EVOLUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DE SOLOS ARGILOSOS ATÉ ARENOSOS
NO COMPLEXO GUIANENSE DA AMAZÔNIA OCIDENTAL

HÉLCIO ANDRADE
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTE

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz" ,
da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia, Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Dezembro - 1990

Ficha catalográfica preparada pela seção de livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

A553e Andrade. Hêlcio
 Evolução de uma sequência de solos argilosos até
 arenosos no complexo guianense da Amazônia Ocidental.
 Piracicaba, 1990.
 179p. ilustr.

Tese - ESALQ
Bibliografia,

1. Latossolo - Caracterização - Amazônia 2. Latos
solo - Gênese - Amazônia Ocidental 3. Solo arenoso -
sequência - Amazônia Ocidental 4. Solo argiloso - se
quência - Amazônia Ocidental 1. EScola Superior de Agri
cultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.44

EVOLUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DE SOLOS ARGILOSOS ATÉ ARENOSOS
NO COMPLEXO GUIANENSE DA AMAZÔNIA OCIDENTAL

HÉLCIO ANDRADE

Aprovada em: 02/04/91

Comissão julgadora:

Prof. Dr. José Luiz Ioriatti Demattê	ESALQ/USP
Prof. Dr. Arary Marconi	ESALQ/USP
Prof. Dr. Celso Augusto Clemente	ESALQ/USP
Prof. Dr. Wolmar Aparecida Carvalho	FCAV/UNESP
Prof. Dr. Nilton Curi	ESAL/MG

Prof. Dr. José Luiz Ioriatti Demattê
Orientador

À memória de meus pais,
cuja lição de vida continua
iluminando meu caminho.

· À memória de meu irmão Moreira,
que sempre acreditou na vitória
através do esforço e persistência,

DEDICO

À minha esposa Paulina e às minhas
filhas Fernanda e Érica, que compartilham
comigo todos os momentos de minha vida,
quer sejam de sucesso, quer de sacrifício,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Muitas são as pessoas e instituições que contribuíram para a execução desse trabalho, a quem apresentamos nossos agradecimentos.

Ao Professor Dr. José Luiz Ioriatti Demattê, pela confiança depositada em nossa pessoa, pela demonstração de apreço e amizade durante o curso e pela orientação firme e eficaz no desenvolvimento de nosso trabalho.

Aos organismos responsáveis pelo Projeto Amazônia I - IAEA/CNEN/ORSTOM/CENA/USP - que financiaram as excursões à Amazônia, e pessoas a eles ligadas, professores Dr. Adolpho José Melfi e Dr. Carlos Clemente Cerri e pesquisador Dr. Boris Volkoff.

Ao Dr. Didier Dubroeuq cuja experiência em solos da Amazônia foi imprescindível para o bom êxito desse trabalho.

Ao INPA e à equipe da ORSTOM de Manaus, que colocaram técnicos e instituições à nossa disposição, dando-nos todo apoio necessário.

Aos professores e funcionários do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ, e em especial ao Professor Celso Augusto Clemente, que conviveu conosco e

participou de todas as etapas de nosso treinamento.

À técnica de laboratório Maria Elizabete Guimarães, responsável pelas análises de raio X.

À Escola Superior de Agricultura de Lavras, aos professores e funcionários do Departamento de Ciência do Solo da ESAL, e em especial aos professores Nilton Curi e Vicente Gualberto que em todo e qualquer momento estiveram sempre prontos a nos auxiliar.

À CAPES pela bolsa de doutoramento concedida.

Aos nossos familiares que acompanharam com interesse todo o nosso percurso.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para o sucesso desse trabalho.

S U M A R I O

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
SUMMARY	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Solos de regiões intertropicais	6
2.2. O horizonte óxico	9
2.3. Evolução da mineralogia silicatada e gibbsítica	12
2.4. Dinâmica do ferro	18
2.5. O processo de hidromorfismo	24
2.5.1. Transformações químicas em ambientes hidromórficos	25
2.5.2. Alterações mineralógicas sob condições de hidromorfismo	29
2.6. Análise estatística da fração areia	31
2.7. Relação solo - paisagem	33
3. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	37
3.1. Localização	37
3.2. Geologia	39
3.3. Geomorfologia	40
3.4. Clima	42
3.5. Unidade morfoclimática e vegetação natural	44

	Página
4. MATERIAL E MÉTODOS	46
4.1. Escolha do local, descrição e coleta de amostras	46
4.2. Análises de laboratório	47
4.2.1. Análises físicas	47
4.2.1.1. Análise granulométrica e argila dispersa em água ..	47
4.2.1.2. Índice de floculação	49
4.2.1.3. Análise estatística da fração areia	49
4.2.2. Análises químicas	50
4.2.2.1. Ataque sulfúrico	50
4.2.2.2. Complexo sortivo	50
4.2.2.3. Carbono orgânico	51
4.2.2.4. Capacidade de troca de cátions (CTC)	51
4.2.2.5. Óxidos de ferro e de alumínio "livres"	51
4.2.2.6. Óxidos de ferro e de alumínio menos cristalinos	52
4.2.3. Análises mineralógicas	52
4.2.4. Análise micromorfológica	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1. Características morfológicas	55
5.2. Características físicas	59
5.2.1. Composição granulométrica	59
5.2.2. Índice de floculação - IF	64

	Página
5.2.3. Relações silte/argila e areia fina/ areia grossa	66
5.3. Parâmetros estatísticos	69
5.3.1. Diâmetro médio (M_z)	72
5.3.2. Grau de seleção (γ_r)	73
5.4. Características químicas	74
5.4.1. Complexo sortivo	74
5.4.2. Carbono orgânico	77
5.4.3. Dinâmica de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3	79
5.4.4. Grau de cristalinidade dos óxidos de ferro e de alumínio	87
5.5. Mineralogia da fração argila	92
5.6. Mineralogia da fração silte	107
5.7. Características micromorfológicas	112
5.8. Classificação dos solos	118
5.9. Sequência de solos da área estudada	125
5.10. Evolução da pedogênese	127
6. CONCLUSÃO	132
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
APÊNDICE 1: Curvas acumulativas e histogramas de frequência de distribuição granulométrica dos horizontes dos perfis estudados.....	166
APÊNDICE 2: Tabelas 6 e 7.....	175

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Possíveis sequências de alteração de filossilicatos. (Fonte: ALLEN & FANNING, 1983).....	19
Figura 2 - Relações de equilíbrio redox em sistemas aquosos. A área inscrita foi adotada de Baas Backing et al, (1960) e representa a maioria dos solos. (Fonte: LYNDSEY, W.L. 1979).....	28
Figura 3 - Sequências de solos comumente encontradas em ambientes údicos tropicais. (Fonte: SANCHEZ, 1976; CARMO et alii, 1984).	35
Figura 4 - Localização da área de estudo. (Fonte: Projeto RADAMBRASIL vol. 18).....	38
Figura 5 - Unidades morfoestruturais. (Fonte: Projeto RADAMBRASIL vol. 18.).....	41
Figura 6 - Etapas da evolução geomorfológica. (Fonte: Projeto RADAMBRASIL vol. 18).....	43
Figura 7 - Unidades morfoclimáticas. (Fonte: Projeto RADAMBRASIL VOL. 18).....	45
Figura 8 - Representação esquemática da cobertura pedológica da área estudada. (P: perfil. T: tradagem).....	48
Figura 9 - Perfil de distribuição das frações areia, silte e argila nas camadas, ao longo da sequência.....	63
Figura 10 - Curvas isovalor de argila.....	65
Figura 11 - Perfil das relações silte/argila e areia fina/areia grossa, em profundidade, nos perfis estudados.....	68
Figura 12 - Perfil das relações silte/argila e areia fina/areia grossa nas várias camadas, ao longo da sequência.....	70
Figura 13 - Variações do carbono orgânico (%) em profundidade (cm) ao longo da sequência.	78

Figura 14 - Perfil de distribuição de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 em profundidade, nos perfis estudados.....	82
Figura 15 - Perfil de distribuição de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 nas várias camadas, ao longo da sequência.....	84
Figura 16 - Perfil das relações K_i , K_r e K_f em profundidade, nos perfis estudados.....	85
Figura 17 - Perfil das relações K_i , K_r e K_f nas várias camadas, ao longo da sequência...	86
Figura 18 - Perfil de distribuição do Fe e do Al extraídos pelo CBD e pelo oxalato de amônio nas várias camadas ao longo da sequência.....	88
Figura 19 - Perfil das relações Fe oxalato/Fe CBD e Al oxalato/Al CBD nas várias camadas, ao longo da sequência.....	89
Figura 20 - Difractogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte A do perfil 2.....	93
Figura 21 - Difractogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Bw vermelho-amarelo, do perfil 2.....	94
Figura 22 - Difractogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Bw vermelho escuro, do perfil 2.....	95
Figura 23 - Difractogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte C do perfil 2.....	96
Figura 24 - Difractogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte A do perfil 4.....	97
Figura 25 - Difractogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Bw do perfil 4.....	98
Figura 26 - Difractogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Bf do perfil 4.....	99

Figura 27 - Difrátogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Cg1 do perfil 4.....	100
Figura 28 - Difrátogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Cg2 do perfil 4.....	101
Figura 29 - Difrátogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte A do perfil 6.....	102
Figura 30 - Difrátogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte A/C do perfil 6.....	103
Figura 31 - Difrátogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Cg1 do perfil 6.....	104
Figura 32 - Difrátogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Cg2 do perfil 6.....	105
Figura 33 - Difrátogramas de raios X da fração silte sem óxidos de ferro, dos horizontes do perfil 2.....	108
Figura 34 - Difrátogramas de raios X da fração silte sem óxidos de ferro, dos horizontes do perfil 4.....	109
Figura 35 - Difrátogramas de raios X da fração silte sem óxidos de ferro, dos horizontes do perfil 6.....	110
Figura 36 - Sequência de solos encontrada na área em estudo.....	126

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Principais características morfológicas de perfis representativos da sequência estudada.....	56
Tabela 2 - Composição granulométrica (%), IF (%), relação silte/argila e relação areia fina/areia grossa.....	60
Tabela 3 - Valores dos parâmetros estatísticos, calculados segundo FOLK & WARD (1957), utilizando a escala ϕ , para os perfis P2, P4, P5 e P6.....	71
Tabela 4 - Características químicas dos perfis estudados (complexo sortivo).....	75
Tabela 5 - Silício, ferro e alumínio extraídos pelo ataque sulfúrico; ferro e alumínio extraídos pelo CBD e pelo oxalato de amônio. Resultados expressos em %	80
Tabela 6 - Resultados da análise granulométrica da fração areia dos perfis P2, P4, P5 e P6 recalculados para 100%	176
Tabela 7 - Caracterização sumária da micromorfologia de segmentos representativos do local estudado.....	177

EVOLUÇÃO DE UMA SEQUENCIA DE SOLOS ARGILOSOS ATE ARENOSOS NO
COMPLEXO GUIANENSE DA AMAZONIA OCIDENTAL

Autor: HELCIO ANDRADE

Orientador: PROF. DR. JOSE LUIZ IORIATTI DEMATTE

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização e estudo da gênese de uma sequência Latossolo - Latossolo Podzólico Plíntico - Areia Quartzosa Hidromórfica pertencente ao Complexo Guianense, na Amazônia Ocidental. A área de estudo se localiza próximo ao Km 160 da BR-174, que liga Manaus a Caracaraí e consta de uma colina formada por solos argilosos nas partes elevadas, terminando em amplo vale de fundo arenoso, com forte hidromorfismo. Os regimes de temperatura dos solos são isoipertérmico e hipertérmico e os regimes de umidade údico e áquico nas partes mais elevadas e no fundo do vale, respectivamente.

Foram abertas 6 trincheiras e feitas 6 tradagens para a caracterização da cobertura pedológica. Após a descrição morfológica, foram selecionados quatro perfis representativos de três segmentos da sequência (domínio latossólico, região de transição e domínio hidromórfico), para estudo de características físicas, químicas, mineralógicas e micromorfológicas de seus componentes.

As partes elevadas da colina são dominadas por Latossolo Vermelho-Amarelo; a região de transição, por Latossolo Vermelho-Amarelo Podzólico Plíntico e as partes baixas por Areia Quartzosa Hidromórfica. O material de origem dos solos de toda a sequência é heterogêneo, dentro do domínio gnáissico e pobremente selecionado, derivado de rochas graníticas com concentração localizada de óxidos de ferro. Quimicamente, os solos são dessaturados com elevada saturação por alumínio. Nas partes altas da colina o gradiente textural é menor e a fração argila é composta de caulinita e de óxidos de ferro predominantemente nas formas cristalinas. A medida que se desce pela encosta, o gradiente textural aumenta e as formas de ferro se tornam menos cristalinas. No fundo do vale o processo de remoção da fração fina (devido ao hidromorfismo) é completado, persistindo um manto profundo arenoso. Os óxidos de ferro desaparecem restando a caulinita, ainda que em menores proporções. Foram encontradas ainda mica nas partes

inferiores dos perfis e vermiculita-cloritizada nas partes superiores. A evolução da sequência se dá principalmente pela degradação do material latossólico das partes elevadas.

EVOLUTION OF A SEQUENCE OF CLAYEY UP TO SANDY SOILS IN THE
GUAYANAN COMPLEX OF THE OCCIDENTAL AMAZON

Author: HELCIO ANDRADE

Adviser: PROF. DR. JOSE LUIZ IORIATTI DEMATTE

SUMMARY

The present work had as objective the characterization and genesis of a Latosol - Plinthic Podzolic Latosol - Hydromorphic Quartzous Sand which is part of the Guayanan Complex in the Occidental Amazon. The area of study is located near the Km 160 of the BR-174, which connects Manaus to Caracaraí, and represents a hill formed by clayey soils in the higher parts ending in an ample valley of sandy bottom, with strong hydromorphism. The temperature regimes of the soils are isohyperthermic and hyperthermic and the moisture regimes are udic and aquic, in the higher parts and valley bottom respectively. Six

trenches were open and core samples were examined in extra six sites for characterization of the pedologic cover. After the morphologic descriptions, four soil profiles representatives of the three sequence segments (latosolic, transition region, and hydromorphic domain) were selected for the study of physical, chemical, mineralogical and micromorphological characteristics of their components. The higher parts of the sequence are dominated by Red-Yellow Latosol, the transition region by Plinthic Podzolic Red-Yellow Latosol, and the lower parts by Hydromorphic Quartzous Sand. The parent material of the soils of all the sequence is heterogeneous and poorly selected, derived from granitic rocks of the Guayanan Complex. Chemically, the soils are leached with high aluminum saturation. In the higher parts of the sequence the textural gradient is smaller and the clay fraction is constituted by Kaolinite and iron oxides mainly in the crystalline forms. Downslope the textural gradient increases and the iron forms are less crystallines. At the valley bottom the process of the fine fraction loss (due to the hydromorphism) is completed, remaining a sandy deep mantle. The iron oxides disappear, remaining the Kaolinite, although in smaller proportions. Also were found mica in the deeper parts of the profiles and chloritized vermiculite in the upper parts. The sequence evolution is processed mainly by the degradation of the latosolic material of the higher portions of the landscape.

1. INTRODUÇÃO

O ecossistema da Amazônia com suas peculiaridades (extensão, localização, riquezas naturais), tem despertado grande interesse da ciência ao longo do tempo. Somente no território brasileiro, a Amazônia ocupa cerca de 4.5 milhões de Km², o que representa mais da metade da área do país. Com dimensões continentais, é natural que haja grande variação de clima, de vegetação e de solos nessa região.

O interesse por estudos mais aprofundados de solos da Amazônia segundo a SSSA (s.d.), vem do início do século. Marbut em 1925/26, fez o primeiro estudo de solos à pedido das Empresas Ford de Belterra e de Fordlândia. Na década de 1950, DAY (1958,1959) deu continuidade aos estudos de solos, procurando estabelecer padrões de classificação para os solos da Região Amazônica.

Nas décadas de 1960 e 1970 houve um grande avanço no conhecimento sobre os solos da Amazônia. Muitos trabalhos de levantamento de solos foram executados, principalmente em função de polos de desenvolvimento instalados com incentivos governamentais, e da construção de estradas de integração dessa região com o restante do país. Dessas duas décadas destacam-se os trabalhos de SOMBROEK (1962,1966), FALESI (1964,1967,1970,1972a), FALESI et alii (1964), SANTOS & FALESI (1964), BRASIL (1969), VIEIRA (1971), RODRIGUES et alii (1971), CAMARGO & FALESI (1975), EMBRAPA (1976) e UFV (1979).

Ainda na década de 1970, foi instituído o Programa de Integração Nacional, tendo como um dos instrumentos o Projeto RADAMBRASIL a quem foi confiada a tarefa de levantar o potencial latente da região Amazônica. Desse projeto consta uma série de volumes de levantamento de recursos naturais, 18 dos quais cobrem a Amazônia Brasileira. Como parte desse levantamento, foi feito o mapeamento sistemático, a nível exploratório, dos solos da Amazônia.

Na última década, a Amazônia tem sido alvo de atenção da humanidade por aspectos até contraditórios: de um lado é vista como tendo um alto potencial para a produção de

alimentos; de outro, é reconhecida a fragilidade natural do ecossistema, aliada à suspeita da influência no clima do globo quando aquele sofre distúrbios. O conhecimento mais aprofundado da Amazônia tem mostrado que, em grande parte, a fragilidade do ecossistema é maior que seu potencial produtivo.

No tocante à cobertura pedológica, há uma grande variação de classes de solos na região Amazônica (EMBRAPA 1981a). No entanto, um modelo muito comum e que ocorre em grandes áreas dessa vasta região, é aquele formado de colinas cobertas por material argiloso terminando em amplos vales abertos, capeados por material arenoso, sob forte influência do hidromorfismo. Segundo o SNLCS (EMBRAPA, 1981a), somente no Amazonas e em Roraima existem mais de 100.000 Km² de áreas cobertas por Podzóis Hidromórficos e Areias Quartzosas Hidromórficas.

Os trabalhos de Marbut, citado pela SSSA (s.d.), de KLINGE (1965), EMBRAPA (1979a) e equipes de pedologia do Projeto RADAMBRASIL (Boletins Técnicos), associam os solos arenosos das baixadas a sedimentos grosseiros depositados sobre as bordas dos vales. Outros pesquisadores como CHAUVEL (1981, 1982), CHAUVEL et alii (1982), LUCAS et alii (1984), estudando solos originados do Grupo Barreiras, propõem como modelo de gênese dos solos

arenosos, uma desestabilização e perda de argila dos latossolos amarelos, não havendo necessidade portanto, de deposição de sedimentos grosseiros para dar origem a tais solos.

Nota-se, dessa forma, que a gênese de tais sequências é discutida e ainda pouco conhecida, persistindo a dúvida : sedimentos diferenciados ou pedogênese ?

Este trabalho tem como objetivo caracterizar e estudar a gênese de uma sequência de solos argilosos até arenosos em área não sedimentar, com o intuito de contribuir para a elucidação do modelo de evolução dessas sequências de solos.

2. REVISAO DE LITERATURA

A ênfase dada aos tópicos selecionados na revisão de literatura se prendeu às razões discriminadas à seguir.

A Amazônia, região onde se encontra a área estudada, se situa na faixa intertropical. A sequência em estudo é composta de solos com horizonte B latossólico nas partes elevadas e intenso hidromorfismo no fundo do vale. A evolução da mineralogia, a dinâmica do ferro e as transformações químicas e mineralógicas sob ambientes de hidromorfismo, a uniformidade do material de origem e a distribuição dos solos na paisagem são aspectos importantes para a compreensão e interpretação da gênese dos solos em estudo.

