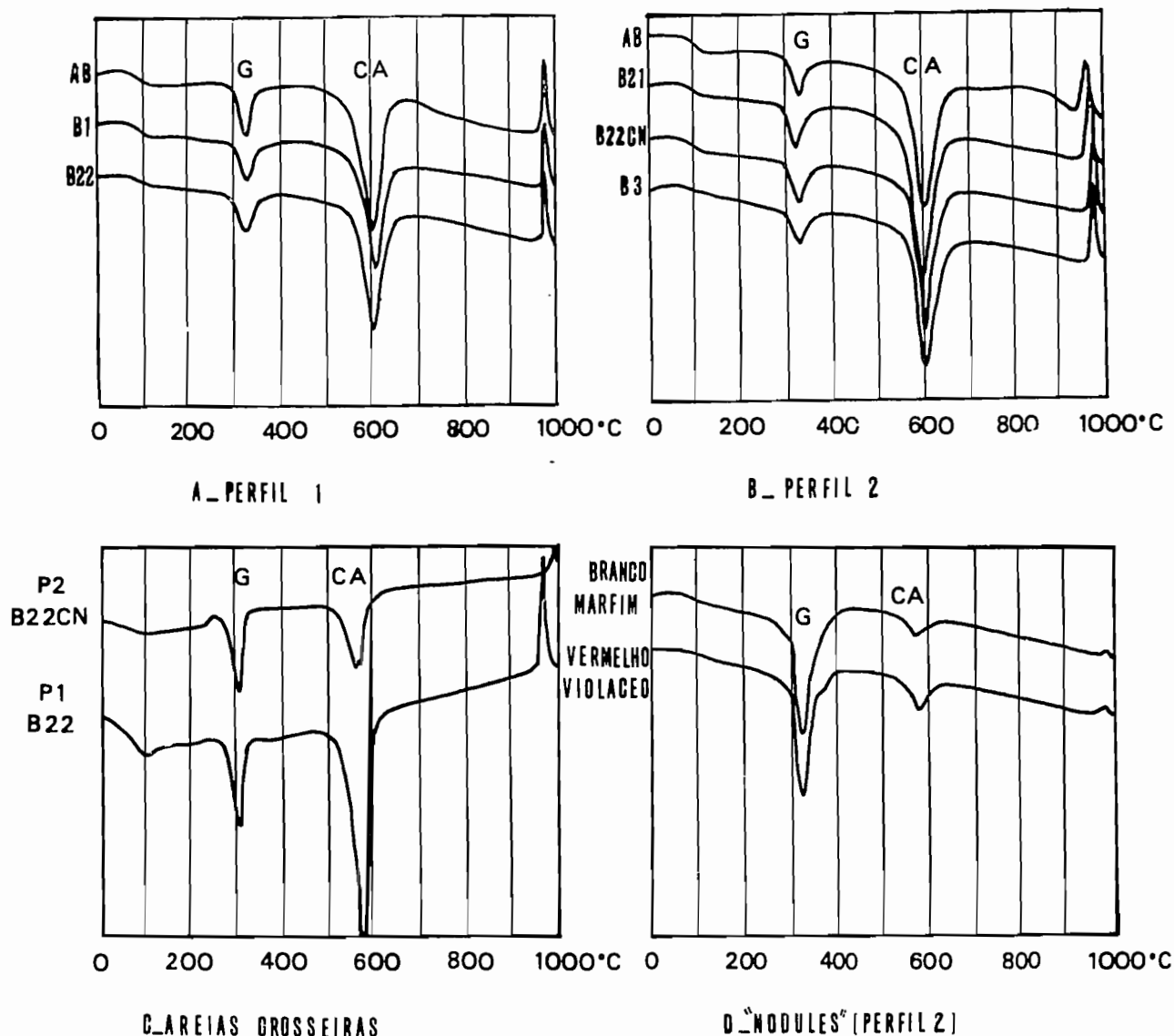


Fig. 3 — Curvas de análise térmica diferencial: A — terra fina, perfil 1; B — terra fina, perfil 2; C — areias grosseiras, horizonte B22 do perfil 1 e B22 Cn do perfil 2; D — "nodules" esbranquiçados e vermelho violáceos extraídos do horizonte B22 Cn do perfil 2.

