UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**TRANSFORMAÇÃO DE UMA COBERTURA
LATERÍTICA POR HIDROMORFIA: ESTUDO
DE UMA TOPOSSEQUÊNCIA DA AMAZÔNIA
BRASILEIRA (HUMAITÁ-AM)**

Vania Rosolen

Orientador: Prof. Dr. Adolpho José Melfi
Co-Orientador: Dr. Mathieu Lamotte

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
2000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**TRANSFORMAÇÃO DE UMA COBERTURA
LATERÍTICA POR HIDROMORFIA: ESTUDO DE UMA
TOPOSSEQUÊNCIA DA AMAZÔNIA BRASILEIRA
(HUMAITÁ-AM)**

VANIA SILVIA ROSOLEN

Orientador: Prof. Dr. Adolpho José Melfi

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Adolpho José Melfi	
Examinadores:	Prof. Dr. Adilson Carvalho	
	Dr. Antônio Carlos Moniz	
	Prof. Dr. José Luiz Ioriatti Demattê	
	Dr. René Georges Leon Boulet	

SÃO PAULO
2000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005372

**TRANSFORMAÇÃO DE UMA COBERTURA
LATERÍTICA POR HIDROMORFIA: ESTUDO
DE UMA TOPOSSEQUÊNCIA DA AMAZÔNIA
BRASILEIRA (HUMAITÁ-AM)**

Vania Rosolen

Orientador: Prof. Dr. Adolpho José Melfi
Co-Orientador: Dr. Mathieu Lamotte

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
2000

Resumo

A associação de solos do tipo Cambissolo-Glei pouco Húmico recobre uma extensa área da Amazônia brasileira (parte sudoeste da bacia, recoberta pelos sedimentos terciários da Formação Solimões). Nessa região, nas superfícies planas e rebaixadas dos platôs, desenvolvem-se depressões conectadas ou não aos eixos de drenagem regional. Dois tipos de cobertura vegetal associadas, floresta e campo de savana, evidenciam mudanças paleoclimáticas. Estudos anteriores associavam a presença dos Cambissolos com as áreas florestadas e do Glei com as áreas recobertas por savana.

Nesta tese, após o estudo do solo na escala da bacia elementar, determinou-se que a repartição dessas duas grandes unidades de solo estão intimamente relacionadas com a topografia e discordantes em relação à distribuição vegetal: o Cambissolo desenvolve-se no platô, enquanto o Glei desenvolve-se nas depressões, estando essas áreas no campo ou na floresta (elas ficam alagadas durante oito meses por ano).

O estudo detalhado de uma topossequência representativa desse sistema mostra que o solo do platô é argiloso, com horizonte B vermelho, porosidade média a fraca (conseqüentemente com permeabilidade média a fraca), passando na base, a 80cm de profundidade, a uma plintita cuja ocorrência é generalizada na região. Na depressão, o solo é argilo-siltoso a silto-argiloso, branco, passando, a 50cm de profundidade, a uma plintita com dominância de material branco.

A organização vertical e lateral dos solos da topossequência evidenciou duas dinâmicas de evolução. A primeira, vertical, ocorre exclusivamente no platô e é litodependente. A segunda, lateral, desenvolve-se a partir da depressão e avança para o platô, transformando a cobertura original. Esse último processo determina o desenvolvimento e a expansão de dois horizontes brancos que evoluem a partir da argila manchada e seguem duas vias distintas de evolução: uma, através do desenvolvimento de um horizonte deferruginizado e eluvial, e outra, através do desenvolvimento de um horizonte deferruginizado que ainda conserva as características da argila manchada.

Ao término do trabalho, é proposto um modelo de gênese e evolução desse sistema, que fornece a base para predizer a paisagem futura dessa grande área da Amazônia.

Abstract

The association of the Cambic–Gley soils covers an extensive area of the Brazilian Amazon Forest (the southwest portion of the basin is covered by the tertiary sediments of the Solimões Formation). The plain and debased surfaces of the plateaus in this region develop depressions that are connected or not to the axes of regional drainage. Two types of associated vegetation, forests and savannah fields, manifest paleoclimatic changes. Earlier studies associated the presence of Cambic soils with the forest areas and the Gley soils with the areas covered with savannah.

In this thesis, after the study of the soil in the scale of the elementary basin, it was determined that the separation of these two great soil units is intimately related to the topography, and is very inconsistent with the distribution of the vegetation: the Cambic soils develops in the plateau, while the Gley develops in the depressions, and these areas are in the fields or forests (they remain flooded eight months a year).

The detailed study of a representative toposequence of this system shows that the soil from the plateau is argillic, with a red B horizon, medium to weak porosity, and consequently medium to weak permeability, and in the base, at 80cm of depth, there is a plinthite which generally occurs in this region. In the depression, the soil is silty clay to silty clay loam, white, and at 50cm of depth, there is a plinthite with dominance of white materials.

The vertical and lateral organization of the soils from the toposequence evidence two dynamics of evolution. The first, the vertical one, occurs only in the plateau and is lithodependent. The second, the lateral one, develops from the depression and advances in to the plateau, transforming the original cover. This last process determines the development and expansion of two white horizons that evolve from the stained clay and follow two separate ways of evolution: one through the development of a eluvial horizon with loss of iron, and the other through the development of a horizon with loss of iron that maintains the characteristics of the stained clay.

At the end of the study, a model of the genesis and evolution of this system is presented, providing basis to predict the future landscape of this great area of the Amazon Forest.

Agradecimentos

Ao término do trabalho, gostaria de agradecer algumas pessoas que foram fundamentais para a realização desta tese:

- professor Adolpho José Melfi, pela orientação constante e atenção, e por ter oferecido todas as condições necessárias para que eu realizasse este trabalho. Muito obrigada;
- meu co-orientador Mathieu Lamotte por ter assumido as numerosas responsabilidades desta tese e por ter sempre me incentivado;
- René Boulet, meus agradecimentos afetuosos. E a René e Heloisa...
- FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo financiamento do projeto temático Dilat-Amazônia (processo n.96/1447-1), pela concessão da bolsa de doutoramento (processo n.97/01550-0) e pelas valiosas sugestões propostas pelo relator;
- Célia Montes-Lauar, professora da ESALQ, pelas sugestões;
- Emmanuel Fritsch, coordenador pelo lado francês do projeto Dilat;
- professores Adilson Carvalho e Wilson Teixeira, antigo e atual diretor do Instituto de Geociências, pelo apoio institucional;
- Flavio Carvalho do laboratório de difratometria de raio-X pela dedicação e pelo cuidado com minhas numerosas amostras. A Cleide e Sueli, técnicas do laboratório de geoquímica pela ajuda e pela paciência durante as longas etapas de laboratório. Meus agradecimentos também a Verônica, do laboratório de microscopia, Claudio pela confecção das lâminas e Samuel do laboratório de preparação de amostras;
- Heloisa Filizola, pesquisadora da Embrapa de Jaguariuna pela análise granulométrica e ao engenheiro Ângelo Mansur da Embrapa de Porto Velho pelo apoio;
- Michel Grimaldi, responsável pelo funcionamento hídrico no projeto Dilat;
- Theodoro Isnard, responsável pelo LIG, por ter permitido que eu realizasse, neste laboratório, todo o trabalho de sensoriamento remoto. A Fábio, Alexandre e Pedro pela ajuda técnica;
- Antonio Coelho do departamento de engenharia química da escola politécnica por ter permitido o uso do granulômetro a laser. Ao professor Carlos Cerri do CENA pelas análises de carbono total. A Luís Pessenda, também do CENA, pelas análises e pelas discussões sobre o ^{13}C e ^{14}C ;
- Adrian Herbillon, Jean Trichet, Yves Lucas e Daniel Nahon pelo apoio e pelas discussões sobre a composição mineralógica e interpretações microscópicas da topossequência;

-Srs. Dominique King e Jean Claude Begon, responsáveis pelos laboratórios do INRA-
Órleans, por terem me acolhido no laboratório de ciência do solo, e Isabelle Cousin.

-Olivier Rouer pelas análises de microsonda quantitativa e Christian Le Lay, Philippe
Quetin, Gérard Yeart, Xavier Caron, Marina Fukumoto e Deise Bentz pela ajuda técnica;

-Ana Paula e Magali da secretaria de pós-graduação pela paciência e também, especialmente,
a Rosana, Glória e Rosângela, secretárias da vice-reitoria por terem, inúmeras vezes,
facilitado minha vida;

Finalmente, gostaria de agradecer às pessoas que são fundamentais na minha vida. Não vou
citar nomes. Elas sabem...

Índice

Resumo	i
Abstract	ii
Agradecimentos	iii
Introdução	1
Capítulo I- Quadro regional	3
1- Unidade morfoestrutural: Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental	3
2- Contexto geológico: Sedimentos continentais da bacia intracratônica do Solimões	5
3- Paleoclima: Numerosas e bruscas mudanças entre o úmido e o seco	6
4- Clima: Temperatura e balanço hídrico quase sempre com excedente	9
5- Hidrografia: Uma região drenada pelos rios Madeira e Purus (Médio Amazonas)	10
6- Vegetação: Floresta, savana e contato floresta-savana	12
7- Conhecimentos sobre a distribuição dos solos	13
8- Ocupação dos solos	18
Capítulo II- Área de estudo: Nascente de um igarapé em um contato floresta-savana	19
1- Introdução	19
2- Metodologia	19
2.1- Tratamento de imagens de satélite	19
2.2- Topografia	21
2.3- Mapeamento das feições superficiais	21
2.4- Funcionamento hídrico	21
3- Paisagem de contato floresta-savana e eixos de drenagem	21
3.1- Aspectos da superfície do solo	26
4- Relevo: Nascente de um igarapé numa depressão do platô	28
5- Lençol freático	28
6- Conclusão	31
Capítulo III- Organização da cobertura do solo: De montante (solo vermelho sobre argila manchada) a jusante (solo branco hidromórfico)	32
1- Introdução	32
2- Metodologia	32

2.1- Estudo de dois perfis até o material parental	32
2.2- Estudo de uma trincheira na escala da bacia (90m de extensão)	32
2.3- Mapeamento dos principais horizontes na bacia elementar	35
3- Apresentação dos perfis verticais típicos do platô e da depressão	38
3.1- Perfil I no platô: Horizontes superiores predominantemente vermelhos sobre horizontes de argila manchada	38
3.2- Perfil A na depressão: Conjunto de horizontes ricos em matéria orgânica sobre horizonte branco	42
3.3- Síntese	44
4- Apresentação das diferenciações laterais entre os perfis do platô e da depressão	44
4.1- Descrição	45
4.2- Hipóteses sobre a diferenciação e a evolução da cobertura do solo baseadas nos dados macromorfológicos	49
5- Distribuição dos principais horizontes na bacia elementar	50
5.1- Síntese	51
6- Conclusão	52
Capítulo IV: Distribuição do tamanho das partículas e dos poros associados. Evidência de mobilização de argila ao longo da topossequência	55
1- Introdução	55
2- Metodologia	56
2.1- Análise granulométrica em frações padronizadas (Embrapa, 1997)	56
2.2- Análise da distribuição do tamanho das partículas	56
2.2.1- Preparação das amostras	56
2.2.2- Análise das partículas >50µm (peneiramento)	57
2.2.3- Análise por granulômetro a laser (partículas <50µm)	57
2.3- Porosimetria ao mercúrio	59
3- Composição granulométrica em frações argila, silte e areia	59
3.1- Apresentação dos perfis	59
3.1.1- Perfil I (montante)	59
3.1.2- Perfil F (transição)	61
3.1.3- Perfil A (depressão)	62

3.2- Variação lateral	63
4- Distribuição do tamanho das partículas >50µm (peneiramento)	67
5- Distribuição do tamanho das partículas <50µm por granulometria a laser	69
5.1- Apresentação detalhada de um exemplo	69
5.2- Perfil I (montante)	71
5.3- Perfis G e F (transição)	75
5.4-Perfis E, C e A (jusante)	75
5.5- Distribuição do tamanho das partículas <50µm após deferriificação	78
6- Distribuição do tamanho dos poros	81
7- Conclusão	85
Capítulo V: Composição química e mineralógica da topossequência	88
1- Introdução	88
2- Metodologia	88
3- Resultados	90
3.1- Geoquímicas dos constituintes orgânicos	90
3.2- Geoquímica dos constituintes minerais	96
3.3- Mineralogia. Difractometria de raio X	105
3.3.1- Caracterização mineralógica da parte a montante da topossequência	106
3.3.2- Variação lateral entre os perfis a montante e de transição da topossequência	112
3.3.3- Caracterização mineralógica da parte jusante da topossequência	112
3.3.4- Variação lateral entre os perfis a jusante e a montante da topossequência	115
3.4- Complexo absorvente	119
4- Conclusão	121
Capítulo VI: Morfologia e composição química dos fundos matriciais. Evidência de deferruginização a montante	124
1- Introdução	124
2- Metodologia	124
2.1- Microscopia óptica	124
2.2- Microscopia eletrônica de varredura	125
2.3- Microsonda	125

3- Caracterização micromorfológica dos fundos matriciais por microscopia óptica	126
3.1- Perfil do platô. Perfil de horizontes vermelhos sobre horizontes de argila manchada (perfil I)	126
3.2- Perfil da depressão. Perfil com horizontes ricos em matéria orgânica sobre horizontes brancos associados com um horizonte de argila manchada (perfil C)	135
3.3- Transição lateral entre os perfis do platô e da depressão	142
3.3.1- Diferenciação lateral da argila manchada	142
3.3.2- Transição entre a argila manchada e os horizontes brancos superior e inferior	143
3.3.3- Variação lateral dos horizontes subsuperficiais	146
3.3.4- Variação lateral dos horizontes superficiais	146
3.4- Síntese das observações microscópicas	147
4- Estudo detalhado do fundo matricial da argila manchada por MEV	147
4.1- Observação	147
4.2- Síntese das observações por MEV	151
5- Estudo da composição química dos principais fundos matriciais por microsonda	151
5.1- Resultados das análises	151
5.2- Síntese das análises por microsonda	163
6- Conclusão	163
Capítulo VII: Discussão	165
1- Proposta de um modelo de evolução pedogenética	173
2- Identificação das frentes de transformação atuais	175
Conclusão geral	179
Referências bibliográficas	183
Anexos	193

Lista de figuras

Figura I.1- Mapa geológico simplificado da bacia amazônica brasileira e área de ocorrência das formações sedimentares cretáceo-quaternárias: Solimões, Içá e Alter-do-Chão. (Modificado de Vieira & Santos, 1987)	4
Figura I.2- Mapa geológico e drenagem onde insere-se a região estudada (Fonte: Radambrasil, 1978)	7
Figura I.3- Dados climatológicos da Região de Porto Velho e Humaitá no período de 1961-1998. (Fonte: INMET, 1999). (A)=Variação das temperaturas média, média da mínima e média da máxima na cidade de Porto Velho; (B)= Média da precipitação nas cidades de Porto Velho e Humaitá; (C)= Balanço hídrico da cidade de Porto Velho	11
Figura I.4- Mapa de vegetação onde encontra-se a região estudada. Em destaque, o campo de savana encravado na floresta. (Fonte: Radambrasil, 1978)	14
Figura I.5- Mapa pedológico onde encontra-se a região estudada. Em destaque, as presenças da Laterita Hidromórfica no campo de savana e do Podzólico Vermelho-amarelo na floresta. (Fonte: Radambrasil, 1978)	17
Figura II.1- Localização da área de estudo	20
Figura II.2- Composição colorida de imagens de satélite TM (bandas 4, 5 e 7 datadas de agosto de 1991) destacando as diferenças de reflectância entre o campo de savana (amarelo) e a floresta tropical úmida (azul). As zonas vermelhas são áreas de queimadas	22
Figura II.3- Zoom da imagem da figura II.2. Norte do campo mostrando a provável expansão da floresta sobre as áreas de campo. Nota-se manchas amarelas indicando relíquias do antigo campo	24
Figura II.4- Zoom da figura II.2. Local onde foi aberta a topossequência (no destaque) confirmando a representatividade da área escolhida na escala regional	25
Figura II.5- Feições da superfície do solo na escala da bacia elementar (Fonte: Projeto Dilat/Amazônia)	27
Figura II.6- Levantamento topográfico mostrando o encaixamento dos rios e a presença de depressões na superfície do platô	29
Figura II.7- Dinâmica do lençol freático na vertente. Localização dos piezômetros na figura III.3 (Fonte: Projeto Dilat/Amazônia)	30

Figura III.1- Perfis verticais evidenciando os contrastes entre os horizontes de montante, do meio da vertente e de jusante da topossequência	33
Figura III.2- Organização da cobertura pedológica ao longo da topossequência	34
Figura III.3- Curvas de isodiferenciação indicando o aparecimento e o desaparecimento dos horizontes na escala da bacia elementar (Fonte: Dilat/Amazônia)	36
Figura III.4- Distribuição dos solos na escala da bacia elementar (Fonte: Dilat/Amazônia)	37
Figura III.5- Esquema mostrando os principais conjuntos de horizontes ao longo da topossequência, de montante até a jusante e do material sedimentar até a superfície	53
Figura IV.1- Variação vertical do teor em argila, silte e areia. (A) Perfil I da montante; (B) Perfil F do meio da vertente; (C) Perfil A da jusante	60
Figura IV.2- Variação lateral do teor em argila ao longo da topossequência	64
Figura IV.3- Variação lateral do teor em silte ao longo da topossequência	65
Figura IV.4- Variação lateral do teor em areia ao longo da topossequência	66
Figura IV.5- Distribuição do tamanho das partículas $> 50\mu\text{m}$ obtida por peneiramento (perfil I)	68
Figura IV.6- Distribuição do tamanho das partículas $< 50\mu\text{m}$ obtida por granulometria a laser. Identificação de duas populações das partículas granulométricas a partir da curva acumulada e sua derivada (amostra I 20cm)	70
Figura IV.7- Distribuição do tamanho das partículas do horizonte subsuperficial vermelho. (A) Amostra I 40cm; (B) Amostra I 60cm	72
Figura IV.8- Distribuição do tamanho das partículas característica dos horizontes de argila manchada (amostra I 150cm)	73
Figura IV.9- Distribuição do tamanho das partículas. (A) Curva típica do sedimento homogêneo (amostra I 500cm); (B) Curva típica do sedimento heterogêneo (amostra I 800cm)	76
Figura IV.10- Distribuição do tamanho das partículas. (A) Horizontes ricos em matéria orgânica (amostra C 60cm); (B) Horizonte branco superior (amostra E 90cm)	77
Figura IV.11- Distribuição do tamanho das partículas. (A) Horizonte branco inferior (amostra C 215cm); (B) Horizonte de argila manchada endurecida (amostra E 125cm)	79
Figura IV.12- Comparação entre a distribuição do tamanho das partículas antes e após deferrificação. (A) Horizonte subsuperficial vermelho (amostra I 40cm); (B)= horizonte	

subsuperficial vermelho (amostra I 60cm); (C) Horizonte de argila manchada (amostra I 150cm); (D) Sedimento homogêneo (amostra I 300cm)	80
Figura IV.13- Distribuição do tamanho dos poros. (A) Fase vermelha da argila manchada (amostra I 150cm); (B) Fase cinza da argila manchada (amostra I 150cm)	82
Figura IV.14- Distribuição do tamanho dos poros. (A) Horizonte subsuperficial vermelho (amostra I 60cm); (B) Horizonte branco (amostra A 195)	84
Figura V.1- Teor de carbono. (A) Perfil I, da superfície até o sedimento; (B) Perfis da montante, do meio da vertente e da jusante da topossequência	91
Figura V.2- Variação lateral do teor de carbono ao longo da topossequência	92
Figura V.3- Variação do $\delta^{13}\text{C}$. (A) Perfil I, da superfície até o sedimento; (B) Perfis da montante, do meio da vertente e da jusante da topossequência	94
Figura V.4- Variação lateral do teor de SiO_2 ao longo da topossequência	98
Figura V.5- Variação lateral do teor de Al_2O_3 ao longo da topossequência	99
Figura V.6- Variação lateral do teor de Fe_2O_3 ao longo da topossequência	102
Figura V.7- Variação lateral do teor de K_2O ao longo da topossequência	104
Figura V.8- Difractogramas obtidos da fração argila natural e orientada (N), orientada e glicolada (G) e orientada e aquecida (A) de uma amostra de argila manchada (I 250cm): presença de ilita e caolinita	107
Figura V.9- Difractogramas obtidos da fração argila (N, G e A) da argila manchada (I 150cm) indicando a mesma composição mineralógica que à amostra I 250cm	108
Figura V.10- Difractogramas obtidos da fração argila (N, G e A) do horizonte de transição entre a argila manchada e o horizonte vermelho (I 90cm): Presença de ilita e caolinita	109
Figura V.11- Difractogramas obtidos do horizonte subsuperficial vermelho (I 40cm) após tratamentos da argila: saturada com potássio (K), saturada com magnésio e glicolada (Mgg); saturada com potássio e submetida a aquecimentos progressivos (K150, K300 e K500). Presença de caolinita e vermiculita aluminosa	110
Figura V.12- Difractogramas (N, G e A) do horizonte subsuperficial esverdeado (F 50cm): presença de caolinita, vermiculita aluminosa, ilita e gibbsita	113
Figura V.13- Difractogramas (N, G e A) do horizonte branco inferior (C 150cm): presença de ilita e caolinita	114

Figura V.14- Difractogramas do horizonte rico em matéria orgânica (C 40cm) após tratamentos (K, Mgg, K150, K300 e K500): Presença de caolinita, vermiculita aluminosa e gibbsita	116
Figura V.15- Difractogramas (N, G e A) do horizonte branco do centro da depressão (A 195cm): Presença de illita e caolinita	117
Figura V.16- Difractogramas do horizonte rico em matéria orgânica (E 50cm) após tratamentos (K, Mgg, K150, K300 e K500). difere dos horizontes ricos em matéria orgânica da depressão pela ausência de gibbsita	118
Figura VI.1- (A) Zona 1 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial vermelho escuro da argila manchada (amostra I 150cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente)	153
Figura VI.2- (A) Zona 2 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial vermelho da argila manchada (amostra I 150cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente)	154
Figura VI.3- (A) Zona 3 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial cinza da argila manchada (amostra I 150cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente)	156
Figura VI.4- (A) Zona 4 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial amarelo da argila manchada (amostra I 150cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente)	157
Figura VI.5- (A) Zona 5 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial do horizonte subsuperficial vermelho (amostra I 60cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente)	159
Figura VI.6- (A) Zona 6 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial cinza do horizonte branco superior (amostra C 90cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente)	160
Figura VI.7- (A) Zona 7 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial vermelho escuro do horizonte branco superior (amostra C 90cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente)	161

Figura VI.8- (A) Zona 8 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial cinza horizonte branco do centro da depressão (amostra A 195cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente) 162

Figura VII.1- Esquema mostrando os sucessivos estádios de transformação da topossequência. Os detalhes em azul indicam os níveis saturados constante ou temporariamente por água 174

Figura VII.2- Frentes de transformação na topossequência 176

Lista de Pranchas

Prancha VI.1- Microscopia óptica (amostra I 150cm). (A) Padrão típico da argila manchada. Plasma vermelho escuro, vermelho, amarelo e cinza e esqueleto quartzoso (LN); (B) Padrão típico da argila manchada. Fissuras planares delimitando domínios quadrangulares (LP); (C) e (D) Plasma vermelho escuro sem esqueleto (LN e LP, respectivamente); (E) e (F) Detalhe do plasma vermelho da argila manchada composto por partículas ferruginosas (LN e LP, respectivamente) 128

Prancha VI.2- Microscopia óptica. Argila manchada (A) e (B) Fase cinza localizada entre o poro e a fase vermelha do centro dos domínios quadrangulares e plasma amarelo vivo na parede das fissuras (amostra I 150cm) (LN e LP, respectivamente); (C), (D), (E) e (F) Horizonte de transição (I 90cm). (C)= Padrão similar à argila manchada com pequenas zonas vermelhas escuras no centro dos domínios (LN); (D) Desaparecimento da fase amarela viva fissural e limites progressivos entre as fases (LN); (E) Justaposição das fases e distribuição difusa dos óxidos de ferro (LN); (F) Fundo matricial homogêneo similar ao do horizonte vermelho superior (LN) 130

Prancha VI.3- Imagem em MEV com destaque para a porosidade. (A) Argila manchada. Fundo matricial correspondendo a fase vermelha observada em microscopia óptica (amostra I 150cm); (B) Argila manchada. Fundo matricial correspondendo a fase cinza observada em microscopia óptica (amostra I 150cm); (C) Fundo matricial do horizonte subsuperficial vermelho (amostra I 60cm) 132

Prancha VI.4- Microscopia óptica. (A) Fundo matricial homogêneo, porfirico, do horizonte subsuperficial vermelho (amostra I 60cm). Presença de nódulos ferruginosos (LN); (B) Relíquias herdadas da argila manchada que distribuem-se em raras zonas do fundo matricial vermelho (amostra I 60cm, LN); (C) Plasma predominante cinza do horizonte branco inferior.

- Presença de pápulas amarelas claras incorporadas ao fundo matricial cinza (amostra C 215cm, LN); (D) Fase vermelha escura ferruginosa representando antigo preenchimento poral (amostra C 215cm, LN) 134
- Prancha VI.5- Imagem em MEV com destaque para a porosidade. (A) Fundo matricial correspondendo ao horizonte branco inferior (amostra E 200cm); (B) Fundo matricial correspondendo ao horizonte branco do centro da depressão (amostra A 195cm) 137
- Prancha VI.6- Microscopia óptica. (A) Cutan de cor bruna amarela com extinção contínua, estrias e fissuras paralelas ao eixo principal no cinza do horizonte branco superior (amostra C 90cm, LN); (B) Feição típica de deferruginização atual do horizonte branco superior: nódulos ferruginosos com borda amarela (amostra C 90cm, LN); (C) Relíquia de nódulo ferruginoso restando apenas a periferia vermelha e amarela (amostra C 90cm, LN); (D) Fundo matricial do horizonte argilo-orgânico. Abundante porosidade biológica (amostra C 40cm, LN); (E) e (F) Padrão típico da argila manchada encontrado ao longo da topossequência (amostra F 175cm, LN e LP, respectivamente) 140
- Prancha VI.7- Microscopia óptica. Diferenciação lateral da argila manchada e aparecimento dos horizontes brancos (A) e (B) Fases vermelha, amarela e cinza da argila manchada com forte orientação do plasma cinza (amostra F 175cm, LN e LP, respectivamente); (C) Transformação da argila manchada em domínios vermelhos descontínuos com bordas amarelas (amostra E 165cm, LN); (D) Desaparecimento progressivo da fase vermelha (LN); (E) Limite difuso entre os plasmas. O plasma amarelo vivo desaparece restando apenas o plasma bruno-amarelo que impregna o fundo matricial cinza; (F) Fundo matricial predominantemente cinza do centro da depressão (amostra A 195cm, LN) 144
- Prancha VI.8- Microscopia óptica. Transição lateral progressiva dos horizontes subsuperficiais. A cor do plasma transforma-se de vermelho em amarelo e, finalmente, em amarelo-esverdeado. (A) Fundo matricial do horizonte vermelho (amostra I 60cm, LN); (B) Fundo matricial do horizonte bruno-vivo (amostra G 50cm, LN); (C) Fundo matricial do horizonte esverdeado (amostra F 75cm, LN) 145
- Prancha VI.9- Imagens de MEV. (A) Padrão típico da argila manchada a montante (amostra I 150cm); (B) Padrão típico da argila manchada a jusante (amostra E 200cm); (C) Fase vermelha. Partículas ferruginosas (brancas), argilominerais (cinza escuro) e quartzo (cinza clara); (D) Partículas ferruginosas possivelmente se alterando; (E) No centro, concentração

ferruginosa (fase vermelha escura) e, no entorno, partículas ferruginosas isoladas (fase vermelha); (F) Detalhe de (E): ausência de grãos de quartzo na fase vermelha escura	149
Prancha VI.10- Imagens de MEV. (A)= fase cinza da argila manchada; (B)= fase amarela na parede do poro; (C)= detalhe das partículas ferruginosas isoladas; (D)= poro biológico funcional	150

Lista de tabela

Tabela IV.1- Distribuição do tamanho das partículas (granulometria a laser)	71
Tabela V.1- Síntese dos teores obtidos para os principais óxidos (%)	105

INTRODUÇÃO

A base atual do conhecimento das paisagens e da distribuição dos solos da Amazônia é constituída pelos levantamentos em escala regional (Radambrasil, 1972-1978; Embrapa-SNLCS, 1983; Sudam-IBGE, 1989). Em 1966, Sombroek publicou o primeiro inventário dos solos dessa região. Outros estudos regionais (Volkoff, 1984-85, Melfi *et al.*, 1996) ou locais (Lucas, 1992) vieram completar esse conhecimento. Todavia, exceto o trabalho de Lucas (1992) e Melfi *et al.* (1996), os demais estudos tinham como objeto o perfil isolado. As coberturas pedológicas, indo do interflúvio até o eixo de drenagem, foram consideradas somente a partir dos anos 80, enfocando o sistema Latossolo-Podzól desenvolvido sobre a formação Alter-do-Chão, na região norte de Manaus (Lucas *et al.*, 1984) e, depois, nas regiões de Juriti e Trombetas (Lucas, 1989).

Em 1996 foi concebido um programa de pesquisa intitulado Dilat-Amazônia (projeto temático Fapesp, número 96/1447-1), que tinha como objetivo, a partir de um pequeno número de sítios, estudar a organização, a composição e a dinâmica dos principais sistemas pedológicos da Amazônia ocidental. Esses sistemas foram escolhidos a partir dos mapas pedológicos do Projeto Radambrasil. Graças a esses documentos, foram localizados os sítios convenientes para os estudos em topossequência. Um modelo conceitual de organização e de funcionamento foi elaborado, com base no conhecimento dos sistemas pedológicos análogos encontrados na Guiana Francesa (Boulet *et al.*, 1982b) e também no conhecimento acumulado na Costa do Marfim (Fritsch *et al.*, 1990) e na Austrália (Fritsch & Fitzpatrick, 1994). Esse modelo baseia-se na diferenciação dos sistemas de transformação (Boulet *et al.*, 1984): (i) transformação centrípeta (do espigão para a periferia) e (ii) transformação centrífuga (do eixo de drenagem para o espigão). Por outro lado, as transformações poderiam ser atribuídas à expansão, no espaço e no tempo, das zonas saturadas pela água, periódica ou constantemente, o que provocaria o desenvolvimento sequencial de três processos maiores: (i) hidromorfia (mobilização, redistribuição e exportação do ferro), (ii) empobrecimento (mobilização, redistribuição e exportação de sílica e do alumínio sob forma dissolvida e/ou particulada) e (iii) podzolização (transferência e exportação de matéria orgânica e dos complexos organominerais).