2.1. Solos de regiões intertropicais

As regiões intertropicais compreendem a parte do globo situada entre os trópicos de câncer e de capricórnio: 23,5 graus de latitude norte e sul, respectivamente. É uma região heterogênea em termos de solos, em função de variações climáticas causadas por diferenças de altitude e latitude, variações no relevo, no material de origem, na atividade biológica e no tempo de exposição aos agentes bioclimáticos.

Os pesquisadores, no entanto, são unânimes em afirmar que os solos desenvolvidos nessas regiões, sob condições quentes e úmidas são, na maioria das vezes, altamente intemperizados, intensamente lixiviados, friáveis, apresentando mineralogia caulinítica-oxídica ou oxídica-caulinítica na fração argila (MOHR et alii, 1972; RESENDE, 1976; SANCHEZ, 1976; BUOL et alii, 1980; LEPSH & BUOL, 1986).

No Brasil, os solos predominantes são os latossolos (EMBRAPA, 1981a; LEPSH & BUOL, 1986; RESENDE et alii, 1988). Eles ocorrem normalmente em paisagens

relativamente suaves, principalmente em antigas superfícies de aplainamento, conforme citam MOHR et alii (1972), RESENDE (1976), SANCHEZ (1976), BUOL et alii (1980), PARAMANANTHAN & ESWARAN (1980), LEPSH & BUOL (1986) e ocasionalmente em áreas acidentadas, mas com pouco afloramento de rochas, como em grande parte de terrenos movimentados, numa faixa de largura variável, de Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo e, pelo Nordeste, até Bahia e Pernambuco, (RESENDE et alii, 1988).

Na Amazônia, os primeiros trabalhos de solos executados mostravam um predomínio dos latossolos naquela região. Possivelmente pelas limitações naturais desse vasto ecossistema, os trabalhos eram feitos mais próximos às vias de acesso da época - os rios, ficando mais restritos às áreas sedimentares, tendo uma visão distorcida da distribuição dos solos. Por outro lado, a exuberância da vegetação dá uma falsa idéia de uniformidade à região, quando sobrevoada.

DROSDOFF et alii (1960) estimaram em mais de 50% a área de latossolos na Amazônia Peruana. O mapa Mundial de Solos editado pela FAO/UNESCO (1971), mostra os trópicos úmidos sulamericanos dominados por Ferralsolos Xânticos (Oxisols). FALESI (1972) reunindo conhecimentos da época

sobre os solos, se referiu ao Latossolo Amarelo como a unidade pedogenética de maior representação geográfica da Amazônia Brasileira. ALVIM (1973), chegou a afirmar que mais de 90% dos trópicos da América Latina eram cobertos por latossolos.

Da década de 1970 em diante, com incentivos para a ocupação da Amazônia Brasileira, houve maior avanço no conhecimento dos solos dessa região e obteve-se uma visão mais real da distribuição dos solos. Descobriu-se que juntamente com os latossolos, os podzólicos também ocupam grandes áreas, sendo comum a sequência Oxisol-Ultisol (SANCHEZ & BUOL, 1971; MOHR et alii, 1972; MASS, 1974; BUOL et alii, 1980; EMBRAPA, 1981a e TANAKA et alii, 1989).

Quanto à mineralogia, a maioria dos solos da Amazônia constitui sistemas simples. Segundo HERBILLON (1980), solos de regiões tropicais têm o quartzo como principal constituinte da fração grosseira; a muscovita é comumente encontrada e, ocasionalmente, se encontram ilmenita, magnetita ou outros minerais. Os principais constituintes da fração argila são: caulinita, goethita, hematita e gibbsita; anatásio, rutilo, vermiculita e muscovita são comuns e maghemita e metahaloisita encontradas ocasionalmente.

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos na Amazônia, caracterizando a fração argila dos solos. Esses trabalhos têm mostrado um domínio de caulinita e de óxidos de ferro e de alumínio. A muscovita, a vermiculita e vermiculita-cloritizada são os minerais acessórios mais comumente encontrados (SOMBROEK, 1966; CHIBA, 1970; IWASA, 1976 , 1983; KITAGAWA & MOLLER, 1977; PIRES FILHO, 1977; GUALBERTO, 1984); Moller et alii, Kitagawa, Kondo e Iwasa, Moller e Kitagima, citados por DEMATTE (1988).

2.2. O horizonte óxico

No Sistema Americano de Classificação de Solos - Soil Taxonomy, SOIL SURVEY STAFF (1975), os latossolos e plintossolos se enquadram na ordem dos oxisols. PARAMANANTHAN & ESWARAN (1980), apresentam uma síntese dos atributos exigidos pelo Soil Taxonomy para caracterizar o horizonte óxico. A feição mais característica é que o horizonte óxico é relativamente homogêneo em cor e textura. Sub-horizontes, se presentes, geralmente apresentam transição gradual ou difusa. Mudança textural abrupta não é permitida,

uma vez que conota processos não supostos terem operado na sua formação. Pode haver entretanto, distinta mudança textural entre o horizonte superficial e o horizonte óxico abaixo. Tais perfis não são comuns, e se ocorrer, o horizonte superficial de textura mais arenosa é empregado como propriedade diferenciadora a nível categórico mais baixo na classificação.

A definição também requer que o horizonte óxico tenha mais que 15% de argila e menos de 5% (em volume) de material com estrutura de rocha. Em adição, ao horizonte óxico não é permitido ter mais que traços de minerais facilmente intemperizáveis, tais como feldspatos, micas, alofanas e minerais ferromagnesianos.

Epipedon (horizonte A) à parte, a cor do solo é relativamente uniforme: somente quando o saprolito é alcançado aparecem diferenças na coloração. Onde há mudança de cor, o solo normalmente se torna mais vermelho com a profundidade, até o saprolito ser encontrado. Excessões são feitas para solos com horizonte sômbrico, com plintita, ou aqueles que apresentam características de subgrupos epiáquicos.

O grau de estrutura do horizonte óxico é muito característico nos perfis típicos. Geralmente é fraco

ou muito fraco, com consistência friável. Apesar dos macroagregados apresentarem estrutura fraca, em que os agregados se rompem abruptamente sob pressão fraca entre os dedos, a estrutura dos microagregados é forte. A consistência é friável a muito friável e, em geral, o material do solo flui como terra solta entre os dedos.

Estes atributos de estrutura e consistência são bem expressos nos oxisols mais intensamente intemperizados, tais como os Acrorthox e os Acrustox. O grau de estrutura e a consistência estão relacionados ao grau de intemperismo e ao conteúdo de óxidos "livres" do solo. A forte microestrutura é devida ao resultado da agregação da argila formando agregados do tamanho de silte e de areia. Esta microestruturação também explica a alta porosidade do solo e sua baixa densidade.

Ainda caracterizando os oxisols, PARAMANANTHAN & ESWARAN (1980), mencionam que alguns deles, principalmente aqueles altamente intemperizados, apresentam uma característica adicional não requerida para os propósitos taxonômicos: é a ocorrência de pequenos nódulos (1 a 2 cm de diâmetro). Eles são esféricos ou subesféricos, sem contraste de cor com o material do solo e outras diferenças, exceto que são compactos. Têm sido encontrados em várias regiões do globo (África, Ásia, Brasil) e sua

origem e significado ainda são polêmicos.

O horizonte óxico se correlaciona com o horizonte B latossólico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1981b). No entanto no Sistema Brasileiro, a drenagem é considerada como caráter decisivo para distinguir classes de solos em níveis categóricos mais elevados. Desta maneira, solos que no Sistema Americano são agrupados na ordem Oxisol pela presença do horizonte óxico, no Sistema Brasileiro constituem classes distintas como é o caso dos latossolos (bem a moderadamente drenados), e os plintossolos (com restrição de drenagem)..

2.3. Evolução da mineralogia silicatada e gibbsítica.

Para melhor compreender a gênese dos solos, os cientistas têm desenvolvido pesquisas procurando entender a evolução da mineralogia, as alterações que se processam ao longo do tempo e os fatores que regem essas alterações.

JACKSON et alii (1952) estudando o intemperismo químico dos silicatos laminares caracterizou a

sequência de alteração:

mica ==> illita ==> vermiculita ==> esmectita

Posteriormente, JACKSON (1965) estudou as transformações das argilas nos solos durante o Período Quaternário. Caracterizou três estágios distintos, conforme a intensidade dos processos de intemperismo. Em um primeiro estágio, onde a dessilicatização é moderada há um acúmulo de hidróxidos de alumínio e/ ou óxidos na superfície das argilas, resultando na formação de minerais cloritizados (montmorilonita e vermiculita aluminosas). Em um segundo estágio, caracterizado como dessilicatização intermediária, sob condições mais intensas e prolongadas de intemperismo e com alternância de estações úmidas e secas, há um enriquecimento de componentes oxídicos, de caulinita e de haloisita nos solos. E em um terceiro estágio, chamado pelo autor de dessilicatização intensiva, a sílica é intensamente removida do sistema, enriquecendo os solos em óxidos e hidróxidos de Fe, Al, Ti e Mn. São os solos mais intemperizados, encontrados principalmente nas regiões tropicais.

O seguinte mecanismo foi proposto por KELLER (1964) para explicar a alteração das micas. Primeiramente há uma dissolução de K^+ e do Mg^{++} e uma oxidação de Fe^{++} . O mineral se expande, formando interestratificados illita-esmectita e/ ou illita-vermiculita. A vermiculita se altera em esmectita, por perda de K^+ . Condições ácidas favorecem o prosseguimento das alterações e os argilominerais expansivos podem ser destruídos ou se transformarem em cloritas secundárias (argilominerais aluminosos), através da precipitação de polímeros de alumínio nas entrecamadas.

A precipitação de polímeros de alumínio nas entrecamadas de argilominerais expansivos tende a retardar a formação de gibbsita, ao que JACKSON (1963) chamou de efeito "anti-gibbsítico".

Nas décadas de 1950, 1960 e 1970, muitos trabalhos foram conduzidos em laboratório, comprovando a precipitação de hidróxidos nas entrecamadas de vermiculita e esmectita, BARNHISEL (1977).

A presença de argilominerais com hidróxidos interlamelares (cloritizados) nos solos tem despertado a atenção dos pesquisadores por duas razões. Esses argilominerais são mais resistentes, persistindo nos solos mesmo em condições de intemperismo intenso. E, o efeito

"anti-gibbsítico" retarda o processo, não permitindo que os solos atinjam os estágios mais avançados de intemperização.

A biotita, devido à presença de Fe^{++} e Mg^{++} na sua composição, se intemperiza mais rapidamente que a muscovita, pois o Fe^{++} se oxida e o Mg^{++} se hidrolisa com facilidade. Num primeiro estágio a biotita se altera em vermiculita e, posteriormente, em caulinita e goethita (JACKSON et alii, 1952; McCALEB, 1959; ESWARAN & BIN, 1978; CERRI, 1979; DELVIGNE, 1982).

Caulinita e haloisita são os produtos mais comuns da alteração dos feldspatos (McCALEB, 1959; DELVIGNE, 1965; LOUGHNAM, 1969; CERRI, 1974; ESWARAN & BIN, 1978). CERRI (1979), estudando a alteração de granitos em diferentes condições bioclimáticas do Brasil, estabeleceu as seguintes sequências:

Clima quente e úmido (região Norte - Rondônia)

```

Biotita ====> Vermiculita ====> Caulinita
      |
      |
      |
      |=====> Caulinita

```

```
Feldspato ==> Mica
      |       |
      |       |
      |       v
      |-----v-----> Caulinita ==> Gibbsita
```

Clima Semi-árido e quente (região Nordeste)

Biotita ==> Parabirotita ==> Caulinita

Feldspato ==> Caulinita

Clima subquente e subúmido (região Sudeste)

```
Biotita retrodiagênese> Clorita  
|  
|  
↓  
L=====>Parabiotita==>Caulinita
```

Feldspato ==> Caulinita

ALLEN & FANNING (1983) resumem os possíveis caminhos de alteração dos filossilicatos em solos bem desenvolvidos de regiões úmidas, conforme o esquema da figura 1.

2.4. Dinâmica do ferro

Os solos tropicais se caracterizam pela mineralogia oxídica-caulinítica ou caulinítica-oxídica na sua fração argilosa. Os óxidos de ferro e de alumínio nas formas cristalinas, menos cristalinas e fazendo parte de complexos orgânicos, estão entre os principais componentes destes solos.

Os óxidos de ferro estão normalmente dispersos através da massa do solo sob a forma de partículas finamente divididas ou ainda revestindo a superfície de outros minerais. A grande ocorrência tanto em solos como em sedimentos torna o conhecimento de suas propriedades um complemento indispensável em qualquer estudo ligado à física, química ou à gênese dos materiais (LANDA & GAST, 1973).

Figura 1 - Possíveis sequências de alteração de filossilicatos.
(Fonte: ALLEN & FANNING, 1983).

Dentre os óxidos de ferro que ocorrem em solos e sedimentos, hematita e goethita são, indubitavelmente, os mais comuns (FISCHER & SCHWERTMANN, 1975).

Em solos de regiões temperadas, raramente ocorre hematita, enquanto em regiões mais quentes as duas formas estão frequentemente presentes. Embora nos solos dos trópicos haja abundância de óxidos de ferro e de alumínio, raramente são encontrados filossilicatos contendo ferro, na fração argila. Isto se deve à rápida oxidação de Fe^{++} a Fe^{+++} , o qual dá origem à goethita e hematita, devido à instabilidade de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (TAMURA & JACKSON, 1953).

FISCHER & SCHWERTMANN (1975) propõem dois mecanismos para a diferenciação das duas formas, à partir da ferrihidrita, que é uma precursora de ambas. A goethita se cristaliza a partir da solução, após a dissolução da ferrihidrita. Já a formação da hematita é precedida pela agregação e nucleação dos agregados de ferrihidrita.

Elevado conteúdo de carbono orgânico, excesso de umidade e pH baixo favorecem a formação de goethita (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1977; KAMPF & SCHWERTMANN, 1982; SCHWERTMANN, 1985).

A formação de hematita é favorecida pelo aumento da temperatura, o qual favorece a desidratação da ferrihidrita e acelera a decomposição da matéria orgânica (SCHWERTMANN et alii, 1982) e por concentrações relativamente altas de Fe^{+++} em solução (ALMEIDA, 1979; RESENDE & FRANZMEIER, 1982).

Os óxidos de ferro exercem grande influência na coloração dos solos. Cores avermelhadas estão associadas à presença de formas oxidadas desidratadas, principalmente hematita, e cores amareladas ou brunadas à presença de óxidos hidratados, especialmente a goethita.

As cores dos solos com matiz 7.5YR ou mais vermelhos são devidas principalmente à presença de hematita, enquanto solos com matiz 10YR ou mais amarelos usualmente contêm goethita como principal componente oxídico (SCHWERTMANN et alii, 1982; KAMPF & SCHWERTMANN, 1983).

O poder de pigmentação da hematita é muito grande. Apenas 1% de hematita finamente pulverizada foi suficiente para alterar o matiz de um Latossolo Amarelo de 10YR para 5YR (RESENDE, 1976). Em razão desse fato, as pesquisas têm demonstrado que nos solos amarelos a goethita está presente e a hematita praticamente ausente, ao passo que nos solos de cores mais avermelhadas, as duas formas são

encontradas (SCHWERTMANN et alii, 1982).

Muitos são os pesquisadores que têm constatado a alta eficiência da hematita como agente pigmentante dos solos, mascarando o efeito da goethita (DAVEY et alii, 1975; RESENDE, 1976; SCHWERTMANN & TAYLOR, 1977; CARMO, 1977; BIGHAM et alii, 1978; CHILDS et alii, 1979; RESENDE, 1980; RAUEN, 1980; TORRENT et alii, 1980; SCHULZE, 1981; SCHWERTMANN et alii, 1982; CURI, 1983; KAMPF & SCHWERTMANN, 1983; SANTANA, 1984; CURI & FRANZMEIER, 1984).

Além das formas cristalinas, nos solos são encontrados óxidos de ferro e de alumínio com baixo grau de cristalinidade, também chamados de "amorfos". Propriedades físico-químicas como sorção de ânions, superfície de troca, expansão e formação de agregados podem ser intensamente modificadas por esses compostos (ACRA & WEED, 1966; DESHPAND et alii, 1968; GREENLAND et alii, 1968).

O perfil de distribuição das diversas formas de ferro e de alumínio nos solos tem sido utilizado como critério na interpretação dos processos de formação e na definição de classes de solos (McKEAGUE & DAY, 1966; McKEAGUE, 1967; BLUME & SCHWERTMANN, 1969; McKEAGUE et alii, 1971; JUO et alii, 1974; JUO, 1981).

A determinação dos óxidos nos solos normalmente é feita através de métodos analíticos. MEHRA & JACKSON (1960) propuseram o método do citrato-bicarbonato-ditionito de sódio, que extrai praticamente todas as formas de ferro na fração argila dos solos. McKEAGUE & DAY (1966) propuseram o uso do oxalato de amônio ácido, o qual extrai os óxidos de ferro menos cristalinos, aqueles presentes nos complexos orgânicos e somente pequena parte de óxidos cristalinos, dependendo do número e do tempo das extrações (LIMA et alii, 1989).

Através da relação entre as formas extraídas pelos dois extratores ($\text{Fe}_{\text{oxalato}}$ / $\text{Fe}_{\text{ditionito}}$), chamada razão de atividade, pode-se avaliar o grau de cristalinidade dos compostos de ferro no solo (ALEXANDER, 1974).

No Brasil, VETTORI (1969) desenvolveu o método de extração de ferro pelo ataque sulfúrico, o qual foi modificado posteriormente. Trata-se de um método relativamente simples e de grande eficiência, que tem sido utilizado como rotina nas análises dos levantamentos pedológicos (EMBRAPA, 1979a).

2.5. O processo de hidromorfismo

O hidromorfismo é um processo de formação de solo que atua nas mais variadas regiões do globo. Havendo condições de excesso de umidade em alguma parte ou em todo o perfil do solo, por períodos mais ou menos prolongados do ano, o processo se manifesta.

O SOIL SURVEY STAFF (1975) define o excesso de umidade no solo como regime Áquico de umidade, o qual é caracterizado pela saturação com água por períodos de duração suficientes para causar condições de redução em todo o perfil do solo ou nos horizontes mais profundos.

Nas várzeas ou nos vales rodeados por montanhas é que, geralmente, o lençol freático se faz presente mais próximo à superfície, caracterizando o regime Áquico de umidade. A água das chuvas se infiltra através dos topos das elevações e das encostas, aflorando nas partes rebaixadas da paisagem.

A anaerobiose (temporária ou permanente) resultante induz à redução do ferro ao estado ferroso, o qual se torna solúvel (móvel). Há o aparecimento da

gleização (cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas) devido à redução do ferro (DUCHAUFOR, 1977; BOUMA, 1983; CURI et alii, 1988).

2.5.1. Transformações químicas em ambientes hidromórficos

O excesso de umidade no solo provoca uma deficiência de aeração. A taxa de difusão do oxigênio na água é cerca de 10.000 vezes mais lenta que nas condições atmosféricas. Com isso, diminui a atividade dos microrganismos aeróbios.

Para a decomposição da matéria orgânica (subentende-se que esteja presente), os microrganismos anaeróbios utilizam compostos oxidados do solo como receptores de elétrons. O ambiente é redutor.