Os estudos microscópicos e ultramicroscópicos completam estes dados morfológicos e revelam a dominância de um plasma caolinítico, contínuo, quase totalmente desprovido de orientações preferenciais e contendo quase exclusivamente criptovazios interparticulares de quase  $0,1\ \mu\text{m}$  de diâmetro. Só os volumes tubulares, parcialmente ocupados por agregados (onde se reconhecem fragmentos orgânicos), apresentam vazios comunicantes de mais de  $30\ \mu\text{m}$  de diâmetro (meso e criptovazios). Tem-se portanto, neste caso, uma distribuição *bi-modal* das dimensões dos vazios.

Esta distribuição bimodal seria, segundo Humbel (1976) característica dos solos ferralíticos. No caso dos solos estudados, é notável que as porosidades correspondentes à cada moda se distribuem no interior de volumes diferentes, em relação com as origens próprias a cada um deles: no plasma do fundo matricial, criptovazios intergranulares simples, entre as partículas de argila reunidas de maneira desordenada (Foto H); nos "agrotubules", vazios comunicantes interagregados, ligados à atividade biológica (vegetal e animal).

contraste entre dois meios: aquele do fundo matricial fracamente drenado, ocupado por soluções dificilmente mobilizáveis, e aquele dos "agrotubules", fortemente drenado e submetido a escoamentos rápidos.

Estas observações explicam bem os resultados obtidos por Nortcliff & Thornes (1977), no seu estudo sobre os movimentos de água e de cátions sob a Floresta Amazônica, na Reserva Ducke. Estes autores constataram que tudo se passa como se existissem vias preferenciais para a circulação rápida da água na estação das chuvas, enquanto que uma parte da solução do solo é lentamente deslocada durante a estação seca, pelo efeito de forças de origem climática, que então intervêm. O primeiro efeito diz respeito aos volumes tubulares ("agrotubules"), enquanto que o segundo se localiza no plasma do fundo matricial.

É possível que a forte retenção dos cátions básicos, assinalada precedentemente, seja igualmente atribuída a estes criptovazios contidos neste tipo de plasma como sugeriu Stoops (1980). Suas dimensões extremamente fracas se oporiam à circulação dos reativos de extração utilizados no laboratório e limitariam, assim, as possibilidades de troca. Esta hipótese explicaria o aumento relativo dos teores em bases trocáveis obtidos por Moura (1970), após esboroamento muito fino.

Nota-se igualmente que se a formação dos criptovazios e sua estabilidade parece resultar apenas do modo de associação e da fraca dispersabilidade dos constituintes do plasma, a dos "agrotubules" é atribuída a atividade biológica que depende da evolução da cobertura florestal. A degradação desta última dá, portanto, todas as oportunidades para modificar o equilíbrio existente entre a importância da drenagem e aquela da retenção de uma parte da solução do solo e dos cátions básicos.

O efeito da vegetação é de igualmente fornecer e renovar a matéria orgânica do solo que, como vimos, exerce neste caso uma ação preponderante sobre o comportamento e atividade físico-química da fração argilosa.

A evolução dos constituintes minerais, mais particularmente da caolinita e do quartzo, depende principalmente das condições físico-químicas existentes no seu contato, elas mesmas ligadas à circulação da solução do solo.

Diga-se a este respeito que Bourrie & Pedro (1980) mostraram recentemente que a atividade da água, isto é, seu potencial químico, aumenta à medida que diminui o potencial matricial e, portanto, que aumenta o diâmetro dos poros. Em presença de água praticamente pura (como o que se produz na Amazônia) este efeito matricial é sem dúvida determinante.

Não é, portanto, de se estranhar que tenhamos observado, no plasma do fundo matricial, em meio relativamente confinado e finalmente poroso, a manutenção da caolinita, enquanto que os "micronodules" de gibbsita se diferenciam no interior dos volumes tubulares fortemente drenados, com porosidade mais larga.

Entre o perfil e o perfil 2, estes "nodules" mudam de dimensões e se tornam muito mais abundantes.