O sítio de Humaitá foi um dos lugares escolhidos pelo projeto Dilat-Amazônia para o estudo detalhado da organização, composição e dinâmica da cobertura pedológica representativa de uma vasta região da Amazônia ocidental, mapeada pelo Radambrasil como uma associação de solos Podzólico Vermelho-amarelo e Laterita Hidromórfica (classificação adotada pelo Radambrasil, segundo Bennema *et al.*, 1965). Depois de um reconhecimento da região, através de observações em corte de estradas e numerosas tradagens, foi escolhida uma topossequência, a mais completa, indo de um Podzólico Vermelho-amarelo a montante, no platô, até uma Laterita Hidromórfica a jusante, em uma depressão desenvolvida no platô. A hipótese considera essa paisagem como o estágio inicial da evolução pedogenética relacionada com a expansão da hidromorfia. Segundo o modelo conceitual do projeto Dilat-Amazônia, nessa paisagem ocorreria apenas a mobilização e a exportação do ferro, sendo ela apenas a precursora de um outro estágio de evolução, envolvendo eluviação e podzolização.

O objetivo desta tese é, a partir do estudo de uma trincheira de 90m de comprimento e de aproximadamente 3m de profundidade, seguindo do topo até a base da vertente de uma forma contínua, contribuir para o melhor conhecimento dos principais processos pedogenéticos envolvidos na origem e na transformação lateral de solos vermelhos em solos hidromórficos brancos.

O trabalho é apresentado em capítulos referentes às sucessivas fases de investigação: situação da cobertura de solo na paisagem e relação com as condições paleoambientais e ambientais, evidência de transformação a partir do estudo detalhado da topossequência, evidência de mobilização de partículas e de ferro a jusante (análise da constituição na escala macroscópica) e evidência de mobilização de ferro a montante (análise da constituição na escala microscópica). Cada capítulo apresenta separadamente a metodologia empregada, as técnicas envolvidas e os resultados obtidos. Finalmente, uma discussão geral integra todos os resultados, com o objetivo de responder as questões iniciais que originaram a pesquisa. Em conclusão, esta tese propõe-se a elaborar um esquema da evolução pedogenética anterior e das transformações atuais da cobertura pedológica estudada, representativa de uma grande parte da Amazônia ocidental.

CAPÍTULO I

QUADRO REGIONAL

1- Unidade Morfoestrutural

Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental

A região de estudo situa-se no centro-oeste da bacia amazônica brasileira, entre os rios Madeira e Solimões (figura I.1). Essa região é porção da vasta área de terras baixas amazônicas limitadas ao norte pelo escudo das Guianas, ao sul pelo escudo Brasileiro, a oeste pela cordilheira dos Andes. A vegetação natural é principalmente constituída pela floresta tropical úmida e, localmente, pelos campos de savana. Predominam os sedimentos da formação Solimões (Plioceno superior/Pleistoceno inferior) e os sedimentos fluviais holocênicos.

Nessa região, os levantamentos do Radambrasil (1978a) mostraram que a principal unidade morfoestrutural é o Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental (que é a maior unidade morfoestrutural da Amazônia brasileira). Caracteriza-se por extensas unidades de paisagem, de altitude inferior a 250m, aplainadas, pouco ou muito dissecadas e com interflúvios tabulares. Os platôs, separados pelos principais eixos de drenagem, apresentam numerosas depressões suaves, com pequenos desníveis (alguns metros), que se desenvolvem desde a borda até o centro dos platôs. Essas depressões possuem formas e tamanhos diferentes. Foram identificadas pelo Radambrasil (1978a) e denominadas de lagoas. Sua dinâmica está relacionada com o regime pluviométrico, pois elas enchem e transbordam durante as chuvas e secam durante a estiagem. Ao transbordarem, algumas interligam-se, iniciando a formação de uma rede de drenagem secundária.

A topografia detalhada (Embrapa-SNLCS, 1983) do terreno entre Porto Velho e Humaitá mostra que, nos primeiros 15km a partir do rio Madeira, o relevo apresenta muitas ondulações de 30m de amplitude. A partir daí, por uma distância de aproximadamente 100km, desenvolve-se um platô com relevo plano a suave ondulado cuja altitude varia entre 95 e 105m. Nesse platô, os eixos de drenagem encaixados entalham o relevo e provocam desníveis entre 10 e 15m. Finalmente, por uma distância de mais 100km, até a cidade de Humaitá, surge uma extensa depressão cuja altitude passa de aproximadamente 100m nas bordas para 50m no centro.

Figura I.1- Mapa geológico simplificado da bacia amazônica brasileira e área de ocorrência das formações cretáceo-quaternárias: Solimões, Içá e Alter-do-Chão (modificado de Vieira & Santos, 1987).

2- Contexto geológico

Sedimentos continentais da bacia intracratônica do Solimões

A gênese e a evolução da bacia intracratônica do Solimões (Villas-Boas, 1993) estão relacionadas à tectônica andina. Em consequência da inversão da cadeia andina no Cenozóico e o soerguimento do Arco de Purus no Mioceno, desenvolveu-se uma ampla área confinada, onde se depositaram sedimentos continentais fluviolacustres (depósitos de barra em pontal, de canal e de transbordamento), denominados de formação Solimões (figura I.1).

Os sedimentos da formação Solimões foram datados pelo Radambrasil (1978a) como pertencentes ao intervalo Plioceno superior–Pleistoceno inferior. Segundo Villas-Boas (1993), essa formação é composta de arenitos quartzosos e arcoseanos com siltitos e argilitos siltíticos intercalados e, finamente, de laminados a maciços. Eles podem ser localmente calcíferos, gipsíferos e limoníticos e ocasionalmente apresentar lentes de turfa e linhito. O ambiente de deposição desses sedimentos corresponde, inicialmente, a ambientes de águas rasas e oxidantes, que evoluíram rapidamente para condições de águas mais profundas, de baixa energia e de caráter redutor. A espessura dessa formação varia de 200 a 800m, de leste para oeste da bacia.

Sobreposta aos sedimentos da formação Solimões, em discordância erosiva, encontram-se os sedimentos da formação Içá, de idade provavelmente pleistocênica, embora não haja subsídios palinológicos e paleontológicos para determinação exata da época deposicional (Maia *et al.*, 1977; Villas-Boas e Melo, 1994). Correspondem a sedimentos continentais predominantemente arenosos que repousam discordantemente sobre a formação Solimões. São principalmente arenitos amarelo-avermelhados, friáveis ou algumas vezes consolidados, limonitizados, de granulometria variando de fina a grossa. Na parte basal ocorrem lentes de conglomerados, constituídos de seixos de quartzo, sílex, argilitos e fragmentos de rocha em matriz areno-argilosa. Subordinadamente ocorrem siltitos e argilitos que constituem uma sequência rica em variações litológicas. Podem-se encontrar lentes de argila com fragmentos de madeira carbonizada e/ou silicificada. As fácies arenosas podem apresentar finas lentes turfáceas. A formação Içá apresenta interestratificações com limites bruscos que sugerem variados gradientes de energia deposicional. A espessura máxima obtida por meio de sondagens é de 140m.

As descrições da formação Içá foram feitas principalmente na parte do alto rio Negro (Maia *et al.*, 1977). Essa formação foi identificada também mais próximo do rio Madeira (Marmos, 1998). No mapa geológico de Porto Velho (Radambrasil, 1978a), não foi feita a distinção entre as Formações Solimões e Içá, sendo mapeada apenas a formação Solimões (figura 1.2). Também, recentemente, Silva (1999) chama a atenção para o quase desconhecimento da formação Solimões e para a arbitrariedade de sua subdivisão em formação Içá, já que, até agora, não existem dados suficientes para a definição de limites estratigráficos, de condições de deposição e de distribuição espacial.

3- Paleoclima

Numerosas e bruscas mudanças entre o úmido e o seco

Durante o Pleistoceno superior (60 000-13 000 anos) e o Holoceno (13 000-1 000 anos), repetidas mudanças climáticas globais, intercalando períodos glaciais e interglaciais, causaram profundas mudanças nos ecossistemas, notadamente nas latitudes temperadas. No Pleistoceno, a época considerada como fria e seca, relacionada ao Último Grande Glacial, está datada entre 20 000 e 18 000 anos AP. Em época mais recente, nos últimos 10 000 anos AP, constata-se novos episódios secos, menos severos, entre 7 000 e 5 100, entre 3 900 e 3 500, e entre 2 700 e 2 500 anos AP. Esses períodos glaciais mudaram drasticamente as condições climáticas no hemisfério norte e foram responsáveis pelo avanço da linha de geleiras na América do Norte e na Europa. Estudos palinológicos, isotópicos e sedimentológicos realizados nas regiões tropicais (África e América do Sul) revelam que os efeitos das glaciações foram sentidos, provocando variações na cobertura vegetal, mudanças no regime hídrico e, conseqüentemente, modificações dos processos erosivos e de sedimentação (Van der Hammen, 1974; Absy e Van der Hammen, 1976; Rosanen, 1991; Absy, 1993; Iriondo e Latrubesse, 1994; Latrubesse e Ramonell, 1994; Latrubesse e Franzinelli, 1993 e 1995; Suguio, 1999).

Nas regiões tropicais, os períodos glaciais, frios e secos seriam os responsáveis pela expansão das coberturas de savana em detrimento das coberturas florestais (Van der Hammen, 1972 e 1974; Absy e Van der Hammen, 1976; Siffedine *et al.*, 1994b; Pessenda *et al.*, 1996). Segundo Colinvaux *et al.* (1996) e Bush *et al.* (1990), as mudanças ocorridas no Último Grande Glacial (20 000-18 000 anos AP) do hemisfério norte, refletiram-se nas regiões

LEGENDA

- Escudo (Complexo Xingú)
- Formação Solimões (Terciário)
- Aluviões antigos (Holoceno)
- Aluviões atuais (Holoceno)
- Falhas e fraturas normais
- Rios
- Estradas
- Área de transição campo-floresta
- ★ Localização da topossequência

Figura I.2- Mapa geológico onde insere-se a região estudada. (Fonte: Radambrasil, 1978)

tropicais, incluindo a Amazônia, tornando o clima mais seco e com a temperatura variando entre 5 e 7°C abaixo da encontrada atualmente. Essas condições climáticas secas favoreceram a expansão da vegetação de savana, substituindo, localmente, parte da floresta tropical úmida. A floresta se mantinha sob a forma de refúgios, separando temporariamente populações de animais e plantas de ecossistemas florestais sob clima seco, proporcionando a especiação através do isolamento (Van der Hammen, 1974; Absy e Van der Hammen, 1976; Prance, 1987). Os refúgios eram predominantemente localizados na periferia da Amazônia (Brown e Ab'Saber, 1979 e Ab'Saber, 1996). Entretanto, Colinvaux *et al.* (1996) acreditam que as variações das precipitações não foram suficientes para provocar deslocamento ou fragmentação da floresta úmida. Para eles, é pouco provável a hipótese de expansão das savanas nas áreas florestais das terras baixas amazônicas. Em vez da teoria dos refúgios, os autores sugerem que as especiações foram provocadas por adaptação a mudanças de temperatura.

Em uma lagoa sobre platô na serra dos Carajás (PA), Absy *et al.* (1991) e Siffedine (1991) reconstituíram as variações paleoambientais a partir de estudos palinológicos e sedimentológicos. Atualmente esse platô está recoberto por vegetação de savana arbustiva. Os diagramas polínicos indicam uma fase seca que foi responsável pelo desaparecimento da floresta tropical e que remonta a 60 000 anos. Essa fase seca foi detectada pelo quase desaparecimento dos polens arbóreos. Outras fases de tendência seca foram datadas ao redor de 40 000, de 20 000 a 11 000, de 7 500 a 4 000 anos AP. O último intervalo seco difere dos demais por apresentar registros palinológicos arbóreos do estrato médio da floresta acompanhados de baixo nível de erosão e de sedimentação. A permanência dessa floresta do estrato médio indica que o clima foi relativamente mais úmido.

Ledru *et al.* (1998) colocam em dúvida as repercussões da Última Grande Glaciação no hemisfério sul por observar, em algumas regiões do Brasil, a presença de hiatos de sedimentação. O registro sedimentar mostrou depósitos continentais que correspondem a períodos anteriores ou posteriores ao Último Glacial e mostrou a ausência de depósito durante esse período.

Na Amazônia brasileira, mudanças ambientais bruscas como episódios secos foram identificados sem apresentar relações estreitas com algumas variações ocorridas no hemisfério norte. Assim, indícios de grandes incêndios florestais associados aos extremos

climáticos foram identificados na região amazônica (Soubiès, 1980; Turcq *et al.*, 1993). Por exemplo, Soubiès (1980) encontrou sistematicamente, nos horizontes dos solos, a presença de linhas de carvões datados entre 6 000 e 3 000 anos AP, cuja gênese estaria relacionada a incêndios de uma antiga cobertura florestal, durante um episódio mais seco que o atual, em consequência das oscilações climáticas ocorridas nessa região. A recolonização vegetal dessa área, segundo o autor, ocorreu através do desenvolvimento de uma floresta aberta.

Durante o Holoceno, o período entre 7 000 e 6 000 anos BP é particularmente marcante. Apresenta-se como uma época quente e seca na América do Sul. Nesse período, segundo Markgraf (1998), registra-se a intensificação da sazonalidade. Além desse período, ainda no Holoceno, registram-se bruscas variações ambientais ligadas a mudanças climáticas abruptas. Na Amazônia, as fases secas são datadas em 2 200, 1 500, 1 300, 1 100, entre 750 e 700, e entre 500 e 400 anos BP (Meggers, 1994). Finalmente, Martin *et al.* (1993) mostram que, além das grandes mudanças climáticas globais que afetaram as florestas tropicais desde 7 000 anos AP, em várias regiões da América do Sul, foram constatadas variações climáticas semelhantes àquelas geradas pelo El Niño. Nesses eventos, ocorreu a diminuição das precipitações e o aumento da duração da estação seca na região Amazônica. Essas ocorrências foram provavelmente numerosas antes de 3 900-3 600 anos AP, ausentes entre 3 900-3 600 e 2 800-2 500 anos BP e pouco frequentes após 2 800-2 500 anos BP. Esses eventos sazonais são difíceis de serem detectados e correlacionados de uma região para outra, por não possuírem registros sedimentológicos marcantes.

4- Clima

Temperatura e balanço hídrico quase sempre com excedente

Na região entre Porto Velho e Humaitá predomina o clima tropical chuvoso com uma pequena estação seca (tipo Ami), segundo a classificação de Köppen (Vieira e Santos, 1987). Esse tipo climático é definido por apresentar temperatura média nunca inferior a 18°C, com oscilação anual sempre inferior a 5°C e ausência de verão ou inverno estacional. Dados climatológicos da cidade de Porto Velho fornecidos pelo INMET (1999) no período de 1961 a 1990 mostram que (figura I.3 A) a menor média da temperatura mínima foi de 18°C (julho) e a maior média da temperatura máxima foi de 32°C (agosto). A temperatura média do período entre os meses mais frios e mais quentes oscilou muito pouco, ficando

aproximadamente entre 23 e 25°C. Os dados de precipitação (figura I.3 B) mostram que as chuvas foram abundantes, com média anual de 2 200mm. O regime pluviométrico anual definiu uma época seca acentuada que corresponde aos meses de junho e julho (34 e 23mm, respectivamente). O mês de agosto apresentou elevação na pluviosidade (200mm), e nova queda foi observada no mês de setembro (85mm). A partir desse mês teve início o período úmido, com média de precipitação atingindo 350mm (janeiro). Os dados obtidos na estação meteorológica de Humaitá apresentam valores de temperatura e precipitação semelhantes, exceto a média de precipitação do mês de agosto, que registrou apenas 50mm.

O balanço hídrico obtido apenas na cidade de Porto Velho (figura I.3 C) é caracterizado por um excedente de aproximadamente 300mm nos períodos de máxima precipitação e um déficit de aproximadamente 50mm nos meses secos.

5- Hidrografia

Uma região drenada pelos rios Madeira e Purus (Médio Amazonas)

Os rios da bacia amazônica nascem a oeste, na cordilheira dos Andes, ao norte, no escudo das Guianas e, ao sul, no escudo Brasileiro. A leste, os rios deságuam no Oceano Atlântico. A bacia é subdividida em três partes (Sioli, 1984): (i) Alto Amazonas, que corresponde à parte sudoeste da bacia, com nascentes nos Andes (oeste e noroeste), caracterizadas por numerosos meandros funcionais e freqüentes meandros abandonados que formam lagos em terras planas; (ii) Médio Amazonas, com nascentes ao norte (escudo das Guianas) e ao sul (escudo Brasileiro), na forma de uma densa rede de pequenos vales escarpados enquanto, a leste, os platôs persistem; (iii) Baixo Amazonas, na seção leste, corresponde à zona estuária do Amazonas, onde o rio se divide em diversos braços, formando ilhas.

Na bacia intracratônica do Solimões, ocorrem rios que pertencem ao Alto e Médio Amazonas. Entre os rios Madeira e Purus, região na qual se desenvolve o estudo, a rede de drenagem é densa e os canais organizam-se em padrão dendrítico (RadamBrasil, 1978a e 1978b).

Figura I.3- Dados climatológicos da Região de Porto Velho e Humaitá no período de 1961-1998. (Fonte: INMET, 1999). (A) Variação das temperaturas média, média da mínima e média da máxima na cidade de Porto Velho; (B) Média da precipitação nas cidades de Porto Velho e Humaitá; (C) Balanço hídrico da cidade de Porto Velho.

6- Vegetação

Floresta, savana e contato floresta-savana

Entre os rios Madeira e Purus (figura I.4), observam-se sete formações vegetais, de floresta e de savana (Radambrasil, 1978a e 1978b). As coberturas florestais, associadas às margens alagáveis dos rios, ocupam uma área mais expressiva próximo ao rio Purus do que junto ao rio Madeira. Nas margens do rio Purus, encontram-se a floresta secundária, aluvial e inundada e, de forma menos expressiva, a floresta densa aluvial. Nas margens do rio Madeira ou em alguns rios do platô ocorrem a floresta aberta aluvial e a floresta secundária inundada.

A floresta tropical aberta é a cobertura vegetal mais expressiva em área. É a vegetação característica das terras baixas não inundáveis da Amazônia. Os indivíduos arbóreos são espaçados, com freqüentes grupamentos de palmeiras, cipós e bambus. Em presença de palmeiras, o espaçamento entre as árvores é irregular e preenchido principalmente por babaçu (*Orbignya martiana*), patauá (*Oenocarpus bataua*) e inajá (*Maximiliana regia*). As principais espécies da floresta aberta nessa região são: abiorana-amarela, abiorana-casca-fina, copaíba, jatobá, macucu, matamatá-branco, uxirana. No sub-bosque médio encontram-se a Musaceae, Maranthaceae, Melastomaceae, Piperaceae (*Piper* spp.), entre outras.

As coberturas de savana são diferenciadas em savana arbórea e campos de savana. A savana arbórea aberta ocupa uma área que se prolonga desde a várzea e os terraços do rio Madeira e avança sobre as áreas dos platôs, ocupando as posições de interflúvio e os vales dos rios secundários. Os campos de savana ocorrem nos interflúvios e se apresentam como ilhas no interior das savanas arbóreas ou da floresta tropical aberta. A savana parque é uma vegetação aberta, característica de clima quente e úmido com um período seco bem definido e constitui-se como um enclave dentro das áreas de floresta, apresentando grande diversidade fisionômica e florística. As espécies arbóreas características são: sorva (*Couma utilis*), quaruba-do-brejo (*Vochysia* sp.), cupiúba (*Goupia glabra*), entre outras. As espécies são xeromórficas, apresentam troncos retorcidos e diâmetros máximos de 15cm. O estrato rasteiro é representado pelas geófitas: ciperáceas, gramíneas, xiridáceas e epífitas orquidáceas. As veredas, que se constituem em grupamentos de *Palmae* *Mauritia flexuosa* associada à *Oenocarpus multicaulis*, ocorrem nas áreas deprimidas dos platôs.

O contato entre domínios ecológicos com diferentes níveis de biomassa, no caso a floresta tropical e a savana, é caracterizado como área de tensão ecológica.

7- Conhecimentos sobre a distribuição dos solos

Em 1926, Marbut e Manifold realizaram um mapeamento de grupos de solos da “Bacia Amazônica Interior”, que corresponde às bordas dos rios Amazonas e Solimões, entre as cidades de Belém (Pará) e Iquitos (Peru) e entre os médios cursos dos rios Madeira e Purus, até a cidade de Rio Branco (Acre). Identificaram, entre os rios Madeira e Purus, a presença de “solos silto-argilosos e argilosos com subsolo contendo argila imperfeitamente oxidada, geralmente a uma profundidade de dois pés ou menos”.

Um dos primeiros trabalhos de levantamento sistematizado dos solos da Bacia Amazônica foi realizado por Sombroek (1966). Entre as calhas dos rios Madeira e Purus, os solos foram mapeados como “Latossolo Amarelo caolínico de textura variada”. Uma zona que, grosso modo, corresponde aos campos de savana, foi identificada e mapeada como “Laterita Hidromórfica (Ground Water Laterite Soil)”. Segundo o autor, na Amazônia, os perfis de Lateritas Hidromórficas ocorrem em sua forma mais típica. Um perfil descrito na Ilha de Marajó assemelha-se àquele que ocorre na região de Porto Velho e Humaitá. As características do perfil são as seguintes:

0-30cm- Horizonte orgânico A1, preto (10YR 2/1);

30-90cm- Horizonte A2, branco (10YR 8/2), silto-argilo-arenoso, coesão forte quando seco;

90-120cm- Horizonte B1g, plântico, com manchas amarelas (10YR 6/8) associadas com proeminentes manchas vermelhas (2,5YR 4/8) variavelmente endurecidas e manchas brancas (10YR 8/1). Estrutura em blocos angulares e subangulares;

120-260cm- Horizonte B2g com fundo branco (N8/0), proeminentes manchas vermelhas (10R 4/6) e algumas amarelo-brunadas (10YR 6/8). Estrutura em blocos angulares e subangulares associada com fraca estrutura prismática.

Um novo mapeamento realizado pelo mesmo autor (1984) foi completado com informações do Radambrasil (1972-1978) e Camargo *et al.* (1981). Nesse mapeamento, identifica-se, entre os rios Madeira e Purus, a associação de solos imperfeitamente drenados do tipo Laterita Hidromórfica e Podzólico plântico (plinthic acrisoils e plinthic soils, respectivamente). A distribuição está intimamente relacionada com o relevo. Ressalta que a

LEGENDA

- Floresta tropical aberta
- Floresta tropical aberta de terras baixas
- Savana arbórea
- Campos de savana
- Floresta tropical aberta aluvial
- Floresta tropical densa aluvial
- Formação pioneira arbórea inundada
- ~ Rios
- Estradas
- Área de transição campo-floresta
- ★ Localização da topossequência

Figura I.4- Mapa de vegetação onde encontra-se a região estudada. Em destaque, o campo de savana encravado na floresta. (Fonte: Radambrasil, 1978)

cobertura vegetal associada às Lateritas Hidromórficas consiste em floresta pobre e baixa com palmeiras ou em campo de savana. As Lateritas Hidromórficas podem ocorrer próximo aos grandes rios ou em interflúvios planos, especialmente entre os rios Juruá e Madeira. Essa distribuição havia sido anteriormente descrita por Sombroek e Camargo (1982).

Outro trabalho de reconhecimento dos solos dessa região (Embrapa-SNLCS, 1983) corresponde a um levantamento exploratório dos solos que ocorrem ao longo da rodovia Manaus–Porto Velho (BR-319). A partir da cidade de Porto Velho, entre o Igarapé Bem-te-vi (km 40) e rio Açuã (km 80), onde se situa a zona de savana, as unidades mapeadas correspondem à associação Cambissolo Álico plântico–Cambissolo Álico latossólico plântico, desenvolvida a partir de sedimentos da formação Solimões. A primeira unidade predomina em toda a área de platô e é subdividida em Cambissolo Álico Tb plântico desenvolvido sob cerradão equatorial subperenefólio com babaçu, Cambissolo Álico Tb plântico desenvolvido sob floresta equatorial subperenefólia com palmácea e babaçu e Cambissolo Álico latossólico plântico desenvolvido sob floresta subperenefólia com palmácea e babaçu. Esses solos são moderadamente drenados e compostos de argila de atividade baixa. Um perfil típico, sob vegetação de floresta com palmácea e babaçu, indica o aparecimento de horizonte plântico a 110cm de profundidade.

Foram mapeados, ainda, solos do tipo Plintossolo Álico Tb, desenvolvidos sob cerrado (mas podem ocorrer também sob floresta), em relevo de planalto suave ondulado, a partir de sedimentos quaternários. São solos imperfeitamente drenados, com seqüência de horizontes A, Bt e C, sendo o Bt plântico com concreções ferruginosas. Um perfil típico sob vegetação de cerrado mostra que o aparecimento do horizonte Btpl ocorre a partir de 50cm (a amostragem foi interrompida a 80cm). Associado aos Plintossolos encontra-se o Planossolo Álico Tb plântico, desenvolvido a partir de sedimentos quaternários, sob vegetação de cerrado equatorial subperenifólio (mas também pode ocorrer sob floresta), em relevo plano. São solos com seqüência de horizontes A1, A2 e Bt, com transição abrupta entre os horizontes A e Bt. São imperfeitamente drenados e compostos por argila de atividade baixa.

Os solos hidromórficos referem-se apenas àqueles desenvolvidos a partir de sedimentos Quaternários, em regiões de várzea ou relevo plano, sob floresta ou sob cerrado.

A síntese (Sudam-IBGE, 1989) feita a partir dos dados do Radambrasil mostra um gradiente na proporção e na distribuição dos solos, entre os rios Madeira, Purus, Juruá e

Solimões. Entre os rios Madeira e Purus, a cobertura dos solos associa Podzólico Vermelho-amarelo, Podzólico Vermelho-amarelo plântico e Laterita Hidromórfica. Entre os rios Purus e Juruá, a cobertura do solo apresenta Podzólico Vermelho-amarelo predominante e Podzólico Vermelho-amarelo plântico na posição de interflúvio. Entre os rios Juruá e Solimões, predomina o Podzólico Vermelho-amarelo, enquanto o Podzólico Vermelho-amarelo plântico aparece na posição de interflúvio apenas próximo ao rio Juruá.

O trabalho de referência (figura I.5) sobre os solos da região refere-se aos levantamentos do Radambrasil (1978 a e b). O mapeamento dos solos realizado é um documento que fornece sugestões relativas às associações de solos, por exemplo, entre o Podzólico Vermelho-amarelo e a Laterita Hidromórfica, embora existam limitações no conhecimento dessas associações em função da escala abrangida (1:1 000 000). Foram individualizadas e mapeadas unidades de Laterita Hidromórfica álica e unidades de Podzólico Vermelho-amarelo plântico nas áreas de savana e também de floresta com palmeira. Nas zonas florestadas, predominam solos do tipo Podzólico Vermelho-amarelo álico plântico. O material parental dos solos foi identificado como sedimentos da formação Solimões, embora a presença de solos hidromórficos – Gleis, Podzóis e Hidromórficos – tenham sido associados com os sedimentos Quaternários.

Um perfil típico descrito, classificado como Laterita Hidromórfica, é similar àquele encontrado a jusante da topossequência, na depressão:

- 0-40cm- Horizonte A1, orgânico, preto (10YR 2/1), franco-argiloso;
- 40-100cm- Horizonte A12, preto (10YR 2/1), franco-argilo-arenoso, transição plana e abrupta;
- 100-130cm- Horizonte A2, bruno-acinzentado (10YR 5/2), mosqueado difuso amarelo- brunado (10YR 2/1) e preto (10YR 2/1), arenoso, maciço e poroso;
- 130-200cm- Horizonte Bpl, cinzento (10YR 6/1) com mosqueado amarelo-brunado (10YR 6/6), franco argilo-arenoso.

Um perfil típico de Podzólico Vermelho-amarelo álico plântico, descrito sobre sedimentos da formação Solimões e sob vegetação de floresta, embora um pouco distante da área da topossequência, também possui características similares ao encontrado a montante da topossequência:

- 0-6cm- Horizonte A1, bruno-escuro (10YR 4/3), franco-arenoso, estrutura pequena a média granular, transição gradual

LEGENDA

- Podzólico Vermelho Amarelo Álico
- Laterita Hidromórfica Álica de elevação
- Laterita Hidromórfica Álica de Planície
- Gley Pouco Húmico Álico
- Gley Pouco Húmico Eutrófico
- Solos Aluviais Distróficos
- Latossolo Vermelho Álico
- Latossolo Amarelo Álico
- Estradas
- Rios
- Área de transição campo-floresta
- Localização da topossequência

Figura I.5- Mapa pedológico onde encontra-se a região estudada. Em destaque, as presenças da Laterita Hidromórfica no campo de savana e do Podzólico Vermelho-amarelo na floresta. (Fonte: Radambrasil, 1978)

6-20cm- Horizonte A3, bruno (8YR 4/4), franco, estrutura pequena a média granular, transição gradual;
20-50cm- Horizonte B1, vermelho-amarelado (5YR 4/6), franco-argiloso, estrutura pequena e média em blocos subangulares, transição plana e difusa;
50-85cm- Horizonte B21, vermelho-amarelo (5YR 4,5/6), franco-argiloso, estrutura pequena e média em blocos subangulares, transição plana e difusa;
85-140cm- Horizonte B22pl, vermelho-amarelado (4YR 5/7), mosqueado abundante (2,5YR 5/6), franco-argiloso e estrutura pequena a média em blocos subangulares, firme, plástico.

Finalmente, o aparecimento sistemático de solos com plintita levou os geólogos a enquadrá-los na categoria de formações superficiais de origem litopedológicas (DNPM/CPRM, 1990). Essas formações, denominadas de lateríticas, distinguem-se em lateritas com bauxitas (maturas) e lateritas com plintita e petroplintita (imaturas). As lateritas com bauxitas não estão presentes nesse local, enquanto as lateritas com plintita e petroplintita são abundantes sobre a formação Solimões e se caracterizam como coberturas residuais ou coluvionais. Essas lateritas, segundo os autores do trabalho, associam horizontes superiores concrecionários, em geral aflorantes, cuja origem está relacionada às mudanças climáticas ocorridas no Pleistoceno.

8- Ocupação dos solos

O Estado de Rondônia foi uma das áreas pioneiras de ocupação da região Amazônica. A partir de 1970, alguns fatores como o término da BR-364, o descobrimento de terras férteis que provocaram a expansão da fronteira agrícola (tentativa de introdução de culturas de exportação como o cacau e café) e a distribuição de terras para assentamentos distribuídas pelo INCRA provocaram mudanças na estrutura socioeconômica do Estado. A ocupação relativamente rápida da região sem um efetivo planejamento de ocupação dos solos acarretou grandes desmatamentos e queimadas, observados até os dias atuais.

Atualmente, as atividades econômicas facilmente observadas quando se corta o Estado pela BR-314 são a agricultura de subsistência, realizada por famílias, e grandes áreas de pecuária extensiva em grandes extensões de terras antes ocupadas por florestas. Nota-se também que, atualmente, as áreas de campos naturais estão se valorizando graças à crescente procura dessas áreas para o plantio de arroz e soja. Os sistemas de drenagem implantados nos campos minimizam as limitações impostas pelo excesso de água dos solos.

CAPÍTULO II

ÁREA DE ESTUDO

NASCENTE DE UM IGARAPÉ EM UM CONTATO FLORESTA-SAVANA

1- Introdução

Para estudar detalhadamente a transição lateral entre solos vermelho-amarelo-brancos, foi necessário escolher e descrever uma área representativa da paisagem regional. Trata-se de uma zona de interface platô-depressão em um contato floresta-savana. A área de estudo detalhado situa-se aproximadamente nas coordenadas de 8°18' S e 63°48' O, nas proximidades da rodovia BR-319, que liga as cidades de Porto Velho (RO) e Humaitá (AM), no km70 a partir de Porto Velho (figura II.1).