Uma das formas de expressar o potencial de oxirredução, é através do pe. Segundo Van Breemen e Brinkman, citados por BOUMA (1983), para um dado par redox, a posição de equilíbrio depende do valor de pe que prevalece localmente, o qual é expresso pelo logaritmo negativo da atividade de elétrons, comparado ao pe do par redox:

$$Pe = - \log(e).$$

Para o ferro tem-se :

.

$$pe = pe^0 + \log (Fe^{3+}/Fe^{2+}).$$

Outra forma de expressar o potencial de oxirredução dos solos é através do Eh (volts) corrigido à pH 7,0: $Eh = 0,0059 pe$ (a 25° C).

PONAMPERUMA (1965, 1972) estabeleceu a seguinte sequência de redução nos solos inundados: nitratos compostos de manganês, compostos de ferro, produtos intermediários de decomposição da matéria orgânica, sulfatos e sulfitos.

Nitratos são reduzidos à nitrogênio gasoso, a valores de Eh_7 entre +400 e +300 mV. O Mn^{4+} é reduzido a Mn^{2+} a Eh_7 ao redor de +200 mV. O Fe^{3+} é reduzido a Fe^{2+}

em potenciais aproximados de +120 mV. Compostos orgânicos como ácido láctico e ácido pirúvico, se reduzem a compostos alcoólicos a aproximadamente -180 mV. Sulfatos são reduzidos a sulfitos e sulfetos em potenciais ao redor de -300 mV.

Como os compostos de ferro geralmente são mais abundantes nos solos do que nitratos, compostos de manganês e de enxôfre, costuma-se dar maior atenção àquele elemento. Por outro lado, as consequências da redução nos solos são mais visualizadas através da dinâmica do ferro: a redução ao estado ferroso deixa sua marca (cores gleizadas). Se torna mais solúvel e conseqüentemente mais móvel, podendo migrar a curtas distâncias e, em locais mais aerados se reoxidar formando manchas, mosqueados, material plíntico ou concreções. Ou ainda ser removido do perfil do solo através das águas de drenagem.

Segundo LYND SAY (1979) o potencial de oxirredução em sistemas aquosos é melhor definido pelos parâmetros p_e + pH, pois a dissociação da água em H_2 (g) ou O_2 (g) impõe limites de oxirredução nos solos. Esse parâmetro varia de zero na região reduzida (1 atm H_2) a 20.78 na região oxidada (1 atm O_2) - Fig. 2.

Figura 2 - Relações de equilíbrio redox em sistemas aquosos. A área inscrita foi adotada de Baas et al (1960), e representa a maioria dos solos. (Fonte: LYNDSEY, W. L., 1979).

2.5.2. Alterações mineralógicas sob condições de hidromorfismo

Baseado principalmente em extensivo trabalho de campo no Leste do Paquistão, BRINKMAN (1970) propôs um modelo para explicar a formação de solos hidromórficos (e também de solos salinos) com horizonte eluvial de superfície ou de subsuperfície.

O mecanismo proposto foi denominado ferrólise e compreende reações de troca de cátions envolvendo o ferro, numa sequência ordenada de ciclos de redução-oxidação, lixiviação de cátions deslocados na fase reduzida e ataque ácido aos minerais de argila no início da fase oxidada de cada ciclo.

O mecanismo, segundo BRINKMAN (1970), apresenta três fases distintas. Num estágio inicial de ferrólise, as bases trocáveis são eliminadas, sendo deslocadas principalmente pelo alumínio liberado da estrutura dos minerais silicatados após oxidação, e o pH na fase oxidada decresce. Na fase reduzida o pH permanece relativamente elevado durante quase todo o decorrer do processo. Além do ataque aos íons da rede cristalina, o hidrogênio também atua em algum potássio fixado pelas

ilitas, transformando-as em ilitas expansivas.

Num estágio intermediário de ferrólise, o alumínio trocável e outros íons liberados da estrutura das argilas são eliminados, e a fração argila é progressivamente destruída. A sílica da borda dos tetraedros é solubilizada e também lixiviada. Minerais de argila do tipo 2:1 com elevada CTC são destruídos mais rapidamente devido à grande quantidade de ferro ferroso que pode ocupar a posição de troca. Argilas com baixa CTC, são destruídas mais lentamente, e argilas do tipo 1:1, devido à baixa CTC bem como à grande proporção de íons nas camadas octaedrais, são menos susceptíveis à ferrólise. Dependendo do volume de água que passa pelo solo no início da fase reduzida, uma maior ou menor parte do alumínio deslocado pelo ferro ferroso é lixiviada. O restante é retido no solo e precipitado quando o pH se eleva acima de 5.5 devido à formação de íons hidroxilados paralelamente à redução do ferro. Ao mesmo tempo, mais alumínio é deslocado pelo ferro ferroso e, na forma de Al(OH)_3 e $\text{Al(OH)}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ é retido nas entrecamadas de argilas do tipo 2:1, formando os minerais cloritizados. Desta forma, dependendo do grau de lixiviação, tanto a destruição das argilas como a cloritização podem acontecer, destruindo a CTC do solo.

No estágio final de ferrólise, o solo apresenta muito baixo conteúdo de argila ou a maior parte foi convertida em cloritas. O solo então tem muito baixa CTC e uma degradação posterior devida à ferrólise é menor e mais lenta.

2.6. Análise estatística da fração areia

A aplicação de parâmetros estatísticos tem se tornado um instrumento de grande utilidade na interpretação de análises granulométricas de sedimentos e solos. Através da análise estatística pode-se caracterizar aspectos importantes da gênese durante os processos de intemperismo, como a uniformidade ou grau de seleção do material de origem (SUGUIO, 1973).

Os trabalhos utilizando parâmetros estatísticos no estudo de solos e sedimentos tiveram início no final do século passado com Udden, conforme FOLK (1966). Posteriormente, trabalhos foram desenvolvidos por KELLER (1946); Rogers e Strong, 1959 - in FOLK (1966); FRIEDMAN, (1961).

No Brasil, os trabalhos utilizando parâmetros estatísticos tiveram início no final da década de 1960, com PARAGUASSU (1968), DEMATTE (1968) e MARCONI (1969). Vários outros trabalhos foram conduzidos à partir de então, sempre em áreas conhecidamente de origem sedimentar ou com grande contribuição de sedimentos, e com o objetivo de caracterizar esses materiais quanto ao grau de seleção e tipo de transporte sofrido, associando-os às suas formações geológicas (BOSIO & LANDIM, 1970/1971; SUGUIO et alii, 1974; ALMEIDA, 1976; ALTAFIN, 1977; BONI, 1977; MARCONI & ABRAHAO, 1977; ALOISI et alii, 1978; LORANDI, 1982; CLEMENTE, 1982).

Segundo SUGUIO (1973), os parâmetros de análise estatística mais comumente usados atualmente são: medidas de tendência central (diâmetro médio), grau de seleção (dado pelo desvio padrão), grau de assimetria e grau de agudez do pico (curtose).

Esses parâmetros são calculados à partir de dados extraídos graficamente de curvas acumulativas de distribuição de frequência das amostras com base na escala ϕ de KRUMBEIN (1934), utilizando-se fórmulas propostas por FOLK & WARD (1957).

2.7. Relação solo - paisagem

A distribuição dos solos na paisagem tem sido objeto de estudo dos pesquisadores ao longo do tempo.

MILNE (1935), trabalhando em solos da Africa, elaborou o conceito de catena, também denominada de topossequência, o qual foi posteriormente desenvolvido por outros pesquisadores (BUSHNELL, 1942; RUHE, 1960; 1969).

O entendimento do modelo de distribuição permite compreender melhor os aspectos relacionados à gênese, bem como predizer em que ponto de áreas semelhantes podem ser encontrados os mesmos solos.

A estreita relação entre os solos e a posição por eles ocupada na paisagem, tem sido demonstrada através de muitos estudos (WALKER, 1962; RUHE, 1969; DANIELS et alii, 1971; BEINROTH, 1972; BOER, 1972,; BEINROTH et alii, 1974).

No Brasil, os trabalhos estão concentrados nas regiões sul (KLAMT & BEATY, 1972; KLAMT, 1973; CURI, 1975; UBERTI & KLAMT, 1984), sudeste (LEPSCH & BUOL, 1974; AZOLIN, 1975; CARVALHO, 1976; LEPSCH et alii, 1977; DEMATTE & HOLOWAYCHUCK, 1977a; PEREZ FILHO et alii, 1980; MONIZ & BUOL, 1982) e centro-oeste (RESENDE, 1976; RODRIGUES

& KLAMT, 1978; CARMO et alii, 1984, CURI & FRANZMEIER, 1984).

Na Amazônia, os trabalhos são mais restritos (BRAUN, 1963; SANCHEZ & BUOL, 1974; CAMARGO & FALESI, 1975; TYLER, 1975; PIRES FILHO, 1978).

A sequência de solos mais comumente encontrada em ambientes údicos, nas regiões tropicais é oxisol, ultisol e inceptisol. Nessas sequências, geralmente há uma nítida ruptura no declive, conforme mostram SANCHEZ (1976) e CARMO et alii (1984) (figura 3). Os oxisols ocupam as partes mais suavizadas do relevo, os ultisols estão associados a condições intermediárias (ruptura do relevo) e os inceptisols ficam localizados nas partes mais jovens da paisagem.

Esse modelo implica em aceitar a evolução dos solos e da paisagem através do rejuvenescimento de superfícies antigas, com exposição de material menos intemperizado.

Superfície moderadamente dissecada

Superfície fortemente dissecada

Fonte: SANCHEZ (1976)

Superfície fortemente dissecada

Fonte: CARMO et alii (1984)

Figura 3 - Sequências de solos comumente encontradas em ambientes údicos tropicais.

Há concordância em que a alternância de climas é responsável pelo modelado da paisagem. Em climas úmidos há um intemperismo químico intenso, o manto de intemperismo se espessa e os vales se aprofundam, dissecados pelos rios; a pedoforma é convexa. Em climas semi-áridos, a força erosiva das chuvas é grande, mas de curta duração e os sedimentos são transportados a curtas distâncias. As superfícies sofrem um processo de aplainamento e a pedoforma é côncava (THORNBURY, 1969).

No Brasil, BIGARELLA & ANDRADE (1965) correlacionaram uma série de superfícies de aplainamento e dissecação a alternâncias climáticas associadas a períodos de glaciação no Hemisfério Norte: clima úmido durante período interglacial e semi-árido durante o glacial.

3. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

3.1. Localização

A área em estudo se localiza na Amazônia Ocidental e está incluída na Folha SA.20-MANAUS do Projeto RADAMBRASIL, mais precisamente na Folha SA.20-X-D (Rio Curuiú), entre os paralelos 1°00' e 2°00' S e os meridianos 60°00' e 61°00' W.Gr., nas proximidades do Km 160 da BR-174, rodovia que liga Manaus a Caracaraí, em Roraima (Fig.4).

3.2. Geologia

Conforme estudos efetuados pelo Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1978), a geologia da região faz parte da Estrutura Regional do Craton Guianês. Este se situa ao norte do rio Amazonas, sendo limitado ao sul pela Sinéclise do Amazonas, a oeste tem limites geográficos com o rio Orenoco e contrafortes andinos, a leste e a norte com o Oceano Atlântico. Esta vasta região cratônica abrange países limítrofes como Colômbia, Venezuela, República da Guiana, Suriname e Guiana Francesa. Esta entidade geotectônica tem como unidade litoestratigráfica basal o Complexo Guianense, que possui a maior distribuição deste craton, ocorrendo em parte dos estados do Pará, Amazonas, bem como nos Territórios Federais do Amapá e Roraima. As rochas predominantes são dos tipos migmatitos, gnaisses, granodioritos, anfibolitos e granulitos.

Foram encontrados exemplares de granodiorito no topo da colina estudada e gnaisse porfiroblástico no fundo do vale, rochas estas pertencentes ao Complexo Guianense.

3.3. Geomorfologia

Segundo o Projeto RADAMBRASIL, a região se enquadra na unidade morfo-estrutural denominada Depressão Periférica do Norte do Pará (Fig.5). Essa unidade se constitui numa área rebaixada na periferia da borda norte da Sinéclise do Amazonas. Talhada sobre litologias pré-cambrianas do Complexo Guianense, a característica geomorfológica da unidade em questão é dada por uma superfície rebaixada dissecada em colinas com topos de extensão entre 250 e 750 m, apresentando altitudes que variam entre 150 e 200 m. Nas imagens da parte centro-sul da Folha SA.20-X-D, foram encontradas áreas arenosas, alagadas, semelhantes às observadas em outras regiões, e que estão sendo interpretadas como antigas zonas de "playa".

Para o presente estudo foi escolhida uma colina rebaixada, de cume plano, com aproximadamente 20 m de altura, separada de outra por amplo fundo de vale plano alagado.

Figura 5 - Unidades morfoestruturais. (Fonte: Projeto RADAMBRASIL vol. 18).

3.4. Clima

O clima da região é do tipo Amw' segundo a classificação de Köpen, com temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18° C, úmido com estação seca de pequena duração. Predomina o tipo bioclimático subtermaxérico - tropical quente e subseco, com estação seca curta (1 a 2 meses), pela classificação de Bagnous & Gaussen (BRASIL, 1978; DEMATTE, 1988). Os estudos geomorfológicos, no entanto, evidenciam alternância de clima (Fig.6): clima úmido no final do Pleistoceno e no Holoceno, e clima com estação seca prolongada no Plioceno e no Pleistoceno.

Os solos das partes elevadas apresentam regime de temperatura isoipertérmico e de umidade údico, e no fundo do vale, hipertérmico e áquico, respectivamente.

EVENTOS GEOMORFOLÓGICOS		AMBIENTES MORFOCLIMÁTICOS	TEMPO GEOLÓGICO
	FORMAÇÃO DAS PLANÍCIES E TERRENOS	CLIMA ÚMIDO	HOLOCENO
	DISSECAÇÃO DO APLAINAMENTO NEOPLEISTOCÊNICO COM INSTALAÇÃO DA DRENAGEM GERANDO COLINAS NAS LITOLÓGIAS PRÉ-CAMBRIANAS E PALEOZOICAS E INTERFLÚVIOS TABULARES NAS LITOLÓGIAS PLIOPLEISTOCÊNICAS		
	EPISÓDIO DE INSTALAÇÃO DA DRENAGEM DO TIPO DE PALEOMEANDROS SOBRE O APLAINAMENTO NEOPLEISTOCÊNICO	CLIMA ÚMIDO INTENSO DE CURTA DURAÇÃO	FINAL DO PLEISTOCENO
	ABERTURA DA DEPRESSÃO PERIFÉRICA APLAINAMENTO NEOPLEISTOCÊNICO	CLIMA COM ESTAÇÃO SECA PROLONGADA	PLEISTOCENO
	APLAINAMENTO PLIOPLEISTOCÊNICO	CLIMA COM ESTAÇÃO SECA PROLONGADA	PLIOCENO

Figura 6 - Etapas da evolução geomorfológica. (Fonte: Projeto RADAMBRASIL vol. 18).

3.5. Unidade morfoclimática e vegetação natural

As unidades morfoclimáticas descritas e identificadas na folha SA.20-Manaus pelo Projeto RADAMBRASIL, são apresentadas na figura 7.

O local em estudo pertence à unidade denominada Domínio Morfoclimático em Planaltos Dissecados e Superfícies Pediplanadas. Estende-se por cerca de 189.400 Km², perfazendo 64% da área da Folha. Apresenta uma cobertura vegetal predominantemente do tipo Floresta Tropical Densa. Foram encontradas na área, espécies típicas de terra firme inclusive nos fundos de vale alagados, ao sopé das colinas.

Figura 7 - Unidades morfoclimáticas. (Fonte: Projeto RADAMBRASIL vol. 18).

4. MATERIAL E METODOS

4.1. Escolha do local, descrição e coleta de amostras

A região de trabalho foi selecionada com o auxílio de imagem de radar SLAR, escala aproximada 1:250.000, obtida em 1971 (RADAMBRASIL) e de mapa geológico (RADAMBRASIL, 1978). Após duas excursões a campo, foi escolhida uma colina sobre material granítico do Complexo Guianense, coberta por solos argilosos, terminando em amplo vale arenoso.

Foram abertas 6 trincheiras e feitas 6 tradagens em várias profundidades para caracterizar os solos, seus horizontes e as relações existentes entre eles ao longo da encosta. Os perfis foram descritos segundo o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SBCS-SNLCS, 1984) e amostrados para análises físicas, químicas, mineralógicas e micromorfológicas. A designação dos

horizontes segue a notação adotada pelo SNLCS (EMBRAPA, 1988). Foram coletadas ainda amostras de rochas encontradas no topo da colina e no fundo do vale. Uma representação esquemática da cobertura pedológica da área estudada, é apresentada na figura 8.

4.2. Análises de laboratório

As amostras coletadas para análises físicas, químicas e mineralógicas foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de malha (T.F.S.A.).

4.2.1. Análises físicas

4.2.1.1. Análise granulométrica e argila dispersa em água

O método empregado na análise granulométrica do solo foi o de Vettori e Pierantoni modificado, usado pela EMBRAPA (1979a), usando-se NaOH 1N como dispersante.

Figura 8 - Representação esquemática da cobertura pedológica da área estudada.
(P: perfil. T:tradagem).

A argila dispersa em água foi obtida obedecendo a mesma metodologia, sendo a dispersão feita com água destilada.

4.2.1.2. Índice de floculação

O índice de floculação foi obtido através da relação:

$$IF (\%) = \frac{(T - N)}{T} \cdot 100, \text{ onde}$$

IF = índice de floculação

T = argila total (dispersa com NaOH)

N = argila dispersa em água

4.2.1.3. Análise estatística da fração areia

A fração areia foi separada em cinco subfrações (de muito grossa a muito fina), por tamisagem. Os dados foram submetidos a tratamento estatístico através dos parâmetros diâmetro médio (M_z) e grau de seleção (γ_1), segundo FOLK & WARD (1957). O cálculo dos parâmetros

estatísticos foi desenvolvido com auxílio de computador, utilizando-se o programa PHI, versão 2.23, elaborado por Van Lier (1).

4.2.2. Análises químicas

4.2.2.1. Ataque sulfúrico

Foi feito o ataque sulfúrico segundo método descrito por VETTORI (1969), modificado por EMBRAPA (1979a), utilizando-se H_2SO_4 1:1.

4.2.2.2. Complexo sortivo

Os elementos constituintes do complexo sortivo dos solos foram determinados empregando-se metodologia descrita por VETTORI (1969), com modificação de EMBRAPA (1979a). Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com KCl 1N. A extração do fósforo e do potássio foi feita com solução contendo H_2SO_4 0,025N + HCl 0,050 N. A extração do hidrogênio e do alumínio foi feita com acetato de cálcio 1N a pH 7,0.

(1) VAN LIER, G.J. - Aluno de Pós-Graduação do Curso de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ, 1990.

O pH foi determinado potenciométricamente utilizando-se relação solo/água e relação solo/KCl de 1:2.5.

4.2.2.3. Carbono orgânico

O carbono orgânico foi determinado através da oxidação da matéria orgânica com bicromato de potássio a 8%.

4.2.2.4. Capacidade de troca de cátions (CTC)

A CTC foi determinada através da soma de bases mais hidrogênio e alumínio trocáveis.

4.2.2.5. Óxidos de ferro e de alumínio "livres"

Os óxidos de ferro e de alumínio "livres" foram extraídos com citrato-bicarbonato-ditionito de sódio, conforme JACKSON (1973), sendo determinados através da espectroscopia de plasma.

4.2.2.6. Óxidos de ferro e de alumínio menos cristalinos

As formas menos cristalinas de óxidos de ferro e de alumínio foram extraídas com oxalato de amônio ácido, conforme McKEAGUE & DAY (1966), sendo determinados através da espectroscopia de plasma.