#### CARACTERÍSTICAS PRÓPRIAS AO PERFIL 2

##### CONTENÚDO

As avaliações que figuram no Quadro 2 nos permitiram constatar uma modificação da porosidade, passando-se do perfil 1 ao perfil 2: diminuição sensível (de 4 a 6% do volume total), dos criptovazios ocupados pela água, acompanhada de um aumento da mesma ordem de grandeza do volume dos poros grosseiros ocupados pelo ar. Esta variação deve ser considerada como o indício de um funcionamento hídrico, que se modifica ligeiramente logo que aumenta a declividade.

O horizonte nodular se desenvolve neste nível e aumenta progressivamente com a declividade (Fig. 2). Isto nos leva a supor que a declividade exerce aqui um efeito sobre o escoamento das águas no espaço poral.

Os resultados dos trabalhos de Nortcliff & Thornes (1978) que põem em evidência uma relação estatística entre certas características da solução do solo (pH e teor em sódio), a declividade e a profundidade da amostragem parecem confirmar esta hipótese.

A observação microscópica traz alguns dados complementares. Mostra, de início, que os "nodules", freqüentemente contornados por vazios se situam, como os "micronodules", no interior dos volumes bem drenados, submetidos a ação da água circulante. Evidencia ainda toda uma graduação na constituição desses "no-



dules", em relação com a sua posição no perfil e em relação com sua estrutura interna (cristalização de gibbsita na proximidade dos vazios). A perfeição das formas cristalinas desta gibbsita parece ser um bom indício da sua neoformação no solo. Os limites externos, mais ou menos difusos e "germinantes" dos nodules", parecem também indicar uma evolução "in situ" pela destruição de constituintes, seguida pela neoformação de novos minerais. A corrosão dos quartzos enfim, visível no conjunto do solo, mais desenvolvida ao extremo, no interior dos volumes nodulares, revela uma dissolução do silício. O fato de que certos quartzos, parcialmente incluídos nos "nodules" e parcialmente em contato com o fundo matricial, apresentando no contato com o material gibbsítico numerosos golfos de corrosão, enquanto que seus limites com o plasma caolinítico permanecem retilíneos, indica que a propagação se efetua, provavelmente, por crescimento dos "nodules" que englobam progressivamente, os grãos de quartzo, contidos no fundo matricial, fazendo-os passar de um meio pouco agressivo (em contato com o plasma) a um outro no qual se exerce uma dissolução intensa do silício.

O processo mineralógico responsável pelo desenvolvimento destes "nodules" é uma destruição da caolinita que constitui o plasma, seguida de uma exportação do silício em solução na água, e, de acumulação "in situ" de hidróxido de alumínio, a partir da qual se produz uma neoformação de gibbsita. Da mesma forma que para a dissolução do quartzo, estes processos equivalem a uma dessilicificação do material pedológico.

Os trabalhos experimentais de Herbillon & Gastuche (1963-1962) mostraram que a cristalização da gibbsita só se realiza pela desionização do meio, em ausência de anions. Não é, portanto, de se estranhar que esta neoformação só se manifeste, de maneira evidente, nos horizontes profundos do perfil 2, ao nível onde diminui a concentração aniônica.

Quando da destruição da caolinita, os óxidos e hidróxidos de ferro que se encontram ligados a este mineral (sob forma de complexos, estudados por Fripiat & Gastuche, 1952) são liberados e podem dar origem a novos minerais ferríferos. Parece que este processo é

a origem dos "micronodules" vermelhos que são observados no contato com as acumulações de gibbsita. Ainda que os materiais estudados sejam pobres em ferro observa-se, neste caso, a formação de concentrações de óxido de ferro.

Parece também que a formação dos "nodules" centimétricos vermelho violáceos, resultado mesmo processo de concentração dos óxidos de ferro, consecutivo à destruição da caolinita. Tendo em conta a sua individualização mais forte e a sua maior concentração, pode-se supor, entretanto, que se tratam de relíquias de uma evolução anterior, acumuladas aqui sob forma de linhas de seixos, que teriam servido ponto de partida para a formação de uma nova geração de "nodules".