A escolha foi feita baseando-se nas cartas em escala 1:1 000 000 (Radambrasil, 1978a e Sudam-IBGE, 1982), na carta de paisagens pedológicas da bacia Amazônica (Lucas, 1992), em tratamentos de imagens de satélite e no reconhecimento de campo.

2- Metodologia

2.1- Tratamento de imagens de satélite

As respostas espectrais da cobertura vegetal e da superfície do solo foram obtidas através de tratamento de imagens de satélite (Crósta, 1992). Foi feita uma composição colorida de imagens digitais TM das bandas 4 (vermelho), 5 (verde) e 7 (azul) datadas de agosto de 1991, que correspondem ao final da estação seca da região. Em seguida foi feita uma classificação supervisionada aplicando o método da distância mínima, que significa, resumidamente, atribuir cada *pixel* desconhecido à classe cuja média é mais próxima a ele. Para cada conjunto de *pixels* com diferentes refletâncias (baixa, média e alta), foram feitas amostragens sucessivas em classes. Finalmente, foi aplicada uma filtragem de suavização para retirar os *pixels* que, dentro das classes, não apresentam extensão. Uma vez realizados esses tratamentos, as imagens foram analisadas e foi possível escolher uma área representativa para o estudo detalhado.

Figura II.1- Localização da área de estudo

2.2- Topografia

Foi feito um levantamento topográfico detalhado de uma unidade do modelado representativa da região. Corresponde a um segmento do platô limitado por dois rios. Esse levantamento foi realizado ao lado da estrada (BR-319), entre o igarapé Preto e o rio Açuã, cujo percurso representa aproximadamente 6km. Também foi feito o levantamento detalhado da topografia na área escolhida (30ha), uma bacia elementar, que corresponde à nascente de um igarapé ligado a um dos rios. Para medir, foi usado um nível (Nikon automatic levels AX-1) para as medições de desnível e uma trena para as medições de distância.

2.3- Mapeamento das feições superficiais

Na área escolhida, foram descritos os aspectos da superfície do solo. Foram observadas principalmente feições ligadas à erosão laminar, depósito e atividade biológica. Esses dados fornecem subsídios para avaliar a dinâmica do escoamento superficial e contribuem para o conhecimento da evolução do modelado e dos solos. Esse trabalho foi realizado tomando como exemplo o levantamento proposto por Valentin (1989). Também foram delimitadas as áreas de floresta e savana.

2.4- Funcionamento hídrico

Um monitoramento do funcionamento hídrico foi feito em uma vertente. Durante 9 meses (novembro de 1997 a julho de 1998), foram gerados dados de pluviometria e piezometria por intermédio de uma estação de aquisição automática. Por isso, ao longo da vertente, foram instalados cinco piezômetros (P1 a P5, estando o ponto P1 localizado na depressão e o ponto P5 no platô). Os piezômetros atingiram 7,5m de profundidade. Também, a jusante, no ponto P1, na depressão, foi medida a altura da água utilizando-se uma escala métrica acima da superfície do solo.

3- Paisagem de contato floresta-savana e eixos de drenagem

As respostas espectrais obtidas através do tratamento de imagem de satélite evidenciaram os contrastes entre a cobertura vegetal (campo de savana ou floresta) bem como diferenças no interior de cada tipo. Na imagem colorida (figura II.2), aparecem áreas de baixa

Figura II.2- Composição colorida de imagens de satélite TM (bandas 4, 5 e 7 datadas de agosto de 1991) destacando as diferenças de reflectância entre o campo de savana (amarelo) e a floresta tropical úmida (azul). As zonas vermelhas são áreas de queimadas.

refletância em azul, que correspondem à floresta, e de alta refletância em amarelo, que correspondem aos campos de savana.

A imagem confirmou que a cobertura florestal é predominante. Ela apresenta variação de refletância, provavelmente correspondente às zonas mais úmidas e deprimidas, com alinhamento em forma de eixo de drenagem. Alguns eixos correspondem verdadeiramente a rios perenes outros porém estão secos, tratando-se provavelmente de drenagem intermitente. Nas áreas com alta refletância, que correspondem aos campos de savana, aparecem localmente áreas delimitadas de baixa refletância, provavelmente em consequência de umidade maior do solo e/ou de alguma característica superficial especial. A presença da vegetação aberta revela as características de superfície, o que é obviamente mais difícil na floresta. As áreas de baixa refletância nos campos de savana possuem formas de eixos de drenagem. Podem apresentar padrão dendrítico, paralelo ou, ainda, nenhum padrão bem definido. Essas áreas correspondem a depressões não fechadas. Elas parecem prolongar-se com os eixos de drenagem ou com as áreas deprimidas da floresta.

Assim, as imagens mostram que, em alguns locais, as depressões dos campos assumem o papel de cabeceiras de rede de drenagem. Os rios nascem no campo de savana, que está em posição de interflúvio, e drenam para a floresta, constituindo-se em afluentes das bacias dos rios Madeira ou Solimões. Resta salientar que existem também nascentes de rios na floresta.

Notadamente ao norte e a noroeste e secundariamente a leste da imagem (figura II.3), na borda do campo, observam-se zonas de baixa refletância de cor azul viva que, provavelmente, estão associadas à vegetação florestal baixa e aberta. O estudo da imagem também revelou áreas onde é provável que a cobertura de floresta esteja progredindo sobre o campo. Os limites do antigo campo são perceptíveis e, dentro dessas áreas, pequenas manchas amarelas aparecem como se fossem relíquias de savana. Essa observação parece ser coerente com a bibliografia referente à dinâmica atual de progressão natural da cobertura florestal (fora do contexto de desflorestamento antrópico).

A figura II.4 mostra a área escolhida em uma zona típica de contato floresta-savana. A nascente de um rio (zona de baixa refletância) localiza-se no campo e parece prolongar-se na floresta. Uma primeira observação do campo mostra que uma espessa camada de matéria

Figura II.3- Zoom da imagem da figura II.2. Norte do campo mostrando a provável expansão da floresta sobre as áreas de campo. Nota-se manchas amarelas indicando relíquias do antigo campo.

Figura II.4- Zoom da figura II.2. Local onde foi aberta a topossequência (no destaque) confirmando a representatividade da área escolhida na escala regional.

orgânica está presente na superfície do solo e é provavelmente responsável pela baixa refletância na imagem de satélite.

3.1- Aspectos da superfície do solo

O mapa feito na área de estudo detalhado (escala de uma bacia elementar) evidencia três tipos de feições de superfície (figura II.5):

- **sob vegetação de floresta:** na floresta, a cobertura vegetal cobre aproximadamente 90% da superfície. Exibe serapilheira abundante (2 a 5cm de espessura) que cobre toda a superfície do solo. Sob a serapilheira, os restos vegetais estão incorporados ou não à parte superior do horizonte A do solo, enquanto uma densa rede de raízes penetra no solo. A atividade da mesofauna é forte (presença de rejeitos e edifícios). Essa atividade pode ser verificada no horizonte de superfície do solo que apresenta porosidade aberta elevada, variando de fina a grosseira (sempre inferior a 1cm de diâmetro).

- **sob vegetação de savana não alagada:** esta vegetação cobre aproximadamente 40% da superfície. É composta essencialmente por vegetação herbácea reagrupada em tufos ligeiramente sobrelevados (até 10cm), onde se observam aspectos da mesofauna. Ocorrem zonas circulares (3-5m de diâmetro) de vegetação arbórea que podem ser relíquias de floresta.

Nos espaços entre a vegetação herbácea, aparece crosta de erosão com superfície lisa, cor bruna e sem porosidade aberta. A dessecação provoca o rachamento dessa crosta, que chega a se separar da superfície do solo, formando pequenas placas de espessura igual ou inferior a 5mm. Rejeitos da mesofauna (*micropeds* de cupins e formigas), bastante numerosos na superfície (50%), freqüentemente estão incorporados à crosta de erosão.

Os cupinzeiros em forma característica de cone com divertículos verticais são muito freqüentes (algumas vezes muito numerosos). Podem estar ativos ou abandonados. Na vertente, os cupinzeiros estão reagrupados na parte baixa, próximo à depressão. Os cupinzeiros ativos apresentam-se em forma de domo, de cor cinza, algumas vezes com zonas mais pretas, e podem atingir 0,5m de altura e 1,5m de diâmetro. Os cupinzeiros inativos apresentam-se sob a forma de montículos de aproximadamente 0,5m de altura e 1 a 3m de diâmetro.

- Floresta
- Savana arbórea associada com crostas de erosão
- Savana aberta associada com crostas de erosão
- Campos de savana com gramíneas agrupadas, crostas de erosão e cupins
- Campos de savana com gramíneas agrupadas, microtopografia, crostas de decantação e cupins
- Depressão com crostas de decantação e cobertura de gramínea densa
- Depressão com crostas de decantação e cobertura de gramínea baixa e densa
- Localização da topossequência

Figura II.5- Feições da superfície do solo na escala da bacia elementar. (Fonte: Projeto Dilat/Amazônia)

- **sob vegetação de savana temporariamente alagada:** nessa zona, a superfície do solo é plana e muito macia, com crostas pretas de dessecação constituídas de restos vegetais. O recobrimento herbáceo é fraco (30 a 40% da superfície). No limite com a zona não alagada pode apresentar uma linha descontínua de palmeiras. A característica mais visível desse limite é a presença de “microfalésias”, apresentando desnível inferior ou igual a 10cm. Nesse local, a superfície do solo revela marcas de forte erosão superficial.

4- Relevo

Nascente de um igarapé numa depressão do platô

O levantamento topográfico de 7km (figura II.6), realizado entre dois principais eixos de drenagem (Igarapé Preto no km 70 até o km 77, em direção ao rio Açuã), mostra que o desnível entre o platô e os rios é de 20m. As calhas dos rios estão encaixadas no platô. No platô encontram-se depressões pequenas (200m) e suaves, com desnível máximo de 2m. As depressões aparecem isoladas ou ligadas aos rios.

Finalmente, observou-se que a distribuição da vegetação é discordante da topografia. Assim sendo, as depressões não são formas associadas apenas à vegetação de savana.

5- Lençol freático

A figura II.7 mostra a relação entre as variações sazonais do lençol e a pluviosidade (Grimaldi *et al.*, 1999).

Arbitrariamente, o nível 0 indicado na figura corresponde ao nível topográfico do ponto P5 (no platô, a montante). O nível -2 corresponde ao nível topográfico no fundo da depressão. Todos os níveis estão indicados tendo como referência o nível 0 em P5.

O primeiro período (24/09 a 22/10) corresponde a um período seco. O lençol apresenta variação fraca, entre os níveis de -4,8 e -5,5m em P5 e -5,5 e -5,8 em P1. Conseqüentemente, com as chuvas do final de outubro e do início de novembro (particularmente no período de 05/11 a 20/11), a subida do lençol é rápida. O lençol sobe para o nível de -2m em P5 e alcança a superfície da depressão em P1. A partir do momento em que ocorrem chuvas fortes no final de novembro e início de dezembro, o lençol novamente sobe e permanece praticamente constante durante toda a estação. Nessas condições, o lençol está entre os níveis -1 e -1,5m em

Figura II.6- Levantamento topográfico mostrando o entalhamento dos rios e a presença de depressões na superfície do platô.

Figura II.7- Dinâmica do lençol freático na vertente. Localização dos piezômetros na figura III.3 (Fonte: Projeto Dilat/Amazônia).

P5, enquanto em P1, o nível da água está 0,5m acima do nível da superfície. Nessa estação, o lençol em P5 está alimentando P1, e a resposta frente às fortes chuvas é rápida (nessa situação, o lençol de P5 sobe a 0,5m). Com a diminuição das chuvas, gradativamente os níveis de lençol começam a baixar. No início de um novo período seco (junho e julho), todos os níveis de lençol estão abaixo do nível da depressão e esta torna-se seca. Observando o gráfico, pode-se perceber que a subida do lençol em toda a vertente é imediata à precipitação e que a alimentação do lençol na depressão ocorre seguindo a topografia (de P5 para P1). O esvaziamento da depressão por escoamento superficial é limitado pela presença de uma barragem natural (elevação topográfica) dentro da floresta. A ligação com o igarapé Juan se faz pela subsuperfície ou quando a água da depressão transborda e ultrapassa a barragem natural.

6- Conclusão

Na região considerada, a cobertura florestal é predominante, embora a imagem de satélite mostre que o campo de savana ocupa uma superfície importante. Especialmente no campo há grande heterogeneidade de refletância, provavelmente ligada a diferenças de umidade.

Os eixos de drenagem aparecem nitidamente nas imagens. No campo, as nascentes dos rios estão localizadas no platô, na forma de pequenas depressões pouco profundas, abertas e conectadas ou não aos rios principais que se localizam na floresta.

O estudo do funcionamento hídrico mostra que, durante a estação seca, o lençol está entre 4,8 e 5,5m de profundidade e que sobe rapidamente após as primeiras chuvas fortes, ficando a 1m de profundidade a montante e 0,5m acima da superfície na depressão. O lençol alimenta a submersão da depressão bem como o rio conectado a ela através de escoamento subsuperficial. Apenas quando o nível de água rompe uma barreira topográfica natural e transborda é que se inicia a alimentação por drenagem superficial.

O mapeamento detalhado dos limites floresta-savana mostra que eles são discordantes da topografia.

CAPÍTULO III

ORGANIZAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO.

DE MONTANTE (SOLO VERMELHO SOBRE ARGILA MANCHADA) A JUSANTE (SOLO BRANCO HIDROMÓRFICO)

1- Introdução

Na área selecionada (figuras II.1 e II.4) e anteriormente apresentada (capítulo II), foi realizado um estudo detalhado da cobertura pedológica com o objetivo de identificar os principais horizontes do solo, o material parental e também um mapeamento para caracterizar a distribuição desses horizontes na escala de uma bacia elementar típica.

Este capítulo fornecerá a base do conhecimento macroscópico do solo, indispensável para interpretar dados microscópicos e formular hipóteses sobre sua gênese e evolução.

2- Metodologia

2.1- Estudo de dois perfis até o material parental

Para a identificação e descrição dos horizontes de solo e do material parental foram feitas tradagens (figura III.1) e, depois, foi aberta uma trincheira (figura III.2):

- no platô, foi aberta uma trincheira de 7m de profundidade e foram feitas tradagens através de um tubo de PVC (por causa da presença do lençol) até 8,75m;

- na depressão, escavou-se uma trincheira até 3m de profundidade e foi feita tradagem até 7m de profundidade.

2.2- Estudo de uma trincheira na escala da bacia (90m de extensão)

O estudo detalhado da cobertura do solo foi feito seguindo o conceito da “análise estrutural” proposto inicialmente por Boulet *et al.* (1982a, 1982b e 1982c). Resumidamente, esta proposta consiste em estudar detalhadamente a organização sucessiva dos horizontes e volumes numa topossequência localizada entre o topo do interflúvio e o talvegue, seguindo a linha de maior declive. Esse estudo pode ser feito por meio de sondagens em pontos principais da vertente e com numerosos pontos intermediários ou através da abertura de uma trincheira. O reconhecimento da geometria dos volumes e horizontes (continuidade/descontinuidade,

Figura III.1- Perfis verticais evidenciando os contrastes entre os horizontes de montante, do meio da vertente e de jusante da topossequência.

Figura III.2- Organização da cobertura pedológica ao longo da topossequência.

concordância/discordância, formas específicas como, por exemplo, em bisel e bolsa) serve de base para identificar a gênese e as transformações dos solos em uma unidade de paisagem.

No caso estudado, a abordagem foi melhorada graças a abertura de uma trincheira de aproximadamente 2,50m de profundidade e 90m de extensão entre os dois pontos extremos da vertente, o que possibilitou, assim, fazer uma descrição verdadeiramente contínua da topossequência. Depois de aberta, as paredes da trincheira foram cuidadosamente limpas com uma faca para ressaltar as diferenciações. Em seguida, a trincheira foi fotografada em segmentos (de aproximadamente 2m) com polaróides. Sobre cada foto foi fixado um papel vegetal e, à medida que ia sendo feita a descrição, os volumes e horizontes dos solos foram desenhados no campo. Ao final da descrição, a montagem dos desenhos realizados a partir das polaróides forneceu um esquema da organização dos horizontes ao longo da topossequência (figura III.2). Além das polaróides, também foram feitas fotografias coloridas da trincheira. As fotos foram escaneadas e montadas (Adobe Photoshop, 1995 e Adobe Illustrator, 1994). A partir dessa montagem e do desenho do campo, foi desenhado um corte sintético da organização do solo.

Embora a descrição tenha sido feita de forma contínua e lateralmente, foram escolhidos na topossequência 11 perfis verticais, permitindo uma amostragem representativa de todos os horizontes. Os perfis e suas respectivas localizações são os seguintes (de montante para jusante): perfil I - 3m, perfil H-I - 13m, perfil H - 28m, perfil G - 43m, perfil F - 55m, perfil E - 62m, perfil D - 67m-, perfil CD - 72m, perfil C - 81m, perfil B - 87m e perfil A - 90m.

2.3- Mapeamento dos principais horizontes na bacia elementar

Com o objetivo de saber se os horizontes encontrados na topossequência estão também presentes na escala da bacia elementar e ocupando a mesma posição topográfica, foi realizado o mapeamento dessa bacia a partir de 19 topossequências numa superfície de 30ha.

Esse mapeamento foi feito com tradagens, em topossequências dispostas de maneira radial a partir do centro da depressão, para localizar o aparecimento/desaparecimento dos principais horizontes e, finalmente, para definir espacialmente seus limites (figuras III.3 e III.4).

Curvas de isodiferenciação: da montante para a jusante

Montante: ① Desaparecimento do B vermelho (2,5YR)

② Aparecimento de um B heterogêneo amarelo (10YR)/bruno avermelhado (7,5YR)

③ Aparecimento de um B heterogêneo amarelo esverdeado (2,5Y)/bruno avermelhado

Transição: ④ Aparecimento de uma fase branca contínua no topo da argila manchada

⑤ Aparecimento de retículos endurecidos na argila manchada (nódulos vermelhos escuros)

Jusante: ⑥ Aparecimento do horizonte cinza claro sob horizontes cinza escuros ricos em matéria orgânica

⑦ Aparecimento do horizonte orgânico preto

⑧ Desaparecimento dos retículos vermelhos da argila manchada (<15%)

⑨ Bolsa vermelha da jusante

~ Equidistância das curvas de nível- 0,5m

— Topossequência (trincheira)

° Piezômetro

Figura III.3- Curvas de isodiferenciação indicando o aparecimento e o desaparecimento dos horizontes na escala da bacia elementar. (Fonte: Dilat/Amazônia)

- ① **Cambissolos**
 - com horizontes subsuperficiais vermelhos sobre argila manchada
 - com horizonte subsuperficial Bruno vivo sobre argila manchada
- ② **Glei Pouco Húmico Álico**
 - com horizonte subsuperficial esverdeado
 - com horizonte subsuperficial esverdeado e horizontes brancos
 - horizontes branco inferior e superior associados com argila manchada
- ③ **Glei Húmico Álico**
 - com horizontes ricos em matéria orgânica, horizontes brancos e argila manchada
 - com horizontes ricos em matéria orgânica e horizonte branco
 - bolsa vermelha
- Topossequência

Figura III.4- Distribuição dos solos na escala da bacia elementar (Fonte: Dilat/Amazônia).

3- Apresentação dos perfis verticais típicos do platô e da depressão

As investigações em dois perfis, um no platô e outro na depressão, mostram (figura III.1):

- o perfil no platô (montante), sob floresta, até 875cm, corresponde a uma seqüência vertical de horizontes superiores, principalmente vermelhos, de argila manchada e horizontes inferiores, constituídos principalmente pelo material parental;

- o perfil na depressão (jusante), sob vegetação de savana, até 700cm, corresponde a uma seqüência vertical de horizontes superiores ricos em matéria orgânica, de horizonte branco e de horizontes inferiores, constituídos principalmente pelo material parental.

3.1- Perfil I no platô: Horizontes superiores predominantemente vermelhos sobre horizontes de argila manchada

As observações morfológicas evidenciaram de cima para baixo dois conjuntos de horizontes superiores (superficiais húmiferos e subsuperficiais vermelhos) que repousam sobre os horizontes de argila manchada, sendo que estes estão diretamente em contato com um conjunto inferior que corresponde ao material parental.

Horizontes superiores

0-20cm- **Horizonte húmifero bruno.** Horizonte bruno-acinzentado muito escuro 10YR 3,5/2 com numerosas manchas de um bruno vivo 7,5YR 4/6. Argilo-orgânico. Inúmeras raízes (mm a cm). Estrutura poliédrica arredondada nítida (1 a 4cm). Porosidade interagregados e tubular bastante desenvolvida.

20-30cm- **Horizonte húmifero bruno-vermelho-amarelado.** Horizonte passando de bruno-escuro 7,5YR 4/4 no topo para vermelho-amarelado 5YR 4/6 na base. Argiloso. Estrutura poliédrica angulosa nítida (1 a 2cm). Porosidade interagregados e tubular (mm) bem desenvolvida.

30-60cm- **Horizonte subsuperficial vermelho.** Fundo vermelho 2,5YR 5/6 e abundantes (20%) nódulos de um vermelho mais escuro 10R 4/6 (2 a 3 mm) que podem ser quebrados com as unhas. Os nódulos estão concentrados, em forma de linha, no topo do horizonte. Comporta alguns raros volumes irregulares vermelho 10R 5,5/8 e alguns preenchimentos biológicos mais amarelados a amarelo-brunado 10YR 6/7. Argiloso. Estrutura poliédrica angulosa nítida (2 a 3cm). Porosidade interagregados e tubular (1mm) fraca.

Localmente a cor de fundo pode tornar-se mais clara, vermelho-amarelado 5YR 5/8, com retículos vermelho 2,5YR 4/8. Nesse caso, a estrutura é poliédrica arredondada (1cm) e a coesão é média (fresco). Certos

retículos vermelhos são ligeiramente endurecidos e, quando isto ocorre, eles são mais escuros. Porosidade interagregados e tubular bem desenvolvida. Esse horizonte é localmente substituído ou sobreposto por um **horizonte vermelho-amarelado**, homogêneo, vermelho-amarelado 5YR 5/6. Contém alguns pequenos nódulos vermelho-escuros (2 a 3mm) concentrados à mesma profundidade e idênticos aos encontrados no horizonte vermelho. A estrutura é poliédrica angulosa nítida (2 a 3cm). A porosidade interagregados e tubular (2mm) é fracamente desenvolvida.

Horizontes de argila manchada

60-110cm- **Horizonte de transição entre horizontes vermelhos e de argila manchada.** Associação de volumes de cores vermelho 2,5YR 4/8 e bruno-amarelado 10YR 6/4. Os volumes vermelhos podem atingir, localmente, até 80%. Nódulos vermelho 10R 4/6, localizados no topo do horizonte. Argiloso. Estrutura poliédrica. Porosidade tubular (mm) irregularmente distribuída, de fraca a bem desenvolvida. Numerosos preenchimentos biológicos. Localmente, presença de cavidade (5cm) com paredes revestidas de argila 10YR 4,5/2 (bruno-escuro) ou 2,5YR 4/8 (vermelho).

110-130cm- **Horizonte de argila manchada com volumes vermelhos endurecidos.** Esse horizonte comporta duas fases que se intercalam e possuem orientação preferencial vertical:

- Uma fase (60%) cinza-claro 10YR 7/2 com pequenos (mm) volumes vermelhos difusos. Estrutura poliédrica (2-3cm) e prismática fina, esta observada quando o solo estava seco. Porosidade interagregados e tubular fraca (inferior a 1mm). Coesão forte (seco). Presença de alguns tubos (5 a 10mm) de orientação vertical com paredes recobertas de argila cinza e associados com raízes (mm) apodrecidas.

- A segunda fase (40%) é composta por 30% de volumes vermelho 10R 4/6, alongados verticalmente (5 a 30mm), geralmente incluindo volumes mais escuros e mais endurecidos, e por 10% de volumes bruno-amarelado 10YR 5/6 situados nas bordas e/ou como filetes no interior dos volumes vermelhos. Estrutura poliédrica (2-3cm). Porosidade muito fraca. Argilosa.

130-170cm- **Horizonte de argila manchada com proporção de vermelho maior que de cinza.** Horizonte comportando vermelho-escuro 10R 3/3 (50%), amarelo-avermelhado 7,5YR 6/8 (10%) e cinza-claro 10YR 7/1 (40%). Os volumes vermelho-escuros são bordejados ou penetrados por filetes brunos ou amarelo-avermelhados. Estrutura, textura, porosidade e morfologia são idênticas ao horizonte de cima.

170-280cm. **Horizonte de argila manchada com proporção de vermelho superior à do cinza.** Comporta uma fase (60%) constituída de volumes vermelho-escuro 10R 3/6 (50%), com volumes bruno vivo 7,5YR 5/8 (10%) nas bordas. A fase cinza-claro é 10YR 7,5/1. Estrutura, textura, porosidade e morfologia são idênticas aos horizontes superiores.

Horizontes inferiores

280-440cm. **Horizonte de transição entre argila manchada vermelho-amarelada e horizontes de alteração.** Horizonte com a mesma morfologia da argila manchada porém com textura que passa progressivamente a areno-argilosa. Comporta predominantemente volumes vermelho-amarelado 5YR 5/8 (50%) e manchas amarelo-avermelhado 7,5YR 5/8 (35%) que não podem ser separadas. A fase cinza-claro 10YR 7/1 (15%) pode conter impregnações amarelo-avermelhadas ou vermelho-amareladas. Observam-se, não somente grãos de quartzo nos horizontes acima descritos mas, também, outros grãos alteráveis que não foram determinados no campo. Porosidade tubular (até 2mm) fraca com raízes mortas. Localmente, presença de um canal biológico (tubo com 3 cm de diâmetro). Maciço.

440-590cm. **Horizonte areno-argiloso bruno vivo.** Horizonte homogêneo bruno vivo 7,5YR 5/8. Desaparece progressivamente a morfologia da argila manchada. Maciço. Porosidade fina (1mm).

590-720cm. **Horizonte areno-siltoso bruno-amarelado.** Homogêneo, de cor bruno amarelado 10YR 5/8 com raras manchas amarelas 10YR 7/8.

720-760cm. **Horizonte areno-siltoso bruno-amarelado compacto.** Similar ao horizonte anterior porém apresentando-se mais compacto. Fundo bruno-amarelado 10YR 5/8 com raras manchas vermelho-amarelado 5YR 5/6.

760-790cm. **Horizonte de argila pesada bruno-amarelado-escuro compacto.** Horizonte pouco espesso, bruno-amarelado a bruno-amarelado-escuro 10YR 4,5/6. Possui estrutura paralela com finos níveis vermelho-amarelado 5YR 5/6 entre as camadas.

790-830cm. **Horizonte argiloso vermelho.** Horizonte vermelho 2,5YR 4/8. Possui estrutura laminar horizontal, com fracos níveis amarelo-brunado 10YR 6/8 entre as camadas.

830-875cm. **Horizonte areno-siltoso vermelho-amarelado.** Horizonte predominantemente vermelho-amarelado 5YR 5/6, com níveis paralelos vermelho-amarelado 10YR 5/8 e 5YR 5/6.

Esse perfil de montante apresenta na sua parte superior uma sucessão vertical de horizontes pouco espessos, de coloração bruna e avermelhada. No topo do perfil, dois horizontes humíferos estão presentes e são diferenciados pela cor (em relação com o teor de matéria orgânica mais abundante em superfície). Abaixo desses dois horizontes, encontram-se os horizontes vermelho e vermelho-amarelado pouco espessos (30-60cm de profundidade) e

argilosos. O horizonte vermelho é localmente substituído (sob forma de uma ampolheta delgada no centro, aberta no topo e na base), ou sobreposto pelo horizonte vermelho-amarelado. No topo desses dois horizontes, ocorre um alinhamento de nódulos ferruginosos (mm). Na base desses, em contato com a argila manchada, podem ocorrer manchas mais claras de cor amarelada. A transição entre os horizontes avermelhados e de argila manchada é feita por um horizonte com fundo bruno-amarelado com numerosos retículos vermelhos.

Os horizontes de argila manchada correspondem a um conjunto muito espesso (60-280cm de profundidade). O intenso mosqueamento é formado pela associação de volumes vermelhos, cinza e bruno-amarelados. Os volumes bruno-amarelados quase sempre estão situados nas bordas dos volumes vermelhos. A fase cinza é pontuada por volumes vermelhos e bruno-amarelados.

De baixo para cima, a transição entre o conjunto de argila manchada e os horizontes superiores vermelho e vermelho-amarelado é caracterizada, nitidamente, pela diminuição progressiva do mosqueamento. Observa-se a diminuição do tamanho e da proporção das manchas vermelhas e cinza, enquanto a cor e o limite entre as manchas são menos nítidos. Essa morfologia pode ser interpretada como a consequência da transformação progressiva da argila manchada em um horizonte vermelho ou vermelho-amarelado.

A passagem da argila manchada para o material parental também é progressiva. Um horizonte de transição (280-440cm de profundidade) revela, de cima para baixo, o desaparecimento do padrão repetitivo da argila manchada, acompanhado porém de mudanças texturais, de estrutura e pelo reconhecimento de minerais alteráveis. Abaixo do horizonte de transição, a sucessão de horizontes apresenta coloração mais homogênea (amarelada ou avermelhada) e quase sempre com textura mais grosseira (fração silte e areia fina) do que aquela dos horizontes do solo. Por exemplo, os horizontes onde se encontra o lençol (590-720cm de profundidade) possuem cor amarela mais viva e textura mais arenosa. A exceção é o horizonte que constitui o piso do lençol (760-790cm de profundidade), que é formado por uma argila compacta. Acima e abaixo do horizonte de argila compacta, o material apresenta-se com estrutura laminar e com friabilidade. Trata-se provavelmente de um arenito alterado.

O perfil foi descrito no mês de setembro (1998). Nessa época do ano, o solo encontrava-se seco até 440cm de profundidade. A partir daí, observou-se:

- até 590cm, um horizonte úmido;
- de 590 até 720cm, a presença de um lençol;
- de 720 até 790cm, um horizonte correspondendo ao piso do lençol;
- a partir de 790cm, um outro lençol com água sob pressão (apareceu quando foi furado o piso do primeiro lençol), que se estabilizou a 620cm.

3.2- Perfil A na depressão: Conjunto de horizontes ricos em matéria orgânica sobre horizonte branco

As observações morfológicas evidenciaram dois conjuntos de horizontes de solo sobre o material parental. De cima para baixo, encontram-se os horizontes superiores ricos em matéria orgânica (0 a 120cm de profundidade) sobre um horizonte espesso e homogêneo branco (cinza-claro a branco entre 120 e 300cm de profundidade). Em conjunto, esses horizontes somam 3m de espessura.

Horizontes ricos em matéria orgânica

0-40 cm- **Horizonte preto.** Horizonte homogêneo, argilo-orgânico, preto 10YR 2/1. Estrutura poliédrica (3 cm) com subestrutura grumosa (0,5cm). Porosidade tubular fina a média. Presença abundante de raízes (mm) que estão localizadas principalmente entre 0 e 20 cm de profundidade.