4.2.3. Análises mineralógicas

Foram feitas análises mineralógicas qualitativas em amostras dos horizontes selecionados de perfis representativos de cada segmento da sequência estudada, indicados à seguir:

Topo da colina - perfil 2: A, Bw1, 2 Bw2, 2 C

Região de transição - perfil 4: A, Bw, Bf, Cg1, Cg2

Fundo do vale - perfil 6: A, A/C, Cg1, Cg2.

A metodologia utilizada é a proposta por JACKSON (1973), consistindo de pré-tratamentos para eliminação de matéria orgânica e dos óxidos de ferro e de

manganês "livres". A seguir, as amostras foram separadas em três frações: areia (peneiragem úmida), silte e argila (decantação).

Amostras da fração argila foram saturadas com potássio e com magnésio, e posteriormente transferidas orientadamente para lâminas de vidro (esfregação), a fim de serem submetidas à difratometria de raios X. Para tal, utilizou-se um aparelho RIGAKU, equipado com tubo de Cu e filtro de Ni, operando com 20 mA e 40 Kw. Foram obtidos difratogramas das amostras saturadas com K^+ a $25^{\circ} C$ e aquecidas a $350^{\circ} C$ e $550^{\circ} C$ por duas horas, e das saturadas com Mg^{++} ao natural e glicoladas, no intervalo de 3 a $42^{\circ} 2\theta$.

Amostras da fração silte foram moídas e analisadas pelo método do pó, em suporte de alumínio, no intervalo de 3 a $62^{\circ} 2\theta$.

A interpretação dos difratogramas de raios X foi feita segundo BROWN (1961), GRIM (1968) e JOINT COMMITTEE ON POWDER DIFFRACTION STANDARDS (1974).

4.2.4. Análise micromorfológica

As amostras para análise micromorfológica foram coletadas em caixas plásticas (saboneteiras), observando-se a posição e orientação no perfil do solo. No laboratório, foram secas ao ar e, posteriormente, em estufa a 40° C, durante 4 dias.

Foi feita a impregnação das amostras segundo metodologia proposta por MENDES et alii (1973), com modificações. Utilizou-se uma mistura de duas partes de resina Polylyte T-208 para uma de monômero de estireno e 1 gota de catalizador (Peróxido de metil-etil-acetona) para cada 100 ml da mistura. As amostras foram submetidas a vácuo e a mistura adicionada lentamente, acompanhando a frente de molhamento para que não persistissem bolhas de ar.

Terminada a impregnação, as amostras foram retiradas do dessecador e deixadas em repouso à temperatura ambiente por um período de 10 dias, até a completa polimerização e endurecimento.

Foram obtidas seções delgadas pelos métodos utilizados em petrologia (CADY, 1965), as quais foram examinadas em microscópio polarizante e seguindo-se recomendações de BREWER (1976).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características morfológicas

Uma síntese das principais características morfológicas é apresentada na tabela 1.

Foram identificados morfológicamente 12 horizontes distintos ao longo da sequência.

Do topo ao terço médio, a encosta é dominada por material latossólico. O perfil nº 2 é representativo das partes elevadas da colina. Consta de um horizonte A moderado, seguido de um horizonte B latossólico de cor amarelada, sobre um horizonte B latossólico de cor avermelhada. O horizonte Bw amarelado apresenta estrutura moderada, em blocos sub-angulares, pequenos e médios. A textura dos horizontes A e Bw é argilosa. Entre os horizontes Bw amarelado e Bw avermelhado existe uma camada nodular,

Tabela 1 - Principais características morfológicas de perfis representativos da sequência estudada.

Horizonte	Profundidade - cm	Cor a úmido		Estrutura	Consistência			Textura	Observações
		Matriz	Mosqueado		Seco	Úmido	Molhado		
Perfil 2									
A	0-30	7.5YR 4/6		Md, M, BS; Md, M e G, Gr	D	Fr	MP1, Pg	Argila	
Bw1	30-140	5YR 5/7		Md, P e M, BS	LD	Fr	MP1, Pg	Mt. argiloso	
2Bwc	140-190	2,5YR 4/6		Mac Porosa	Ma	Fr	Pl, Pg	Mt. argiloso	nódulos com estr. de rocha; ocupam 70% do BC.
2Bw2	190-320	2,5YR 4/6		Mac Porosa	Ma	Fr	Pl, Pg	Argila	atr. magnética moderada
2C	320-400+	2,5YR 4/6	(C, P e M, Df 10R 4/6)	Mac Porosa	Ma	Fr	LP1, LPg	Fr. argiloso	atr. magnética forte
Perfil 4									
A	0-20	10YR 4/3		Md, P a G, Gr	LD	Fr	LP1, Pg	Fr. Arg. Arenoso	
Bw	20-75	10YR 6/8		Md, P e M, BS	LD	Fr	Pl, Pg	Argila	presença de nódulos com estrutura de rocha na base do Bw
Bf	75-130	10YR 6/8	C, P e M, Dt, 5YR 4/6	Md, P e M, BS	LD	Fr a Fir	Pl, Pg	Argila	
Cg1	130-180	2,5Y 7/6	A, M, Pr 2,5YR 4/6	Maciça	LD	Fr/Fir	Pl, Pg	Argila	
Cg2	180-240+	5Y 8/1	A, M, Pr 2,5YR 4/6	Maciça	LD	Fr/Fir	Pl, Pg	Fr. Arg. Siltoso	

continua...

Tabela 1 - Continuação.

Horizonte	Profundidade - cm	Cor a úmido		Estrutura	Consistência			Textura	Observações
		Matriz	Mosqueado		Seco	Úmido	Molhado		
Perfil 5									
A	0-20	10YR 4/3		Fr, MP a M, Gr	LD	Fr	LP1, LPg	Fr. Arg. Arenoso	
Bw	20-45	10YR 5/6		Md, MP, BS	LD	MFr	Pl, Pg	Fr. Arg. Arenoso	concentração de quartzos angulosos (1 a 5 cm) na base do Bf.
Bf	45-70	10YR 5/8	C, P e M, Dt 7,5YR 5/8	Md, MP, BS	LD	Fr	Pl, Pg	Fr. Arg. Arenoso	
Cg1	70-100	2,5Y 7/2	A, M, Pr 2,5Y 4/8	Maciça	LD	Fr	Pl, Pg	Fr. Arg. Arenoso	
Cg2	100-140+	5Y 7/2	A, M, Pr 10YR 5/8	Maciça	Ma	Fr	LP1, LPg	Franco	
Perfil 6									
A	0-30	10YR 4/3		Md, M e G, Gr	LD	MFr	LP1, LPg	Franco Arenoso	
A/C	30-70	10YR 5/4		Maciça	LD	Fr	LP1, LPg	Franco Arenoso	concentração de quartzos angulosos (1 a 5 cm) na base do Cg1.
Cg1	70-100	2,5Y 7/4	C, M, Dt 10YR 6/8	Maciça	LD a D	Fr	LP1, LPg	Franco Arenoso	
Cg2	100-140	2,5Y 7/2	C, M, Df 10YR 6/2	Maciça	LD a D	Fr	LP1, LPg	Franco Arenoso	
Cg3	140-150+	5Y 7/2		Maciça	D	Fr/Fir	Pl, Pg	Fr. Arg. Arenoso	

Mosqueado: A = abundante; C = comum; P = pequeno; M = médio; Df = difuso; Dt = distinto; Pr = proemin.; (C) = herdado da rocha
 Estrutura: Fr = fraca; Md = moderada; MP = muito pequena; P = pequena; M = média; G = grande; Gr = granular; BS = blocos sub angulares; Mac = maciça.

Consistência: L = ligeiramente; M = Muito; Ma = macio; D = duro; Fr = friável; Fir = firme; Pl = plástico; Pg = pegajoso.

Observações: atr. = atração; mod. = moderada.

formada por nódulos arredondados, de córtex liso, cor violácea, conservando estrutura de rocha. O tamanho dos nódulos varia de 1 a 5 cm de diâmetro e estes ocupam mais de 60% do volume da camada. O regolito é vermelho, de textura franco argilosa e apresenta considerável atração magnética.

O terço inferior da encosta é caracterizado pela presença de material plântico sob material latossólico. O perfil nº 4 é representativo dessa porção da encosta. Consta de um horizonte A moderado, seguido de um horizonte Bw amarelado semelhante ao das partes mais elevadas, de espessura mais reduzida, sobre horizonte plântico. Abaixo encontra-se um horizonte C amarelado com mosqueados vermelhos, seguido de um horizonte C de cor esbranquiçada com mosqueamento bege pálido. Na base do horizonte Bw há uma linha de nódulos semelhantes aos encontrados no topo da colina.

Entre o terço inferior e o fundo do vale o material latossólico apresenta características diferenciadas das do topo e meia encosta. A espessura é reduzida e a estrutura é de aspecto maciço, com microagregados muito estáveis. O material plântico dá lugar a materiais gleizados. O perfil nº 6 representa essa parte da sequência. É composto de um horizonte A moderado, seguido de um horizonte A/C amarelado, passando por um horizonte C

gleizado e abaixo, um horizonte C esbranquiçado. Na profundidade de 1 metro, foi encontrada uma concentração de material grosseiro, com fragmentos angulosos de quartzo, de 1 a 5 cm de diâmetro. A textura dos horizontes desse perfil é franco-arenosa, excetuando-se o horizonte C mais profundo que é franco-argilo-arenoso.

A colina termina em um fundo de vale arenoso, alagado. Com auxílio de um trado foi identificado um horizonte A moderado, sobre horizontes C arenosos, compostos de areia de quartzo esbranquiçada, gleizados. A aproximadamente 1 metro de profundidade, foi identificada uma concentração de material areno-quartzoso mais grosseiro.

5.2. Características físicas

5.2.1. Composição granulométrica

Os dados da análise granulométrica são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Composição granulométrica (%), IF (%), relação silte/argila e relação areia fina/areia grossa, dos perfis estudados.

Hori- zonte	Profundi- dade - cm	Frações (mm)				Argila dispersa em água(%)	IF (%)	% silte % argila	% areia fina % areia grossa
		Areia Grossa (2 - 0.20)	Areia Fina (0.20-0.05)	Silte (0.05-0.002)	Argila total (<0.002)				
Perfil 2									
A	0-30	5.0	18.0	17.0	60.0	20.0	67	0.28	3.60
Bw1	30-140	4.0	15.0	9.0	72.0	3.0	96	0.13	3.75
2Bwc	140-190	7.0	12.0	11.0	70.0	3.0	96	0.16	1.71
2Bw2	190-320	5.0	15.0	7.0	63.0	3.0	95	0.27	3.00
2C	320-400+	2.0	23.0	38.0	37.0	3.0	92	1.03	11.50
Perfil 4									
A	0-20	27.0	37.0	8.0	28.0	2.0	93	0.29	1.37
Bw	20-75	9.0	33.0	13.0	45.0	17.0	62	0.29	3.67
Bf	75-130	7.0	20.0	14.0	59.0	3.0	95	0.24	2.86
Cg1	130-180	5.0	25.0	21.0	49.0	3.0	94	0.43	5.00
Cg2	180-240+	2.0	15.0	47.0	36.0	0.0	100	1.30	7.50

continua...

Tabela 2 - Continuação.

Hori- zonte	Profundi- dade - cm	Frações (mm)				Argila dispersa em água(%)	IF (%)	% silte % argila	% areia fina % areia grossa
		Areia Grossa (2 - 0.20)	Areia Fina (0.20-0.05)	Silte (0.05-0.002)	Argila total (< 0.002)				
Perfil 5									
A	0-20	18.0	52.0	10.0	20.0	4.0	80	0.50	2.89
Bw	20-45	14.0	42.0	15.0	29.0	12.0	59	0.52	3.00
Bf	45-70	15.0	35.0	12.0	38.0	3.0	92	0.32	2.33
Cg1	70-100	24.0	27.0	18.0	31.0	3.0	90	0.58	1.13
Cg2	100-140+	5.0	34.0	40.0	21.0	0.0	100	1.90	6.80
Perfil 6									
A	0-30	13.0	57.0	11.0	19.0	3.0	84	0.56	4.38
A/C	30-70	19.0	52.0	11.0	18.0	3.0	83	0.61	2.74
Cg1	70-100	20.0	51.0	11.0	18.0	5.0	72	0.61	2.55
Cg2	100-140	27.0	44.0	10.0	19.0	7.0	63	0.53	1.63
Cg3	140-150+	7.0	44.0	25.0	24.0	8.0	67	1.04	6.29
Trado 6									
A	0-40	12.0	76.0	10.0	2.0	-	-	5.00	6.33
Cg1	40-80	11.0	75.0	12.0	2.0	-	-	6.00	6.82
Cg2	80-110	14.0	74.0	8.0	4.0	-	-	2.00	5.29
Cg3	110-130+	12.0	76.0	10.0	2.0	-	-	5.00	6.33

Os solos das partes elevadas da encosta até o terço médio, representados pelo perfil 2, são muito argilosos; os solos da região de transição, representados pelos perfis 4 e 5, são de textura média/argilosa: no fundo do vale os solos apresentam textura média (perfil 6) passando a arenosa (trado 6).

A fração silte apresenta uma distribuição normal, aumentando em profundidade, exceto na parte mais baixa da sequência (trado 6), onde a variação é pequena.

A figura 9 mostra a distribuição das frações areia, silte e argila por camada, ao longo da sequência. Analisados nesse sentido, os dados mostram uma redução gradativa nos teores de argila, do topo da colina para o fundo do vale. Essa redução se acentua onde o hidromorfismo se intensifica.

Os teores de silte se mantêm relativamente constantes ao longo da sequência, com exceção das camadas mais profundas das partes elevadas da encosta, onde eles são mais elevados (figura 9, 4ª camada, domínio latossólico).

Os teores de areia aumentam ao longo da sequência, paralelamente à redução dos teores de argila.

Figura 9 - Perfil de distribuição das frações areia, silte e argila nas camadas, ao longo da sequência.

A figura 10 mostra a distribuição da fração argila ao longo da sequência, através de curvas isovalor. Nota-se também por essas curvas uma redução gradativa nos teores de argila, do topo para o fundo do vale. Pela figura 10 percebem-se ainda duas frentes de redução da fração argila: na superfície e à jusante da encosta.

5.2.2. Índice de floculação - IF

O IF é mais elevado no material do topo da encosta, onde há maiores concentrações de óxidos. Existem muitos estudos mostrando a influência dos óxidos de ferro e de alumínio na floculação dos materiais argilosos dos solos. A maior estabilidade dos agregados é proporcionada mais pelo grau de anisotropia provocado pelos óxidos de ferro, do que pelo próprio conteúdo (UEHARA et alii, 1962; CAGAUAN & UEHARA, 1965; SCHWERTMANN & TAYLOR, 1977).

Os dados mostram uma relação entre argila dispersa em água e os teores de argila ao longo da sequência. O índice de floculação é menor próximo ou à superfície e à jusante da colina, coincidindo com a diminuição dos teores de argilas.

Figura 10 - Curvas isovalor de argila.

5.2.3. Relações silte/argila e areia fina/areia grossa

A relação silte/argila pode ser usada para caracterizar o processo de translocação: nos horizontes eluviais a relação é maior do que nos iluviais (LEPSCH, 1975).

VAN VAMBEKE (1962) propôs o uso da relação silte/argila para separar solos altamente intemperizados de solos mais jovens. O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos utiliza o valor 0,7 nos solos de textura média e 0,6 nos solos de textura argilosa dessa relação, para separar latossolos de cambissolos (EMBRAPA, 1988). Essa relação, no entanto, deve ser vista com cuidado, pois em certos casos a fração silte é constituída de flocos de caulinita, o que não significa estágio pouco avançado de intemperismo (PINTO, 1971; GOMES, 1976; REZENDE, 1980).

A relação silte/argila apresenta valores baixos ($< 0,7$) nos horizontes A, Bw_1 , $2Bw_C$, $2Bw_2$, B_f e Cg_1 ao longo da encosta (perfis 2, 4, 5 e 6), o que segundo VAN VAMBEKE (1962), caracteriza materiais de solos altamente intemperizados. Os valores dessa relação são mais elevados

($> 1,0$) nas partes mais baixas dos perfis 2, 4, 5 e 6 (horizontes C e Cg₂) e no fundo do vale (trado 6). No caso dos perfis 2, 4, 5 e 6, os valores mais elevados da relação silte/argila se devem a maiores teores de silte, o que caracteriza materiais de solos com baixo intemperismo. No caso do fundo do vale, os valores elevados da relação se devem à redução drástica nos teores de argila.

A relação areia fina/areia grossa tem sido utilizada para estudos de homogeneidade nos materiais de origem do solo. Em materiais homogêneos a relação se mantém uniforme ao longo do perfil, e onde há descontinuidade litológica a relação também se altera (TYLER et alii, 1962; BARSHAD, 1964; RIBEIRO, 1980).

Os dados das relações silte/argila e areia fina/areia grossa mostram uma grande variação em profundidade, em todos os pontos da sequência, conforme mostra a figura 11. Há grande semelhança entre as curvas das duas relações, o que sugere que as variações em profundidade são mais devidas à heterogeneidade do material de origem, do que a perdas ou ganhos relativos.

Figura 11 - Perfil das relações silte/argila e areia fina/areia grossa, em profundidade, nos perfis estudados.

Analisando-se os dados da relação silte/argila no sentido da sequência estudada, nota-se um acréscimo à medida que se caminha do topo da colina para as partes mais baixas do vale (fig. 12). Esse acréscimo se explica pela redução intensa nos teores de argila.

A relação areia fina/areia grossa também no sentido lateral mostra irregularidades conforme demonstra a figura 12, refletindo variações no material de origem também neste sentido.

5.3. Parâmetros estatísticos

Com o objetivo de se estudar a uniformidade do material de origem, foram utilizados os parâmetros diâmetro médio (M_z) e grau de seleção (γ_I) do material trabalhado (tabela 3). Esses parâmetros foram obtidos à partir do fracionamento das areias, cujos dados são apresentados na tabela 6 (apêndice). Também no apêndice são apresentadas curvas acumulativas e histogramas de frequência de distribuição granulométrica dos horizontes dos perfis estudados.

Figura 12 - Perfil das relações silte/argila e areia fina/areia grossa nas várias camadas, ao longo da sequência.

Tabela 3 - Valores dos parâmetros estatísticos, calculados segundo FOLK & WARD (1957) utilizando a escala ϕ , para os perfis P2, P4, P5 e P6.

Horizontes	Diâmetro médio M_z	Desvio padrão γ_I
Perfil 2		
A	2.009	1.216
Bw1	2.035	1.179
2Bw2	2.686	0.999
2C	2.538	1.071
Perfil 4		
A	1.802	1.320
Bw	2.189	1.300
Bf	1.946	1.291
Cg1	2.177	1.188
Cg2	2.421	0.966
Perfil 5		
A	1.710	1.311
Bw	2.044	1.311
Bf	1.768	1.454
Cg1	1.821	1.484
Cg2	2.664	0.975
Perfil 6		
A	2.230	1.056
A/C	2.073	1.231
Cg1	1.985	1.239
Cg2	1.949	1.300
Cg3	2.287	1.202

5.3.1. Diâmetro médio (M_z)

Segundo SUGUIO (1973) o diâmetro médio é, dentre as medidas de tendência central, a mais importante. Geologicamente, é a que melhor reflete a média geral do tamanho das partículas de um sedimento, sendo afetado pela fonte de suprimento do material, pelas condições de transporte e pelo processo de deposição.