#### CONCLUSÕES

Certas características dos latossolos amarelos distróficos argilosos da região de Manaus parecem muito significativas:

— a dominância de um plasma contínuo, de cor amarela, com estrutura pouco expressa;

— a natureza deste plasma, essencialmente composto por partículas muito finas de caolinita reunidas de maneira desordenada e deixando entre si criptovazios ( $<0,1 \mu\text{m}$ );

— a fraca atividade coloidal dos constituintes argilosos deste plasma, revelada por capacidades de troca mínimas e pela ausência de argila deslocada;

— a presença de volumes de formas mais ou menos tubulares, particularmente desenvolvidos na parte mediana dos perfis, contendo microagregados, mesovazios comunicantes ( $35$  à  $75 \mu\text{m}$ ) e "nodules" de gibbsita.

A organização microscópica e ultramicroscópica destes solos está caracterizada, assim, por uma distribuição bimodal dos raios dos vazios, que evidenciam a existência de dois sistemas de porosidade diferentes: conjunto dos criptovazios, incluídos na assembléia plásmica, que asseguram a retenção e a circulação muito lenta da água — rede de mesovazios devidos à atividade biológica e responsáveis pela drenagem rápida.

Estes sistemas de porosidade se distribuem nos volumes submetidos às condições geológicas diferentes: criptovazios no plasma

contínuo onde existe um meio suficientemente confinado para assegurar a conservação da caulinita e a retenção forte dos cátions — volumes tubulares fortemente drenados, "sedes" de uma desionização e de uma dessilicificação intensa na origem de uma neoformação de gibbsita.

A proximidade dos rebordos do platô, as possibilidades de drenagem lateral rápida se intensificam à medida que aumenta a declividade, permitem a exportação do silício em solução e a concentração relativa do alumínio e do ferro. Esta evolução pode ser considerada como a fase inicial da formação de jazidas de bauxita pela gibbsitização secundária da caulinita.

#### AGRADECIMENTOS

O autor agradece a G. Pedro e J. Berrier (Laboratório de Solos C.N.R.A. Versailles-France) pela colaboração na microscopia eletrônica de varredura e microsonda.

#### SUMMARY

In the region of Manaus, the low sedimentary plateaux (Tertiary formations of the Barreiras Group) are dominated by clayey yellow latosols with a very low base saturation (Acrorthox and Haplorthox according to the Soil Survey Staff).

These soils present in general a fairly homogeneous profile particularly considering the colour, the texture (very clayey) and the structure (very weakly developed). But in the edge of the plateau, near the axes of drainage, the soils change laterally and gradually into a soil more differentiated with a B22Cn containing white and virescent red nodules.

Microscopic and mineralogical analysis show at the first, the large dominance of a kaolinitic plasma with argillasepic fabric, showing no recognizable aggregates nor voids, enclosing nothing but isolated quartz grains and white and virescent red micronodules. The abundance of the micronodules increases strongly in the neighbourhood and in the interior of the microaggregated filling of "agrotubules" of biologic origin, which contains most of the interconnected voids. It is exactly in these "bioturbed" volumes that appear and develop laterally in the edge of the plateaux, the nodules of a centimetric size and whitish colour (containing gibbsite, kaolinite and quartz) and/or virescent red colour (containing hematite, gibbsite, kaolinite and quartz).

The observation under S.E.M. together with the microprobe analyse show that the plasma of the S. matrix consists essentially of packing of very fine particles of kaolinite ( $<0,2\mu$ ) forming the cryptovoids. The S. matrix of the white nodules consists of finely crys-

tallised gibbsite and kaolinite, while in the red ones, besides these constituents a high concentration of iron oxides (55% in weight) is present. The walls of the intranodular voids are coated with gibbsite crystal ("crystal chambers") or with iron cutans ("ferrans").

The results of dispersion test and chemical and physico-chemical analysis show particularly the weak colloidal characteristic of the soil clay as well as their aptitude to retain strongly the cations under a non exchangeable form.

Finally, as a conclusion, it can be said that the results shown out a group of characteristics, some of them being common to the latosols in general, and some other more peculiar to the studied soils:

— Bimodal distribution of the voids radius: cryptovoids ( $<0,1\mu$ ) and meso or macrovoids ( $>30\mu$ ). The cryptovoids are situated within the plasmic structure of the S. matrix, while most of the others are enclosed in the "agrotubules".