40-70 cm. **Horizonte cinza muito escuro.** Horizonte cinza muito escuro 10YR 3/1 com numerosas pontuações brancas. Argiloso. Estrutura poliédrica angulosa (2 a 3cm) pouco nítida. Porosidade tubular fina e grosseira (mm) medianamente desenvolvida, com raras manchas bruno-amarelado-escuro 10YR 4/6 e fissuras verticais. Rara presença de raízes.

70-120 cm- **Horizonte acinzentado-escuro.** Horizonte com fundo bruno-acinzentado muito escuro 10YR 3,5/1 contendo abundantes volumes (mm) bruno-amarelado 10YR 5/8 e alguns vermelho 2,5YR 4/6. Argiloso. Presença de manchas quase brancas. Estrutura prismática larga nítida (40 a 60cm), com argila lisa e brilhante nas faces dos prismas. Porosidade tubular grosseira (1 a 2mm) pouco desenvolvida.

Horizonte cinza-claro

120-300cm- **Horizonte cinza-claro.** Fundo (90%) cinza-claro 10YR 7/1, comportando volumes milimétricos (10%) vermelho 2,5YR 4/6 associados ou não a volumes difusos bruno-amarelado 10YR 6/6.

Argiloso a argilo-siltoso. Estrutura maciça. Porosidade tubular fraca (mm), com paredes frequentemente bruno-amarelado 7,5YR 5/6.

Horizontes inferiores

300-440cm. **Horizonte silto-argiloso cinza e amarelo.** Horizonte comportando duas fases. Uma fase predominante (60%) variando de cinza 5Y 6/1 a N 6/0 associado com outra fase (40%) amarelo-brunado vivo 10YR 6/8. Porém, localmente, a fase amarela pode diminuir e representar apenas 10% ou menos do horizonte. Estrutura laminar horizontal que facilmente se rompe com as mãos. Porosidade biológica muito fina (inferior a 1mm).

440-460cm. **Horizonte arenoso amarelo.** Horizonte com textura de areia muito fina, com estrutura laminar horizontal e cor amarelo-oliva 2,5Y 6/8, comportando, entre as camadas, níveis amarelos ligeiramente mais claro. Presença de manchas cinza 5Y 6/1 de até 5mm. Raros poros biológicos (inferior a 2mm).

460-520cm. **Horizonte areno-argiloso vermelho.** Horizonte vermelho 2,5YR 4/6, com estrutura laminar horizontal. Entre as camadas, finos níveis de cor vermelha mais clara e de cor preta (provavelmente matéria orgânica).

520-540cm. **Horizonte de argila pesada bruno-avermelhado.** Horizonte de fundo bruno-avermelhado 2,5YR 5/4 com manchas bruno-amarelado 10YR 6/8. Fortemente compacto.

540-600cm. **Horizonte areno-siltoso bruno-avermelhado e bruno-oliva.** Horizonte com fundo (60%) bruno-avermelhado 2,5YR 4/4 impregnado de manchas bruno-oliva-claro 2,5Y 5/6 (40%).

600-700cm. **Horizonte areno-siltoso vermelho e amarelo.** Horizonte comportando níveis de diferentes cores. No topo, predomina a cor amarelo-brunada 10YR 6/8 (80%) com níveis finos vermelho 2,5YR 4/6 (20%). Aproximadamente a 670cm de profundidade, a cor predominante é o vermelho 10R 4/6 (80%) associado com amarelo-brunado 10YR 6/8 (20%).

Os horizontes superiores são ricos em matéria orgânica e fortemente argilosos. O horizonte de superfície (0 a 40cm) é preto e conserva restos vegetais. Abaixo dele, dois outros horizontes (40 a 70 e 70 a 120cm), ainda escuros, são provavelmente menos ricos em matéria orgânica.

Abaixo dos horizontes orgânicos encontra-se um horizonte espesso (120-300cm de profundidade) que vai do cinza-claro ao branco. Esse horizonte é homogêneo, argiloso e

comporta raros e pequenos volumes vermelhos e amarelos. Quando seco, evidencia uma estrutura prismática muito grande (atinge 50cm), que é imperceptível quando úmido.

A passagem vertical, de cima para baixo até o material parental, é feita através de um horizonte de transição que apresenta, ainda, predomínio de cinza, porém com aumento importante de volumes amarelos, provavelmente herdados do material parental. A textura torna-se mais grosseira (silto-argilosa) e a estrutura do sedimento é reconhecida através de níveis paralelos. Abaixo, o material parental é bastante diferenciado. Inicialmente, há presença de um horizonte amarelo, arenoso e pouco espesso (440-460cm), seguido de um horizonte também pouco espesso (460-520cm), vermelho-escuro e areno-argiloso. Em seguida, ocorre um horizonte bruno-avermelhado, de argila pesada e compacto. Finalmente, na base, os horizontes variam de areno-siltoso a argilo-arenoso e comportam uma associação de níveis horizontais de cores amarelas e vermelhas, com proporções variáveis.

3.3- Síntese

Foram estudados dois perfis, um situado no platô e outro na depressão, com desnível de 2m.

Nos dois casos, foram identificados três conjuntos de horizontes, sempre com transições muito progressivas. No platô, sobressai um conjunto superior argiloso de cor vermelha acima de um conjunto mosqueado, muito espesso, também argiloso, com manchas predominantemente vermelhas e secundariamente cinza. Essa argila manchada está acima de um conjunto basal constituído do que parece ser um arenito alterado com o papel de material parental da argila manchada. Este último possui feições sedimentares, e aparecem variações estratigráficas como, por exemplo, a presença de níveis muito argilosos intercalados com os níveis de arenito alterado.

Na depressão, sobressaem horizontes superiores pretos orgânicos espessos que contrastam com horizontes localizados abaixo, que vão do cinza-claro ao branco, com raras manchas vermelhas. Esse conjunto está acima de um conjunto basal muito semelhante àquele do perfil de montante.

4- Apresentação das diferenciações laterais entre os perfis do platô e da depressão

A trincheira (figura III.2) está localizada entre os dois perfis (I e A), entre o platô e a parte central da depressão. A vertente correspondente apresenta declive suave, de forma ligeiramente convexo-côncava, com desnível de aproximadamente 2m.

Na escala da vertente, três grandes partes morfológicas foram identificadas. A distribuição ocorre da seguinte forma, de montante para jusante:

1- Conjunto do platô ou de montante

0 a 30m – conjunto de horizontes vermelhos sobre argila manchada (representado pelo perfil I);

2- Conjunto da vertente ou de transição

30 a 47,5m – conjunto de horizonte bruno vivo sobre argila manchada (representado pelo perfil G);

47,5 a 60m – conjunto de horizontes esverdeados sobre argila manchada (representado pelo perfil F);

3- Conjunto de jusante ou da depressão

60 a 84m – conjunto de horizontes brancos associados a um horizonte de argila manchada (representado pelo perfil C);

84 a 90m- um conjunto composto de um horizonte branco sem horizonte de argila manchada no centro da depressão (representado pelo perfil A).

Serão descritas as variações laterais e, depois, serão apresentadas as interpretações iniciais sobre a evolução da cobertura do solo.

A descrição da topossequência será feita de montante (perfil do platô com horizontes superiores vermelhos) para a jusante (perfil da depressão com horizontes brancos), e da base para o topo (dos horizontes de argila manchada para os horizontes subsuperficiais e superficiais).

4.1- Descrição

Argila manchada:

Horizontes que possuem um padrão mosqueado repetitivo. A montante, desde a base da trincheira (280cm de profundidade) até o topo da argila manchada (90cm de profundidade), a fase predominante, que corresponde a aproximadamente 70% do total, é composta por volumes vermelhos e volumes brunos. A fase cinza, menos expressiva, corresponde a aproximadamente 30%. Entretanto, observa-se que, no topo (horizonte de transição com os horizontes superiores), a fase cinza é ausente.

Lateralmente, em direção a jusante, ocorre o aumento de proporção e o clareamento da fase cinza para cinza-claro, que se torna finalmente branco. O horizonte que constitui o topo da argila manchada é bruscamente interrompido e desaparece a 25m. A interrupção coincide com o aparecimento de um horizonte ocre, em forma de funil (largo de 1,5m no topo e estreito na base). A partir desse ponto (25m) até 42,5m (perfil G), o horizonte que, a montante, estava abaixo do horizonte do topo da argila manchada torna-se o horizonte de contato com o horizonte superior bruno vivo. No horizonte de contato predominam os volumes vermelhos e brunos, porém associados a uma fase cinza. O horizonte de contato desaparece a 52,5m em forma de cunha e sob um horizonte denominado de argila manchada endurecida, porém com abundância de nódulos centimétricos vermelho-escuros. Ele é sobreposto pelo horizonte esverdeado (perfil F) e depois pelo horizonte branco na depressão (perfil C). Inicialmente, a 50 m de distância, o horizonte de argila manchada endurecida apresenta uma abundância de volumes vermelhos endurecidos com uma auréola difusa amarela que contrastam nitidamente dos volumes cinza. Em direção à depressão (até o perfil C), os volumes vermelhos tornam-se menos abundantes enquanto os volumes cinza tornam-se mais expressivos. O horizonte de argila manchada endurecida desaparece perto do centro da depressão (84m), em forma de língua e com espessura bastante delgada.

De 60 a 90m, o limite superior entre os horizontes de argila manchada e os horizontes vermelhos, bruno ou esverdeado surge sempre na mesma profundidade, paralelamente à superfície. A partir de 60m (perfil E), o topo da argila manchada está a uma profundidade maior (110cm); concomitante com o desenvolvimento do horizonte superior branco. Aprofunda-se ainda mais na depressão (150cm, no perfil C), onde este último horizonte de topo é localmente interrompido pelos horizontes superiores e, depois, desaparece.

No perfil I de montante, na base da trincheira, observa-se um horizonte de argila manchada com proporção maior da fase cinza. Ainda a montante, esse horizonte pode

interromper localmente o horizonte de cima, predominantemente vermelho e bruno. Lateralmente para a jusante, uma primeira interrupção ocorre a 27,5m (perfil H). Dois horizontes, com 70% de volume cinza-claro, estão sobrepostos e apresentam uma forma de bolsa (limite horizontal no topo e arredondado na base). Esses dois horizontes fazem contato com a base do horizonte ocre, desenvolvido no topo da argila manchada. A segunda interrupção a 42m (perfil G) caracteriza-se pela presença de um horizonte em forma de cunha, que apresenta idêntica proporção de fase cinza-claro à encontrada na bolsa.

Na base da trincheira, a partir de 55m (perfil F), a argila manchada é substituída por um horizonte branco, denominado de branco inferior. A substituição ocorre em forma de cunha aberta para jusante. Nessa parte da vertente, surge também um segundo horizonte branco, denominado de branco superior, com a mesma geometria do branco inferior. O aparecimento desses dois horizontes brancos está associado ao desaparecimento da argila manchada (horizonte de argila manchada endurecida em forma de língua). O horizonte branco superior inicia-se muito delgado e desenvolve-se na base do horizonte esverdeado. Inicialmente aparecem volumes brancos nas fissuras do horizonte esverdeado, isolando volumes vermelhos e nódulos que permanecem como se fossem relíquias dos mesmos volumes presentes no horizonte esverdeado. Progressivamente, em direção a jusante, o horizonte branco superior torna-se mais espesso e seu limite superior torna-se paralelo aos horizontes orgânicos. Ao contrário, na base, parece que ele está invadindo o horizonte de argila manchada endurecida, preservando os nódulos com dureza variável. Ambos os horizontes brancos, superior e inferior, tornam-se cada vez mais espessos à medida que a argila manchada torna-se mais delgada. Os dois horizontes brancos se juntam no ponto em que a argila manchada endurecida termina em forma de língua, na parte central da depressão, e aparece um horizonte branco único, bastante espesso e sobreposto por horizontes cinza-escuro a preto, ricos em matéria orgânica.

Observa-se que, na zona de interrupção da argila manchada em forma de língua, as transições com os horizontes brancos são progressivas, permanecendo principalmente volumes centimétricos de argila manchada endurecida.

Horizontes subsuperficiais:

A montante, dois horizontes avermelhados são encontrados sobre a argila manchada. O horizonte vermelho é localmente substituído e/ou sobreposto por um horizonte vermelho-amarelado. O horizonte vermelho-amarelado aparece inicialmente sob a forma de uma ampulheta (aberta nas bases e estreita no centro) que pode mesmo prolongar-se nos horizontes de argila manchada. Lateralmente, o horizonte vermelho-amarelado substitui completamente o horizonte vermelho que aparece apenas como volumes descontínuos dentro do vermelho-amarelado. No topo do horizonte vermelho e prolongando-se no horizonte vermelho-amarelado, há um alinhamento de nódulos ferruginosos milimétricos. A partir de 30m na vertente, o horizonte vermelho-amarelado torna-se amarelo-avermelhado a bruno-amarelado com volumes mais vermelhos (1 a 5cm) isolados. As transições são suaves e o contraste é médio. Porém, lateralmente, o contraste acentua-se com o desenvolvimento de um horizonte esverdeado, em forma de cunha, na base do horizonte bruno vivo. Este último prolonga-se até 60m quando, então, é substituído pelo horizonte branco superior. Esse horizonte é predominantemente constituído de volumes esverdeados (10 a 15cm de largura) e também de volumes vermelhos e bruno vivo similares aos horizontes de montante. Entre os volumes esverdeados, existem fissuras verticais, com paredes de cor bruno-amarelado-claro ou recobertas de matéria orgânica.

Horizontes superficiais:

Os horizontes húmiferos, entre 0 e 52m, de montante para jusante, são delgados (30cm), similares na cor e com uma associação organomineral íntima. A partir de 52 até 60m, o horizonte húmífero torna-se um pouco mais vivo com numerosos volumes cinza-escuro. A partir de 60m até a parte central da depressão, observa-se o progressivo aumento da espessura dos horizontes húmiferos (atingindo de 60 a 120cm) que se tornam horizontes muito escuros, então, provavelmente, com forte conteúdo de matéria orgânica. À medida que também avança para a depressão, há diminuição das manchas vermelhas (abundantes até 72m na borda da depressão) e o aparecimento de pontuações brancas.

Na parte central da depressão, no contato entre os horizontes orgânicos e o horizonte branco único e espesso, aparece uma bolsa, com aproximadamente 5m de extensão e 40cm de espessura, com transições progressivas nas bordas. É composta de um fundo vermelho e de volumes bruno-acinzentados associados aos poros. O contraste com o horizonte branco e os

horizontes orgânicos é forte, com transições progressivas. Trata-se também de um horizonte diferente dos outros horizontes vermelhos descritos. Assim, a presença deste horizonte não exibe uma relação clara com os outros horizontes da topossequência.

4.2- Hipóteses sobre a diferenciação e a evolução da cobertura do solo baseadas nos dados macromorfológicos

A passagem lateral dos horizontes humíferos (platô e vertente) para os horizontes orgânicos (depressão) parece determinada pelo modelado e pela hidromorfia. No platô e na vertente, os horizontes humíferos superficiais são pouco espessos. Para jusante, a partir do início da depressão, aumentam progressivamente em espessura, parecem mais ricos em matéria orgânica, com muitos restos orgânicos preservados e tornam-se também mais diferenciados dos horizontes subjacentes. Perdem as abundantes manchas de cor bruno viva ou vermelhas e adquirem pontuações brancas e fissuras verticais. Pode-se perguntar se a concentração da matéria orgânica é o resultado de um transporte e deposição ao longo da vertente ou de uma acumulação *in situ*. Nesse caso, pode-se perguntar também qual cobertura vegetal deu origem à concentração da matéria orgânica: uma cobertura florestal ou uma cobertura composta predominantemente de gramíneas com cobertura de biomassa fraca como atualmente.

A passagem lateral dos horizontes subsuperficiais vermelho-bruno-esverdeados ocorre de maneira progressiva, sem variação de estrutura ou textura. Corresponde unicamente à mudança de cor e mais precisamente à diminuição da pigmentação vermelha. A montante, a presença de um horizonte vermelho-amarelado progressivamente substituindo (em forma de ampulheta) e sobrepondo-se ao horizonte vermelho (que termina mais adiante como relíquias), sugere a substituição do segundo, a partir da base e do topo, pelo primeiro. Esse exemplo reflete a tendência, que parece geral na sequência, da substituição dos horizontes ou volumes vermelhos por volumes menos vermelhos e sempre mais claros. A linha de nódulos milimétricos presente no topo do horizonte vermelho que se prolonga no horizonte vermelho-amarelado confirma a filiação entre os horizontes. Esses horizontes, pouco contrastantes, são desenvolvidos a partir da argila manchada. Uma difusão dos óxidos de ferro imprime progressivamente, da base para o topo, uma cor relativamente homogênea aos novos horizontes desenvolvidos. A passagem lateral para os horizontes brunos ou esverdeados da

vertente, se efetua pelo clareamento da cor de fundo, sempre associado aos volumes dos horizontes precedentes como relíquias destes. O aparecimento do horizonte esverdeado na base do horizonte bruno ocorre de maneira muito suave. A principal característica é a impregnação homogênea do fundo anteriormente amarelo, estando ausentes individualizações de volumes esverdeados. As relíquias dos horizontes precedentes são mantidas e contrastam com o fundo esverdeado de maneira mais intensa que nos horizontes subsuperficiais vermelhos e bruno vivo de montante. Provavelmente acompanhando a variação de cor está a perda de ferro que, por sua vez, está relacionada com a hidromorfia, cujo efeito é nitidamente observado na depressão.

A parte de jusante da topossequência mostra claramente que existe uma relação genética entre os horizontes de argila manchada do platô e da vertente com o horizonte branco da depressão. A montante, os horizontes de argila manchada são predominantemente vermelhos. Em direção a jusante, progressivamente, os volumes cinza são cada vez mais abundantes, mais claros e com tamanho maior. Deste ponto de vista, parece ser uma transição progressiva entre a argila manchada e o horizonte branco tendo em vista que o mosqueamento é menos evidente. Podemos considerar um outro ponto de vista. A montante, os horizontes de argila manchada apresentam uma diferenciação paralela à superfície do solo. Essa organização, como aquela dos horizontes superiores, está de acordo com uma evolução vertical inicial da cobertura do solo. Ao contrário, a forma em língua da interrupção da argila manchada, de montante para jusante, e a forma em bisel dos horizontes brancos inferior e superior, de jusante para montante, são discordantes em relação à superfície. É muito provável que essas formas sejam a consequência de uma evolução posterior e lateral da cobertura do solo.

5- Distribuição dos principais horizontes na bacia elementar

No mapa (figuras III.3 e III.4), as áreas deprimidas formam dois eixos. Um eixo principal, *grosso modo*, no sentido norte-sul e um eixo secundário no sentido oeste-noroeste/leste-sudoeste. Esses dois eixos juntam-se no sul do mapa e formam um talvegue drenando temporariamente as zonas deprimidas inundadas em direção do rio Juan.

O eixo principal separa duas vertentes, uma a oeste, com um desnível de aproximadamente 2m e onde foi estudada a topossequência, e outra a leste, com um desnível menor.

A distribuição dos horizontes na vertente é coerente com a topografia. Na vertente oeste, a distribuição dos horizontes ao longo da vertente é similar àquela encontrada na topossequência. Encontram-se, de montante para jusante, nos horizontes superiores, sucessivamente, horizontes vermelhos, bruno vivo, esverdeado, cinza-escuro e preto, e abaixo, sucessivamente, a mesma transição da argila manchada para os horizontes brancos.

Na vertente leste, observa-se a ausência dos horizontes superiores vermelhos no topo da vertente, o que, provavelmente, está relacionado com menor declividade e maior comprimento da vertente. Também se nota que a distribuição dos horizontes ocorre de maneira mais espaçada ao longo da vertente. Assim, na parte alta ocorre a presença do horizonte superior bruno vivo, seguido, para jusante, pelo esverdeado, pelo cinza-escuro e pelo preto. A argila manchada passa para os horizontes brancos, interrompendo-se lateralmente da mesma forma.

Nas áreas deprimidas encontra-se sistematicamente o horizonte superficial cinza escuro e preto com restos orgânicos preservados e espessos. Na parte norte, na cabeceira do eixo, o mapa mostra a grande extensão dos horizontes cinza-claro a branco.

5.1- Síntese

O resultado do mapeamento mostrou a estreita relação entre a distribuição dos principais horizontes e da topografia. Percebe-se que a presença dos horizontes ricos em matéria orgânica e dos horizontes brancos é sistemática e exclusivamente associada às áreas deprimidas. A partir das zonas deprimidas, a distribuição dos horizontes relacionados com as posições elevadas da vertente é radial.

A comparação entre o mapa caracterizando a cobertura do solo (figuras III.3 e III.4) e a cobertura vegetal (figura II.5) mostra claramente a discordância da distribuição da vegetação com a organização dos horizontes. A floresta está recobrindo tanto áreas deprimidas, com horizontes orgânicos acima de horizontes brancos, quanto áreas elevadas, com horizontes predominantemente vermelhos sobre argila manchada. O mesmo ocorre sob a vegetação de savana. O limite floresta-savana (figura II.5) é discordante com a topografia (figura III.2) e

com as características do solo (figura III.4). Deste ponto de vista, a topossequência estudada reflete as diferenciações determinadas pela topografia e não pela vegetação.

6- Conclusão

O estudo da trincheira e da distribuição dos horizontes na escala da bacia elementar (figuras III.2, III.4 e III.5) mostrou que:

- em profundidade, tanto a jusante como a montante, o material parental sedimentar é composto por níveis de arenito alterado de textura silto-arenosa, de coloração amarelada e avermelhada, intercalados por níveis mais argilosos e compactos. A semelhança do material parental nos dois perfis permite afirmar que o desenvolvimento dos perfis do platô e da depressão ocorre a partir do mesmo sedimento. A permanência constante de um lençol é provavelmente responsável pelas mudanças nas características originais desse arenito, provocando perda da dureza, mobilização do cimento ferruginoso (que pode estar associado à cor amarela da água), alteração dos minerais primários, entre outras;
- a argila manchada, no platô, corresponde a um grande conjunto espesso (3m). Na topossequência, aparece com o mesmo padrão por aproximadamente 70m, e a transição entre os horizontes é muito progressiva e com baixo grau de desenvolvimento das estruturas (horizontes maciços). Esse conjunto apresenta uma extensão vertical e lateral maior que os outros. Lateralmente, a jusante, ocorre o término do horizonte de argila manchada em forma de língua. Ainda a jusante, o desenvolvimento de horizontes brancos em forma de cunha parece ser o responsável pelo desaparecimento da argila manchada nessa posição da topossequência;
- os horizontes subsuperficiais aparecem no platô com cor essencialmente vermelha enquanto na vertente há presença de um horizonte bruno seguido por outro esverdeado. A transição lateral entre eles é difusa, ocorrendo progressivamente diminuição da pigmentação vermelha e conservação de relíquias dos horizontes precedentes;
- os horizontes superficiais, a montante, são húmíferos e evoluem, para jusante, para um horizonte orgânico espesso com restos orgânicos preservados. A gênese desse horizonte não é muito clara por, possivelmente, não estar de acordo com a cobertura vegetal atual que é composta de gramíneas;

Figura III.5- Esquema mostrando os principais conjuntos de horizontes ao longo da topossequência, de montante até a jusante e do material sedimentar até a superfície.

- o mapeamento do solo na escala da bacia elementar permitiu a associação estreita entre a distribuição dos horizontes e a topografia e não com a cobertura vegetal, caracterizada pelo contato floresta-savana.

Finalmente, do ponto de vista metodológico, a escolha da “análise estrutural” foi feita em razão da complexidade vertical e sobretudo lateral da cobertura pedológica, que por isso não pode ser corretamente caracterizada e descrita apenas com estudos de perfis verticais. A apresentação das sucessões verticais de horizontes que compõem os perfis de montante e jusante dá uma idéia clara dos contrastes dessa cobertura de solo. Somente a abertura de uma trincheira, ligando os perfis de montante e jusante (topossequência), permite o estudo das relações geométricas laterais entre os horizontes e volumes, indispensável para entender sua gênese e transformação.

CAPÍTULO IV

DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS E DOS POROS ASSOCIADOS. EVIDÊNCIA DE MOBILIZAÇÃO DE ARGILA AO LONGO DA TOPOSSEQUÊNCIA.

1- Introdução

A observação da topossequência evidencia, principalmente, fortes contrastes de cor, sejam verticais ou laterais. As transições (ou descontinuidades) ocorrem no conjunto superior, onde se encontra uma sequência de horizontes humíferos e orgânicos e, também, abaixo destes, onde há uma sequência de horizontes vermelho, bruno vivo e esverdeado. Esses horizontes contrastam com os horizontes abaixo, do conjunto inferior de argila manchada. Lateralmente, de jusante a montante, parece que os horizontes brancos progridem a partir da transformação da argila manchada. Essas diferenciações entre os horizontes parecem estar intimamente associadas com a hidromorfia que atinge com mais intensidade a parte a jusante da topossequência. O objetivo deste capítulo é saber se, associada à variação da morfologia, ocorre também variação da granulometria (principalmente uma variação no teor e na distribuição do tamanho das partículas finas que são as partículas mais móveis) e do espaço poral.

No caso dos solos ferralíticos, a análise granulométrica deve ser cuidadosa e detalhada, pois a presença do ferro pode provocar a cimentação das partículas elementares formando pseudopartículas (Pédro *et al.*, 1976).

A utilização de duas abordagens – (i) análise por peneiramento e pipetagem em frações padronizadas e (ii) análise com granulômetro a laser – visa a alcançar duas finalidades. A primeira técnica de análise granulométrica é feita seguindo o método proposto pela Embrapa (1997) para a dispersão das amostras, a medição e a apresentação dos resultados em frações padronizadas (argila, silte e areia). O objetivo é claramente a aquisição de dados básicos sobre solos pouco conhecidos, na forma padronizada, fundamental para a comparação na comunidade internacional. A segunda, realizada através de um processo mais experimental, visa a estudar a distribuição do tamanho das partículas com maior eficiência na dispersão das partículas elementares e sem fracionamento arbitrário (Bartoli *et al.*, 1991).

2- Metodologia

2.1- Análise granulométrica em frações padronizadas (Embrapa, 1997).

Na prática, o método adotado consiste em separar 10g de solo, adicionar 50ml de hexametáfosfato e hidróxido de sódio como solução dispersante e agitar mecanicamente durante 16h. Em seguida, a suspensão é passada em peneira de malha 0,050mm para separar a fração areia que posteriormente é pesada. A fração de argila e silte é colocada em uma proveta e agitada durante 30s. A fração argila é extraída por pipetagem seguindo a lei de Stokes (Embrapa, 1997). A fração silte é calculada pela diferença entre a soma das frações areia e argila em relação a amostra total. Este processo foi aplicado para as amostras dos perfis I, G, F, E, C e A.

Os resultados foram obtidos calculando a média de três repetições. As frações granulométricas são: areia (partículas entre 2 e 0,050mm), silte (partículas entre 0,050mm e 0,002mm) e argila (partículas inferiores a 0,002mm).

2.2- Análise da distribuição do tamanho das partículas

2.2.1- Preparação das amostras

Um dos maiores problemas encontrados na análise granulométrica está relacionado com a dispersão das amostras de solo para obter uma suspensão contendo partículas elementares bem separadas. Um estudo realizado por Bartoli *et al.* (1991) comparando cinco métodos de dispersão, inclusive o método Embrapa (1997), mostra que, no caso dos solos ferralíticos, a desagregação e a dispersão mais eficientes são obtidas utilizando uma solução de NaCl como agente dispersante. Segundo os autores, a dificuldade encontrada na dispersão deve-se à riqueza em óxidos de ferro ou de alumínio e à matéria orgânica, que dão estabilidade às argilas de baixa atividade, dificultando a dispersão.

Inicialmente era necessário eliminar a matéria orgânica com H_2O_2 , renovando-a diariamente durante um período que variou de duas semanas a dois meses, em função do teor de matéria orgânica presente na amostra. As amostras foram mantidas entre 30 e 40°C para aumentar a eficiência do ataque da matéria orgânica. A matéria orgânica pouco decomposta, por exemplo raízes, foi retirada a fim de evitar o prolongamento do processo. Quando cessou

a efervescência provocada pelo ataque, a H_2O_2 , esta foi eliminada por centrifugação e evaporação em banho-maria (um dia a $80^\circ C$).

A dispersão foi feita adicionando uma solução de NaCl 3M e agitando mecanicamente por 5h. Após a agitação, cada suspensão foi colocada dentro de um saco de papel celofane (que atua como uma membrana semipermeável) que, depois de ser fechado, é imerso em um béquer com água destilada. Com a ajuda de um agitador magnético e sob uma temperatura de $40^\circ C$, foi iniciado o processo de diálise. O procedimento consiste em eliminar o NaCl através da membrana semipermeável. O NaCl progressivamente diminui dentro do celofane e aumenta no meio externo. Deve-se efetuar a troca da água destilada do meio externo várias vezes ao dia. É considerada finalizada a operação, isto é, a eliminação do NaCl, quando a condutividade da solução do meio externo for igual à condutividade inicial da água destilada (aproximadamente $10\mu S$). Após a diálise, cada suspensão foi transferida para uma proveta, aferida a 1L, e algumas gotas de NaOH 1M foram adicionadas, elevando o pH para 9,5 de maneira a evitar a floculação (o pH antes da adição do NaOH era de aproximadamente 6,5-7).

As condições de dispersão estando adequadas, a última etapa consiste em separar por peneiramento as partículas inferiores e superiores a $50\mu m$.

2.2.2- Análise das partículas $>50\mu m$ (peneiramento)

Foram deferrificadas as amostras das partículas $>50\mu m$. O processo adotado consiste em adicionar HCl 10% e manter uma temperatura de $50^\circ C$ até obter um resíduo de cor branca. Para eliminar o HCl a amostra foi centrifugada e lavada com água destilada. O peneiramento é feito utilizando 11 peneiras com diâmetro de malha entre 2 e $0,060mm$, em via seca e com 10g de amostra. A amostra contida em cada peneira é pesada. O resultado é expresso na forma de uma curva cumulativa.

2.2.3- Análise por granulômetro a laser (partículas $<50\mu m$)

A análise granulométrica das partículas $<50\mu m$ geralmente é baseada na aplicação da lei de Stokes (velocidade de sedimentação de partículas de diâmetro variável mas de igual densidade). No caso de amostras constituídas por partículas ricas ou pobres em ferro, a aplicação da lei implica um desvio, ocasionado não apenas pelo diâmetro mas também pela

densidade própria das partículas. Nesse caso, o uso de granulômetro a laser é mais adequado. O princípio baseia-se na consideração de que, quando as partículas estão bem dispersas e bem agitadas em um meio aquoso e conseqüentemente isoladas umas das outras, elas difratam luz de acordo com seu tamanho (Buurman *et al.*, 1997).

Foi utilizado um equipamento Malvern Laser Sizer SB-0D, com lente focal de 100mm. O comprimento focal dessa lente permite analisar a distribuição do diâmetro das partículas entre 0,5 e 180µm. Foram analisadas as suspensões com partículas <50µm, sempre na mesma condição de pH=9,5 (para evitar floculação) e na mesma condição de concentração da suspensão (obscuração da faixa do laser de 20%). O resultado obtido a partir do cálculo do instrumento é uma curva acumulada da porcentagem de partículas em função do diâmetro. A curva derivada foi calculada a partir da curva acumulada na finalidade de discriminar as populações de partículas. Uma população de partículas é caracterizada por limites definidos a partir dos mínimos da curva derivada, por uma moda (máximo da curva derivada) e pela porcentagem deduzida da curva acumulada.