Os dados do diâmetro médio das amostras estudadas (tabela 3) mostram grande desuniformidade, tanto ao longo dos perfis como ao longo da sequência. O perfil 2 apresenta valores ao redor de 2.0 nos horizontes superiores e valores acima de 2.5 nos horizontes inferiores. Para o perfil 4, os valores encontrados foram 1.8 no horizonte A, aproximadamente 2.0 na parte média do perfil e 2.4 no horizonte Cg₂. O perfil 5 apresenta um diâmetro médio de 1.7 no horizonte A, 2.0 no horizonte Bw, 1.8 nos horizontes Bf e Cg₁ e 2.7 no horizonte Cg₂. Para o perfil 6, os dados variaram de 2.2 na superfície, valores ao redor 2.0 na parte média do perfil e 2.3 na parte inferior.

5.3.2. Grau de seleção (γ_I)

O grau de seleção, dado pelo desvio padrão (γ_I), é um parâmetro que permite medir a dispersão dos dados em torno da tendência central. Quando o material é uniforme, seja pelas características do material de origem, seja por processo de seleção, a dispersão dos dados em relação à média é pequena. Segundo os parâmetros de FOLK & WARD (1957), valores de desvio padrão acima de 1,0 indicam baixo grau de seleção no material.

Nos solos estudados, os dados do grau de seleção indicam se tratar de material pobremente selecionado. Com exceção dos horizontes 2 Bw₂ do perfil 2, Cg₂ do perfil 4 e Cg₂ do perfil 5, com valores de γ_I ao redor de 1.0, os demais horizontes ao longo da sequência apresentam valores acima de 1.0 (tabela 3).

5.4. Características químicas

5.4.1. Complexo sortivo

Os dados do complexo sortivo da sequência estudada são apresentados na tabela 4.

Da encosta ao fundo do vale, os solos apresentam:

- elevada acidez: pH em água variando de 4.7 a 5.6 no perfil 2, 4.6 a 5.5 no perfil 4, 5.1 a 5.5 nos perfis 5 e 6.

- baixa CTC: valores abaixo de 4.0 meq/100g, para a fração mineral. A contribuição da matéria orgânica é essencial nesse sistema. Duplica ou até triplica os valores da CTC nos horizontes superficiais.

- quase total dessaturação de bases: $V < 10\%$ nas partes elevadas da sequência e na superfície dos perfis das partes mais baixas. Há um pequeno acréscimo da saturação de bases em profundidade na região de transição (hor. B_f , C_{g1} , C_{g2} do perfil 5) e (hor. C_{g1} , C_{g2} e C_{g3} do perfil 6) no

Tabela 4 - Características químicas dos perfis estudados.

Hori- zonte	Profundi- dade - cm	pH (1:2,5)		Δ pH	meq/100 g							%	
		H ₂ O	KCl 1N		Valor					CTC	Valor V	100 Al ⁺⁺⁺ Al ⁺⁺⁺ + S	
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺ (pH 7,0)			
Perfil 2													
A	0-30	4.7	4.1	-0.6	0.3	0.1	0.05	0.45	2.1	5.8	8.4	5	82
Bw1	30-140	5.3	4.6	-0.7	0.1	0.1	0.01	0.21	0.5	2.4	3.1	7	70
2Bw2	190-320	5.5	4.6	-0.9	0.1	0.1	0.01	0.21	0.6	2.3	3.1	7	74
2C	320-400+	5.6	4.6	-1.0	0.2	0.1	-	0.30	1.0	2.2	3.5	9	77
Perfil 4													
A	0-20	4.6	3.9	-0.7	0.4	0.1	0.12	0.62	1.7	8.1	10.4	6	73
Bw	20-75	4.9	4.3	-0.6	0.2	0.1	0.02	0.32	1.3	2.7	4.3	7	80
Bf	75-130	5.5	4.4	-1.1	0.1	0.1	0.01	0.21	0.8	2.1	3.1	7	79
Cg1	130-180	5.5	4.3	-1.2	0.1	0.1	0.01	0.21	1.2	2.0	3.4	6	85
Cg2	180-240+	5.2	4.1	-1.1	0.2	0.1	0.01	0.31	2.3	2.2	4.8	6	88

continua...

Tabela 4 - Continuação.

Horizonte	Profundidade - cm	pH (1:2,5)		Δ pH	meq/100 g							%	
					Valor					CTC		Valor V	100 Al ⁺⁺⁺ Al ⁺⁺⁺ + S
		H ₂ O	KCl 1N		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺ (pH 7,0)			
Perfil 5													
A	0-20	5.4	4.6	-0.8	0.1	0.1	0.05	0.25	0.9	3.6	4.8	5	78
Bw	20-45	5.4	4.5	-0.9	0.1	0.1	0.02	0.22	0.9	2.0	3.1	7	80
Bf	45-70	5.1	4.4	-0.7	0.2	0.1	0.02	0.32	0.7	1.6	2.6	12	69
Cg1	70-100	5.1	4.2	-0.9	0.2	0.1	0.01	0.31	0.9	1.2	2.4	13	74
Cg2	100-140+	5.5	4.1	-1.4	0.5	0.2	0.02	0.72	1.4	1.2	3.3	22	66
Perfil 6													
A	0-30	5.4	4.6	-0.8	0.2	0.1	0.05	0.35	0.6	3.0	4.0	9	63
A/C	30-70	5.4	4.5	-0.9	0.2	0.1	0.02	0.32	0.7	2.5	3.5	9	69
Cg1	70-100	5.1	4.4	-0.7	0.3	0.1	0.02	0.42	0.8	1.3	2.5	17	66
Cg2	100-140	5.1	4.2	-0.9	0.1	0.1	0.02	0.22	1.1	0.8	2.1	10	83
Cg3	140-150+	5.5	4.1	-1.4	0.5	0.9	0.04	1.44	1.7	1.9	5.0	29	54

$$\Delta \text{ pH} = \text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$$

$$V = \frac{100 \times S}{T}$$

$$\frac{100 \text{ Al}^{+++}}{\text{Al}^{+++} + \text{S}} = \text{saturação com alumínio}$$

$$S = \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^{+}$$

$$\text{CTC} = S + \text{Al}^{+++} + \text{H}^{+}$$

fundo do vale, provavelmente devido a adição de algumas bases via água subsuperficial (MONIZ et alii, 1982b).

- elevada saturação de alumínio: os solos são álicos em toda a sequência, com saturação de alumínio acima de 60%, chegando a 88%.

- ΔpH negativo em toda a sequência, caracterizando solos eletronegativos.

- A baixa CTC e o ΔpH negativo são características de solos com mineralogia caulinítica. Segundo MEKARU & UEHARA (1972), nos sistemas formados por silicatos laminares, o ΔpH é sempre negativo.

5.4.2. Carbono orgânico

A figura 13 mostra a variação dos teores de carbono em profundidade, ao longo da sequência. Estes atingem valores acima de 3% na superfície dos perfis, do topo até o sopé da encosta. Diminuem para 2% nas partes mais baixas, onde o hidromorfismo é mais acentuado e os solos se tornam mais arenosos. Nos primeiros 10 cm, a porcentagem de carbono decresce para aproximadamente 1%, chegando com esse valor até 60 cm de profundidade.

Figura 13 - Variações do carbono orgânico (%), em profundidade (cm), ao longo da sequência.

O fato dos solos das partes mais altas da sequência apresentarem valores de carbono orgânico mais elevados possivelmente seja devido aos teores de argila estarem limitando, em maior escala, a atividade microbiana (RUSSELL, 1976). Por outro lado, os solos arenosos das partes baixas não são capazes de suportar vegetação tão exuberante quanto os argilosos, resultando conseqüentemente uma menor percentagem de carbono.

5.4.3. Dinâmica de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3

A dinâmica dos principais componentes da fração argila do solo, pode ser compreendida através do estudo de sua distribuição ao longo dos perfis e das sequências.

Através da extração pelo ataque sulfúrico, foram obtidos os teores totais de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 (tab.5 e figura 14.) ao longo da sequência.

Os dados evidenciam:

- o material de origem é heterogêneo: a distribuição em profundidade de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 é irregular, conforme mostra a figura 14.

Tabela 5 - Silício, ferro e alumínio extraídos pelo ataque sulfúrico; ferro e alumínio extraídos pelo CBD e pelo oxalato de amônio. Resultados expressos em percentagem.

Horizonte	Profundidade - cm	Ataque com H_2SO_4			CBD		Ox. de Amônio		Ferro	Alumínio	Fe_2O_3 CBD	Al_2O_3 CBD
		SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	"Ativo"	"Ativo"	Argila	Argila
Perfil 2												
A	0-30	24.2	10.2	23.4	9.27	3.17	0.79	1.44	0.09	0.45	0.17	0.06
Bw1	30-140	26.8	10.1	24.7	9.60	3.10	0.41	1.55	0.04	0.50	0.15	0.05
2Bw2	190-320	29.7	13.9	28.8	12.73	2.13	0.16	1.34	0.01	0.63	0.22	0.04
2C	320-400+	29.1	20.3	27.8	23.47	3.25	0.11	1.34	-	0.41	1.02	0.14
Perfil 4												
A	0-20	9.5	2.9	9.4	6.53	2.19	1.16	0.85	0.18	0.93	0.25	0.08
Bw	20-75	27.0	4.6	15.5	6.81	2.34	0.50	0.93	0.07	0.40	0.17	0.06
Bf	75-130	29.1	6.0	26.0	6.09	1.57	0.24	1.15	0.04	0.73	0.31	0.03
Cg1	130-180	16.7	5.0	25.0	4.39	1.08	0.09	0.94	0.02	0.88	0.11	0.02
Cg2	180-240+	27.2	3.1	24.7	2.59	0.60	0.04	1.00	0.02	1.66	0.09	0.02
Perfil 5												
A	0-20	7.8	1.8	8.1	5.14	1.61	1.37	1.42	0.27	0.88	0.92	0.09
Bw	20-45	12.1	2.4	10.7	4.96	1.51	0.99	0.91	0.20	0.60	0.18	0.06
Bf	45-70	14.9	2.8	15.3	4.97	1.51	0.54	0.96	0.11	0.64	0.13	0.04
Cg1	70-100	17.9	2.5	17.8	2.90	0.89	0.06	0.09	0.02	0.10	0.09	0.03
Cg2	100-140+	22.8	2.0	21.2	-	-	-	-	-	-	-	-

Continua...

Tabela 5 - Continuação.

Hori- zonte	Profundi- dade - cm	Ataque com H ₂ SO ₄			CBD		Ox. de Amônio		Ferro	Alumínio	Fe ₂ O ₃ CBD	Al ₂ O ₃ CBD
		-----			-----		-----		"Ativo"	"Ativo"	Argila	Argila
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃				
Perfil 6												
A	0-30	6.3	1.1	7.9	2.43	2.10	1.40	3.38	0.58	1.61	0.15	0.13
A/C	30-70	5.2	1.1	7.1	2.31	1.15	1.63	1.87	0.70	1.62	0.14	0.07
Cg1	70-100	6.3	1.1	7.4	1.90	0.57	1.33	1.30	0.70	2.28	0.11	0.03
Cg2	100-140	7.4	0.9	8.1	1.87	0.38	0.56	1.15	0.30	3.03	0.11	0.02
Cg3	140-150+	12.1	0.8	7.9	-	-	-	-	-	-	-	-

- O ataque sulfúrico foi feito na fração terra fina; as extrações pelo CBD e pelo oxalato de amônio foram feitas na fração argila.
- Ferro "Ativo" e Alumínio "Ativo": dados pela relação oxalato/CBD.

Figura 14 - Perfil de distribuição de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 em profundidade, nos perfis estudados.

- o horizonte C do perfil 2, situado na meia encosta é originado de rocha máfica (20% de Fe_2O_3).

- o horizonte B latossólico vermelho também recebe influência desse material (14% de Fe_2O_3).

- o horizonte B latossólico amarelo se correlaciona com material de origem ácido (10% de Fe_2O_3), bem como os demais horizontes da sequência (kf mais elevado).

- há diminuição de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 em dois sentidos: na superfície e lateralmente, ao longo da sequência (figura 15).

- a diminuição é gradual e se acentua na região de atuação do hidromorfismo.

- há um domínio inferido de mineralogia caulinítica não oxidica em toda a sequência: valores de K_i entre 1.6 e 1.9; K_r entre 1.13 e 1.69; $K_f > 3,0$ (figura 16), o que é confirmado pela mineralogia da fração argila (item 5.5).

- os perfis das relações K_i , K_r e K_f ao longo da sequência são mostrados na figura 17. A diminuição de K_i

e Kr e o aumento de Kf salientam-se sugerindo uma maior mobilidade de SiO_2 e Fe_2O_3 em comparação com o Al_2O_3 .

Figura 15 - Perfil de distribuição de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 nas várias camadas, ao longo da sequência.

Figura 16 - Perfil das relações K_i , K_r e K_f em profundidade, nos perfis estudados.

Figura 17 - Perfil das relações K_i , K_r e K_f nas várias camadas, ao longo da sequência.

5.4.4. Grau de cristalinidade dos óxidos de ferro e de alumínio

Uma das maneiras de se estimar o grau de cristalinidade dos óxidos é através da relação entre os extratores citrato-bicarbonato-ditionito de sódio (CBD) e o oxalato de amônio. BLUME & SCHWERTMANN (1969) mostraram que é possível de se fazer uma caracterização de grandes grupos de solos, através do perfil de distribuição dos óxidos de alumínio, de ferro e de manganês, usando os dois extratores, as relações entre eles, bem como a relação entre os extratores e os teores de argila.

No Brasil, vários trabalhos têm sido conduzidos utilizando-se as extrações com CBD e com oxalato de amônio ácido na determinação de formas "livres" e menos cristalinas de ferro e de alumínio (DEMATTE & HOLOWAYCHUCK, 1977; RODRIGUES & KLAMT, 1978; POTTER & KÄMPF, 1981; POMBO et alii, 1982; SCHWERTMANN & KÄMPF, 1983; KÄMPF & DICK, 1984; GUALBERTO, 1984; QUEIROZ & KLAMT, 1985; GUALBERTO et alii, 1987).

A tabela 5 apresenta os dados de extração de ferro e alumínio com CBD e com oxalato de amônio. A figura 18 mostra os perfis de distribuição ao longo da sequência, e a figura 19 as variações no grau de cristalinidade através das relações entre os extratores.

Figura 18 - Perfil de distribuição do Fe e do Al extraídos pelo CBD e pelo oxalato de amônio nas várias camadas ao longo da sequência.

Figura 19 - Perfil das relações Fe oxalato/Fe CBD e Al oxalato/Al CBD nas várias camadas, ao longo da sequência.

Os dados da extração com CBD evidenciam uma distribuição semelhante àquela mostrada pelo ataque sulfúrico: teores mais elevados de óxidos de ferro e de alumínio nas partes mais altas da encosta, reduzindo nas partes mais baixas.

Os dados da extração com oxalato de amônio mostram resultado inverso. Os teores extraídos dos dois elementos, bem como a relação entre as formas extraídas pelos dois extratores, aumentam do topo para o fundo do vale. Esses resultados refletem maior grau de cristalinidade dos compostos de ferro e de alumínio no material latossólico da encosta. Esses óxidos se tornam menos cristalinos e são removidos do solo à medida que se caminha para as partes baixas do vale, onde o hidromorfismo se acentua.

As variações nos teores de ferro e de alumínio encontradas em profundidade (aumento no perfil 2 e diminuição nos demais) , são devidas à maior concentração de ferro e de alumínio no material de origem do horizonte C do perfil 2, e ao aumento de intensidade do hidromorfismo em profundidade, na parte baixa da sequência, favorecendo a remoção.

As relações entre os teores dos elementos e a fração argila não mostram sinais de concentração relativa,

significando que esses elementos sofrem remoção sumária do solo (verticalmente e lateralmente).

O perfil de distribuição das várias formas de óxidos de ferro e de alumínio não foge ao encontrado pelos pesquisadores do assunto (McKEAGUE & DAY, 1966; BLUME & SCHWERTMANN, 1969; MCKEAGUE et alii, 1971; JUO et alii, 1974; JUO, 1981). Os dados concordam:

- a razão de atividade (Fe_{ox}/Fe_{CBD} , Al_{ox}/Al_{CBD}), geralmente decresce em profundidade no solo, indicando que existe uma maior proporção de óxidos "livres" nas formas mais cristalinas na sub-superfície que na superfície do solo, ou seja o maior teor de compostos orgânicos próximo à superfície atua como inibidor da cristalização dos óxidos.

- a razão de atividade também é influenciada por diferenças no regime de umidade, em diferentes perfis ao longo de uma topossequência. Solos bem drenados, das partes elevadas, apresentam menor razão de atividade que solos hidromórficos, das partes mais baixas na paisagem. As sucessivas transformações do Fe (II) em Fe (III) e vice-versa (VAN BREEMEN, 1988) em solos sazonalmente muito úmidos podem explicar este aspecto, no tocante ao ferro.

- a quantidade total dos óxidos é influenciada pelo tipo de material de origem: solos desenvolvidos de materiais com influência de rochas máficas (perfil 2) contêm teores mais elevados que solos derivados de rochas ácidas (os demais).

5.5. Mineralogia da fração argila

A mineralogia da fração argila dos solos estudados foi caracterizada através da difração de raios X. As figuras 20 a 32 mostram os difratogramas dos principais horizontes de perfis representativos dos vários segmentos da sequência em estudo.

A mineralogia da fração argila da sequência estudada é relativamente simples. Há um domínio de caulinita em todos os perfis, reconhecida pelos picos nas regiões de 7.25, 3.57 e 2.39 Å. Esses picos desaparecem nas amostras aquecidas a 550° C.

Acompanhando a caulinita, foram identificadas argilas do grupo das micas e vermiculitas-cloritizadas.

Figura 20 - Difratogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte A do perfil 2.

Figura 21 - Difratogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Bw vermelho amarelo, do perfil 2.

Figura 22 - Difratoigramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Bw vermelho escuro, do perfil 2.

Figura 23 - Difrátogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte C, do perfil 2.

Figura 24 - Difrátogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte A do perfil 4.

Figura 25 - Difratoigramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Bw do perfil 4.

Figura 26 - Difrátogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Bf do perfil 4.

Figura 27 - Difratoigramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Cg1 do perfil 4.

Figura 28 - Difratoógramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Cg2 do perfil 4.

Figura 29 - Difratoigramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte A do perfil 6.

Figura 30 - Difrátogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte A/C do perfil 6.

Figura 31 - Difrátogramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Cg1 do perfil 6.

Figura 32 - Difratoigramas de raios X da fração argila sem óxidos de ferro, do horizonte Cg2 do perfil 6.

A muscovita é reconhecida por apresentar picos nas regiões de 10.0, 5.0 e 3.35 Å, picos esses que não se alteram com os diversos tratamentos. A vermiculita-cloritizada é identificada pelos picos na região de 14.0 Å, os quais são deslocados para a região de 10 Å quando as amostras são aquecidas, formando uma banda de difração.

No horizonte B latossólico de cor avermelhada foi identificada também a gibbsita, cujos picos aparecem nas regiões de 4.85 Å (mascarado pelo pico de 4.87 Å das micas) e de 4.37 Å (figura 22).

Os picos das micas são mais intensos nas partes inferiores dos perfis, conforme mostram os diafratogramas das figuras 23, 31 e 32.

A vermiculita-cloritizada está presente principalmente nos horizontes mais superficiais, o que pode ser visto nos diafratogramas das figuras 20, 21, 22, 25 e 26, à exceção do pedon 6.

A composição mineralógica da fração argila dos solos estudados é a mais comumente encontrada em solos tropicais. Trabalhos relacionados a solos da Amazônia Brasileira mostram, como constituintes principais da fração argila, a caulinita e os óxidos de ferro nas mais diversas

formas. Como minerais acessórios aparecem a muscovita, vermiculita-cloritizada e a vermiculita.