— Retention of high water content in the field capacity in the cryptovoids (30-40% in volume). Rapid drainage of excess of water by the packing porosity of agrotubules.

— Preservation of kaolinite and small content of quartz in the S. matrix, submitted to slow movement of the soil solution. Strong desilicification and formation (or conservation) of gibbsite in the agrotubules where strong leaching condition is present.

— Very weak colloidal activity of the clay fraction and strong fixation of cations under a nearly non exchangeable form, as considering the state of the absorption complex and the presence of a microporosity limiting the exchange possibilities.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOURRIE, G. & PEDRO, G.  
1979 — La notion de pF, sa signification physico-chimique et ses implications pédogénétiques. 1. Signification physico-chimique-Relation entre le pF et l'activité de l'eau. SCIENCE DU SOL, 4: 313-322.
- BREWER, R.  
1964 e 1976 — Fabric and Mineral analysis of soils, J. Wiley and Sons, N.Y., 482 p.
- CPCS (Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols)  
1967 — Classification française, Document provisoire de l'Ecole Nat. Sup. Agron. GRIGNON, 87 p.
- FRIPIAT, J.J. & GASTUCHE, M.C.  
1952 — Etude physico-chimique des surfaces des argiles. Les combinaisons de la kaolinite avec les oxydes de Fe trivalents. PUBL. INEAC, Ser. Sci. 54, 60 p.
- HERBILLON, A. & GASTUCHE, M.C.  
1962 — Synthèse et genèse de l'hydrargillite. C.R. AC. SC., Paris, 254: 1105-1107.

- 1963 — Etude des complexes kaolinite-hydroxyde d'aluminium. Synthèse et genèse des trihydrates cristallisés. *Bull. Roupe Fr. des Argiles*, 138: 77-94.
- HUMBEL, F.X.  
1976 — L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. *Trav. et Doc. ORSTOM*, 54, 306 p.
- IPEAN  
1969 — Os solos da área "Manaus-Itacoatiara" — Série: *Estudos e Ensaios*, Belém, 1, 177 p.
- MOURA, W.F. & BUOL, S.W.  
1975 — Studies of a Latossolo Roxo (Eustrustox) in Brazil: micromorphology, effect on ion release. *Experimentiae* 21: 161-177.
- NORTICLIFF, S. & THORNES, J.B.  
1978 — Water and cation movement in a tropical rain forest environment. I Objectives, experimental design and preliminary results. *Acta Amazonica*, 8 (2): 245-258.
- NORTICLIFF, S. & THORNES, J.B.  
1978 — Report of field activities — OEA Project In Amazonas.
- RADAM (Projeto)  
1976 — Programa de Integração Nacional — levantamento de recursos naturais — Vol. 10 (Santarém), 510 p., DNPM, Ministério das Minas e Energia — Rio de Janeiro.
- SIOLI, H.  
1968 — Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon Region. *Amazoniana*, 1 (3): 267-277.
- SOIL SURVEY STAFF  
1975 — Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys — USDA, AGR. HANDB. 436. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- STOP, W.A.  
1980 — Ion adsorption mechanisms in oxidic soils; implications for point of zero charge determinations — *Geoderma*, 23 (1980). 303-314.
- TRICART, J.L.F.  
1978 — Ecologie et développement: l'exemple amazonien. *Annales de Géographie*, 481: 258-291.
- TSUJI, G.Y.; WATANABE, R.I.; SAKAI, W.S.  
1975 — Influence of soil microstructure on water characteristics of selected Hawaiian soils. *Soil Sci. Soc. Am., Proc.*, 39: 28-33.
- VILLA NOVA, N.A.; SALATI, E.; MATSUI  
1976 — Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. *Acta Amazonica*, 6 (2): 215-228.
- VOLKOFF, B. & CERRI, C.C.  
1981 — Humus da Floresta Amazônica na região do rio Madeira. *R. Bras. Ci. Solo* (no prelo).
- WOLF, F. De A.M.  
1972 — Bauxita na Amazônia; In: *XXVI Congr. Soc. Bras. Geol., Bol. 1, Res. Com., Sessões Técnicas*: 36-38.

(Aceito para publicação em 22/01/81)