Para avaliar a influência do ferro na distribuição do tamanho das partículas foi feito um tratamento de deferrificação CBD (citratato-ditionito-bicarbonato) em algumas amostras. O objetivo é comparar resultados antes e após a deferrificação. Para certificar-se de que os resultados podem ser comparados, a mesma suspensão de partículas <50µm utilizada na medição com o granulômetro a laser foi posteriormente deferrificada e submetida a uma segunda medição. Nas duas medições, foram mantidas as mesmas condições de análise (agitação mecânica durante 4h, dispersão com NaOH para elevar o pH a 9,5 e obscuração a 20%).

O método CBD (Mehra e Jackson, 1960) consiste no seguinte procedimento:

- secar uma pequena quantidade da suspensão para obter 1g de amostra,
- adicionar 50ml de citrato-bicarbonato (CB),
- levar ao banho-maria (temperatura = 80°C) e agitar. Adicionar 2g de ditionito de sódio e agitar novamente,
- lavar com água destilada, centrifugar e conservar o resíduo na forma de uma suspensão para análise com o granulômetro a laser.

2.3- Porosimetria ao mercúrio

O princípio é realizar uma intrusão de mercúrio em uma amostra de solo seco e indeformado, exercendo pressão crescente, até que toda a porosidade seja preenchida pelo mercúrio (Lawrence, 1977). A pressão exercida é inversamente proporcional ao diâmetro do poro. Assim, sob pressão inicial menor, os poros de maior dimensão são preenchidos pelo mercúrio, enquanto sob pressão maior os poros menores são preenchidos. Considerando que o espaço poral é formado por uma rede de poros cilíndricos, regulares e com parede homogênea (Vachier *et al.*; 1979, Fies, 1984), o diâmetro do poro equivalente é calculado em função da pressão exercida segundo a lei de Laplace. Para cada pressão exercida sucessivamente, determina-se o diâmetro do poro equivalente. O volume poral corresponde ao volume de mercúrio introduzido.

As medições foram feitas com torrões indeformados (diâmetro de aproximadamente 5 mm), secos a 110°C, durante 24h. O instrumento, um porosímetro Micromeritics Pore Sizer 9400, permite medir o volume poral com diâmetro de poro equivalente, variando aproximadamente de 300 a 0,003µm. O resultado é expresso em curva cumulativa do volume poral (volume de mercúrio), em função do diâmetro poral (diâmetro equivalente) e em curva derivada associada (Bruand & Prost, 1987).

3- Composição granulométrica em frações argila, silte e areia

3.1- Apresentação por perfis

3.1.1- Perfil I (montante)

Neste perfil (figura IV.1 A), a curva de argila mostra um crescimento do teor de argila de 39% a 5cm até 57% a 100cm de profundidade. A partir dessa profundidade, o teor de argila diminui (50% a 150cm e 40% a 200cm) e depois permanece constante (até 275cm). O maior teor de silte (44%) é encontrado nos primeiros 10cm de profundidade. A partir dessa profundidade até 40cm, o teor de silte torna-se constante (39%). A partir daí, diminui ligeiramente (30% a 150cm), diminuindo de maneira mais acentuada à medida que aumenta a profundidade (25% a 200cm e 27% a 275cm). O teor de areia é constante nos primeiros 40cm (17%). O teor diminui para 11% a 100cm e novamente aumenta (15% a 150cm, 30% a 225cm e 29% a 275cm de profundidade).

Figura IV.1: Variação vertical do teor em argila, silte e areia. (A) Perfil I da montante; (B) Perfil F do meio da vertente; (C) Perfil A da jusante.

Nos horizontes de profundidade, o teor de areia aumenta progressivamente (59% a 380cm, 60% a 420cm, 64% a 500cm, 66% a 560cm e 67% a 640cm). O teor de silte é pouco variável (20% a 380 e 420cm, 19% a 500cm, 22% a 560cm e 21% a 640cm de profundidade). O teor de argila de 21% a 380cm diminui com o aumento da profundidade (20% a 420cm, 17% a 500cm e 12% a 560 e 640cm de profundidade).

Neste perfil, a tendência geral mostra que ocorre aumento de argila (20%) na transição entre os horizontes subsuperficiais vermelhos e o topo da argila manchada. O teor de argila na argila manchada é relativamente constante (57 a 54%) entre 100 e 150cm de profundidade. Observa-se uma diminuição a partir de 150cm (o teor diminuindo até atingir 43%).

Considerando as variações de silte e areia na argila manchada, percebe-se que a diminuição do teor de argila está associada com o aumento do teor de areia, de aproximadamente 12% (100cm), 15% (125cm) a 30% (155cm e 275cm), enquanto o teor de silte varia pouco (26 a 31%), sem relação estreita com a profundidade. Nos horizontes de profundidade percebe-se que a fração areia é a mais importante. O aumento progressivo dessa fração em relação à profundidade está associado com a diminuição da fração argila, uma vez que a fração silte permanece relativamente constante.

3.1.2- Perfil F (transição)

Neste perfil (figura IV.1 B), o teor de argila aumenta nos primeiros 40cm de profundidade (de 42 para 47%). Diminui até a profundidade de 100cm (38%) e novamente aumenta (53% a 150cm e 58% a 275cm). O teor de silte aumenta (de 39 para 44%) nos primeiros 100cm de profundidade, diminui desta profundidade até 150cm (33%) e novamente aumenta (41%) a 275cm de profundidade. O teor de areia nos primeiros 10cm de profundidade é de 17%, diminui para aproximadamente 12% a 30cm, aumenta para 18% a 80cm, quando novamente começa a diminuir, atingindo 8% a 275cm de profundidade.

Neste perfil há aumento de argila no horizonte húmifero (acompanhado do aumento de silte e diminuição de areia). No horizonte subsuperficial esverdeado (50cm), o teor de argila é de 43% e diminui com o aumento da profundidade à medida que se aproxima do horizonte

branco superior. A diminuição de argila está acompanhada pelo aumento de silte e, em menor proporção, de areia.

No horizonte de argila manchada endurecida (135cm) volta a haver aumento de argila (15%) acompanhado de queda no teor de silte e de areia, embora esta seja menos expressiva. Numa profundidade maior (215cm), no horizonte branco inferior, observa-se o aumento de argila (5%) acompanhado por igual diminuição de areia (5%). O teor de silte permanece constante.

3.1.3- Perfil A (depressão)

Neste perfil (figura IV.1 C), o teor de argila é alto nos primeiros 90cm de profundidade (63% a 20cm, 70% a 60cm e 66% a 90cm) e, a partir desse ponto, diminui bastante (23% a 200cm). O teor de silte é constante (35%) nos primeiros 10cm, diminui para aproximadamente 28% a 90cm e aumenta a partir desse ponto (até 50% a 200cm de profundidade). O teor de areia é de aproximadamente 2% nos primeiros 60cm de profundidade e, a partir daí, aumenta até 26% a 200cm. Nos horizontes de profundidade, o teor de areia é muito variável: 15% a 260cm, 19% a 300cm, 6% a 340cm e 17% a 400cm de profundidade. A partir daí, o teor de areia aumenta para 76% a 440cm de profundidade. O teor de silte é de 9% a 260cm de profundidade, 58% a 300cm, 59% a 340cm, 71% a 400cm e 9% a 440cm de profundidade. O teor de argila é de 27% a 260cm de profundidade, 22% a 300cm, 24% a 340 e 400cm, diminuindo até 15% a 440cm de profundidade.

Neste perfil, o valor máximo de argila está associado aos horizontes superiores ricos em matéria orgânica (0 a 100cm). O máximo (70%) é observado no horizonte cinza muito escuro (55cm). Nesses horizontes superiores, o alto teor de argila é acompanhado por valores baixos e relativamente constantes de silte e areia, cujos teores variam respectivamente de 28 a 35% e de 2 a 6%.

No horizonte branco, observa-se forte diminuição do teor de argila (23% a 195cm de profundidade) acompanhada de forte aumento de silte (50%) e areia (27%).

Abaixo do horizonte branco, distinguem-se os horizontes de alteração silto-argiloso de cor cinza e amarela (com 22 a 24% de argila, 58 a 71% de silte e de 6 a 19% de areia) e os horizontes de alteração arenosos e amarelos (15% de argila, 9% de silte e 76% de areia).

3.2- Variação lateral

A variação lateral é apresentada na forma de curvas de isovalor de argila, silte e areia (figuras IV.2, IV.3 e IV.4, respectivamente).

Em superfície, nos horizontes húmiferos, a montante e no meio da vertente, o teor de argila é pouco variável, sendo delimitado pelas isolinhas de 40 e 45%. A jusante, a transição lateral dos horizontes húmiferos em horizontes orgânicos escuros e espessos é acompanhada por uma variação granulométrica. As isolinhas que delimitam esses horizontes estão entre 50 e 70%. Nota-se também que os horizontes orgânicos apresentam o teor máximo de argila observado na topossequência (70% a 55cm de profundidade no perfil A).

O horizonte subsuperficial vermelho está localizado entre as curvas de 45 e 55% de argila. Em direção a jusante, o horizonte bruno vivo e o horizonte esverdeado são caracterizados por apresentar teor de argila constante (44 a 47%).

As curvas de isovalor de argila (figura IV.2) mostram que os horizontes de argila manchada encontram-se entre a curva mínima de 40 e máxima de 55%. Os valores mínimos encontram-se na base da argila manchada e na parte superior da terminação em língua da argila manchada. As isolinhas de máximo valor ocorrem no centro desse conjunto e prolongam-se em continuidade no horizonte branco inferior.

No horizonte branco do centro da depressão aparece a isolinha de valor mínimo de argila. A curva de 30% prolonga-se para montante em concordância com o horizonte branco superior. Assim, de montante para jusante, os volumes brancos, aparecendo de maneira discreta entre o horizonte esverdeado e a argila manchada e se generalizando em direção ao centro da depressão, estão associados à forte diminuição de argila: 40% no perfil F até 26% no perfil A.

A montante e na parte inferior da argila manchada, existe um aumento progressivo do teor de areia (entre 120 e 220cm de profundidade), de 15 a 30% (figura IV.4). Na parte superior da argila manchada e nos horizontes superiores, o valor é relativamente constante, de aproximadamente 15%. A jusante, no horizonte branco do centro da depressão, aparece o máximo de teor de areia (25%). O máximo prolonga-se em direção a montante, englobando o horizonte branco superior e a terminação da argila manchada em forma de língua. O mínimo

Figura IV.2: Variação lateral do teor em argila ao longo da topossequência.

Figura IV.3: Variação lateral do teor em silte ao longo da topossequência.

Figura IV.4: Variação lateral do teor em areia ao longo da topossequência.

observado na topossequência corresponde aos valores inferiores ou iguais a 5% e localizados nos horizontes orgânicos.

A variação do silte (figura IV.3) calculado pela diferença entre a argila e a areia mostra apenas um máximo (até 57%) localizado no horizonte branco e na base dos horizontes ricos em matéria orgânica.

4- Distribuição do tamanho das partículas >50 μ m (peneiramento)

O resultado do peneiramento foi expresso na forma de curvas acumuladas (figura IV.5). As curvas referentes às amostras I 25cm, I 40cm, I 125cm e I 275cm são similares (mediana $M=70\mu$ m, primeiro quartil $Q1=60\mu$ m, terceiro quartil $Q3$ entre 80 e 90μ m) e indicam homogeneidade do material parental sedimentar. A curva da amostra I 60cm possui a mesma forma porém com proporção maior de partículas grossas ($M=100\mu$ m, $Q1=120\mu$ m, $Q3=280\mu$ m) e revela heterogeneidade local. A curva I 560cm revela partículas mais grossas ($M=130$, $Q1=90$, $Q3=130$) e corresponde ao horizonte de alteração do arenito. A curva referente a amostra I 810cm é aquela que apresenta as partículas de menor diâmetro ($M=70\mu$ m, $Q1=60\mu$ m, $Q3=80\mu$ m) e corresponde ao horizonte argiloso compacto (assoalho do lençol). Ao contrário, a curva da amostra I 870cm apresenta as partículas de maior diâmetro ($M=180\mu$ m, $Q1=130\mu$ m, $Q3=200\mu$ m) e corresponde ao horizonte areno-siltoso mais profundo.

Figura IV.5: Distribuição do tamanho das partículas $> 50\mu\text{m}$ obtida por peneiramento (perfil I).

5- Distribuição do tamanho das partículas <50µm por granulometria a laser

5.1- Apresentação detalhada de um exemplo

Para cada amostra foram feitas três repetições de medida com granulômetro a laser (sem deferrificação). A média das três repetições foi calculada para determinar a curva acumulada média. Como exemplo, a figura IV.6 (amostra I 20cm) mostra a distribuição do tamanho das partículas entre 0,5 e 180µm. Deve-se ressaltar que a granulometria foi realizada a partir de uma suspensão contendo partículas separadas com uma peneira de malha igual a 53µm. A presença de 3% de partículas superior a 50µm na curva mostra que não existe uma correspondência estreita entre o diâmetro da abertura da malha da peneira e o diâmetro calculado com o instrumento. Essa consideração é válida para todas as curvas obtidas.

Foi calculada a curva derivada a partir da curva acumulada. No exemplo dado existe um ponto de inflexão a 2µm na curva acumulada que corresponde ao mínimo nítido na curva derivada. Esse ponto separa duas populações: a população 1 compreende partículas entre 2 e 180µm, representando 68% das partículas. Esta população é caracterizada pelo máximo da curva derivada situado a 7µm que corresponde a moda, a população 2 compreende partículas entre 0,5 (limite de detecção do aparelho) e 2µm e representa 32% das partículas. Esta última população, por ser truncada no seu limite inferior, não apresenta moda.

A mesma decomposição em populações de partículas foi feita para todas as amostras e a síntese está apresentada na tabela IV.1.

Figura IV.6: Distribuição do tamanho das partículas $<50\mu\text{m}$ obtida por granulometria a laser. Identificação de duas populações das partículas granulométricas a partir da curva acumulada e sua derivada (amostra I 20cm).

Tabela IV.1: Distribuição do tamanho das partículas (granulometria a laser)

Amostra	População 1			População 2		
	Limite (μm)	%	Moda (μm)	Limite (μm)	%	Moda (μm)
I 20cm	2-180	68	7	0,5-2	32	
I 40cm	15-180	50	47	0,5-15	50	5
I 60cm	0,5-100	100	25	-	-	
I 90cm	0,5-180	100	9	-	-	
I 125cm	0,5-180	91	10	0,5-0,7	9	
I 150cm	0,5-100	100	10	-	-	
I 205cm	0,5-100	100	9	-	-	
I 270cm	2-180	86	10	0,5-2	14	
I 300cm	0,7-100	92	15	0,5-0,7	8	
I 380cm	1,5-180	86	15	0,5-1,5	14	
I 500cm	0,7-100	93	14	0,5-0,7	7	
I 560cm	0,7-100	93	15	0,5-0,7	7	
I 620cm	0,5-180	100	15	-	-	
I 660cm	0,7-100	92	15	0,5-0,7	8	
I 720cm	0,7-100	92	10	0,5-0,7	8	
I 740cm	0,7-180	94	12	0,5-0,7	6	
I 780cm	0,5-100	100	10	-	-	
I 800cm	0,5-100	100	8	-	-	
I 810cm	0,7-100	92	9	0,5-0,7	8	
I 870cm	0,5-100	100	8	-	-	
G 50cm	0,5-180	100	20			
F 40cm	2-180	90	18	0,5-2	10	
E 90cm	0,5-180	100	16			
E 125cm	0,7-180	92	9	0,5-0,7	7	
E 150cm	0,7-150	100	11			
E 200cm	0,7-150	92	9	0,5-0,7	8	
C 40cm	2-180	86	15	0,5-2	14	
C 60cm	1,2-180	80	6	0,5-1,2	20	
C 90cm	1,5-180	87	10	0,5-1,5	13	
C 215cm	1,5-180	100	13	0,5-1,5	7	
A 85cm	1,8-100	70	7	0,5-1,8	30	
A 115cm	1,8-100	73	7	0,5-1,8	27	
A 195cm	1,8-180	92	35	0,5-1,8	8	

5.2- Perfil I (montante)

Neste perfil, o horizonte humífero apresenta duas populações de partículas (figura IV.6 e tabela IV.1). A população 1 corresponde a 68% do total e envolve partículas entre 2 e 180 μm , com diâmetro modal situado a 7 μm . A população 2 representa 32% do total e compreende partículas entre 0,5 e 2 μm .

Figura IV.7: Distribuição do tamanho das partículas do horizonte subsuperficial vermelho. (A) Amostra I 40cm; (B) Amostra I 60cm.

Figura IV.8: Distribuição do tamanho das partículas característica dos horizontes de argila manchada (amostra I 150cm).

Nos horizontes subsuperficiais vermelhos I 40 e I 60cm, as curvas de distribuição do tamanho de partículas mostram que, no primeiro horizonte, ocorrem duas populações de partículas, enquanto no segundo ocorre apenas uma população (figuras IV.7 A e B, respectivamente). Na amostra I 40cm, a população 1 representa 50% das partículas e compreende partículas entre 15 e 180 μ m, com moda a 47 μ m, enquanto a população 2 envolve partículas entre 0,5 e 15 μ m, com moda a 5 μ m. Na amostra I 60, a população 1, única, envolve partículas com limite mínimo de 0,5 μ m e limite máximo de 100 μ m de diâmetro. O diâmetro modal é de 25 μ m.

No conjunto de horizontes de argila manchada, a curva de distribuição do tamanho das partículas da amostra I 150cm é usada como exemplo (figura IV.8). Ela apresenta apenas uma população de partículas com limites entre 0,5 e 100 μ m. O diâmetro modal é de 10 μ m.

No conjunto denominado de material parental, descrito no capítulo III, podem ser identificados dois conjuntos de horizontes, através das curvas de distribuição do tamanho das partículas (tabela IV.1). O primeiro, denominado de sedimento homogêneo, corresponde ao arenito alterado (de 300 a 720 de profundidade) e o segundo, denominado de sedimento heterogêneo, corresponde aos horizontes mais profundos (de 720 a 870cm) e que apresentam maior diferenciação litoestratigráfica. No sedimento homogêneo, quase todas as amostras (exceto I 620cm) apresentam duas populações de partículas. Como exemplo (figura IV.9 A), é apresentada a curva da amostra I 500, em que a população 1 corresponde a 93% das partículas e compreende partículas entre 0,7 e 100 μ m, com diâmetro modal de 14 μ m. A população 2 corresponde a apenas 7% do total das partículas e compreende partículas entre 0,5 e 0,7 μ m. No sedimento heterogêneo, de 6 amostras analisadas, 3 amostras mostram duas populações de partículas (I 720, I 740 e I 810cm) e 3 amostras apresentam apenas uma população (I 780, I 800 e I 870cm). A curva da amostra I 800 é usada como exemplo (figura IV.9 B). A população 1, única, compreende partículas entre 0,5 e 100 μ m com diâmetro modal de 9 μ m.

Em síntese, os resultados obtidos a montante mostram que os horizontes apresentam características próprias (tabela IV.1). Nos horizontes do sedimento heterogêneo (I 720 a I 870cm), a moda da população 1 predominante varia entre 8 e 12 μ m, enquanto no sedimento homogêneo (I 300 a I 660cm) a moda varia de 14 a 15 μ m. Nos horizontes de argila manchada, entre 90 e 270cm de profundidade, a moda está sempre situada entre 9 e 10 μ m.

Nos horizontes vermelhos, entre 40 e 60cm de profundidade, o máximo que definiu a população 1 apresenta-se de uma forma larga, com valor alto situando-se a 25 e 47 μ m, respectivamente. No horizonte húmifero, a moda está a 7 μ m.

5.3- Perfis G e F (transição)

Nos perfis G e F, foi analisada a distribuição do tamanho das partículas dos horizontes subsuperficiais bruno vivo e esverdeado. Na amostra G 50cm, a curva mostra apenas uma população de partículas, enquanto na amostra F 40cm apresenta duas populações. No primeiro caso, a população única envolve partículas entre 0,5 e 180 μ m, com diâmetro modal de 20 μ m. Na segunda, a população 1, com diâmetro modal de 18 μ m, envolve partículas entre 2 e 180 μ m e a população 2, de 0,5 a 2 μ m.

5.4- Perfis E, C e A (jusante)

Para estes perfis, será dado um exemplo do horizonte rico em matéria orgânica (C 60cm), do horizonte branco superior (E 90cm), do horizonte branco inferior (C 215cm), da argila manchada endurecida (E 125cm).

A amostra C 60cm (figura IV.10 A) apresenta duas populações de partículas. A população 1 corresponde a 80% do total das partículas compreendidas entre 1,2 e 180 μ m, com diâmetro modal de 6 μ m. A população 2 representa 20% e envolve partículas entre 0,5 e 1,2 μ m de diâmetro.

Na amostra E 90cm (figura IV.10 B), a curva mostra a presença de apenas uma população de partículas, com limite entre 0,5 e 180 μ m. O diâmetro modal é de 16 μ m.

Na amostra C 215cm (figura IV.11 A), também existe apenas uma população de partículas, com limite entre 0,5 e 180 μ m. O diâmetro modal é de 13 μ m.

Finalmente, na amostra E 125cm (figura IV.11 B), aparecem duas populações de partículas. A população 1 corresponde a 92% das partículas com limite entre 0,7 e 180 μ m. O diâmetro modal é de 9 μ m. A população 2 corresponde a 8% das partículas, com limite entre 0,5 e 0,7 μ m.

Em síntese, os principais resultados obtidos nos perfis de jusante (A, C e E) mostram que, nos horizontes ricos em matéria orgânica, o diâmetro modal da população predominante varia de 6 a 15. No horizonte branco superior, na amostra E 90cm, o diâmetro modal da

Figura IV.9: Distribuição do tamanho das partículas. (A) Curva típica do sedimento homogêneo (amostra I 500cm); (B) Curva típica do sedimento heterogêneo (amostra I 800cm).

Figura IV.10: Distribuição do tamanho das partículas. (A) Horizontes ricos em matéria orgânica (amostra C 60cm); (B) Horizonte branco superior (amostra E 90cm).

população predominante é de 16 μ m. As curvas obtidas no caso do horizonte branco inferior (amostras E 200 e C 215cm) apresentam diâmetro modal de 9 e 13 μ m, respectivamente. No horizonte branco do centro da depressão (amostras A 115 e A 195cm), o diâmetro modal da população predominante é de 7 e 32 μ m. As amostras que correspondem ao horizonte de argila manchada endurecida (amostras E 125 e E 150cm) apresentam uma população predominante ou única com diâmetro modal de 9 ou 11 μ m.

5.5- Distribuição do tamanho das partículas <50 μ m após deferrificação

Para avaliar a importância do ferro e a eficiência do método de dispersão, foi feito um tratamento de deferrificação (CBD) em quatro amostras (I 40, I 60, I 150 e I 380cm).

Antes da deferrificação, a amostra I 40cm (figura IV.12 A), apresentou duas populações de partículas (50% cada). A população 1 corresponde às partículas entre 15 e 180 μ m, com diâmetro modal de 45 μ m. Após o CBD (figura IV.12 A), diminui a proporção dessa população, passando a representar 34%, e o diâmetro modal se deslocou para 35 μ m. O diâmetro modal da população 2 permaneceu no mesmo valor (5 μ m), porém torna-se mais definido. No caso da amostra I 60cm (figura IV.12 B), antes do CBD, a moda da população 1 apresentou um máximo largo entre 10 e 30 μ m. Depois, a curva não mudou, embora a moda tenha se deslocado, permanecendo entre 9 e 15 μ m. Para a amostra I 150cm (figura IV.12 C), as curvas anterior e posterior à deferrificação são similares e a moda variou de 10 para 8 μ m. Finalmente, no caso da amostra I 380cm (figura IV.12 D), antes da deferrificação, havia duas populações de partículas. A população 1 (85%), com limite entre 1,5 e 180 μ m, apresentava um diâmetro modal de 14 μ m. Após o CBD apareceu apenas uma população de partículas com diâmetro modal de 7 μ m.

Os resultados mostraram, após a deferrificação, um deslocamento da curva em direção às partículas de menor tamanho sem alterar a forma característica da curva obtida antes do CBD. Os diâmetros modais são sempre menores após a deferrificação. A diferença entre as curvas antes e após o CBD é significativa mas relativamente pequena. Assim, parece que a dispersão realizada foi satisfatória e que o tratamento de deferrificação não é necessário, pois não houve formação de microagregados ferruginosos. Apesar disso, alguns resultados importantes foram confirmados : (i) o deslocamento nítido da moda no caso da amostra I 380

Figura IV.11: Distribuição do tamanho das partículas. (A) Horizonte branco inferior (amostra C 215cm); (B) Horizonte de argila manchada endurecida (amostra E 125cm).

Figura IV.12: Comparação entre a distribuição do tamanho das partículas antes e após deferrificação. (A) Horizonte subsuperficial vermelho (amostra I 40cm); (B)= horizonte subsuperficial vermelho (amostra I 60cm); (C) Horizonte de argila manchada (amostra I 150cm); (D) Sedimento homogêneo (amostra I 300cm)

após o CBD confirmou que o ferro tem papel importante na cimentação do material parental homogêneo (horizonte de alteração de um arenito com cimento ferruginoso); (ii) a semelhança estreita entre as curvas (CBD) I 380 (horizonte de alteração do arenito) e I 150 (horizonte de argila manchada) ajuda a confirmar a hipótese de uma filiação entre os dois horizontes; (iii) transição entre a argila manchada e os horizontes subsuperficiais está associada a aumento nítido da moda das partículas finas. Esse aumento teria, como origem, o aumento relativo da proporção das partículas maiores (*grosso modo*, siltosas) ou uma diminuição da proporção das partículas menores (*grosso modo*, argilosas).

6- Distribuição do tamanho dos poros

Serão apresentados apenas os principais resultados obtidos para as fases vermelha e cinza da argila manchada (I 150cm), o horizonte subsuperficial vermelho (I 60cm) e o horizonte branco do centro da depressão (A 195cm). Esses resultados refletem as diferenças marcantes relativas ao espaço poral dos horizontes da topossequência.

A partir da curva acumulada do volume poral em função do diâmetro poral foi calculada a curva derivada que permitiu a distinção dos compartimentos porais. O princípio dessa decomposição do espaço poral é o mesmo que foi usado para a definição das populações de partículas (subitem 5.1).

As amostras podem apresentar dois ou três compartimentos porais (A, B e C). Os compartimentos A e B, sempre presentes, correspondem aos poros de maior e menor diâmetro. O compartimento C concerne ao compartimento de poros de diâmetro intermediário.

(i) Fase vermelha da argila manchada (amostra I 150cm)

Apresenta um volume poral total VT (volume total de intrusão) de $189\text{mm}^3/\text{g}$ (figura IV.13 A). Distinguem-se dois compartimentos porais A e B com um limite situado a $30\mu\text{m}$. O compartimento A corresponde aos poros entre 300 e $30\mu\text{m}$, enquanto o compartimento B engloba os outros poros entre 30 e $0,003\mu\text{m}$. O compartimento B refere-se ao maior volume poral VB de $181\text{mm}^3/\text{g}$, enquanto para o compartimento A o valor VA é de $8\text{mm}^3/\text{g}$. A moda DA não é nítida, enquanto a DB é nítida, a $0,04\mu\text{m}$.

Figura IV.13: Distribuição do tamanho dos poros. (A) Fase vermelha da argila manchada (amostra I 150cm); (B) Fase cinza da argila manchada (amostra I 150cm).

(ii) Fase cinza da argila manchada (amostra I 150cm)

O volume poral total VT é de $208\text{mm}^3/\text{g}$. Apresenta três compartimentos porais A, B e C (figura IV.13 B). O limite entre os compartimentos porais B e C está situado a $0,4\mu\text{m}$ e entre os compartimentos A e C está a $7\mu\text{m}$. O maior volume refere-se ao compartimento B com VB de $131\text{mm}^3/\text{g}$, seguido pelo compartimento C com VC de $56\text{mm}^3/\text{g}$ e, finalmente, pelo compartimento A com VA de $21\text{mm}^3/\text{g}$. Os diâmetros modais DB e DC são respectivamente de $0,05$ e $2\mu\text{m}$. A moda DA não é nítida e o diâmetro modal não pode ser definido.

(iii) Horizonte vermelho (I 60 cm)

O volume poral total é de $239\text{mm}^3/\text{g}$. Ele apresenta dois compartimentos porais A e B, com um limite entre os dois situado a $3\mu\text{m}$ (figura IV.14 A). O volume poral VB, que corresponde a maior intrusão de mercúrio, é igual a $199\text{mm}^3/\text{g}$, seguido pelo VA de $40\text{mm}^3/\text{g}$. O diâmetro modal DA não é nítido, enquanto o diâmetro DB é nítido, com valor de $0,03\mu\text{m}$.

(iv) Horizonte branco do centro da depressão (A 200 cm)

O volume poral total VT é de $213\text{mm}^3/\text{g}$. Três compartimentos porais A, B e C aparecem (figura IV.14 B). O compartimento C é particularmente desenvolvido. O limite entre os compartimentos A e C está a $30\mu\text{m}$, enquanto o limite entre os compartimentos C e B está a $0,2\mu\text{m}$. O principal compartimento poral é o C, com VC igual a $166\text{mm}^3/\text{g}$, seguido pelo B, com VB de $24\text{mm}^3/\text{g}$, e finalmente pelo A, com VA de $23\text{mm}^3/\text{g}$. A moda do compartimento poral C é nítida, situada a $2,5\mu\text{m}$. As modas dos compartimentos A e B é pouco nítida.

Em síntese, o resultado obtido para o horizonte de argila manchada a montante da topossequência apresenta dois comportamentos porais distintos, um menos expressivo, correspondendo a porosidade grosseira (compartimento A), e outro, dominante, correspondendo a porosidade fina (compartimento B). Este último possui diâmetro modal pequeno e está diretamente relacionado à porosidade entre as partículas argilosas. A fase cinza diferencia-se da fase vermelha por apresentar compartimento poral intermediário e pouco desenvolvido. No caso da fase cinza, a soma dos compartimentos fino e intermediário é equivalente ao volume do compartimento fino da fase vermelha.

Figura IV.14: Distribuição do tamanho dos poros. (A) Horizonte subsuperficial vermelho (amostra I 60cm); (B) Horizonte branco (amostra A 195).

O horizonte vermelho é mais poroso. Os dois compartimentos, fino e grosseiro, estão presentes e são mais desenvolvidos que na argila manchada.

Finalmente, o horizonte branco do centro da depressão diferencia-se completamente dos anteriormente descritos por apresentar compartimento poral intermediário bastante desenvolvido. Em comparação com o horizonte de argila manchada, apresenta porosidade fina muito pequena.

7- Conclusão

O estudo granulométrico do perfil de montante confirmou, do ponto de vista da origem sedimentar, a identificação de um material inferior heterogêneo e de outro material sobreposto a este, relativamente homogêneo (arenito com cimento argilo-ferruginoso).