A distribuição das micas e dos minerais cloritizados encontrados ao longo dos perfis, é a mais comum de se esperar. Segundo FANNING & KERAMIDAS (1977), as micas são mais encontradas em profundidade nos solos porque a maior parte delas parece ser herdada dos materiais de origem. Com uma maior intensidade de intemperismo nos horizontes superficiais, elas se alteram.

As vermiculitas-cloritizadas ocorrem nos solos como produto de intemperismo. Podem resultar da degradação das cloritas ou da deposição de hidróxidos nas entrecamadas das argilas expansivas, o que ocorre mais frequentemente nos horizontes superficiais, decrescendo em profundidade no solo (BARNHISEL, 1977).

5.6. Mineralogia da fração silte

A mineralogia da fração silte dos solos estudados, foi caracterizada através da difração de raios X. Os difratogramas dos principais horizontes de perfis representativos dos vários segmentos da sequência, são apresentados nas figuras 33, 34 e 35.

Figura 33 - Difrátogramas de raios X da fração silte sem óxidos de ferro, dos horizontes do perfil 2.

Figura 34 - Difrátogramas de raios X da fração silte sem óxidos de ferro, dos horizontes do perfil 4.

Figura 35 - Difrátogramas de raios X da fração silte sem óxidos de ferro, dos horizontes do perfil 6.

A fração silte, semelhantemente à fração argila, também apresenta uma mineralogia relativamente simples. O quartzo está presente em todas as camadas, ao longo da sequência. Seu reconhecimento é feito pela presença de picos nas regiões de 4.26, 3.34, 2.46, 2.28, 2.24, 2.13, 1.98, 1.82, 1.67 e 1.54 Å. Na superfície dos perfis da região de transição e do domínio hidromórfico (perfil 4 e perfil 6, respectivamente), há um predomínio absoluto desse mineral na fração silte.

Nas partes altas da sequência, representadas pelo perfil 2, além do quartzo são encontradas na fração silte: caulinita (reconhecida pelos picos nas regiões de 7.25, 3.57, 1.66 e 1.54 Å) e traços de clorita (picos apresentados nas regiões de 4.87 e 4.5 Å). Observa-se ainda nos difratogramas do perfil 2 um decréscimo na intensidade dos picos de quartzo, em profundidade, consequência da influência do material de origem (menor teor desse mineral).

Na região de transição, representada pelo perfil 4, o quartzo está presente em todas as camadas. Nos horizontes mais profundos (B_f, C_{g1}, C_{g2}) há uma diminuição desse mineral e o aparecimento de caulinita e minerais do grupo da mica (reconhecidos pelos picos nas regiões de 10 e 5 Å).

Na região do domínio hidromórfico, representada pelo perfil 6, o quartzo predomina na fração silte em todas as camadas. Com o aumento da profundidade (hor. C_{g1}, C_{g2}, e C_{g3}) aparecem traços de caulinita e nos horizontes C_{g1} e C_{g2}, traços de interestratificados (10.0 e 11.7 Å).

5.7. Características micromorfológicas

Foi feita uma caracterização sumária da micromorfologia de segmentos representativos do local estudado (tabela 7 - apêndice).

Do topo ao fundo do vale, passando pela região de transição, as principais variações encontradas nas características micromorfológicas foram:

Camada superficial : horizonte A

- Trama: apórica granóidica, intertêxtica, aglomeroplásmica.
- Estrutura plásmica: isotrópica ondúlica em toda a sequência.

- Cor do plasma: vermelho-amarelo, vermelho-amarelo claro, bruno amarelado claro.

- % de plasma: 40% nas partes altas, 15% na região de transição e no fundo do vale.

- Esqueleto: em toda sequência, é composto predominantemente de grãos de quartzo pobremente selecionados, angulares, subangulares, subarredondados e corroídos. Ocupam 30% do volume das partes altas, 60% da região de transição e 50% do fundo do vale. No topo foram encontrados também traços de minerais opacos.

- Porosidade: ocupa 30% do volume das partes altas, 25% da região de transição e 35% do fundo do vale. É formada por ortocavidades irregulares, canais, poros intergranulares simples e complexos, em toda a sequência. Nas partes elevadas encontram-se ainda fissuras e do topo à região de transição, câmaras.

- Estrutura associada: nas partes elevadas são encontrados nódulos litorreliquiais ferruginosos e pseudomorfos de biotita; na região de transição, nódulos litorreliquiais ferruginosos; no fundo do vale, pedorrelíquias formadas por microagregados de material oxidico em degradação.

2ª camada: hor. Bw vermelho-amarelo --> hor. A/C

- Trama: grânica granóidica e apórica granóidica, intertêxtica, aglomeroplásmica.

- Estrutura plásmica: isotrópica ondúlica em toda a sequência.

- Cor do plasma: vermelho-amarelo, bege, bege claro.

- % de plasma: 55% nas partes altas, 25% na região de transição e 15% no fundo do vale.

- Esqueleto: em toda a sequência, é composto predominantemente de grãos de quartzo pobremente selecionados, angulares, subangulares, subarredondados e corroídos. Ocupam 20% do volume das partes altas e 50% da região de transição e do fundo do vale. Foram encontrados também traços de minerais opacos nas partes altas da sequência.

- Porosidade: ocupa 25% do volume das partes altas e da região de transição e 35% do fundo do vale.

Ortocavidades e canais estão presentes em toda a sequência; são encontradas fissuras nas partes altas, câmaras do topo à região de transição, e poros intergranulares simples na região de transição e no fundo do vale.

- Estrutura associada: nas partes elevadas são encontrados nódulos litorreliquiaes ferruginosos e pseudomorfos de biotita; na região de transição, nódulos litorreliquiaes ferruginosos; no fundo do vale pedorreliquias formadas por microagregados de material oxidico em degradação.

3ª camada: hor. Bw vermelho-escuro --> hor. Bf.

Nas partes elevadas, a 3ª camada apresenta dois dominios: um vermelho-amarelo e outro vermelho escuro, cujas características micromorfológicas são apresentadas separadas por barra (vermelho-amarelo/vermelho escuro).

- Trama: grânica granóidica/porfírica, profírica, intertêxtica a aglomeroplásmica.

- Estrutura plásmica: isotrópica ondúlica/isótica, silassépica.

- Cor do plasma: vermelho-amarelo/vermelho escuro, bege claro, esbranquiçado com pontuações bege.

- % de plasma: 25/50% no topo, 30% na região de transição e 25% no fundo do vale.

- Esqueleto: da região de transição ao fundo do vale, o esqueleto é composto de grãos de quartzo pobremente selecionados, angulares, subangulares, subarredondados e corroídos. Nas partes elevadas, além de grãos de quartzo semelhantes aos das partes baixas, encontram-se ainda pseudomorfos de muscovita associados ao plasma vermelho-amarelo e pseudomorfos de biotita associados ao plasma vermelho escuro. O esqueleto ocupa 60/25% do volume das partes elevadas, 45% da região de transição e 50% do fundo do vale.

- Porosidade: ocupa 15/25% do volume das partes elevadas e 25% da região de transição e do fundo do vale. Em toda sequência estão presentes ortocavidades e canais. Nas partes altas são encontradas também câmaras e fissuras, e da região de transição ao fundo do vale poros intergranulares simples.

- Estrutura associada: são encontrados nódulos litorreliquiaais ferruginosos na região de transição e pedorrelíquias formadas de microagregados de material oxídico em degradação no fundo do vale.

Observando-se a descrição das características micromorfológicas nota-se que o material de origem da sequência estudada é heterogêneo, composto de um domínio vermelho-amarelo e de um vermelho escuro, proveniente de rochas graníticas. No entanto, esse material é comum e contínuo ao longo de toda sequência: o esqueleto é predominantemente composto de grãos de quartzo de tamanho e forma muito semelhantes.

As principais variações são encontradas nos teores de plasma, que sofre uma redução gradativa do topo da encosta para o fundo do vale; na variação da coloração: vermelho-amarelo/vermelho escuro no topo da sequência, bege na região de transição e esbranquiçado no fundo do vale e um concomitante aumento na percentagem do esqueleto.

5.8. Classificação dos solos

Sistema Americano de Classificação de Solos

As partes elevadas da encosta são formadas por solos profundos, bem drenados, friáveis, com coloração amarelo-avermelhada. O perfil de número 2 é representativo desse segmento.

Segundo o Sistema Americano de Classificação de Solos - Soil Taxonomy, SOIL SURVEY STAFF (1975, 1990), esses solos pertencem à ordem Oxisol por apresentarem horizonte óxico. O regime de umidade údico os enquadra na sub-ordem Udox. Os teores variáveis de argila ao longo do perfil (60% no horizonte superficial, 72 e 70% nos horizontes sub-superficiais), caracteriza-os como do grande grupo Kandiodox. A nível de sub grupo eles apresentam características representativas do conceito central da classe, sendo classificados como Typic Kandiodox. A textura muito argilosa, o predomínio de argilas cauliniticas e o regime de temperatura isohipertérmico, permitem classificá-los a nível de família como:

Typic Kandiodox, very-fine, kaolinitic, isohyperthermic

Na região de transição, entre a encosta e o fundo do vale, os solos se tornam mais rasos. O lençol freático atua nas camadas inferiores dos perfis, dando origem a material plíntico. Há uma perda de elementos finos do perfil do solo, com concomitante concentração da fração grosseira. Nessa região, a perda é mais acentuada na superfície. Os perfis de número 4 e 5 são representativos da região de transição.

Segundo o SOIL SURVEY STAFF (1990), a presença de um horizonte kândico associado a uma grande variação textural ao longo do perfil, enquadra os solos desse segmento na ordem Ultisol. Pelo regime de umidade údico, eles pertencem à sub-ordem Udult. A variação dos teores de argila ao longo do perfil, a CTC menor que 16 meq/100g de argila e a CTC efetiva abaixo de 12 meq/100 g de argila no horizonte kândico, os classificam no grande grupo kanhapludult. A presença de mais de 5% de plintita, em volume, dentro da profundidade de 150 cm, os caracteriza como do sub-grupo Plinthic kanhapludult. A nível de família, a textura e a mineralogia separam os dois perfis em:

- Perfil 4 - Plinthic kanhapludult, fine-loamy over clayey, .kaolinitic, isohyperthermic.

- Perfil 5 - Plinthic kanhapludult, fine-loamy, siliceous, isohyperthermic.

Os solos que ocupam o fundo do vale são solos hidromórficos, apresentando um epipedon ócrico sobre horizontes C gleizados. Segundo o SOIL SURVEY STAFF (1975, 1990), se enquadram na ordem Entisol.

O perfil de número 6 se enquadra na sub-ordem dos Orthent. Pelo regime de umidade údico, se classifica como Udorthent a nível de grande grupo. A nível de sub-grupo, a saturação com água por período acima de um mês, nos primeiros 150 cm do perfil, o caracteriza como Aquic Udorthent. A textura franco arenosa, o domínio de quartzo na fração grosseira e o regime de temperatura isoipertérmico, classificam-no a nível de família como:

Aquic Udorthent, fine-loamy, siliceous, isohyperthermic.

Os solos da parte mais baixa do vale, representados pelo trado 6, pertencem ao grupo dos muito antigos, porém constituídos principalmente de quartzo e outros minerais resistentes, que não se alteram (SOIL SURVEY STAFF, 1975). Um horizonte ócrico sobre material

inconsolidado o classifica na ordem Entisol. O regime de umidade àquico o caracteriza como da sub-ordem Aquent. Pela textura arenosa ele é classificado a nível de grande grupo como Psammaquent. A cor escura do horizonte A e a baixa saturação de bases até a profundidade de 100 cm, caracterizam-no a nível de sub-grupo como Humaqueptic Psammaquent. O recobrimento dos grãos de quartzo (argila e silte > 5%), a mineralogia da fração grosseira e o regime de temperatura o classificam a nível de família como:

Humaqueptic Psammaquent, coated, siliceous, hyperthermic.

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

A classificação dos solos no Sistema Brasileiro, foi feita de conformidade com as normas em uso pelo SNLCS (BRASIL, 1978; EMBRAPA, 1979c, 1981b, 1988; CAMARGO et alii, 1987).

Nas partes elevadas da encosta, do topo ao terço médio inclusive, os solos apresentam horizonte B latossólico. O perfil de número 2, representativo desse segmento, apresenta as seguintes características:

- cores vermelho-amareladas: 5 YR
- teores de Fe_2O_3 ao redor de 10%
- percentagem de saturação de alumínio >50%
- camada concrecionária na parte média do perfil

- horizonte A com teores de carbono ao redor de 2% e coloração bruno-forte

- textura muito argilosa
- cobertura vegetal floresta densa tropical
- relevo ondulado: declividade ao redor de 16%

Por essas características apresentadas, esses solos se classificam como:

LATOSSOLO	VERMELHO-AMARELO	ALICO
concrecionário	A moderado	textura muito argilosa fase
floresta densa tropical relevo ondulado.		

No terço inferior da encosta, representado pelos perfis de número 4 e 5, os solos apresentam as seguintes características usadas no Sistema Brasileiro de Classificação:

- horizonte B latossólico
- cores amareladas: 10 YR e 2,5 Y
- menos de 7% de Fe_2O_3

- percentagem de "saturação" de alumínio > 50%
- material plântico na parte inferior do perfil
- horizonte A com teores de carbono acima de 0,58% e coloração bruno-forte
- cobertura vegetal floresta densa tropical
- relevo suave ondulado: declividade entre 3 e 8%.

A variação textural entre os horizontes A (28%) e B (45%) do perfil de número 4, o classifica como:

LATOSSOLO AMARELO ALICO podzólico plântico A moderado textura argilosa fase floresta densa tropical relevo suave ondulado

O perfil de número 5 apresenta textura média e é classificado como:

LATOSSOLO AMARELO ALICO plântico A moderado textura média fase floresta densa tropical relevo suave ondulado.

No fundo do vale, caracterizados pela atuação intensa do lençol freático em todo o perfil, encontram-se os solos hidromórficos. Foram identificadas duas classes, representadas pelo perfil de número 6 e pelo trado 6.

O solo representado pelo perfil de número 6, apresenta as seguintes características distintivas:

- sequência de horizontes A sobre C
- gleização intensa em todo o perfil
- percentagem de "saturação" de alumínio > 50%
- argilas de baixa atividade
- horizonte A moderado
- textura média
- cobertura vegetal floresta densa tropical
- relevo plano

No Sistema Brasileiro, esse solo é classificado como:

GLEI POUCO HUMICO ALICO Tb A moderado textura média fase floresta densa tropical relevo plano.

O perfil representado pelo trado 6 tem como diferença do perfil anterior, a textura. Esse perfil apresenta mais de 90% de areia na sua composição, até profundidades além de 1 metro. Há um predomínio absoluto de minerais de quartzo nesse solo.

No Sistema Brasileiro, ele se classifica como:

AREIA QUARTZOSA ALICA hidromórfica A moderado fase floresta densa tropical relevo plano.

5.9. Sequência de solos da área estudada

A sequência de solos encontrada na área estudada difere do modelo mais comum, citado em literatura (SANCHEZ, 1976; CARMO et alii, 1984). Nela estão presentes: oxisols, ultisols e entisols. A pedoforma é convexo-côncava; os oxisols ocupam as partes mais íngremes da paisagem, os ultisols a porção intermediária e os entisols a parte plana do fundo do vale (figura 36).

Os ultisols encontrados diferem daqueles das sequências de outras regiões (sul, sudeste, centro-oeste): eles apresentam horizonte kândico e não argílico. Sua gênese se dá por degradação dos oxisols e não pela translocação de argilas, comum em materiais mais jovens.

Figura 36 - Sequência de solos encontrada na área em estudo.

A degradação extrema dos oxisols, com perda máxima dos componentes da fração argila, origina os entisols do extremo inferior da sequência, não propiciando a formação dos inceptisols.

O modelo de evolução dos solos também é inverso ao modelo clássico: os solos menos degradados da sequência são os oxisols, ocupando as partes mais elevadas da paisagem; os mais degradados são os entisols e ocupam as partes mais baixas.

5.10. Evolução da pedogênese

Os resultados obtidos permitem inferir os prováveis processos pedogenéticos envolvidos nesta sequência. Sob material de origem heterogêneo, constituído de rochas ácidas com contribuição de rochas ricas em Fe_2O_3 , se instalou um processo de intenso intemperismo dando como produto final uma massa latossólica. Duas feições são distintas nesse material: uma camada de cor mais vermelha, mais hematítica (2,5YR), na parte inferior do perfil, e uma camada de cor mais amarelada, mais goetítica (7,5YR), mais próximo à superfície (vide figura. 8).

Nesta sequência se distinguem três segmentos, a saber: as partes altas, que vão do topo ao terço inferior da encosta, a parte final da encosta e o fundo do vale. O material latossólico parece ter ocupado os três segmentos da sequência, sofrendo posteriormente distintos processos pedogenéticos.

Quanto à heterogeneidade do material de origem, os dados das relações granulométricas, os parâmetros da análise estatística e a análise micromorfológica comprovam tal afirmativa, porém permanece o domínio gnáissico em toda a sequência estudada, ou seja, não há diferença litológica.

Em relação à textura, o que se verificou foi uma perda de argilas tanto no sentido lateral como no sentido vertical (vide figura 10). A montante é muito argilosa à partir de 30 cm de profundidade. As curvas isovalor mostram que o teor de argila diminui progressivamente encosta abaixo, indo de 70% no topo para 10% no contato com o fundo do vale. Neste ponto, o teor de argila atinge valores ao redor de 2% . Tudo leva a crer que o principal processo pedogenético atuando sobre essa massa latossólica foi o de remoção de finos (argila e óxidos). Com a remoção gradativa de argila há o aparecimento de um gradiente textural, máximo na posição do perfil 4 (vide figura 8), reduzindo-se nas posições inferiores. A remoção é

máxima no final da encosta e fundo do vale. Tal remoção parcial (perfis 2 e 4) e extremamente acentuada (trado 6), pode ter sido causada por um encharcamento temporário nas partes altas, em função das elevadas precipitações da região, e um encharcamento permanente nas partes baixas devido à presença do lençol freático, o que foi constatado através das descrições morfológicas (presença de mosqueamento e gleização).

Acompanhando a distribuição da fração argila, nota-se sequência semelhante para os teores de ferro e de alumínio, detectados pela extração com ácido sulfúrico; os óxidos de ferro e de alumínio sofrem um decréscimo gradativo no sentido do topo para o fundo do vale. Por outro lado, os dados da relação entre extração dos óxidos pelo CBD e pelo oxalato de amônio, mostram um maior grau de cristalinidade destes no material latossólico da encosta, passando a formas de menor cristalinidade em direção ao fundo do vale. Tais óxidos se tornam menos cristalinos e são removidos mais facilmente do solo à medida que se caminha para as partes baixas, onde o hidromorfismo é máximo. Por sua vez, os valores das relações entre os teores de ferro e a fração argila ao longo da sequência, não mostraram concentração relativa, significando que a translocação de argila nestes solos não é expressiva. Principalmente nos perfis 4 e 5, o

gradiente textural é devido mais à remoção de finos do que à translocação de argila. A análise micromorfológica não evidenciou concentrações plásmicas ao longo dos canais ou dos agregados.

Devido a essa remoção gradativa da fração argila (perfil 2 ao trado 6), num manto originalmente latossólico se desenvolveram diversos solos, distribuídos na seguinte sequência: latossolos nas partes altas e meia encosta; latossolos podzólicos plínticos nas partes inferiores da encosta e areias quartzosas hidromórficas no fundo do vale.