Da base dos horizontes de alteração até o topo da argila manchada, observa-se aumento muito forte do teor de argila, de 12 a 57%. Esse aumento é associado com uma diminuição equivalente do teor de areia, enquanto o teor de silte, em comparação, é pouco variável (20 a 30%). A análise da distribuição do tamanho das partículas finas ($<50\mu\text{m}$), sem fracionamento arbitrário, mostrou que os conjuntos de alteração do arenito e de argila manchada são caracterizados por uma distribuição específica e homogênea (moda estreita bem definida a $14\text{-}15\mu\text{m}$ e $9\text{-}10\mu\text{m}$, respectivamente). Após o tratamento de deferrificação, as curvas dos horizontes de alteração apresentam-se perfeitamente semelhantes àsquelas da argila manchada. Assim, da base dos horizontes de alteração até o topo da argila manchada, a proporção de partículas finas aumenta muito mas não é acompanhada por variação na distribuição do tamanho das partículas (considerando as partículas na forma elementar, dispersa e sem ferro).

A transição entre a argila manchada e o horizonte subsuperficial vermelho corresponde a forte diminuição (de 57 para 44%) do teor de argila, acompanhada por aumento, na mesma proporção, da fração silte, sem variação da fração areia. Comparando os resultados obtidos entre os horizontes subsuperficiais e argila manchada, a análise por granulometria a laser mostrou alargamento da distribuição do tamanho das partículas e deslocamento da moda para diâmetros nitidamente maiores. Nessa transição, a diminuição do teor de argila está associada à modificação na distribuição do tamanho das partículas finas. A origem pode ser atribuída ao aumento do « silte », embora pouco provável por causa da similaridade da distribuição das partículas grosseiras, ou ainda ser atribuída à perda de partículas argilosas (exportação por

hidrólise), sendo esta a hipótese mais aceita. Os horizontes de alteração do arenito, os horizontes de argila manchada e os horizontes subsuperficiais e superficiais podem ser herdados do material homogêneo.

Considerando a variação morfológica lateral na topossequência, de montante para a jusante, resultados complementares importantes foram alcançados. Foi mostrada a ausência de variação granulométrica entre os horizontes subsuperficiais de cor variável (vermelho, bruno vivo e esverdeado). A diferença de cor não está associada nem à variação da proporção das frações argila, silte e areia, nem à variação sistemática da distribuição do tamanho das partículas finas (comparando esses horizontes aos horizontes de argila manchada, sempre há diminuição do teor de argila e da distribuição do tamanho das partículas).

Os horizontes orgânicos são bastante argilosos e correspondem ao máximo do teor de argila (70%) encontrado ao longo da topossequência.

Os horizontes de argila manchada são relativamente homogêneos com teor de argila variando entre 45 e 55%, de areia, de 20 a 30%, e de silte, de aproximadamente 30%. A base da argila manchada e o topo da sua terminação em língua possuem teor de argila menos elevado. Ao longo da topossequência, a distribuição do tamanho das partículas finas é similar. As curvas cumulativas e derivadas também são semelhantes e a moda varia pouco, de 9 a 10 μm a montante e de 11 a 13 μm a jusante.

O horizonte branco inferior apresenta as mesmas características de composição granulométrica do conjunto de argila manchada.

O horizonte branco superior apresenta características nitidamente diferentes. As curvas de isovalor de argila mostram formas em língua encaixada com teor decrescente de montante para jusante (40% a 26%). Isso não pode ser atribuído a uma herança sedimentar, mas traduz claramente uma perda lateral de argila em direção à profundidade no centro da depressão.

Os resultados da porosimetria ao mercúrio complementaram os resultados granulométricos. Evidentemente, a organização do espaço poral depende do tamanho e da organização da fase sólida. No caso da argila manchada, a forte porosidade fina é determinada pela abundância de argila. Em direção ao topo do horizonte vermelho, aumentam a porosidade grosseira (estrutural e biológica) e fina (variação da organização e da distribuição do tamanho das partículas finas). Em direção a jusante, associado com o aparecimento do horizonte branco superior, aparece um compartimento poral intermediário.

Considera-se, como hipótese, que esse compartimento está ligado à eluviação das partículas finas.

CAPÍTULO V

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DA TOPOSEQUÊNCIA

1- Introdução

No capítulo anterior (capítulo IV), procurou-se estabelecer relações entre a morfologia e a granulometria. Neste capítulo espera-se estabelecer a relação entre as variações química e mineralógica e as variações morfológicas de certos horizontes: transição horizontes superficiais húmiferos → orgânicos; horizontes subsuperficiais vermelhos → bruno vivo → esverdeado; horizontes de argila manchada → horizontes brancos). Ao final do capítulo, pretende-se caracterizar o contexto geoquímico e mineralógico a fim de estabelecer o esquema da evolução e da dinâmica da topossequência. Para atender esses objetivos, será estudada a geoquímica dos componentes orgânicos (teor de carbono, $\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C) e minerais (geoquímica total) e a mineralogia, principalmente da fração argila. Também será analisado o complexo absorvente (capacidade de troca catiônica, saturação em bases e alumínio trocável).

2- Metodologia

A determinação do $\delta^{13}\text{C}$ e a análise do total de carbono orgânico das amostras foram efetuadas no Laboratório de Isotopia (Universidade de Waterloo, Canadá), usando um analisador Carlo Erba acoplado a um espectrômetro de massa Optima.

A análise do ^{14}C foi realizada no Laboratório do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), seguindo o procedimento de contagem por cintilação líquida (Pessenda e Camargo, 1991). As amostras foram moídas e peneiradas a 0,210mm. Através de flotação em HCl 0,01M, foram eliminados restos vegetais e raízes e, posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 50-55°C, com circulação forçada de ar. Os resultados são expressos em porcentagem de carbono moderno (pmc) e idade do radiocarbono em anos BP.

A análise química total foi feita nos Activation Laboratories LTD (Ontário, Canadá), por espectrometria de massa. Após amostragem de todos os horizontes dos perfis de referência, as amostras foram secas à temperatura ambiente, homogeneizadas, moídas manualmente num almofariz de ágata e finalmente passadas em peneira com malha de 2mm.

A análise mineralógica foi feita por difratometria de raio X das frações argila e silte. As frações foram separadas por pipetagem a partir das suspensões preparadas para a análise granulométrica (ataque com H_2O_2 e dispersão com NaCl). Para a fração argila, foi feita a análise das amostras dos perfis I, H, G, F, E, C e A, assegurando que todos os horizontes, diferenciados na macromorfologia, fossem caracterizados. As amostras foram colocadas numa lamínula através de sedimentação. Para cada amostra foi obtido difratograma de argila orientada, na condição de temperatura e de umidade do laboratório (O), orientada e glicolada por vaporização com etileno-glicol (G) e orientada e aquecida a 500°C (A).

Somente para as amostras dos horizontes superficiais e subsuperficiais, além desses tratamentos, outros difratogramas foram obtidos após dois tratamentos complementares:

- amostra saturada com K foi analisada por difração de raio X após aquecimento a 150, 300 e 500°C;
- amostra saturada com Mg foi analisada antes e após glicolamento por vaporização.

Esses dois tratamentos complementares foram utilizados para identificar a natureza dos argilominerais 2:1 e, no caso dos solos estudados, a presença de vermiculita aluminosa (Barshisel e Bertsch, 1989).

Além desses, foram feitas algumas análises de difração de raio X de amostras sob a forma de pó (fração argila, silte fino e silte grosso – amostra I 40cm e I 150cm), após deferrificação por CBD (Mehra e Jackson, 1966).

Foi utilizado um equipamento SIEMENS D5000 equipado com tubo de Cu. As medições foram efetuadas com tempo de aquisição de 1s por grau, exceto para algumas amostras que exigiram 3s por grau para melhorar a definição dos espectros. Os difratogramas foram interpretados com o apoio do programa *EVA* (versão 1997), utilizando as fichas de identificação do *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) e em referência aos conhecimentos dos meios similares (Eighth international soil classification workshop, 1986, Mineralogy in soil environment, 1989).

As análises físico-químicas foram realizadas no laboratório de Solos e Nutrição de Plantas (ESALQ/USP). As medidas de pH foram feitas em água e KCl 1N. A determinação das bases trocáveis Ca^{2+} e Mg^{2+} foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica. Para

o K^+ utilizou-se a fotometria de chama. O Al^{3+} foi extraído com KCl 1N. A partir desses resultados, calculou-se a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação (V). O Ki foi calculado através da determinação, após solubilização com H_2SO_4 1:1, do teor de sílica e de alumínio (Camargo *et al.*, 1986; Embrapa, 1997).

3- Resultados

3.1- Geoquímica dos constituintes orgânicos

Teor de carbono (figura V.1 A e B)

A distribuição do teor de carbono nos perfis I, G e F (figura V.1 B e anexos 1, 2 e 3, respectivamente), apresenta-se de forma similar, caracterizado pelo decréscimo com o aumento da profundidade: aproximadamente 3% nos primeiros 10cm de profundidade, 2% a 25cm, 0,5% a 50cm, 0,2% a 100cm e inferior a 0,2% entre 100 e 200cm. A análise da variação lateral do teor de carbono nos primeiros 10cm de profundidade mostrou aumento, a partir de montante em direção a jusante (figura V.2): 2,5% no perfil I, 3,2% nos perfis G e F e 4,5% no perfil D. Aumento mais significativo é observado na depressão. O teor no perfil A é de 10% na superfície. Este perfil mostrou uma concentração de carbono atestada pelos valores de 5% a 25cm, 2% a 50cm e de 0,5 a 0,2% entre 100 e 150cm de profundidade. O perfil de teor de carbono em A (anexo 5) é completamente diferente dos perfis obtidos em I, G e F.

Análise de ^{14}C

A datação realizada em carvões (a 50-60cm de profundidade entre 40 e 60m na topossequência) revela idades entre 3810 e 4770 AP. Nos horizontes ricos em matéria orgânica da depressão, o resultado mostra que a matéria orgânica é moderna para a amostra de superfície (<10cm) e de 1650 AP para a amostra de 20-30cm de profundidade.

Análise do $\delta^{13}C$

Nas regiões tropicais existe um comportamento diferente das plantas de savana e das plantas de floresta na fixação dos isótopos ^{13}C e ^{12}C . A maioria das gramináceas (plantas C4) fixam mais ^{13}C que as plantas de floresta (plantas C3). Assim, $\delta^{13}C$ da vegetação em C3 contam com menos ^{13}C que as plantas em C4 e o $\delta^{13}C$ da floresta é menor que o $\delta^{13}C$ da

Figura V.1. Teor de carbono. (A) Perfil I, da superfície até o sedimento; (B) Perfis da montante, do meio da vertente e da jusante da topossequência.

Figura V.2. Variação lateral do teor em carbono ao longo da topossequência.

savana. O limite entre os dois tipos de vegetação localiza-se ao redor de -20, com uma faixa correspondente à mistura de vegetação, entre -19 e -21.

Os resultados do $\delta^{13}\text{C}$ (figura V.3 A e B) obtidos para as amostras da parte superficial do solo (0-10cm de profundidade) mostram uma forte variação ao longo da topossequência, de montante para jusante : -28,1‰ no ponto I, -25,1‰ no ponto G, -15,8‰ no ponto F, -19,5‰ no ponto D e -22,5‰ no ponto A. Os valores mínimos correspondem aos pontos I e G sob floresta, o valor máximo ao ponto F sob savana e os valores intermediários aos pontos D e A na depressão.

Todos os valores de $\delta^{13}\text{C}$ diminuem conforme aumenta a profundidade dos perfis. Em I (atualmente floresta), o $\delta^{13}\text{C}$ passa a um valor de vegetação C4 ($\delta^{13}\text{C} > -20\text{‰}$), entre 50 e 70cm de profundidade. Os perfis do meio da vertente (G e F) até a borda da depressão (D) mostram enriquecimento em $\delta^{13}\text{C}$ ainda maior, com o máximo localizado no perfil F (atualmente com vegetação de savana).

O perfil A difere dos outros por apresentar um valor pouco variável de aproximadamente -21‰ (vegetação em C3), entre 30 e 120cm de profundidade. O decréscimo do $\delta^{13}\text{C}$ ocorre nitidamente a partir de 125cm e, em 200cm de profundidade, o $\delta^{13}\text{C}$ é de -27,5‰. A partir de 100cm, em todos os perfis, o $\delta^{13}\text{C}$ traduz uma vegetação em C3. O empobrecimento em $\delta^{13}\text{C}$ aumenta para até -27‰.

Síntese

Existe forte contraste dos teores de carbono entre montante e jusante da topossequência (figura V.2). De acordo com as observações macromorfológicas, o espessamento e o escurecimento (até a cor preta) dos horizontes superficiais está relacionado com o aumento do teor de matéria orgânica. Na depressão – no caso dos horizontes ricos em matéria orgânica isso é mais nítido –, a cor preta e a presença de matéria orgânica pouco decomposta sugeriram,

inicialmente, tratar-se de uma “turfa” ou, pelo menos, de um horizonte “orgânico”. Os resultados mostram que o teor de carbono orgânico nesses horizontes é, no máximo, de 15%.

A montante, o teor de carbono na superfície é, no máximo, de 3%, seja sob cobertura vegetal atual de savana ou de floresta. O máximo de teor de carbono (15%) corresponde à depressão sob cobertura atual de gramínea pouco densa.

Figura V.3. Variação do $\delta^{13}\text{C}$. (A) Perfil I, da superfície até o sedimento; (B) Perfis da montante, do meio da vertente e da jusante da topossequência.

Baseando-se nos resultados da geoquímica isotópica (figura V.3 A e B), é possível reconhecer a evolução da cobertura vegetal em três etapas :

1- todos os perfis mostram valores de $\delta^{13}\text{C}$ de aproximadamente -28‰ na parte profunda, a 200cm de profundidade. Esses valores estão relacionados com a predominância de plantas do tipo C3, o que indica provavelmente espécies arbóreas de floresta. Como essa parte do perfil corresponde aos horizontes de argila manchada, os dados obtidos sugerem que a gênese desses horizontes está associada com um ecossistema florestal generalizado. A datação da fração humina desses horizontes, realizada em solos similares, atribui uma idade de aproximadamente 10000 AP (Gouveia *et al.*, 1998 e Pessenda *et al.*, 1998a);

2- a partir de 200cm até aproximadamente 40cm de profundidade, os perfis I, G, F e D mostram aumento do $\delta^{13}\text{C}$, o que pode ser interpretado como uma provável regressão da cobertura vegetal florestal e uma colonização por vegetação de savana, com maior influência de plantas do tipo C4. Para solos similares da mesma região, a datação da fração humina revela idade de 5000 BP (Gouveia *et al.*, 1998; Pessenda *et al.*, 1998a e Freitas, 1999);

3- entre aproximadamente 40cm de profundidade e a superfície, todos os perfis mostram um decréscimo nítido do $\delta^{13}\text{C}$, revelando tendência a uma nova colonização florestal até a época atual. Essa dinâmica de recolonização está de acordo com os resultados obtidos nessa região e em outras da Amazônia (Pessenda *et al.*, 1996, 1998a, 1998b). Os dados cronológicos atribuem a essa etapa um período de 1650 BP, exceto no ponto E que revela a presença de radioatividade artificial de idade moderna.

O perfil A da depressão difere dos outros por apresentar, entre 30 e 120cm de profundidade, um valor do $\delta^{13}\text{C}$ relativamente constante e ligeiramente abaixo daquele que separa a vegetação em C3 (floresta) e em C4 (savana). Tendo em vista os resultados de teor de carbono, pode se acreditar que a matéria orgânica foi transportada das áreas florestadas e preservada na depressão. Porém, a topografia da topossequência mostra que os processos de erosão superficial ocorrem preferencialmente na vertente recoberta pela vegetação de savana e não no platô recoberto pela floresta. Também o perfil A não mostra marcas estratigráficas de depósito. É possível que uma vegetação específica de condições hidromórficas tenha permanecido na depressão desde o início até o fim do período seco, correspondendo à regressão florestal. Todavia, constata-se que o perfil A apresenta na superfície um $\delta^{13}\text{C}$ nítido

de floresta (-22,5) apesar de a vegetação atual ser exclusivamente de gramínea. Isso sugere um aporte de matéria orgânica da floresta, localizada a montante, por coluvionamento. Os numerosos resultados obtidos por Pessenda tornou possível ligar a profundidade e a idade da humina nos solos localizados a montante das vertentes. Contudo, isso não é possível após coluvionamento. Assim, é possível que os resultados fracos de $\delta^{13}\text{C}$ obtidos no perfil A, entre 30 e 75cm de profundidade (-19), correspondam a matéria orgânica (humina) mais recente que aquela localizada à mesma profundidade no meio da vertente. Para resolver esse problema, datações da matéria orgânica dos horizontes ricos em matéria orgânica do perfil A deverão ser realizadas (Pessenda, comunicação oral).

3.2- Geoquímica dos constituintes minerais

Dentre os elementos analisados, apenas SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O e TiO_2 apresentam teores que podem ser considerados como significativos (acima de 0,50%). Os óxidos MnO , MgO , CaO e Na_2O apresentam teores traços ou então fora do limite de detecção instrumental (-0,01%).

SiO_2

No perfil I de montante, o teor de SiO_2 (anexo 1) é de aproximadamente 70% no horizonte húmifero (0 a 10cm de profundidade). Abaixo (de 30 a 100cm de profundidade), observa-se uma diminuição, apresentando teor de aproximadamente 61% no horizonte vermelho e 57% no horizonte de transição com a argila manchada. Na argila manchada, o teor de SiO_2 novamente aumenta apresentando, entre 120 e 160cm de profundidade, teor entre 58 e 61% e, a 270cm, teor de 71%.

No perfil F, o teor de SiO_2 (anexo 3) no horizonte húmifero (de 20 a 30cm de profundidade) é de 69%. O teor aumenta com a profundidade. No horizonte esverdeado (a 60cm de profundidade) é de 76% e, no horizonte branco superior (a 80cm de profundidade), é de 80%. Na argila manchada endurecida (de 90 a 180cm de profundidade), há novamente diminuição do teor de SiO_2 . Nesse horizonte, a amostra coletada na parte superior do horizonte revela teor de 78%, enquanto a amostra coletada na base do horizonte apresenta teor de 60%. Finalmente, no horizonte branco inferior (a 220cm de profundidade), o teor aumenta para 64%.

No perfil C de jusante (anexo 4), o teor de SiO_2 nos horizontes ricos em matéria orgânica varia de 41% (a 20cm) a 47% (a 60cm). Abaixo (a 120cm de profundidade), no horizonte branco superior, o teor é de 86%. No horizonte de argila manchada endurecida (a 160cm de profundidade), o teor de SiO_2 é de 80%. Novamente, no horizonte branco inferior (a 220cm de profundidade), o teor diminui e atinge 69%.

Lateralmente, de montante a jusante, observa-se forte diminuição de SiO_2 associada com o aparecimento dos horizontes ricos em matéria orgânica e argilosos e que são, também, os menos arenosos (figura V.4). Há também um forte enriquecimento associado ao aparecimento do horizonte branco superior e da parte superior da argila manchada endurecida. Um leve empobrecimento é observado no horizonte branco inferior (perfis F e C), apesar de os valores serem similares aos encontrados a montante.

Al_2O_3

No perfil I, o teor de Al_2O_3 (anexo 1) aumenta progressivamente do topo (de 0 a 10cm de profundidade) até o horizonte de transição com a argila manchada (a 100cm de profundidade), apresentando, respectivamente, valor de 12% e 19%. Abaixo, no horizonte superior do conjunto de argila manchada (a 130cm de profundidade), o teor de Al_2O_3 é de 19% e diminui progressivamente com o aumento da profundidade, com teor de 14% na base do perfil (a 270cm de profundidade).

No perfil F, o teor de Al_2O_3 (anexo 3) é de 14% no horizonte húmifero (a 10cm de profundidade). Diminui no horizonte subsuperficial esverdeado (a 60cm de profundidade), com teor de 12%, e no horizonte branco superior (a 80cm de profundidade), com 10%. O teor de Al_2O_3 aumenta no horizonte de argila manchada endurecida. Na parte superior do horizonte (a 90cm de profundidade) o teor é de 11%, enquanto na parte inferior (a 170cm de profundidade) o teor de Al_2O_3 aumenta fortemente, atingindo 22%. Abaixo, no horizonte branco inferior (a 220cm de profundidade), novamente o teor de Al_2O_3 diminui um pouco e apresenta valor de 20%.

No perfil C (anexo 4), nos horizontes ricos em matéria orgânica, o teor de Al_2O_3 é de aproximadamente 26% (de 20 a 60cm de profundidade). Abaixo, no horizonte branco superior

Figura V.4. Variação lateral do teor de SiO_2 ao longo da topossequência.

Figura V.5. Variação lateral do teor de Al_2O_3 ao longo da topossequência.

(a 100cm de profundidade), o teor é de 7%, enquanto no horizonte de argila manchada endurecida (a 160cm de profundidade) é de 11%. Na base do perfil, no horizonte branco inferior (a 220cm de profundidade), o teor de Al_2O_3 novamente aumenta, com valor de 17%.

Nos horizontes superficiais, observa-se lateralmente (figura V.5), do perfil I para o perfil F, um ligeiro aumento de Al_2O_3 nos horizontes húmíferos e um forte enriquecimento nos horizontes ricos em matéria orgânica. Os valores maiores encontrados na topossequência (curvas de isovalor iguais ou superiores a 22%) correspondem a esses horizontes ricos em matéria orgânica.

Nos horizontes mais profundos, se comparados com a argila manchada, há empobrecimento de Al_2O_3 , ligado ao aparecimento do horizonte branco superior e à parte superior da argila manchada endurecida. Os menores valores encontrados na topossequência (curvas de isovalor iguais ou inferiores a 10%) localizam-se no horizonte branco da parte central da depressão e prolongam-se no horizonte branco superior.

Nos horizontes de argila manchada a montante e no horizonte branco inferior, os teores de Al_2O_3 variam entre 16 e 20%.

Concluindo, a distribuição do Al_2O_3 ilustrada pelas curvas de isovalor mostra uma concordância entre os maiores valores e o máximo de argila e dos menores valores com a presença do horizonte branco superior (distinto do branco inferior, que não apresenta a mesma variação do teor de Al_2O_3).

Fe_2O_3

No perfil I, o teor de Fe_2O_3 (anexo 1) nos horizontes húmíferos é de aproximadamente 4%. No horizonte subsuperficial vermelho (a 50cm de profundidade) e na transição com a argila manchada (a 90cm de profundidade) o teor é de 10%. Na argila manchada, o teor de Fe_2O_3 varia de 9% (a 125cm de profundidade), 8% (a 155cm) a 6% (a 275cm de profundidade).

No perfil F, o teor de Fe_2O_3 (anexo 3) no horizonte húmífero (a 30cm de profundidade) e no horizonte esverdeado (a 60cm de profundidade) é de 4 e 3%, respectivamente. Abaixo, o

teor é de 3% no horizonte branco superior (a 80cm de profundidade), aumenta para 4% no horizonte de argila manchada endurecida (de 90 a 180cm de profundidade) e no horizonte branco inferior (a 220cm de profundidade).

No perfil C, o teor de Fe_2O_3 (anexo 4) nos horizontes ricos em matéria orgânica é de aproximadamente 3% (de 20 a 60cm de profundidade). No horizonte branco superior (a 120cm de profundidade), o teor de Fe_2O_3 é de 1%. No horizonte de argila manchada endurecida (a 155cm de profundidade), o teor é de 2%, enquanto no horizonte branco inferior (a 220cm de profundidade), o teor é de 3%.

Nos horizontes superficiais os valores variam lateralmente, de montante para jusante, de aproximadamente 4 até 2% (figura V.6). Considerando os horizontes subsuperficiais, nota-se uma variação nítida de 10% (horizontes vermelhos a montante), a aproximadamente 5% (horizonte bruno vivo) até 3% (horizonte esverdeado).

De maneira geral, os maiores valores encontrados estão localizados a montante da topossequência (curva de isovalor igual ou superior a 10%), correspondendo aos horizontes vermelhos e argila manchada, enquanto os valores menores estão a jusante (curva inferior a 3%), correspondendo aos horizontes ricos em matéria orgânica e aos horizontes brancos.

No detalhe, percebe-se que existe discordância entre os valores máximos e os horizontes vermelhos. Percebe-se também que existe concordância da forma em língua das curvas de isovalor de Fe_2O_3 e da terminação da argila manchada, de montante a jusante. Observando a partir da depressão, de jusante para montante, percebe-se que há concordância das curvas de valores menores de Fe_2O_3 e do limite do horizonte branco superior e branco inferior.

Ti₂O

No perfil I e no perfil F (anexos 1 e 3, respectivamente), o teor de Ti_2O é de 1%. No perfil C (anexo 4), o teor é de 2% nos horizontes ricos em matéria orgânica (de 20 a 60cm de profundidade) e de 1% no horizonte branco superior (a 120cm de profundidade), na argila manchada endurecida (a 160cm de profundidade) e no horizonte branco inferior (a 220cm de profundidade).

Figura V.6. Variação lateral do teor de Fe_2O_3 ao longo da topossequência.

K₂O

No perfil I, o teor de K₂O (anexo 1) é inferior a 1% no horizonte húmifero (de 0 a 10cm de profundidade) e entre 1 e 1,5% nos horizontes subsuperficiais vermelhos (de 30 a 50cm de profundidade). Na argila manchada, o teor varia entre 1,5 e 2% (de 90 a 250cm de profundidade) enquanto na base do perfil (a 270cm de profundidade) o teor é de 1,4%.

No perfil F, o teor de K₂O (anexo 3) é inferior a 1% nos horizontes superficiais e subsuperficiais. Na argila manchada, a variação é similar àquela observada no perfil I.

No perfil C, o teor de K₂O (anexo 4) é de aproximadamente 1% nos horizontes ricos em matéria orgânica, de aproximadamente 0,5% no horizonte branco superior, de 1% na argila manchada endurecida e varia entre 1,5 e 2,2% no horizonte branco inferior (a 220cm de profundidade).

A montante, observa-se estreita concordância entre os horizontes e as curvas de isovalor de K₂O (figura V.7). Os maiores valores encontrados estão na argila manchada e diminuem nos horizontes de superfície. A argila manchada e o horizonte branco inferior são caracterizados por valores entre 1,5 e 2,2%, e a argila manchada endurecida por valores entre 1 e 1,5%. De jusante para montante, aparecem as curvas dos valores menores, correspondendo ao limite do horizonte branco superior, que são bastante próximos dos horizontes bruno vivo e esverdeado.

Síntese sobre a composição química

A tabela V.1 é uma síntese que mostra a composição de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, TiO₂ e carbono dos principais horizontes da topossequência. Para cada horizonte, a faixa de variação da composição é pequena, exceto a composição de SiO₂. Os desenhos das curvas de isovalor mostram que a distribuição dos elementos é similar e repetitiva e confirmam a coerência entre a composição e a identificação morfológica dos principais horizontes. A distribuição de Al₂O₃ é similar àquela da argila (figura IV.4). Esse resultado sugere que a exportação do alumínio ocorre principalmente sob a forma particulada ou de dissolução congruente da argila. Os isovalores apresentam-se como língua encaixada, com teores decrescentes para jusante que evidenciam a perda lateral de argila e, conseqüentemente, perda de alumínio. A associação do

Figura V.7. Variação lateral do teor de K_2O ao longo da topossequência.

máximo de alumínio também está ligada com o máximo de argila encontrado nos horizontes ricos em matéria orgânica a jusante.

Tabela V.1: Síntese dos teores obtidos para os principais óxidos (%)

Horizonte		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Carbono
	Humífero	70-72	12-13	4-5	1,3	0,7-0,8	1-3
	Orgânico	36-47	22-28	2-4	1,9	1	3-15
Subsuperfície	Vermelho	61	15-16	6-10	1,3	1-1,5	1
	Bruno Vivo	74-75	13	4-6	1,4	0,8	1-2
	Esverdeado	76	11-12	3	1,4	0,7	0,5
Argila manchada	90-200cm	57-61	18-19	8-10	1,2-1,5	1,5-2	0,1-0,5
	200-270cm	64-75	14-16	6-8	0,8-1,1	1,5	0,1
	Argila manchada endurecida	68-80	14-16	2-8	1,3	1-1,5	0,1
	Branco superior	78-86	7-9	1-2	1,3-1,5	0,6	0,1-0,5
	Branco inferior	64-69	17-20	3-4	1-1,2	1,5-2,2	0,1

Os isovalores de SiO₂ seguem o mesmo padrão, porém, onde ocorrem os valores mais elevados, ocorrem também os valores máximos de areia (enriquecimento relativo) relacionados com a eluviação ou a hidrólise de argila a jusante.

O Fe₂O₃ se comporta de maneira diferente. A relação com a argila, obviamente, não é tão estreita como aquela observada na distribuição do alumínio, por exemplo. A montante, a distribuição do ferro aparece ligada à cor que traduz a associação ferro-argila. A exportação acentuada a jusante é menos associada à argila que ao alumínio. Isso é comprovado na micromorfologia que mostra a inexistência de cutans de iluviação. Quando ocorrem, são formas reliquiaes e estão incorporadas ao fundo matricial atual cinza.

Finalmente, em relação ao K₂O, nota-se que os menores valores encontram-se associados com a perda de argila (também aparece a língua encaixada a jusante) mas, também, com a evolução vertical dos argilominerais (de illita na base em vermiculita no topo do perfil).

3.3- Mineralogia. Difractometria de raio X

A apresentação dos resultados será feita verticalmente, dos horizontes de argila manchada até a superfície, e lateralmente, de montante para jusante.

3.3.1- Caracterização mineralógica da parte a montante da topossequência

A análise dos resultados apresentará detalhadamente o perfil I como referência dos solos do platô. Nessa parte da topossequência, serão apresentados resultados, principalmente da fração argila, das frações silte e após tratamento de deferrificação (CBD).

Horizontes de argila manchada

Três amostras foram analisadas (I 250, I 150 e I 90cm). Todas as amostras de argila manchada (figuras V.8, V.9 e V.10, respectivamente) apresentam picos nítidos nas posições de 10,07 e 7,19 Å, que correspondem, respectivamente, a picos de ilita e caolinita (difratogramas O, G e A). As variações encontradas estão relacionadas à melhor definição dos picos de ilita em profundidade. Secundariamente, aparecem picos pouco definidos de goethita (a 4,15Å) e/ou hematita (a 2,70Å).

Horizontes superiores

Nesse conjunto, foram analisadas três amostras, I 60 e I 40 (dos horizontes subsuperficiais) e I 20cm (horizonte humífero). Observam-se nos difratogramas (O, G, A), em todos os casos, os picos nítidos de caolinita (particularmente a 7,17 Å) e os picos pouco intensos de ilita (a 10,30 Å). Aparece também um pico pouco nítido a 13,77 Å relacionado com a presença de vermiculita. As amostras foram submetidas a tratamento complementar, necessário para caracterização da vermiculita.

Em I 60cm, a associação ilita e caolinita também predomina. Nesse horizonte, o pico de ilita (a 10,12 Å) ocorre de forma menos simétrica que na argila manchada.

Em I 40 (figura V.11) e I 20cm observam-se nítidos picos de caolinita (7,17Å) e picos pouco intensos de ilita (a 10,16Å). Nessas amostras aparece, também, pico pouco nítido e largo de vermiculita a aproximadamente 14,4Å.