A remoção de argilas silicatadas e óxidos da superfície pode ser explicada por um processo parcial de redução associado à ação da matéria orgânica (DUCHAUFOR, 1977; TURENNE, 1977; PEDRO, 1979). Tais compostos podem migrar em profundidade ou se concentrar parcialmente na forma de material plíntico (figura 8, perfis 4 e 5). No caso de horizontes mais esbranquiçados como as partes inferiores dos perfis 4, 5 e 6 a perda da fração argila pode ser devida a processos mais intensos de destruição e remoção de finos, em função da alternância umectação-dessecação: a ferrólise segundo BRINKMAN (1970) e a acidólise, segundo MELFI & PEDRO (1978).

Portanto, o resultado final leva a pensar que toda a cobertura pedológica - latossolos, latossolos podzólicos plínticos e areias quartzosas, se desenvolveu

sobre os mesmos alteritos do Complexo Cristalino. A diferenciação dos solos seria devida não a descontinuidades litológicas, mas a processos pedogenéticos de destruição e/ou remoção da fração fina.

6. CONCLUSÃO

Os dados obtidos permitem concluir que o material originário é heterogêneo, porém dentro dos limites do domínio gnáíssico. Mineralogicamente os solos são cauliníticos e quimicamente extremamente dessaturados. Em relação ao comportamento dos óxidos de ferro, verifica-se que o grau de cristalinidade decresce à medida que o hidromorfismo se intensifica. A diferenciação lateral dos solos: latossolos na parte alta, latossolo-podzólico-plíntico na encosta e areia quartzosa no fundo do vale, é devida principalmente a processos de remoção e/ou destruição de finos (argila silicatada + óxidos) do que a diferenças no material de origem. O hidromorfismo exerce papel preponderante na diferenciação da sequência estudada.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ACRA, M. N. & WEED, S. W. Soil agregation and porosity in relation to contents of free iron oxides and clay. *Soil Science*, Baltimore, 101:164-70, 1966.

ALEXANDER, E. B. Extractable iron in relation to soil age an terraces along the Truckee River, Nevada. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 38 (1): 121-4, Jan./Feb. 1974.

ALLEN, B. L. & FANNING, D. S. Composition and soil genesis. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E. & HALL, G. F.eds. *Pedogenesis and soil taxonomy*. Elsevier, Amsterdam, 1983. p. 141-92.

ALMEIDA, J. R. *Cronocromossequência de solos originados de rochas pelíticas do Grupo Bambuí*. Viçosa, UFV, 1979. 150 p. (Tese MS).

- ALMEIDA, M. C. B. Nota sobre os minerais dos aluviões do médio Rio das Contas (Bahia). *Notícia Geomorfológica*, Campinas 16: 57-74, 1976.
- ALOISI, R. R.; POPPI, N.; PERECIN, D. & DEMATTE, J. L. I. Estudos sedimentológicos de perfis de solos sob cerrado. *Centifica*, Jaboticabal, 6(2) : 159-64, 1978.
- ALTAFIN, A. *Granulometria da fração grosseira de solos desenvolvidos sobre o Arenito Bauru*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1977. 90p. (Dissertação de Mestrado).
- ALVIM, P. Los tropicos bajos de la America Latina: recursos y ambiente para el desarrollo agricola. In: Simposio sobre EL POTENCIAL DEL TROPICO BAJO, Colômbia, CIAF, 1973. p.43-61.
- AZOLIN, M. A. D. *Relação superfícies geomórficas e material de origem a sudoeste do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1975. 132p. (Tese M.S.).
- BARNHISEL, R. I. Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J. B. & WEED, S. B. ed. *Minerals in soil environments*. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p. 331-56.

BARSHAD, I. Chemistry of soil development. In: BEAR, F. E. ed. *Chemistry of the Soil*. New York, Reinhold, 1964.

BEINROTH, F. H. The general pattern of the soils of Puerto Rico. Trans. Fifth Caribbean Geol. Conf., 1972. p. 225-9 (Geol. Bull., 5).

BEINROTH, F. H.; UEHARA, G. & IKAWA, H. Geomorphic relations of Oxisols and Ultisols of Hauai, Hawaii. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 38 (1): 128-31, jan./feb. 1974.

BIGARELLA, J. J. & ANDRADE, G. O. Contributions to the study of the Brazilian Quaternary. *Spec. Pap. Geol. Soc. Am.*, Washington, 84: 433-51, 1965.

BIGHAM, J. M.; GOLDEM, D. C.; BUOL, S. W.; WEED, S. B. & BOWEN, L. H. Iron oxide mineralogy of well drained Ultisols and Oxisols: II. Influence on color, surface area, and phosphate retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 42 (5): 825-30, Sept./Oct. 1978.

BLUME, H. P. & SCHWERTMANN, U. Genetic evaluation of profil distribution of aluminum, iron, and manganese oxides. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 33(3):438-44,

Mar. 1969.

BOER, M. W. H. *Land forms and soils in eastern Surinam (South América)*. Netherlands, 1972. 169 p.(PUDOC, 13).

BONI, N. R. *Variações na granulometria da Formação Botucatu na Quadricula de Piracicaba*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1977, 108 p. (Tese de Doutorado).

BOSIO, N. J. & LANDIM, P. M. B. Um estudo sedimentológico sobre a Formação Caiuá. *Boletim Paranaense Geociências*, Curitiba, 28/29: 145-57, 1970/71.

BOUMA, J. Hidrology and soil genesis of soils with aquic moisture regimes. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E. & HALL, G. F., eds. *Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concepts and interations*. Elsevier, 1983. p. 253-81.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte. *Os solos da área Manaus-Itacoatiara*. Belém, 1969. 116 p. (Série Estudos e Ensaio, 1).

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.20 Manaus*. Rio de Janeiro, 1978, 628p. (Levantamento de Recursos Naturais, 18).

- BRAUN, E. H. G. Observações pedo-geomorfológicas entre Boa Vista e Lethem. *Rev. Bras. Geog.*, Rio de Janeiro, 25 (3): 378-83, Jul./Set. 1963.
- BREWER, R. *Fabric and mineral analysis of soils*. New York. John Wiley and Sons, 1976. 470p.
- BRINKMAN, R. Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma*, Amsterdam, 3:(3): 199-206, 1970.
- BROWN, G. *The X-ray identification and crystal structure of clays minerals*, London Mineralogical Society, 1961. 544p.
- BUOL, W. S.; HOLE, F. D. & McCracken, R. J. *Soil genesis and classification*. 2 ed. Ames, Iowa State Univ. Press, 1980. 404p.
- BUSHNELL, T. M. Some aspects of the soil catena concept. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 7(4):466-76, 1942.
- CADY, J. G. Petrographic microscope techniques. In : BLACK, C. A., ed. *Methods of soil analysis*. American Society Agronomy, Madison, 1965. pt. 1, p. 617-22.

CAGAUAN, B. & UEHARA, G. Soil anisotropy in relation to aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 29 (2): 198-200, Mar./Apr. 1965.

CAMARGO, M. N. & FALESI, I. C. Suelos del planalto central y la carretera Transamazônica del Brasil. In: BORNEMISZA E. & ALVARADO, A., ed. *Manejo de suelos en la América Tropical*. Raleigh, North Carolina State University, 1975. p. 24-44.

CAMARGO, M. N.; KLAMT, E. & KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. *Bol. Inf. Soc. bras. Ci. Solo*, Campinas, 12 (1):11-33, Jan/Abr. 1987.

CARMO, D. N. *Caracterização, gênese e uso de latossolos sob cerrado no município de rio Paranaíba, MG*. Lavras, ESAL, 1977. 84p. (Tese MS).

CARMO, D. N.; CURI, N. & RESENDE, M. Caracterização de latossolos da região do Alto Paranaíba (MG). *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 8 (2):235-40, Maio/Ago. 1984.

CARVALHO, A. *Solos da região de Marília: relação entre a pedogênese e a evolução do relevo*. São Paulo, USP, 1976. 163p. (Tese de Doutorado).

CERRI, C. C. *Contribuição ao estudo das arenas graníticas. Caracterização mineralógica e química de uma topossequência da região de Itu, SP.* São Paulo, USP, 1974. 130p. (Dissertação de Mestrado).

CERRI, C. C. *Alteração e pedogênese em áreas graníticas situadas sob diferentes condições bioclimáticas encontradas no Brasil.* São Paulo, USP, 1979. 241p. (Tese de Doutorado).

CHAUVEL, A. Contribuição para o estudo da evolução dos latossolos amarelos, distróficos, argilosos na borda do Platô, na região de Manaus: mecanismos de gibbsitização. *Acta Amazônica*, Manaus, 11 (2): 227-45, Jun. 1981.

CHAUVEL, A. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. *Suplemento Acta Amazônica*, Manaus, 12:47-60, 1982a.

CHAUVEL, A. BOULET, R.; JOIN, P. & BOCQUIER, G. Aluminum and iron oxi-hydroxide segregation in nodules of Latossols developed on tertiary sediments (Barreiras Group) near Manaus (Amazon Basin), Brazil. In: INTERNACIONAL SEMINAR ON LATERITISATION PROCESSES, 2,

São Paulo, 1982. *Segundo...* São Paulo, IAG/USP, 1982b. p. 507-26.

CHIBA, M. *Technical Cooperation for the Investigation of Soils and Fertilizers in the Amazon Region*. Tokio, Otca. 1970. p. 1-87. (Report on the Japan-Brasil)

CHILDS, C. W.; GOODMAN, B. A. & CHURCHMAN, G. J. Application of Mossbauer spectroscopy to the study of iron oxides in some red and yellow/brown soil samples from New Zealand. In: MORTLAND, M. M. & FARMER, V. C., eds. *Int. Clay Conf.*, 6 th, Elsevier, 1978 p. 555-65.

CLEMENTE, C. A. *Mineralogia e granulometria dos latossolos da bacia do Ribeirão do Lobo (Brotas, Itirapina - SP)*. Piracicaba, ESALQ /USP, 1982. 96p. (Tese MS).

CURI, N. *Relações genéticas e geomórficas em solos das encostas inferior e superior do Nordeste, no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1975. 134p. (Tese MS).

CURI, N. *Lithosequence and toposequence of oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brasil*. West Lafayette,

Purdue University, 1983, 158p. (Ph.D. Thesis).

CURI, N. & FRANZMEIER, D. P. Toposequence of oxisols from the central plateau of Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 48 (2): 341-6, Mar./Apr. 1984.

CURI, N.; RESENDE, M. & SANTANA, D. P. Solos de várzeas de Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 13 (152):3-10, Mar. 1988.

DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. E. & CADY, J. G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. *Advance in Agronomy*, New York, 23:51-87, 1971.

DAY, T. H. *Guia preliminar para classificação dos solos do vale do Baixo Amazonas*. Belém, SPVEA. 1958. 38p. (Recursos Naturais, 3).

DAY, T. H. *Guide to the classification of the late tertiary and quaternary soils of the lower Amazon Valley*. Rome, FAO. 1959. 59p.

DAVEY, B. G.; RUSSEL, J. D. & WILSON, M. J. Iron oxide clay minerals and their relation to colours of red and yellow podzolic soils near Sydney, Austrália. *Geoderma*, Amsterdam, 14:125-38, 1975.

- DELVIGNE, J. *Pedogênese en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires em milieu ferralitique.* Paris, ORSTOM, 1965. 177p. (Thèse Docteur és Sciences).
- DELVIGNE, J. *Micromorfologia das alterações minerais.* São Paulo, Instituto de Geociências, USP, 1982. 149 p. (mimeografado).
- DEMATTE, J. L. I. *Estudo pedológico de perfis da série Ibitiruna.* Piracicaba, ESALQ /USP, 1968. 83p. (Tese Doutorado).
- DEMATTE, J. L. I. *Characteristics and classification of a toposequence of soils near Piracicaba, Brazil.* Ohio State University, 1975. 298p. (Ph. D. Thesis).
- DEMATTE, J. L. I. & HOLOWAYCHUCK, N. Solos da região de São Pedro, Estado de São Paulo. I. Propriedades granulométricas e químicas. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 1(2/3): 92-8, maio/dez. 1977a.
- DEMATTE, J. L. I. & HOLOWAYCHUCK, N. Solos da região de São Pedro, Estado de São Paulo. II. Mineralogia. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 1 (2/3): 99-103, maio/dez. 1977b.

DEMATTE, J. L. I. *Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos, Região Amazônica*. Campinas, Fundação Cargill, 1988. 215p.

DESHPAND, T. L.; GREENLAND, D. L. & QUIRK, J. R. Changes in soil properties associated with the removal of iron and aluminum oxides. *J. Soil Sci.*, Edinburgh, 19: 108-22, 1968.

DROSDOFF, M. QUEVEDO, F. & ZAMORA, C. Soils of Peru. *Proceedings of the 7th International Congress of Soil Science*, Madison, 4: 97-104, 1960.

DUCHAUFOR, P. *Pédologie I. Pédogenese et classification*. Paris. Masson, 1977. 477p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Levantamento de reconhecimento de três áreas prioritárias ao longo da Rodovia Transamazônica*. Recife, 1976. 71p. (Boletim Técnico, 48)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. *Guia de Excursão do XVII Congresso Brasileiro de Ciência do*

Solo. Manaus, 1979a. 71 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de método de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979b. n.p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Súmula da X reunião técnica de levantamento de solos*. Rio de Janeiro, 1979c. 83 p. (Série Miscelânea, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Mapa de solos do Brasil*. Rio de Janeiro, 1981a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos; 2 Aproximação*. Rio de Janeiro, 1981b, 100p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: Normas em uso pelo SNLCS*. Rio de Janeiro, 1988. 67 p. (SNLCS, 11).

ESWARAN, H. & BIN, W. C. A study of a deep weathering profile on granite in peninsular Malaysia: III. Alteration of feldspars. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 42: 154-8, 1978.

ESWARAN, H. & SYS, C. Argillic horizon in LAC soils: formation and significance to classification. *Pedologie*, 29: 175-90, 1979.

FALESI, I. C. *Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da estrada de ferro do Amapá*. Belém, IPEAN, 1964a (Boletim Técnico, 45)

FALESI, I. C.; SANTOS, W. H. & VIEIRA, L. S. *Os solos da colônia agrícola de Tomé-Açu*. Belém, IPEAN, 1964b (Boletim Técnico, 44).

FALESI, I. C. *Contribuição ao estudo dos solos de Altamira. (Região Fisiográfica do Xingu)*. Belém, IPEAN, 1967. 48p. (Circular, 10).

FALESI, I. C. *Levantamento de reconhecimento dos solos da Colônia Agrícola Paes de Carvalho*. Belém, IPEAN, 1970, 150p. (Solos da Amazônia, 2).

- FALESI, I. C. *Solos da Rodovia Transamazônica*. Belém, IPEAN, 1972a. (Boletim Técnico, 55).
- FALESI, I. C. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia Brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUARIA DO NORTE. *Zoneamento agrícola da Amazônia*. Belém, 1972b. p.68-122. (Boletim Técnico, 54).
- FANNING, D. S. & KERAMIDAS, V. Z. Micas. In: DIXON, J. B. & WEED, S. B., eds. *Minerals in soil environments*. Madison, Soil Sci. Soc. of America, 1977. p. 195-258.
- FISHER, W. R. & SCHWERTMANN, U. The formation of hematite from amorphous iron (III) hydroxide. *Clays and clay minerals*. New York, 23: 33-7, 1975.
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. Brazos river bar: a study in the significance of grain-size parameters. *Jour Sed. Petrol.*, 27:3-27, 1957.
- FOLK, R. L. A review of grain-size parameters. *Sedimentology*, 6: 73-93, 1966.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Soil map of the world. South America*. Paris, 1971. p.165.

- FRIEDMAN, G. M. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Jour Sed. Petrol.*, 31: 514-29, 1961.
- GOMES, I. A. *Oxisols and inceptisols from gneiss in a subtropical area of Espírito Santo State, Brazil*. West Lafayette, Purdue University; 1976. (M.S. Thesis).
- GREENLAND, D. J.; OADES, J. M. & SHERWIN, T. J. Electron microscope observations of iron oxides in some red soils. *J. Soil Sci.*, Edinburgh, 19: 123-6, 1968.
- GRIM, R. F. *Clay mineralogy*. 2. ed. New York, McGraw Hill, 1968. 596p.
- GUALBERTO, V. *Caracterização física, química e mineralógica de alguns latossolos, com altos teores de ferro, da Amazônia e do Planalto Central*. Viçosa, UFV, 1984. 67p. (Tese MS).
- GUALBERTO, V.; RESENDE, M. & CURI, N. Química e mineralogia de latossolos, com altos teores de ferro, da Amazônia e do Planalto Central. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 11 (3): 245-52, Set./Dez., 1987.

- HERBILLON, A. J. Mineralogy of oxisols and oxic materials. In: THENG, B. K. G., ed. *Soil with variable charge*. New Zealand, Soc. Soil Sci., 1980. p.109-26.
- IWASA, Y. *Report on the Japan-technical cooperation to the investigation of soils and clay minerals in the Amazon Region*. Tokio, JICA, 1976. p.1-117.
- JACKSON, M. L.; HSEUNG, Y; COREY, R. B; EVANS, E. J. & VANDEN HEUVEL, R. C. Weathering sequence of clay size minerals in soils and sediments: II. Chemical weathering of layer silicates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 16: 3-6, 1952.
- JACKSON, M. L. Aluminum bonding in soils: unifying principle in Soil Science. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 27 (1):1-10, Jan./Feb. 1963.
- JACKSON, M. L. Clay transformation in soil genesis during the Quaternary. *Soil Science*, Maryland, 99(1): 15-22, Jan. 1965.
- JACKSON, M. L. *Soil chemical analysis*. Advanced course. Madison, Wisconsin University, 1973. 895 p.

JOINT COMMITTEE ON POWDER DIFFRACTION STANDARDS. *Selected powder diffraction data for minerals*. Pennsylvania, JCPDS, 1974. 833p.

JUO, A. R. S. Chemical characteristics. In: GREENLAND, D.J. ed. *Characterization of soils in relation to their classification and management for crop production: examples from some areas of the humid tropics*. New York, Oxford University, 1981. pp. 50-79.

JUO, A. R. S.; MOORMAN, F. R. & MADUAKOR, H. O. Forms and pedogenetic distribution of extractable Fe and Al in selected soils of Nigeria. *Geoderma*, Amsterdam, 2: 167-79, 1974.

KAMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of Kaolinitic soils. *Geoderma*, Amsterdam, 29(1): 27-39, Jan. 1983.

KAMPF, N. & DICK, D. P. Oxidos de ferro em cambissolos brunos no Rio Grande do Sul e Minas Gerais. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 8(2):183-8, Maio/Ago., 1984.

KELLER, W. D. Evidence of texture on the origin of the Cheltenham fireclay of Missouri and associated shales. *J.*

- Sed. Petrol.*, 16:63-71, 1946.
- KELLER, W. D. Processes of origin and alteration of clay minerals. In: RICH, C. I. &, KINZE, G. W., eds. *Soil Clay Mineralogy*: A symposium. Chapel Hill, University of North Carolina Press, 1964. p.3-76.
- KITAGAWA, Y. & MOLLER, M. R. F. Clay mineralogy of some tropical soils in the Brazilian Amazon Region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, 14 (3): 201-28, Jul. 1977.
- KLAMT, E. & BEATY, M. Gênese de uma sequência de solos na região do Planalto Médio Riograndense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia*, Rio de Janeiro, 7: 99-109, 1972.
- KLAMT, E. *Soil landscape relationships in the Depressão Central of Southern Brazil*. Madison, University of Wisconsin, 1973. 147p. (Ph. D. Thesis).
- KLINGE, H. Podzol soils in the Amazon basin. *Journal of Soil Science*, London, 16: 96-103, 1965.
- KRUMBEIN, W. C. Size frequency distribution of sediments. *Jour. Sed. Petrol.* 4(1): 65-77, Jan./Feb. 1934.