A presença de vermiculita aluminosa nos solos é comprovada após saturação por K e aquecimento progressivo. Os difratogramas obtidos nas condições ambientais do laboratório apresentam dois picos aproximadamente a 14 e 10Å. Após aquecimento a 150 e 300°C, os picos individualizados são substituídos por uma banda larga entre 10 e 14Å. Finalmente, após aquecimento a 500°C, aparecerá somente um pico assimétrico a 10Å. O estudo foi feito no

Figura V.8. Difrátogramas obtidos da fração argila natural e orientada (N), orientada e glicolada (G) e orientada e aquecida (A) de uma amostra de argila manchada (I 250cm): presença de ilita e caolinita.

Figura V.9. Difrátogramas obtidos da fração argila (N, G e A) da argila manchada (I 150cm) indicando a mesma composição mineralógica que a amostra I 250cm.

Figura V.10. Difrátogramas obtidos da fração argila (N, G e A) do horizonte de transição entre a argila manchada e o horizonte vermelho (I 90cm): Presença de illita e caolinita.

Figura V.11. Difrátogramas obtidos do horizonte subsuperficial vermelho (I 40cm) após tratamentos da argila: saturada com potássio (K), saturada com magnésio e glicolada (Mgg); saturada com potássio e submetida a aquecimentos progressivos (K150, K300 e K500). Presença de caolinita e vermiculita aluminosa.

caso da amostra I 40cm, que mostrou claramente a presença de vermiculita aluminosa com esse comportamento típico. A presença eventual de uma smectita é excluída pelo resultado da difração de raio X após o tratamento de saturação com Mg e etileno glicol. Caso houvesse presença de smectita, a saturação com Mg/etileno glicol deslocaria o pico de 14Å para 17Å. A saturação com K e aquecimento apenas provocaria um suave colapso do pico de 10Å para 9,8Å (Borchardt, 1989).

Após a deferrificação por CBD, os picos dos minerais argilosos foram melhor definidos. Para a amostra I 40cm, intensificou-se o pico que demonstra a presença da vermiculita aluminosa (a 14Å), illita e caolinita. Difere dos difratogramas da fração argila sem CBD por apresentar um pequeno pico, provavelmente correspondendo à gibbsita (a 2,37Å) e ao quartzo (a 4,26Å). Em I 150cm, ocorrem picos fortes de illita (a 10,14Å) e de caolinita (a 7,02Å).

A presença de traços de gibbsita no horizonte vermelho reforça a hipótese de que a diminuição da argila entre a argila manchada e esse horizonte corresponde à hidrólise da caolinita.

Observou-se, a partir dos resultados de granulometria, que a fração silte corresponde a uma fração quantitativamente importante. Foram obtidos difratogramas da fração silte fino e silte grosso após deferrificação. No caso da amostra I 40cm, o difratograma da fração silte fino apresenta pico intenso de illita (a 10,07Å) e menos intenso de caolinita (a 7,21Å), de quartzo (a 4,26Å), de anatásio (a 3,51Å) e de rutilo (a 3,23Å). Na fração silte grosso, observa-se forte pico de quartzo (a 4,26Å) e pico pouco intenso de caolinita (a 7,21Å) e de anatásio (a 3,51Å). No caso da amostra I 150cm, o difratograma da fração silte fino mostra intensos picos de illita e de quartzo e picos menos intensos de caolinita, de anatásio e de rutilo. No caso da fração silte grosso, observam-se intensos picos de quartzo e picos menos intensos de caolinita, de illita e de anatásio.

3.3.2- Variação lateral entre os perfis a montante e de transição da topossequência

Comparação entre os horizontes de argila manchada

Os difratogramas obtidos dos horizontes de argila manchada para os perfis H, G e F são similares aos do perfil I. Todos revelam picos nítidos nas posições de ilita e de caolinita e, aparecendo algumas vezes, picos pouco nítidos de goethita.

Comparação entre os horizontes superiores

Os difratogramas obtidos nesse conjunto de horizontes mostram que os picos da caolinita nos perfis H e G são nítidos e intensos. Ao contrário, o pico da ilita é menos intenso que nos horizontes de argila manchada, enquanto o pico de vermiculita aparece cada vez mais nítido, em contraste com o pico de ilita que se torna menos nítido.

No perfil de transição (F 40cm) (figura V.12), a constituição é a mesma, porém, o pico de caolinita é menos intenso, o pico de ilita é praticamente ausente e o pico de vermiculita mais intenso. O perfil F também se diferencia dos outros por apresentar um pico, pouco nítido a 4,82Å, provavelmente de gibsitita.

Nos difratogramas das amostras H 50cm, G 50cm e F 40cm, aparecem picos de goethita a aproximadamente 4,16 Å.

3.3.3- Caracterização mineralógica da parte jusante da topossequência

O perfil vertical representativo dos solos da depressão é o C. Primeiramente será descrita a constituição mineralógica dos horizontes do perfil C e, posteriormente, as variações laterais encontradas na parte central da depressão.

Horizontes brancos e argila manchada endurecida

Foram analisadas amostras dos horizontes branco inferior (C 220cm), argila manchada endurecida (C 150cm) e branco superior (C 90cm).

Em C 220 e C 150cm (figura V.13), o pico de caolinita (a 7,15Å) possui uma forte intensidade e o pico de ilita (a 10,03Å) uma forte intensidade e simetria. No horizonte branco superior, o pico de caolinita (a 7,22Å) é intenso e o pico de ilita (a 10,15Å) é menos intenso.

Figura V.12. Difractogramas (N, G e A) do horizonte subsuperficial esverdeado (F 50cm): presença de caolinita, vermiculita aluminosa, ilita e gibbsita.

Figura V.13. Difrátogramas (N, G e A) do horizonte branco inferior (C 150cm): presença de illita e caolinita.

Os resultados revelam constituição mineralógica semelhante nos três horizontes, e essa constituição é parecida com aquela de argila manchada observada a montante da topossequência.

Horizontes superiores ricos em matéria orgânica

Foram obtidos difratogramas de amostras C 60 e C 40cm (figura V.14). Em ambos há presença nítida e forte de caolinita (a 7,18 ou 7,22Å), vermiculita (a 14,39 ou 14,42Å) e gibbsita (a 4,87 ou 4,39Å). Em consequência da forte intensidade do pico de vermiculita, o primeiro pico de illita (a aproximadamente 10Å) é pouco visível e apenas o segundo, na posição de 3,34 Å, é visível com pouca intensidade. Os tratamentos complementares com K e Mg confirmam a forte presença de vermiculita aluminosa com o mesmo comportamento típico que já foi observado a montante.

3.3.4- Variação lateral entre os perfis a jusante e a montante

Horizontes brancos e argila manchada

Os difratogramas obtidos em E 200 (horizonte branco inferior) e E 150cm (argila manchada endurecida) revelam a mesma constituição mineralógica encontrada sistematicamente nos horizontes inferiores da topossequência: há presença forte de illita, acentuada com a profundidade e associada a caolinita.

Os difratogramas obtidos em E 125cm (argila manchada endurecida) e E 90cm (horizonte branco superior) mostram picos nítidos de caolinita e pouco nítidos de illita e vermiculita. Os difratogramas revelam a presença de goethita em ambos os horizontes, embora particularmente nítida em E 90cm.

No horizonte branco do centro da depressão (A 190cm) (figura V.15), há forte presença de caolinita (a 7,15 Å) e illita (a 10,03 Å).

Horizontes superficiais ricos em matéria orgânica

Os resultados do difratograma E 50cm (figura V.16) é similar aos encontrados nos horizontes superiores de montante: presença de caolinita (a 7,16 Å), vermiculita aluminosa (a 14,06 Å) e illita pouco nítida (a 10,04 Å). Difere dos horizontes superiores do perfil C da

Figura V.14. Difrátogramas do horizonte rico em matéria orgânica (C 40cm) após tratamentos (K, Mgg, K150, K300 e K500): Presença de caolinita, vermiculita aluminosa e gibsita.

Figura V.15. Difrátogramas (N, G e A) do horizonte branco do centro da depressão (A 195cm): Presença de illita e caolinita.

Figura V.16. Difrátogramas do horizonte rico em matéria orgânica (**E 50cm**) após tratamentos (K, Mgg, K150, K300 e K500). difere dos horizontes ricos em matéria orgânica da depressão pela ausência de gibbsita.

depressão pela ausência da gibbsita e pela presença de um pico pouco nítido a 2,68 Å, provavelmente de goethita.

Síntese

No conjunto de horizontes de argila manchada e branco inferior observa-se, sistematicamente, uma composição predominante de caolinita e ilita. Os picos da ilita são sempre mais nítidos na base desses horizontes. Verticalmente, em direção ao conjunto de horizontes superiores, também sistematicamente, e sempre em presença de caolinita, há a diminuição de ilita (picos menos nítidos e mais assimétricos), associada ao aparecimento de vermiculita aluminosa. Essa distribuição sugere que, da maior profundidade para a superfície da trincheira, há uma evolução mineralógica dos argilominerais, particularmente da ilita transformando-se em vermiculita aluminosa enquanto a caolinita permanece estável no perfil.

Lateralmente, não parece haver variação mineralógica entre a argila manchada e o horizonte branco inferior. O horizonte branco superior difere desses horizontes pela presença de vermiculita aluminosa associada com caolinita. Assim, no perfil E, por exemplo, a presença de vermiculita aluminosa associada a ilita e caolinita ocorre a profundidade maior que a montante. Nos horizontes subsuperficiais vermelhos → bruno vivo → esverdeado, encontra-se pouca variação de composição mineralógica. A presença predominante da associação vermiculita aluminosa e caolinita permanece nesses horizontes. Os horizontes ricos em matéria orgânica diferem, de forma acentuada, de todos os outros horizontes pela associação de vermiculita aluminosa com caolinita, com pouca ou nenhuma ilita, e com a presença freqüente de gibbsita.

3.4- Complexo absorvente

Capacidade de troca catiônica (CTC)

No perfil I, os valores de CTC (anexo 1) variam de 8 a 13 meq/100g nos horizontes húmiferos (de 5 a 25cm de profundidade). Nos horizontes subsuperficiais vermelhos (35cm de profundidade), o valor é de 7 meq/100g e, nos horizontes de argila manchada, variam entre 8 e 10 meq/100g.

No perfil F, o valor de CTC (anexo 3) nos horizontes húmíferos (de 5 a 25cm de profundidade) varia entre 8 e 10 meq/100g. No horizonte esverdeado (a 55cm de profundidade), a CTC é de 6 meq/100g e, na argila manchada (de 95 a 215cm de profundidade), varia entre 7 e 14 meq/100g.

No perfil C, os valores de CTC (anexo 4) variam entre 10 e 17 meq/100g nos horizontes ricos em matéria orgânica (de 5 a 85cm de profundidade). No horizonte branco superior (a 115cm de profundidade), o valor de CTC é de 5 meq/100g e, na argila manchada endurecida (a 155cm de profundidade), é de 6 meq/100g. No horizonte branco inferior (a 215cm de profundidade), o valor de CTC é de 11 meq/100g.

Lateralmente, os valores de CTC (figura V.17) nos horizontes húmíferos variam muito pouco, entre 8 e 13 meq/100g. Os valores maiores são observados nos horizontes mais superficiais da topossequência. Associados com o aparecimento dos horizontes ricos em matéria orgânica, na depressão, os valores de CTC aumentam bastante, chegando a atingir 23 meq/100g. Nos horizontes subsuperficiais vermelho, bruno vivo e esverdeado, os valores também são similares (aproximadamente 7 meq/100g). Nota-se que existe concordância entre as curvas e os horizontes.

Lateralmente, na argila manchada, as variações dos valores de CTC ficam entre 8 e 15 meq/100g e as curvas de isovalor não são concordantes com os horizontes. No horizonte branco inferior, o valor é similar aos valores encontrados na argila manchada, enquanto no horizonte branco superior os valores são menores (entre 5 e 10 meq/100g). Nesses dois horizontes brancos, a distribuição das curvas não é concordante com o aparecimento dos horizontes.

Saturação em bases

Em todos os horizontes da topossequência, o grau de saturação em bases é muito baixo, variando principalmente entre 3 e 6% (anexos 1, 3 e 4).

Alumínio trocável

No perfil I, o valor de alumínio trocável (anexo 1) é de aproximadamente 4 meq/100g nos horizontes húmíferos (de 5 a 25cm de profundidade), de 3 meq/100g no horizonte

subsuperficial vermelho (a 35cm de profundidade) e varia entre 6 e 7 meq/100g na argila manchada (de 95 a 275cm de profundidade).

No perfil F, nos horizontes húmiferos (de 5 a 25cm de profundidade) e no horizonte esverdeado (a 55cm de profundidade), o valor de alumínio trocável (anexo 3) é de aproximadamente 3 meq/100g (tabela). Na argila manchada (de 95 a 215cm de profundidade), o teor de alumínio trocável varia entre 4 e 9 meq/100g.

No perfil C, o valor de alumínio trocável (anexo 4) nos horizontes orgânicos (de 5 a 85cm de profundidade) varia entre 1 e 4 meq/100g. No horizonte branco superior (a 115cm de profundidade), o valor de alumínio trocável é de 3 meq/100g, na argila manchada endurecida (a 115cm de profundidade) o valor é de 4 meq/100g e no horizonte branco inferior (a 215cm de profundidade), é de 7meq/100g.

Lateralmente (figura V.18), observa-se que, nos horizontes húmiferos, existe pequeno decréscimo de alumínio trocável a partir de montante (isolinha de valor 4) até a vertente (isolinha de valor 3). Com o aparecimento dos horizontes ricos em matéria orgânica a jusante, existe diminuição um pouco mais acentuada (isolinha de valor 2) nos primeiros 40cm, enquanto abaixo, até a base desses horizontes, o valor aumenta de maneira mais expressiva (isolinha de valor entre 4 e 6). Nos horizontes subsuperficiais, os valores são similares no conjunto vermelho e bruno vivo (isolinha de valor 4), enquanto no horizonte esverdeado é ligeiramente inferior (isolinha de valor 3).

Entre a argila manchada e o horizonte branco inferior, não há variações laterais importantes. As curvas de isovalor são concordantes e apresentam-se em continuidade desde a argila manchada até o horizonte branco inferior. No horizonte branco superior, as curvas de isovalor são inferiores às curvas da argila manchada e horizonte branco inferior e apresentam uma associação mais estreita de continuidade com os horizontes subsuperficiais.

4- Conclusão

A montante, da base para o topo da trincheira, identifica-se uma seqüência mineralógica formada por um conjunto predominantemente de caolinita e ilita (argila manchada) e por um conjunto de caolinita, ilita e vermiculita aluminosa (horizontes subsuperficiais vermelhos e húmiferos). O aparecimento da vermiculita aluminosa está associado à diminuição da

intensidade do pico de ilita. Essa seqüência mineralógica é acompanhada de pouca variação do teor de SiO_2 e Al_2O_3 , de diminuição do teor de K_2O e de forte variação do teor de Fe_2O_3 . O máximo de Fe_2O_3 encontra-se na transição entre a argila manchada e os horizontes vermelhos.

Considerando os resultados obtidos na parte inferior da trincheira (transição lateral entre a parte inferior da argila manchada e o horizonte branco inferior), a composição mineralógica é homogênea, sempre com a predominância de caolinita e ilita. A jusante ocorre redução, pela metade, do teor de Fe_2O_3 e fraco aumento do teor de Al_2O_3 e de K_2O . Essas variações geoquímicas, sem modificação da constituição mineralógica, correspondem exatamente ao aparecimento do horizonte branco inferior. Acima, e ainda lateralmente, a composição mineralógica varia e é ilustrada pelo aparecimento de vermiculita aluminosa acompanhada de diminuição da intensidade de ilita. Isso corresponde exatamente ao aparecimento do horizonte branco superior e é associado à forte variação da composição geoquímica com diminuição muito forte do teor de Fe_2O_3 , Al_2O_3 e K_2O e um relativo aumento de SiO_2 .

O conjunto subsuperficial caracterizado pela associação caolinita, vermiculita aluminosa e ilita prolonga-se lateralmente, de maneira homogênea, até o início da depressão. Sem mudança aparente de mineralogia ocorre nítida e progressiva variação da composição geoquímica, caracterizada pela forte diminuição do teor de Fe_2O_3 e K_2O , e também por suave diminuição do teor de Al_2O_3 e de carbono.

Na depressão, ocorre um conjunto de composição mineralógica e geoquímica diferente, que corresponde aos horizontes ricos em matéria orgânica. Constitui-se de vermiculita aluminosa e caolinita, com a presença freqüente de gibbsita e ausência de ilita. A geoquímica é caracterizada pelos maiores teores de Al_2O_3 , carbono e TiO_2 e menores teores de SiO_2 da toposseqüência.

Finalmente, considerando a composição mineralógica e geoquímica, as partes a montante e a jusante da toposseqüência se diferenciam claramente :

- a montante e até o início da depressão, os resultados sugerem evolução vertical da base para o topo. Nota-se que as curvas de isovalor, em conformidade com os limites dos horizontes, são subhorizontais, paralelas à topografia;

- a jusante, a partir do centro da depressão em direção a montante, uma evolução lateral, sugerida pela morfologia dos horizontes, é confirmada pelos resultados analíticos. A presença dos horizontes brancos sugeriu uma dinâmica de embranquecimento ligada à perda de ferro e

provocada pela hidromorfia. Realmente, o embranquecimento, nos dois casos do horizonte branco superior e branco inferior corresponde a valores baixos em ferro. Nota-se que as curvas de isovalores são concordantes com os limites dos horizontes. Essas são oblíquas em relação à topografia e à organização subhorizontal dos horizontes a montante. Essa geometria evidencia evolução pedogenética com dinâmica lateral que não pode ser interpretada como formas de deposição sedimentar.

Se os resultados mostram com relativa clareza qual é, a jusante, a dinâmica responsável pela diferenciação dos horizontes brancos a partir da argila manchada, o mesmo não é válido para a gênese dos horizontes a montante. Os resultados obtidos definiram a constituição mas não a dinâmica de diferenciação dos horizontes, particularmente a origem e a dinâmica atual da argila manchada.

Finalmente, resta salientar que a representação da topossequência com curvas de isovalor mostrou ser eficiente para relacionar dados analíticos com a morfologia, para estabelecer relações de concordância e discordância e para dar subsídios às hipóteses de evolução.

CAPÍTULO VI

MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS FUNDOS MATRICIAIS.

EVIDÊNCIA DE DEFERRUGINIZAÇÃO A MONTANTE

1- Introdução

O estudo morfológico realizado no campo identificou os principais horizontes, sua organização e sugeriu hipóteses de transformação entre eles. O estudo da composição granulométrica, química e mineralógica dos horizontes deu subsídios para avaliar essas hipóteses, particularmente pertinentes no caso da parte a jusante da topossequência.

O estudo morfológico por microscopia óptica e eletrônica de varredura visa ao conhecimento da filiação e transformação entre os horizontes da topossequência. Isso é feito através do estudo da estrutura, do fundo matricial e das feições pedológicas, que são indicadores de evolução pedogenética. Uma vez descritos os fundos matriciais em diferentes escalas, revelando homogeneidade e heterogeneidade morfológicas (cor, distribuição relativa entre plasma e esqueleto, relação com a porosidade etc.), a análise por microsonda quantitativa tem como objetivo conhecer a composição química do plasma que compõe os fundos matriciais. O objetivo é certificar-se de que a homogeneidade morfológica corresponde respectivamente à semelhança e diferença de composição. Da mesma maneira como foram estabelecidas claramente relações de transformação em macroescala a jusante da topossequência, o estudo integrado de micromorfologia e microsonda visa a estabelecer as transformações na parte a montante onde não foram esclarecidas em escala menor.

2- Metodologia

2.1- Microscopia óptica

Ao longo da topossequência foram coletadas 92 amostras orientadas, com estrutura conservada, e também 37 torrões (4 a 5cm de diâmetro) não orientados e com a estrutura conservada. Após secagem (duas semanas nas condições ambientais do laboratório e uma noite numa estufa a 40°C), as amostras foram impregnadas com resina poliéster e foram confeccionadas lâminas delgadas e polidas de 45x60mm e 30x45mm (Fitspatrick, 1984).

A descrição micromorfológica foi feita com base na terminologia proposta por Brewer (1964) e Brewer e Sleeman (1988). Ocasionalmente foi utilizada a terminologia de Bullock *et*

al. (1985) e, neste caso, a referência é citada no texto. Assim, foram descritas a estrutura (pedalidade e unidades estruturais associadas a porosidade), o fundo matricial – composto pelo esqueleto, pelo plasma e eventualmente suas diferenciações (fases/manchas), além da distribuição relativa entre eles – e, ao final, as feições pedológicas. A definição de esqueleto e de plasma é próxima àquela proposta por Wackermann (1966). Entende-se por esqueleto os grãos de tamanho suficiente para serem individualizados com microscópio óptico. Por plasma, entende-se os constituintes com granulometria fina demais para serem identificados opticamente.

As lâminas foram observadas e descritas empregando-se luz transmitida sem cruzamento dos polarizadores (luz “natural” LN), luz transmitida com polarizadores cruzados (LP) e luz refletida (LR).

2.2- Microscopia eletrônica de varredura

Para a observação no MEV, foram utilizadas as mesmas lâminas. Após um polimento fino, as lâminas foram metalizadas com carbono (Bruand *et al.*, 1996 e Lamotte *et al.*, 1997a). O estudo foi efetuado utilizando um equipamento STEREOSCAN CAMBRIDGE 90B equipado com um detector de elétrons retroespalhados na ampliação entre x50 e x3000. O interesse na utilização de um detector de elétrons retroespalhados é revelar diferenças de constituição química que irão aparecer em diferentes níveis de cinza nas imagens (Kooistra & Tovey, 1994). É particularmente interessante para o estudo da morfologia e da distribuição do esqueleto, principalmente quartzoso (cinza-claro), dos argilominerais (cinza-escuro), dos óxidos de ferro (branco) e dos poros (preto).

2.3- Microsonda

As análises foram efetuadas nas lâminas delgadas, em áreas representativas escolhidas por observação com microscópio óptico e MEV. Dois tipos de medições foram feitas: (i) análises pontuais (diâmetro de aproximadamente 1µm ou 10µm) e (ii) cartografia da composição química em zonas de 20x20µm, com espaçamento dos pontos de análise igual a 1µm. O objetivo foi caracterizar a variação da composição química associada à variação da morfologia (por exemplo, entre os plasmas cinza, amarelo e vermelho da argila manchada) e

certificar-se da homogeneidade de composição no caso da ausência de diferença morfológica (por exemplo, no caso do horizonte subsuperficial vermelho).

As medidas foram feitas com uma microsonda do tipo CAMEBAX DATANIM SX60, cujo princípio de análise é baseado em uma espectrometria de comprimento de ondas emitidas depois de as lâminas serem submetidas a uma faixa eletrônica. As análises foram feitas com condição de voltagem de 15kV, de tensão de análise de 4nA e com tempo de contagem de 15s, após calibragem com minerais de referência (Pouchou, 1987 e Lamotte *et al.*, 1997b). Também foram utilizados grãos de feldspato das lâminas com minerais de referência para verificar a ausência de deriva do aparelho durante a medição. O tratamento dos dados do mapeamento foi feito por interpolação de *krigagem linear* utilizando o programa SURFER (1993-1996).

3- Caracterização micromorfológica dos fundos matriciais por microscopia óptica

A apresentação micromorfológica é feita na seguinte ordem:

- Perfis do platô ou montante (perfis I e H): as amostras do perfil I serão descritas como a referência dessa parte da topossequência.
- Perfis da vertente ou de transição (perfis G e F): nessa parte da topossequência serão descritas duas lâminas de argila manchada (uma de cada perfil), duas lâminas do horizonte subsuperficial (uma do horizonte bruno vivo e outra do horizonte esverdeado) e duas lâminas da transição entre a argila manchada e os horizontes subsuperficiais.
- Perfis de jusante ou depressão (perfis C e A): as amostras do perfil C serão descritas como referência dessa parte da topossequência.

3.1- Perfil do platô. Perfil de horizontes vermelhos sobre horizontes de argila manchada (Perfil I)

A síntese das observações será apresentada desde a maior profundidade até a superfície. Antes de apresentar os resultados das observações da argila manchada e dos horizontes superiores, será feita a descrição simplificada das lâminas correspondentes aos horizontes do material parental.

a) Horizontes do material parental

As lâminas I 550, I 500 e I 450cm mostraram que os horizontes abaixo da argila manchada são herdados de um arenito composto por grãos grosseiros de até 700 μ m de diâmetro, de quartzo mono ou policristalino e de minerais alteráveis não identificados. Esse arenito apresenta entre os grãos grosseiros um cimento argilo-ferruginoso vermelho e vermelho-amarelo. A transição com a argila manchada se faz de forma progressiva. Parece, claramente, que o arenito é o material parental da argila manchada.

b) Horizontes de argila manchada (à profundidade de 350 a 90cm)

As lâminas I 250, I 150, I 90cm foram estudadas detalhadamente em microscopia óptica. Os horizontes de argila manchada começam a exibir, da base para o topo e de maneira progressiva (a partir de 3,5m de profundidade), o fundo matricial com padrão repetitivo e típico da argila manchada. Uma síntese das observações será apresentada a seguir.

A pedalidade é pouco desenvolvida com estrutura em blocos angulares (0,8 a 1,5mm). A porosidade (20% da superfície) é composta por fissuras planares (50 μ m de largura), que formam uma rede quadrangular, e por canais biológicos (300 a 1200 μ m). As fissuras planares podem estar conectadas aos canais biológicos. O esqueleto (40% do fundo matricial) é predominantemente quartzoso e está distribuído aleatoriamente. O plasma (60% do fundo matricial) aparece em cores diferentes (LN): vermelho-escuro, vermelho, cinza e amarelo vivo. A distribuição relativa do esqueleto e do plasma é porfírica.

As fissuras planares delimitam domínios quadrangulares (Prancha VI.1 A e B). Esses domínios caracterizam-se por apresentar distribuição repetitiva do plasma que está concentrado em fases:

(i)- fase vermelho-escura (30%) (Prancha VI.1 A, B, C e D)

No centro dos domínios quadrangulares (Prancha VI.1 A e B) encontra-se a fase dominante vermelho-escura em LN (opaca em LP), formando manchas contínuas e grandes (500 a 700 μ m de diâmetro) ou menores (70 a 100 μ m) (Prancha VI.1C e D). Apresentam-se homogêneas ou associadas com a fase vermelha, geralmente nas suas bordas. Nesta fase não aparece esqueleto ou porosidade fina (nem com luz transmitida nem com luz refletida).

Prancha VI.1. Microscopia óptica (amostra I 150cm). (A) Padrão típico da argila manchada. Plasma vermelho escuro, vermelho, amarelo e cinza e esqueleto quartzoso (LN); (B) Padrão típico da argila manchada. Fissuras planares delimitando domínios quadrangulares (LP); (C) e (D) Plasma vermelho escuro sem esqueleto (LN e LP, respectivamente); (E) e (F) Detalhe do plasma vermelho da argila manchada composto por partículas ferruginosas (LN e LP, respectivamente).

(ii)- fase vermelha (30%) (Prancha VI.1 A, B, E e F)

A fase vermelha está localizada também no centro dos domínios quadrangulares e reparte-se em áreas de forma irregulares de dezenas a centenas de microns (Prancha VI.1 A e B). Com ampliação baixa, esta fase aparece constituída apenas de um plasma vermelho, porém, com ampliação forte (x500) esta fase aparece constituída de partículas ferruginosas de 2-3µm de diâmetro (50 a 70%) associadas a plasma cinza em LN e LP (15 a 25%) e a grãos de esqueleto (15 a 25%) (Prancha VI.1 E e F). As partículas apresentam-se opacas em LN e LP e brancas em LR. Elas possuem formas quadrangulares e aparecem isoladas e dispersas ou agrupadas. O estudo detalhado das partículas está fora do alcance do microscópio óptico.

(iii)- fase cinza (25%) (Prancha VI.1 A e B; Prancha VI.2 A e B)

A fase cinza ocorre preferencialmente entre as fases vermelho-escura e vermelha localizadas no centro dos domínios e a parede das fissuras (Prancha VI.2 A e B). Nesse caso, esta fase é pura. Ela pode também aparecer intimamente associada com a fase vermelha ou amarela e, nesse caso, essas duas fases aparecem sob a forma de pontuações. A fase cinza em LP apresenta-se massépica.

(iv)- fase amarela (15%) (Prancha VI.1 A e B; Prancha VI.2 A e B)

A fase amarela é muito viva (LN e LP). Geralmente, o plasma amarelo aparece como impregnação da parede dos poros fissurais ou biológicos (Prancha VI.2 A e B). Também pode ser encontrada localmente, em forma predominante no fundo matricial e, nesse caso, o limite com as outras fases é difuso.

Foram encontradas feições pedológicas. A fase amarela pode ser definida como quasi-cutan, segundo a terminologia de Brewer (1964), ou como hiporrevestimento poral, na terminologia de Bullock *et al.* (1985). Para estes últimos autores, esta feição representa figura de perda de óxidos de ferro denominada de *depletion features*. Também aparecem, no microscópio óptico, pequenos domínios de argila orientada e estriada, amarelo-clara, com extinção contínua (tratando-se provavelmente de glébulas) e raros revestimentos argilo-ferruginosos típicos (ferriargilans) encontrados ao redor de poros biológicos.

Prancha VI.2. Microscopia óptica. Argila manchada (A) e (B) Fase cinza localizada entre o poro e a fase vermelha do centro dos domínios quadrangulares e plasma amarelo vivo na parede das fissuras (amostra I 150cm) (LN e LP, respectivamente); (C), (D), (E) e (F) Horizonte de transição (I 90cm). (C)= Padrão similar à argila manchada com pequenas zonas vermelhas escuras no centro dos domínios (LN); (D) Desaparecimento da fase amarela viva fissural e limites progressivos entre as fases (LN); (E) Justaposição das fases e distribuição difusa dos óxidos de ferro (LN); (F) Fundo matricial homogêneo similar ao do horizonte vermelho superior (LN).

Assim, a associação das fases de diferente cor com limite nítido e regra de distribuição em função da porosidade estrutural constitui o padrão típico da argila manchada nitidamente visível na escala do microscópio óptico, da mesma forma como observada macroscopicamente.

A observação do fundo matricial no MEV (Prancha VI.3 A e B) revela que as fases vermelha e vermelho-escura (LN) aparecem brancas, que o plasma cinza (LP) aparece em cinza-escuro, que as partículas ferruginosas vermelhas (LN) aparecem muito contrastadas, de cor branca, bem individualizadas e com distribuição homogênea. No MEV, a porosidade aparece bem contrastada, de cor preta (Prancha VI.4 B). As fissuras maiores possuem abertura de 5 a 15 μm . As fissuras menores possuem aproximadamente 1 μm de abertura. Ao lado do esqueleto, poros fissurais da mesma largura podem ser encontrados. O fundo matricial argiloso aparece de forma compacta com porosidade interpartículas muito fina, visível apenas sob forte ampliação (porosidade inferior a 0,1 μm). Outra classe de poro, de aproximadamente 1 μm , de forma irregular, resultando do arranjo dos argilominerais, também pode ser encontrada porém é pouco desenvolvida.

c) Horizonte de transição entre os horizontes de argila manchada e os horizontes subsuperficiais vermelhos (Prancha VI.2 C, D, E e F)

A transição é progressiva. O estudo de uma lâmina (I 90cm) mostra que existe a seguinte justaposição:

- (i) padrão semelhante a argila manchada composta por uma associação das fases vermelho-escura, vermelha, cinza e amarela, com a mesma regra de distribuição e limite nítido entre elas;
- (ii) localmente as fases vermelho-escura e vermelha apresentam-se sem concentração muito nítida dos óxidos de ferro. Ao contrário, há indícios de difusão do ferro (Prancha VI.2 C). Ainda localmente, não há presença da fase amarela e o limite entre as fases vermelho-escura, vermelha e cinza é progressiva (Prancha VI.2 D);
- (iii) localmente, não há o padrão típico da argila manchada com a justaposição das fases. Os óxidos de ferro distribuem-se sem concentração, de maneira difusa (Prancha VI.2 E), originando um fundo matricial vermelho-amarelo homogêneo, que se revela idêntico ao fundo matricial dos horizontes superiores (Prancha VI.2 F).