- LANDA, E. R. & GAST, R. G. Evaluation of crystallinity in hydrated ferric oxides. *Clays and Clay Minerals*, 21: 121-30, 1973.
- LEPSCH, I. F. & BUOL, S. W. Investigations in an Ultisol-Oxisol toposequence in São Paulo State, Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 38 (3): 491-6, May./June, 1974.
- LEPSCH, I. F. *Soil-landscape relationship in an area of the occidental plateau of São Paulo, Brazil*. Raleigh, North Carolina State University, 1975. 163p. (Ph. D. Thesis).
- LEPSCH, I. F. & BUOL, S. W. Oxisol-landscape relationships in Brazil. In : PROC. OF THE VIII INT. SOIL CLASS. WORK. Brasil, SMSS/EMBRAPA/UPR, 1986. p.174-89.
- LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W. & DANIELS, R. B. Soil landscape relationship in the occidental plateau of São Paulo State, Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 41: 104-15, 1977.
- LIMA, J. M.; CURI, N.; KAMPF, N. & GUALBERTO, V. Tempo de extração e forma de agitação na determinação da fração "ativa" dos óxidos de ferro pelo oxalato de amônio. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 22., Recife, 1989. Programas e resumos. Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1989. p.73-4.

LORANDI, R. *Mineralogia e granulometria das areias quartzosas da bacia do Ribeirão do Lobo (Brotas - Itirapina-SP)*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1982. 90p. (Dissertação de Mestrado).

LOUGHNAM, F. C. *Chemical weathering of the silicate minerals*. New York, American Elsevier Publ., 1969. 154p.

LINDSAY, W. L. *Chemical equilibria in soils*. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449p.

LUCAS, Y.; CHAUVEL, A.; BOULET, R.; RANZANI, G. & SCATOLINI, F. Transição latossolos-podzóis sobre a formação barreiras na região de Manaus, Amazônia. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 8 (3):325-35, Set./Dez. 1984.

McCALEB, S. B. The genesis of the Red-Yellow Podzolic soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 23 (2): 164-8, Mar./Apr. 1959.

McKEAGUE, J. A. & DAY, J. H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various

- class of soils. *Can. J. Soil Sci.* Ottawa, 46 (1): 13-22, 1966.
- McKEAGUE, J. A. An evaluation of 0,1M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractable of the accumulation products in podzol and some other soils. *Can. J. Soil Sci.* Ottawa, 47:95-9, 1967.
- McKEAGUE, J. A.; BRYDON, J. E. & MILES, N. M. Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 35 (1):33-8, Jan./Feb. 1971.
- MARCONI, A. *Contribuição ao estudo da mineralogia de solos do município de Piracicaba*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1969, 101p. (Tese de Doutorado).
- MARCONI, A. & ABRAHAO, I. O. Mineralogia e granulometria de três Latossolos da região do médio Rio São Francisco, BA. *Anais ESALQ/USP*, Piracicaba, 33 (39):415-28, 1977.
- MASS, A. Colonización integral: modelo de un nuevo tipo de colonización incluyendo varios sistemas de uso de la tierra en el Peru. In: REUNION INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA, Lima, 1974. *Informe...*,

- Lima, IICA, 1974. (Informe de Conferencias Cursos y Reuniones, 41).
- MEHRA, O. P. & JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*. Clarkson, 7: 317-27, 1960.
- MEKARU, T. & UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 36 (2):296-300, Mar./Apr. 1972.
- MELFI, A. J. & PEDRO, G. Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 8:11-22, 1978.
- MENDES, A. C. T.; FALCI, S. C. & DEMATTE, J. L. I. Seções delgadas de solos: método de impregnação. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"*, Piracicaba, 30:35-48, 1973.
- MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African soils. *Soil Research*, Berlin, 4:183-98, 1935.

- MOHR, E. C. J.; VAN BAREN, F. A. & VAN SCHUYLENBORGH, J.
Tropical soils. 3rd ed. The Hague, Mouton-Ichtiaer Baru-
Van Hoeve, 1972. 481p.
- MONIZ, A. C. & BUOL, S. W. Formation of an Oxisol- Ultisol
transition in São Paulo, Brazil. I. Double layer
water flow model of soil development. *Soil Sci. Soc. Am.*
J., Madison, 46: 1228-33, 1982a..
- MONIZ, A. C.; BUOL, S. W. & WEED, S. B. 1982. Formation of
an Oxisol-Ultisol transition in São Paulo, Brazil: II.
Lateral dynamics of chemical weathering. *Soil Sci. Soc.*
Am. J., Madison, 46: 1234-9, 1982b.
- MONIZ, A. C.; BUOL, S. W. & WEED, S. B. *Lateral water
movement in Oxisol-Ultisol transition. Agronomic Economic
Research on soils of the Tropics*. Raleigh, North Carolina
1983. p.120-9 (Technical Report).
- PARAGUASSU, A. B. *Contribuição ao Estudo da Formação
Botucatu e sedimentos aquosos, estruturas sedimentares e
silicificação*. São Carlos, USP, 1968. 131p. (Tese de
Doutoramento).
- PARAMANANTHAN, S. & ESWARAN, H. Morphological properties
of Oxisols. In: THENG, B. K. G, ed. *Soil With variable*

- charge. New Zealand, Soc. Soil Sci. Department of Scientific and Industrial Research, 1980. p.35-44.
- PEDRO, G. Characterization générale des Processus de l'alteration hydrolytique. *Sciences du Sol*, Versailles, (2/3): 93-105, 1979.
- PEREZ FILHO, A.; DONZELLI, J. L.; & LEPSCH, I. F. Relação solos geomorfologia em várzeas do Rio Moji-Guaçu (SP). *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 4 (3): 181-7, Set./Dez. 1980.
- PINTO, O. C. B. *Formation of Kaolinite from a biotite felspar gneiss in four strongly weathered soil profiles from Minas Gerais, Brazil*. West Lafayette, Purdue University, 1971. (MS. Thesis).
- PIRES FILHO, A. M. *Characterization classification and use interpretations of a sequence of soils along the Transamazon Highway, of Brazil between the Xingu and Jacare rivers*. Michigan, Michigan State University, 1978. 102p. (MS Thesis).
- POMBO, L. C. A.; KLAMT, E.; KUNRATH, I. & GIANLUPPI, D. Identificação de óxidos de ferro na fração argila de latossolo roxo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 6(1): 13-7,

Jan./Abr. 1982.

PONNAMPERUMA, F. N. Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of the rice plant. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *The mineral nutrition of the rice plant*. Baltimore, Johns Hopkins Press, 1965. p.295-328.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.* New York, 24: 29-96, 1972.

POTTER, R. O. & KAMPF, N. Argilo-minerais e óxidos de ferro em cambissolos e latossolos sob regime climático térmico údico no Rio Grande do Sul. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 5 (3):153-9, Set./Dez. 1981.

QUEIROZ, S. B. & KLAMT, E. Mineralogia e gênese de Brunizém Avermelhado e Terra Roxa Estruturada Similar na encosta inferior do nordeste do Rio Grande do Sul. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 9 (1):51-7, Jan/Abr. 1985.

RAUEN, M. J. *Mineralogical identification of a toposequence of soils from basaltic rocks in the State of Paraná, Brazil*. West Lafayette, Purdue University. 1980. 161p. (M.S. Thesis). -

RESENDE, M. *Mineralogy, chemistry morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil*. West Lafayette. Purdue University, 1976. 237p. (Ph. D. Thesis).

RESENDE, M. *Pedologia*. Viçosa, UFV, 1982a. 100p.

RESENDE, M. & FRANZMEIER, D. P. *Mineralogy of Brazilian Oxisols-A proposed general model*. Viçosa, UFV, 1982b. 2p.

RESENDE, M.; CURI, N. & SANTANA, D. P. *Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações*. Brasília, MEC, ESAL, POTAFOS, 1988. 84p.

REZENDE, S. B. *Geomorphology, mineralogy and genesis of four soils on gneiss in Southeastern Brasil*. West Lafayette, Purdue University, 1980. 143p. (Ph.D. Thesis).

RIBEIRO, M. A. V. *Mineralogia da fração grosseira de latossolos sob cerrado do Município de Rio Paranaíba -MG*. Lavras, ESAL, 1980. 51p. (Tese MS).

RODRIGUES, T. E. & KLAMT, E. Mineralogia e gênese de uma sequência de solos do Distrito Federal. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 2(2): 132-9, Maio/Ago. 1978.

RODRIGUES, T. E.; REIS, R. S. & MORIKAWA, I. K. *Solos do Distrito Agropecuário da SUFRAMA*. Manaus, IPEAAAOC, 1971, 97p. (Série Solos, 1).

RUHE, R. V. Elements of the soil landscape. In: *Trans. 7th Intern. Congress of Soil Science*, Madison, 23: 165-70, 1960.

RUHE, R. V. *Quaternary landscapes in Iowa*. Ames, Iowa State Univ. Press, 1969. 255p.

RUSSELL, E. W. *Soil conditions and plant growth*. 10 ed. New York, Longman, 1976. 849p.

SANCHEZ, P. A. & BUOL, S. W. *Características morfológicas químicas y mineralógicas de algunos suelos de la Selva Amazonica Peruana*, Programa Nacional Arroz. Lima, 1971. p.22. (Informe Técnico, 56).

SANCHEZ, P. A. & BUOL, S. W. Properties of some soils of the Amazon Basin of Peru. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 38(1):117-21, Jan./Feb. 1974.

SANCHEZ, P. A. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, John Wiley & Sons, 1976. 618p.

SANTANA, D. P. *Soil formation in a toposequence of Oxisols from Patos de Minas region, Minas Gerais State, Brazil.* West Lafayette, Purdue University, 1984. 129p. (Ph. D. Thesis)

SANTOS, W. H. P. & FALESI, I. C. Contribuição ao estudo de solos da Ilha de Marajó. *Boletim Técnico do IPEAN*, Belém, 45: 55-161, 1964.

SCHULZE, D. G. Identification of soil iron oxide minerals by differential X-ray diffraction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 45:(2) 437-40, Mar./Apr. 1981.

SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R. M. Iron oxides. In: DIXON, J. B. & WEED, S. B., eds. *Minerals in soil environments*. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p.145-80.

SCHWERTMANN, U.; MURAD, E. & SCHULZE, D. G. Is there Holocene reddening (hematite formation) in soils of axeric temperate areas ? *Geoderma*, Amsterdam, 27: 209-23, 1982.

SCHWERTMANN, U. & KAMPF, N. Óxidos de ferro jovens em ambientes pedogenéticos brasileiros. *R. bras. Ci. Solo*,

Campinas, 7(3):251-5, Set/Dez. 1983.

SCHWERTMANN, U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenviroments. In: STUCKI, J. W.; GOODMAN, A. & SCHWERTMANN, U., eds. *Iron in soils and clay minerals*. Germany, Bad Windsheim, 1985. pp. 758-812.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 2. ed. Campinas, SBCS - SNLCS, 1984. 46p.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, Madison. The soils of the Amazon Basin in relation to Agricultural possibilities. In:____. Life and work of Curtis Fletcher Marbut. Madison, s.d. p.119-42.

SOIL SURVEY STAFF. *Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey*. USDA, Soil Conservation Service, 1975. 754p. (Agriculture Handbook, 436).

SOIL SURVEY STAFF. *Keys to Soil Taxonomy*. 4th ed. Virginia, 1990. 422p. (SMSS Technical monograph, 19).

SOMBROEK, W. E. *Reconnaissance Soil Survey of the Area Guama -Imperatriz*. Belém, FAO/SPVEA, 1962. 54p.

- SOMBROEK, W. E. *Amazon soils; a reconnaissance of the Brazilian Amazon region*. Wageningen, Center for Agricultural Publications and Documentation, 1966. 303p.
- SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgar Blucher/EDUSP, 1973. 317p.
- SUGUIO, K.; COIMBRA, A. M. & GUARDADO, L.R. Correlação sedimentológica de arenitos da Bacia do Paraná. *Boletim do Instituto de Geociências*, São Paulo, 5: 85-116, 1974.
- TAMURA, T. & JACKSON, M. L. Structural and energy relationships in the formation of iron and aluminum oxides, hydroxides and silicates. *Science*, Washington, 117(3041):381-3, Apr. 1953.
- TANAKA, A.; SAKUMA, T.; OKAGAWA, N.; IMAI, H.; SATO, T.; YAMAGUCHI, J. & FUJITA, K. *Agro-ecological condition of the oxisol-ultisol area of the Amazon River System*. Japan, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, 1989. 105p.
- THORNBURY, W. D. *Geomorphology*. New York, John Wiley & Sons, 1969. 594p.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U. & SCHULZE, D. G. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. *Geoderma*, Amsterdam, 23(3):191-208, Apr. 1980.

TURENE, J. F. Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaïses. Memoire ORSTOM, Paris, n^o 84, 1977. 162p.

TYLER, E. J. *Genesis of the soils with a detailed soil survey in the Upper Amazon Basin, Yurimaguas, Peru*. Raleigh, North Carolina State University, 1975. 171p. (Ph. D. Thesis).

TYLER, L. E.; RIECKEN, F. F. & ALLEN, J. S. Properties and genesis of soils developed in very firm till in northeastern Iowa. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 26: 275-81, 1962.

UBERTI, A. A. & KLAMT, E. Relações solo-superfícies geomórficas na Encosta Inferior do Nordeste do Rio Grande do Sul. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 8 (2):229-34, Maio/Ago. 1984.

UEHARA, G.; FLACH, K. W. & SHERMAN, G. D. Genesis and micromorphology of certain structural soil types in

Hawaiian Latosols and their significance to agriculture practices. In: Trans. Comm. IV and V Int. Soc. Soil Sci, New Zealand, 1962. pp. 264-70.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. *Levantamento exploratório, com intensidade, de solos do Centro-Oeste do Estado do Pará.* Viçosa, Convênio INCRA/UFV, 1979. 266p.

VAN BREEMEN, N. Long-term chemical, mineralogical, and morphological effects on Fe-redox processes in periodically flooded soils. In: STUCKI, J. W.; GOODMAN, B. A. & SCHWERTMANN, U., ed. *Iron in soils and clay minerals.* Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Iron in Soils and Clay Minerals, Bad Windsheim, F. R. G., 1985. p.811-20

VAN WANBEKE, A. R. Criteria for classifying tropical soils by age. *J. Soil Sci.*, Edinburgh, 13: 124-32, 1962.

VETTORI, L. *Métodos de análise de solo.* Equipe de pedologia e fertilidade de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969, 24p. (Boletim Técnico, 7).

VIEIRA, L. S. *Os solos do Estado do Pará.* Belém, IDESP, 1971. 175p. (Cadernos Paraenses, 8).

WALKER, P. H. Terrace chronology and soil formation on the
South Coast of N.S.W. *J. Soil Sci.*, Edinburgh, 13:
178-86, 1962.

APÊNDICE 1

Curvas acumulativas e histogramas de frequência de distribuição granulométrica dos horizontes dos perfis estudados.

Prozentagem

□ Hor. A P2
○ Hor. Bw1 P2
▽ Hor. 2Bw2 P2
△ Hor. C P2

Phi

Prozentagem

Hor. A P2

Phi

Prozentagem

Hor. Bw1 P2

Phi

Porcentagem

Hor. 2Bw2 P2

Porcentagem

Hor. C P2

Prozentagen

◇ Hor. A P4
 + Hor. Bw P4
 * Hor. Bf P4
 × Hor. Cg1 P4
 □ Hor. Cg2 P4

Phi

Prozentagen

Hor. A P4

Prozentagen

Hor. Bw P4

Porcentagem

Hor. Bf P4

Porcentagem

Hor. Cg1 P4

Porcentagem

Hor. Cg2 P4

Prozentagen

○ Hor.A P5
 ▽ Hor.Bw P5
 △ Hor.Bf P5
 ◇ Hor.Cg1 P5
 † Hor.Cg2 P5

Phi

Prozentagen

Hor.A P5

Phi

Prozentagen

Hor.Bw P5

Phi

Percentagen

Hor.Bf P5

Percentagen

Hor.Cg1 P5

Percentagen

Hor.Cg2 P5

Porcentagem

* Hor. A P6
 □ Hor. A/C P6
 □ Hor. Cg1 P6
 □ Hor. Cg2 P6
 □ Hor. Cg3 P6

Phi

Porcentagem

Hor. A P6

Porcentagem

Hor. A/C P6

Porcentagem

Hor.Cg1 P6

Porcentagem

Hor.Cg2 P6

Porcentagem

Hor.Cg3 P6

APÉNDICE 2

Tabela 6 - Resultados da análise granulométrica da fração areia dos perfis P2, P4, P5 e P6, recalculados para 100%.

Hori- zontes	%				
	a.m.g.	a.g.	a.m.	a.f.	a.m.f.
Perfil 2					
A	6.72	15.10	20.88	36.20	21.10
Bw1	7.22	12.98	18.56	41.93	19.31
2Bw2	14.59	12.23	9.69	30.11	33.38
2C	4.90	7.80	8.82	42.90	35.58
Perfil 4					
A	11.56	18.54	18.06	33.56	18.28
Bw	8.62	10.95	12.57	35.97	31.89
Bf	9.69	15.75	16.96	36.74	20.86
Cg1	5.04	14.22	15.66	38.36	26.72
Cg2	2.69	7.64	15.19	48.03	26.45
Perfil 5					
A	13.52	18.18	15.58	38.54	14.18
Bw	8.73	14.92	16.37	33.14	26.84
Bf	15.69	19.00	12.96	28.06	24.29
Cg1	17.35	15.52	11.08	29.19	26.86
Cg2	3.23	7.75	9.17	38.87	40.98
Perfil 6					
A	2.98	10.95	22.08	40.38	23.61
A/C	7.19	14.24	18.53	35.88	24.16
Cg1	7.00	16.89	20.69	33.39	22.03
Cg2	9.84	15.42	17.46	35.67	21.61
Cg3	7.10	9.15	15.01	38.41	30.33

a.m.g. = areia muito grossa; a.g. = areia grossa; a.m. = areia média; a.f. = areia fina; a.m.f. = areia muito fina.

Tabela 7 - Caracterização sumária da micromorfologia de segmentos representativos do local estudado.

SEGMENTO	TOPO (P2)	TRANSIÇÃO (P5)	FUNDO DO VALE (P6)
Horizonte	A	A	A
Trama	apórica granódica	aglomeroplásmica a intertética	aglomeroplásmica
Estr. plásmica	isotrópica ondúlica	isotrópica ondúlica	isotrópica ondúlica
Cor do plasma	vermelho- amarelo	vermelho-amarelo claro	bruno-amarelado claro
% de plasma	40	15	15
Esqueleto - %	30	60	50
Composição	Qz, opacos (tr.)	Qz	Qz
Grau de seleção	pobrememente selecionado.	pobrememente selecionado.	pobrememente selecionado
Forma	angulares, subangulares, subarredondados, corroidos.	angulares, subangulares, subarredondados, corroidos.	angulares, subangulares subarredondados, corroidos.
Poros - %	30	25	35
Forma	ortocavidades irregulares, canais, camaras, fissuras, intergranulares complexos.	ortocavidades irregulares, canais, camaras, intergr. simples e complexos.	ortocavidades irregulares, canais, intergranulares simples e complexos.
Estrutura associada	nódulos litorreliquiais, com concentração ferruginosa e pseudomorfos de biotita.	nódulos litorreliquiais ferruginosos.	pedorreliquias: microagregados de material oxidico em degradação.

continua...