Prancha VI.3. Imagem em MEV com destaque para a porosidade. (A) Argila manchada. Fundo matricial correspondendo a fase vermelha observada em microscopia óptica (amostra I 150cm); (B) Argila manchada. Fundo matricial correspondendo a fase cinza observada em microscopia óptica (amostra I 150cm); (C) Fundo matricial do horizonte subsuperficial vermelho (amostra I60cm).

d) Horizontes superiores (Prancha VI.4 A e B)

As observações em microscopia óptica foram feitas sobre as lâminas do perfil I (I 60, 40 e 2m). A pedalidade é fracamente desenvolvida. A estrutura predominante é maciça, embora se possa observar estrutura microagregada (100 a 200 μ m), bem individualizada ou não, preenchendo poros biológicos. A porosidade (40 a 50% da superfície) predominante é a porosidade biológica (300 a 500 μ m), porém podem ser encontradas pequenas fissuras.

O fundo matricial é homogêneo (Prancha VI.4 A). É formado por esqueleto (40%) predominantemente quartzoso, com diâmetro médio entre 50 e 80 μ m. O plasma (60%) é formado por argilominerais em associação íntima com óxidos de ferro e matéria orgânica identificada pela cor. Em LN, a cor do fundo matricial das lâminas I 60cm e I 40cm é vermelho-amarela com manchas ligeiramente mais avermelhadas. O plasma apresenta-se predominantemente silassépico ou ligeiramente massépico. Em I 60cm, o fundo matricial apresenta-se com estrutura microagregada de aproximadamente 40 μ m de diâmetro. Essa estrutura é pouco nítida em função da fraca porosidade interagregados. No horizonte superficial I 20cm, a cor é mais bruna graças à presença de matéria orgânica. A distribuição relativa do esqueleto e do plasma é porfírica.

A feição pedológica comum é constituída de nódulos ferruginosos vermelho-escuros, de tamanho muito variado (15 a 1000 μ m), arredondados e opacos. Observam-se na lâmina I 60cm, áreas vermelhas, pouco abundantes, de formas irregulares, com 50 a 100 μ m de diâmetro. Sob forte ampliação, elas são compostas por partículas ferruginosas idênticas àquelas observadas na argila manchada. As partículas estão espalhadas na borda dessas áreas, com limites mais difusos e diâmetro menor (Prancha VI.4 B). Constituem-se em relíquias dos volumes vermelho-escuros e vermelho da argila manchada.

Assim, o fundo matricial desses horizontes é muito diferente dos horizontes de argila manchada. São homogêneos, sem padrão manchado relacionado a porosidade fissural grosseira. No horizonte vermelho de subsuperfície, subsistem raras relíquias de manchas vermelhas com partículas ferruginosas herdadas do padrão da argila manchada. O plasma, composto de argilominerais, varia da maior profundidade até a superfície, passando para uma cor mais bruna em função do aumento de matéria orgânica.

Em MEV (Prancha VI.3 C), o esqueleto aparece em cinza-claro e o plasma em cinza-escuro. A porosidade em preto é composta de poros fissurais que possuem abertura de 1 μ m e

Prancha VI.4. Microscopia óptica. (A) Fundo matricial homogêneo, porfírico, do horizonte subsuperficial vermelho (amostra I 60cm). Presença de nódulos ferruginosos (LN); (B) Relíquias herdadas da argila manchada que distribuem-se em raras zonas do fundo matricial vermelho (amostra I 60cm, LN); (C) Plasma predominante cinza do horizonte branco inferior. Presença de pápulas amarelas claras incorporadas ao fundo matricial cinza (amostra C 215cm, LN); (D) Fase vermelha escura ferruginosa representando antigo preenchimento poral (amostra C 215cm, LN).

poros arredondados que aparecem com diâmetro entre 3 e 10 μ m. O plasma aparece muito compacto, com porosidade muito fina, inferior a 0,1 μ m.

3.2- Perfil da depressão. Perfil com horizontes ricos em matéria orgânica sobre horizontes brancos associados com um horizonte de argila manchada (perfil C)

Foram observadas, em microscopia óptica, lâminas de horizonte branco inferior (C 220cm), argila manchada (C 150cm), horizonte branco superior (C 100cm) e horizontes superficiais ricos em matéria orgânica (C 20, 40 e 60cm).

a) Horizonte branco inferior (Prancha VI.4 C e D)

Esse horizonte apresenta pedalidade fracamente desenvolvida. A estrutura maciça é associada a algumas unidades estruturais em blocos separados por fissuras planares. Essa porosidade é bastante desenvolvida (20% da superfície da lâmina), com largura de 5 a 170 μ m. Ocorrem também canais biológicos (500 μ m de diâmetro).

O esqueleto predominantemente quartzoso apresenta localmente grande variação de proporção (2 a 40% da superfície), embora a morfologia e o tamanho médio (50 μ m) sejam semelhantes. O plasma é cinza, amarelo, vermelho ou vermelho-escuro. A distribuição relativa entre o esqueleto e o plasma é porfírica.

Quatro fases são definidas segundo a combinação da cor predominante do plasma e da proporção do esqueleto:

(i) fase cinza (60%)

Fase predominante, ela é constituída por plasma cinza-claro (LN) com organização bimassépica (LP) (Prancha VI.4 C). O fundo matricial é puro ou está impregnado por plasma das outras fases, notadamente pelo amarelo. A proporção do esqueleto varia de forma abrupta. Em alguns locais, os grãos são quase ausentes (2%), enquanto em outros são abundantes (50 a 60%). Em alguns casos trata-se de preenchimento de poro biológico e, em outros, a variação é aleatória.

(ii) fase amarela (25%)

Esta fase é constituída de plasma amarelo vivo (LN) asséptico (LP). Situa-se na parede dos poros fissural ou biológico (quasi-cutan), com limite nítido e na borda das manchas vermelho-escuras ou vermelhas, também com limite nítido.

(iii) fase vermelha (10%)

Esta fase apresenta plasma de cor vermelha em LN e opaca em LP (sem birrefringência ou orientação). Distribui-se em áreas homogêneas e contínuas superiores a $60\mu\text{m}$, bordejadas de plasma amarelo, ou em áreas descontínuas e heterogêneas. Esta fase, com ampliação forte, é constituída de partículas quadrangulares de óxidos de ferro de 2 a $3\mu\text{m}$, que são predominantes (60 a 70%) e acompanhadas de esqueleto e de plasma cinza. Quando as áreas vermelhas são muito difusas, as partículas inexistem.

(iv) fase vermelho-escuro (5%)

Esta fase apresenta-se com cor vermelha muito escura em LN e é opaca em LP. Distribui-se em grandes áreas contínuas ($1500\mu\text{m}$) ou em pequenas áreas ($35\mu\text{m}$) de forma arredondada ou irregular, sempre bordejadas de vermelho ou amarelo. Na borda é possível observar partículas ferruginosas da mesma cor (vermelho-escuro). Esta fase também preenche várias antigas fissuras planares (Prancha VI.4 D).

As feições pedológicas encontradas nesse horizonte são:

- quasi-cutans (*depletion features*, segundo Bullock *et al.*, 1985) amarelos na parede dos poros funcionais atuais;
- fragmentos de cutans (pápulas), de cor amarela muito clara (LN), com extinção comum (LP), completamente incorporada à fase cinza;
- preenchimento de poro biológico (sepitúbulo e estriotúbulo);
- poros antigos completamente preenchidos por óxidos de ferro vermelho-escuros.

Em MEV (Prancha VI.5 A), o fundo matricial é similar ao fundo matricial da argila manchada, apresentando esqueleto e plasma cinza idênticos. Diferencia-se apenas pela menor proporção de partículas ferruginosas brancas. A porosidade também é similar à porosidade da

Prancha VI.5. Imagem em MEV com destaque para a porosidade. (A) Fundo matricial correspondendo ao horizonte branco inferior (amostra E 200cm); (B) Fundo matricial correspondendo ao horizonte branco do centro da depressão (amostra A 195cm).

argila manchada, com fissuras de aproximadamente $1\mu\text{m}$ e porosidade intra-plásmica fina inferior a $0,1\mu\text{m}$.

b) horizonte de argila manchada

O horizonte de argila manchada (lâmina C 150cm) situa-se entre os horizontes branco inferior e branco superior. A pedalidade é fracamente desenvolvida. A estrutura é maciça, embora possam ser encontradas unidades estruturais fendilhadas (*crack structure*, segundo Brewer e Sleeman, 1988). A porosidade em forma de fissuras planares é predominante. No fundo matricial, o esqueleto representa de 30 a 40%. Os grãos são quartzosos com diâmetro médio de $50\mu\text{m}$.

Quatro fases estão presentes: fase cinza (70%), fase vermelha (15%), fase vermelho-escura (10%) e fase bruno-amarela (5%). A descrição das fases vermelho-escura, vermelha e bruno-amarela é pouco segura porque elas apresentam mistura e limite pouco nítidos.

A fase cinza é similar àquela do horizonte branco inferior. O plasma é de cor cinza-claro (LN), fortemente massépica e localmente bimassépica (LP).

A fase vermelho-escura (LN) é opaca (LP). Pode aparecer em grandes áreas de forma irregular e associada, em alguns lugares, às fases vermelha e amarela. Pode aparecer também em pequenas áreas ($50\mu\text{m}$) de forma circular distribuídas pelo fundo matricial ou, ainda, em forma alongada e dendrítica. O limite desta fase com a fase cinza é nítido. O esqueleto está presente de maneira heterogênea.

A fase vermelha em LN é opaca em LP (baixa ampliação). Encontra-se associada intimamente com as outras fases: na borda ou no centro das zonas vermelho-escuras ou ainda misturada com a fase bruno-amarela.

Existem lugares de concentração de plasma bruno-amarelo, não vivo (LN), sem birrefringência (LP) e que está intimamente associado ao plasma vermelho. À medida que o fundo matricial é mais cinza, os plasmas ainda associados vão progressivamente tornando-se mais difusos (com raras impregnações bruno-amareladas muito claras) até desaparecerem completamente.

As feições pedológicas observadas são as seguintes:

- nódulos ferruginosos vermelho-escuros (LN), opacos, arredondados e com limite nítido.

c) horizonte branco superior (Prancha VI.6 A, B e C)

A lâmina correspondente está situada a 100cm de profundidade. A pedalidade é fracamente desenvolvida. A estrutura é maciça e as fissuras planares não delimitam unidades estruturais (*crack structure*). Comporta alguns poros biológicos. No fundo matricial, a proporção de esqueleto varia de 50 a 60%, são grãos quartzosos e possuem diâmetro médio de 50µm.

Quatro fases estão presentes:

(i) fase cinza (70%)

É a fase mais abundante e é similar à do horizonte branco inferior. Difere por apresentar plasma bimassépico (organização pouco nítida) e por conter matéria orgânica, como impregnações bruno-escuras ou sob a forma de fragmentos pretos e opacos.

(ii) fase vermelho-escura (15%)

É similar à do horizonte branco inferior, porém, as manchas vermelho-escuras são menos abundantes e de tamanho menor, sempre inferior a 300µm. Podem ser homogêneas contínuas ou descontínuas.

(iii) fase bruno-amarela (10%)

A fase bruno-amarela é similar à encontrada no horizonte de argila manchada. O plasma é fracamente silassépico. Esta fase pode aparecer impregnando o fundo matricial cinza, com limite difuso, ou ocorrer ao redor das manchas vermelho-escuras, vermelhas ou no interior de alguns nódulos.

(iv) fase vermelha (5%)

Esta fase pouco abundante está quase sempre situada na borda dos volumes vermelho-escuros e associada à fase bruno-amarela. O limite com a fase vermelho-escura é nítido e com a fase bruno-amarela é difuso.

Nesse horizonte são encontradas as seguintes feições pedológicas:

Prancha VI.6. Microscopia óptica. (A) Cutan de cor bruna amarela com extinção contínua, estrias e fissuras paralelas ao eixo principal no cinza do horizonte branco superior (amostra C 90cm, LN); (B) Feição típica de deferruginização atual do horizonte branco superior: nódulos ferruginosos com borda amarela (amostra C 90cm, LN); (C) Relíquia de nódulo ferruginoso restando apenas a periferia vermelha e amarela (amostra C 90cm, LN); (D) Fundo matricial do horizonte argilo-orgânico. Abundante porosidade biológica (amostra C 40cm, LN); (E) e (F) Padrão típico da argila manchada encontrado ao longo da topossequência (amostra F 175cm, LN e LP, respectivamente).

- cutans (Prancha VI.6 A) espessos de 150µm, de um bruno forte a bruno-amarelos (LN), de extinção contínua (LP) e com forma alongada. Possuem estrias e fissuras delgadas paralelas ao eixo principal;
- pápulas de cor amarela muito clara (LN), com extinção contínua (LP), associadas e incorporadas à fase cinza;
- abundantes nódulos ferruginosos (Prancha VI.6 B), vermelho-escuros (LN), opacos, circulares (1000µm de diâmetro) e com limite nítido;
- relíquias de nódulos ferruginosos (Prancha VI.6 C), restando apenas a periferia de cor vermelha e amarela com algumas manchas vermelho-escuras no centro (LN). O centro deferruginizado apresenta o mesmo fundo matricial da parte externa.

Em MEV (Prancha VI.5 B), o fundo matricial é composto por esqueleto em proporção relativamente superior à do plasma. Assim, torna-se pouco compacto, com uma porosidade abundante de 1 a 20µm. Os poros possuem tamanho variável e forma irregular, parecendo “cáries” no plasma.

d) horizontes superiores ricos em matéria orgânica (Prancha VI.6 D)

As lâminas do perfil C observadas correspondem à profundidade de 20, 40 e 60cm. Trata-se de horizontes ricos em matéria orgânica. A porosidade é bastante desenvolvida (30% da superfície da lâmina) e é composta por canais biológicos e câmaras bastante desenvolvidos (80 a 500µm de diâmetro). Essa porosidade pode estar associada a fissuras planares muito finas (10µm). A estrutura predominante é maciça, embora localmente a forte porosidade biológica rompa a continuidade da estrutura maciça (estrutura de cavidade ou *vugh structure* de Brewer e Sleeman, 1976).

O esqueleto mineral predominantemente quartzoso e possuindo diâmetro médio de 20µm representa de 2 a 10% do fundo matricial. A matéria orgânica ocorre na forma de pequenos grânulos arredondados de 30µm de diâmetro, pretos (LN) e opacos. Restos orgânicos, como raízes, são comuns. Ambos os constituintes distribuem-se aleatoriamente pelo fundo matricial.

O plasma é formado pela associação íntima de argilominerais e de matéria orgânica. A cor (LN) varia do preta ao bruno muito escuro nos horizontes de superfície C 20 e C 40cm e a

cor é bruna com manchas claras no horizonte C 60cm. No horizonte C 60cm, ocorrem raras manchas vermelhas. A distribuição relativa entre o esqueleto e o plasma é porfírica.

Raros nódulos ferruginosos presentes apenas no horizonte C 60cm estão preservados e são vermelho-escuros, opacos, com limite nítido. Outros, também raros, apresentam no centro numerosas fissuras amarelas.

3.3- Transição lateral entre os perfis do platô e da depressão (Prancha VI.6 E e F; Prancha VI.8 A, B, C, D, E e F)

3.3.1- Diferenciação lateral da argila manchada

As fissuras que delimitam os domínios da argila manchada estão presentes, desde montante até o meio da vertente. O fundo matricial é sempre mosqueado (vermelho-escuro, vermelho, amarelo e cinza) e as feições pedológicas são sempre de perda de óxidos de ferro. Pode-se observar variação local relacionada à proporção diferente de plasma ou de esqueleto (a proporção de esqueleto varia localmente de 10 a 40%).

A partir do meio da vertente em direção a jusante, a variação estrutural encontrada nesse conjunto de horizontes é forte. A estrutura em blocos angulares (perfil F e E) passa a estrutura fendilhada, caracterizada pela diminuição e pelo fechamento das fissuras.

No meio da vertente (perfis F e E) (Prancha VI.6 E e F), observa-se claramente o padrão da argila manchada caracterizado pela distribuição do plasma. As fissuras planares isolam domínios com centro vermelho-escuro e vermelho. As partículas ferruginosas são os principais constituintes da fase vermelha. Especialmente nos horizontes de argila manchada dessa parte da topossequência, essas partículas são abundantes. O diâmetro varia de 4 a 5mm. Na borda desses domínios e na parede das fissuras, encontra-se o plasma amarelo vivo. Entre o centro vermelho dos domínios e as fissuras distribui-se o plasma cinza orientado (Prancha VI.7 A e B).

A jusante (perfil C), o padrão da argila manchada está ausente. Restam apenas áreas vermelho-escuras e vermelhas, com forma irregular (homogênea ou não), circular ou fracamente dendrítica. A fase amarela de cor viva também desaparece. Há o aparecimento de uma fase bruno-amarelada que está associada às fases vermelho-escura e vermelha ou impregnando a fase cinza. No perfil C, há o aparecimento de nódulos ferruginosos isolados que não foram observados nos outros horizontes de argila manchada dos perfis de montante.

3.3.2- Transição entre a argila manchada e os horizontes brancos superior e inferior

O aparecimento dos horizontes branco superior e branco inferior ocorre na topossequência a partir do meio da vertente (perfil F). A partir do perfil E, quando esses horizontes tornam-se mais espessos, aparecem características nítidas dos solos da depressão.

Microscopicamente, o horizonte branco inferior apresenta organização similar àquela encontrada no horizonte de argila manchada, mas com fases em proporção diferente. A estrutura em blocos angulares e maciça nos perfis E e C é fendilhada no perfil A.

Da vertente para a depressão, há o aumento da proporção do esqueleto, embora esse não seja constante. No perfil F (175cm), a proporção de esqueleto é de 2%. Em C (a 200cm de profundidade), a proporção máxima é de 40% e em A (a 150cm de profundidade) a proporção é de 70%. Essa variação pode estar ligada à variação local do material sedimentar, uma vez que não ocorrem feições pedológicas associadas a elas (exceto uma zona com preenchimento de poro rica em esqueleto no perfil C).

As mesmas fases encontradas nos horizontes de argila manchada estão presentes no horizonte branco inferior. Em direção a jusante, porém, as fases que se distribuem seguindo o padrão repetitivo da argila manchada transformam-se. Permanecem relíquias (Prancha VI.7 C). As áreas vermelhas contínuas e homogêneas tornam-se descontínuas e isoladas no fundo matricial, compondo forma que lembra os domínios típicos do padrão da argila manchada. No perfil C, as áreas vermelho-escuras apresentam-se isoladas e de forma arredondada. Quando essa fase é muito difusa, as partículas ferruginosas estão ausentes. As partículas ferruginosas estão totalmente ausentes no perfil A.

As feições pedológicas de quasi-cutans existem apenas até o perfil C, desaparecendo completamente no perfil A, enquanto as pápulas existem em toda a sequência lateral desses horizontes.

Do horizonte branco superior do meio da vertente ao horizonte branco da parte central da depressão (Prancha VI.7 F), há leve aumento de proporção do esqueleto (proporção máxima de 60% no perfil C e 70% no perfil A). A fração predominante possui diâmetro de 50 μ m, porém, no perfil A, a proporção de grãos com 110 μ m é expressiva.

O plasma também se modifica, mas não de forma acentuada. Em direção a jusante, a fase cinza torna-se cada vez mais predominante (Prancha VI.7 D). Há o desaparecimento

Prancha VI.7. Microscopia óptica. Diferenciação lateral da argila manchada e aparecimento dos horizontes brancos (A) e (B) Fases vermelha, amarela e cinza da argila manchada com forte orientação do plasma cinza (amostra F 175cm, LN e LP, respectivamente); (C) Transformação da argila manchada em domínios vermelhos descontínuos com bordas amarelas (amostra E 165cm, LN); (D) Desaparecimento progressivo da fase vermelha (LN); (E) Limite difuso entre os plasmas. O plasma amarelo vivo desaparece restando apenas o plasma bruno-amarelo que impregna o fundo matricial cinza; (F) Fundo matricial predominantemente cinza do centro da depressão (amostra A 195cm, LN).

Prancha VI.8. Microscopia óptica. Transição lateral progressiva dos horizontes subsuperficiais. A cor do plasma transforma-se de vermelho em amarelo e, finalmente, em amarelo-esverdeado. (A) Fundo matricial do horizonte vermelho (amostra I 60cm, LN); (B) Fundo matricial do horizonte bruno-vivo (amostra G 50cm, LN); (C) Fundo matricial do horizonte esverdeado (amostra F 75cm, LN).

quase completo da fase vermelho-escura. A fase vermelha permanece como manchas pouco densas e com limite difuso. No horizonte branco superior não existe a fase amarela viva mas, sim, uma fase bruno-amarela que impregna a fase cinza ou localiza-se ao redor das áreas vermelho-escura e vermelha (Prancha VI.7 E). Quanto mais se aproxima da depressão, a fase vermelha associa-se mais intimamente à fase bruno-amarela, sendo impossível estabelecer o limite entre elas. As partículas ferruginosas estão presentes até o perfil C.

As feições pedológicas confirmam as condições generalizadas de deferruginização pela presença de fantasmas de nódulos apenas com a borda preservada. Permanecem também raros fragmentos de argilans (pápulas).

3.3.3- Variação lateral dos horizontes subsuperficiais (Prancha VI.8 A, B e C)

Os horizontes subsuperficiais são similares do ponto de vista da porosidade, da estrutura e do esqueleto. Predomina a estrutura maciça associada com a estrutura microagregada em raras zonas. O fundo matricial pode variar, apresentando localmente áreas vermelhas, herdadas da argila manchada. A diferença mais importante entre os horizontes subsuperficiais de montante e da vertente está ligada com a variação lateral progressiva da cor do plasma (Prancha VI.8 A, B e C). À profundidade de 50cm, por exemplo, o plasma que apresenta uma cor vermelha-amarela no perfil I, é de cor amarela no perfil G e amarela muito clara a esverdeada no perfil F.

3.3.4- Variação lateral dos horizontes superficiais

De montante para jusante, dos horizontes humíferos aos horizontes ricos em matéria orgânica, há diminuição da porcentagem de esqueleto, enquanto a porosidade aumenta. Nota-se um forte aumento da porosidade biológica. Nos horizontes humíferos, o fundo matricial é homogêneo e observa-se que o plasma avermelhado está intimamente associado à matéria orgânica. Nos horizontes ricos em matéria orgânica, a partir do meio da vertente até jusante, o fundo matricial ainda é homogêneo, porém torna-se muito escuro, nitidamente refletindo o aumento da matéria orgânica. Nesses horizontes é possível observar maior proporção de restos orgânicos que ainda podem ser identificados (particularmente raízes). Localmente, nódulos ferruginosos vermelho-escuros podem ser encontrados, mas estão ausentes na parte central da depressão.

3.4- Síntese das observações microscópicas

As observações microscópicas evidenciaram que os horizontes de argila manchada e brancos são constituídos, todos eles, de manchas vermelho-escura, vermelha (composta por partículas de óxido de ferro), cinza e amarela, mostrando coerência com os resultados da descrição macromorfológica. O conhecimento da distribuição das fases coloridas desse grande conjunto de horizontes de argila manchada mostrou que a dinâmica atual está ligada predominantemente à dinâmica do ferro.

Verticalmente, a montante, a diferenciação dos horizontes vermelhos a partir da argila manchada resulta da difusão do ferro, sinônimo de pedoplasmação, transformando um fundo matricial manchado em outro homogêneo. Localmente, encontram-se relíquias (raras zonas com partículas ferruginosas, por exemplo) herdadas do antigo fundo matricial manchado.

Lateralmente, a deferruginização dos horizontes superiores vermelhos origina a formação sucessiva de horizontes bruno vivo e esverdeado. Isso também foi mostrado através de relíquias.

Ainda lateralmente, no conjunto inferior, o desaparecimento das manchas vermelhas provoca o aumento da proporção relativa das manchas cinza, originando assim os horizontes brancos através de deferruginização acentuada.

Do ponto de vista da porosidade, os horizontes de argila manchada são caracterizados por apresentar principalmente poros fissurais (delimitando domínios típicos) e poros finos, resultado do arranjo dos argilominerais. Em direção a jusante, a porosidade é do tipo fendilhada (*crack structure*), os poros finos permanecem. No horizonte branco superior, há o aparecimento de poros de tamanho intermediário, cuja forma descrita como “cáries” sugere perda de plasma por eluviação.

4- Estudo detalhado do fundo matricial da argila manchada por MEV

4.1- Observação

Foram observadas várias lâminas desse conjunto (figuras I150, I250, E200 e C150). A síntese será feita sobre a lâmina I 150cm, pois ela apresenta áreas com padrão típico da argila manchada e servirá como referência do conhecimento morfológico das fases.

(i) Fase vermelha (Prancha VI.9 C)

A principal característica desta fase é ser constituída de óxido de ferro concentrado na forma de partículas bem individualizadas (2-3 μ m de diâmetro). Densas e de cor branca, elas são facilmente distinguíveis dos outros constituintes. A distribuição é aleatória e o espaçamento médio entre elas é de aproximadamente 20 μ m. Em alguns locais, são observadas partículas que provavelmente estão se alterando (Prancha VI.9 D). Apresentam a mesma morfologia, porém deixam de ser brancas e densas e tornam-se cinza-claro e menos densas. O contato entre as zonas que possuem partículas de óxidos de ferro e as outras pode ocorrer com limite abrupto e nítido ou com limite progressivo. As observações no MEV confirmam que a presença das partículas corresponde sempre à fase vermelha observada no microscópio óptico.

(ii) Fase vermelho-escura (Prancha VI.9 E e F)

Esta fase é constituída de forte concentração de óxidos de ferro de cor branca sem individualização de partículas (Prancha VI.9 E). O plasma é constituído exclusivamente por óxidos de ferro e o esqueleto está ausente (Prancha VI.9 F). A concentração do ferro forma áreas que variam de 50 a 1000 μ m. O centro dessas áreas é denso. Na borda, há um espalhamento de partículas ferruginosas.

(iii) Fase cinza (Prancha VI.10 A)

O esqueleto é distribuído aleatoriamente. O plasma é constituído predominantemente por argilominerais muito finos e por argilominerais maiores, entre 10 e 40 μ m de extensão, que se distribuem aleatoriamente. O plasma cinza aparece massépico em microscópio óptico. A observação no MEV revelou claramente que a orientação reflete a presença de argilominerais alongados ou em pacotes (ilita e caolinita) associados a argilominerais muito finos (caolinita). A ilita apresenta-se alterada e, algumas vezes, comporta óxidos de ferro, de 1 a 3 μ m, na superfície ou na extremidade dos filetes.

Ao redor das fissuras e poros biológicos, o fundo matricial cinza aparece localmente constituído por plasma homogêneo, fino e sem esqueleto. Aparece em áreas de aproximadamente 20 μ m e dispõe-se ao lado de fissuras atuais ou antigas (completamente preenchidas) de argila.

Prancha VI.9. Imagens de MEV. (A) Padrão típico da argila manchada a montante (amostra I 150cm); (B) Padrão típico da argila manchada a jusante (amostra E 200cm); (C) Fase vermelha. Partículas ferruginosas (brancas), argilominerais (cinza escuro) e quartzo (cinza clara); (D) Partículas ferruginosas possivelmente se alterando; (E) No centro, concentração ferruginosa (fase vermelha escura) e, no entorno, partículas ferruginosas isoladas (fase vermelha); (F) Detalhe de (E): ausência de grãos de quartzo na fase vermelha escura.

Prancha VI.10. Imagens de MEV. (A) fase cinza da argila manchada; (B) fase amarela na parede do poro fissural. Ausência de partículas ferruginosas ao redor da fissura; (C) detalhe das partículas ferruginosas isoladas; (D) poro biológico funcional. Ausência de partículas ferruginosas ao redor do poro indicando a deferruginização atual.

(iv) Fase amarela (Prancha VI.10 B)

O fundo matricial amarelo está, constantemente, associado à porosidade, seja fissural ou biológica. A observação desta fase no MEV revela uma coloração cinza-claro. Esta fase, quando está localizada na parede dos poros, é pouco espessa, tratando-se apenas de impregnação densa que desaparece progressivamente da parede até o centro dos domínios da argila manchada, onde aparecem apenas pequenas pontuações. Raramente são encontradas partículas de ferro da fase vermelha.

4.2- Síntese das observações por MEV

As observações detalhadas permitem afirmar que o fundo matricial de argila manchada heterogêneo respeita um padrão repetitivo. A fase vermelho-escuro apresenta exclusivamente constituintes de ferro, não individualizados em partículas, sem plasma (caolinita e ilita) e sem esqueleto. Corresponde a preenchimentos de poros fissurais ou biológicos antigos. A fase vermelho-escuro parece ser a mais resistente a deferruginação. Ao contrário, na fase vermelha, os óxidos de ferro apresentam-se em forma de partículas isoladas associadas a plasma (caolinita e ilita) e esqueleto (Prancha VI.10 C). A dinâmica atual provoca a eliminação do ferro por dissolução das partículas ferruginosas, começando pela borda da fase vermelha e originando a fase cinza. O empobrecimento em ferro também origina a fase amarela. Parte dos óxidos de ferro (que anteriormente estavam na forma de partículas isoladas) é eliminada através dos grandes poros, enquanto outra parte é oxidada e fixada, impregnando a parede dos poros. Assim, existe uma filiação entre as fases vermelha, cinza e amarela. Isso pode ser afirmado pela distribuição do esqueleto, que é geralmente similar. Os grandes poros são, atualmente, funcionais, sendo o caminho preferencial para a partida dos óxidos de ferro (Prancha VI.10 D). Ao redor desses poros, localmente, há iluviação argilosa indicando também a mobilidade do plasma.

5- Estudo da composição química dos principais fundos matriciais por microsonda

5.1- Resultado das análises

As análises pontuais mostram que todos os fundos matriciais são compostos predominantemente por Si, Al, Fe, K e Ti, em proporção variável, e por traços de Na, Ca, Mg,

Mn, S e P. O valor da concentração é expresso em porcentagem mássica de óxidos. No total foram obtidas aproximadamente 3500 análises químicas.

O mapeamento foi feito em oito zonas:

- Horizonte de argila manchada (lâmina I 150cm): Zona 1- fase vermelho-escura (concentração de ferro geralmente sem individualização de partículas ferruginosas), Zona 2- fase vermelha (partículas ferruginosas isoladas associadas com plasma cinza), Zona 3- fase cinza, Zona 4- fase amarela na parede do poro.
- Horizonte subsuperficial vermelho (lâmina I 60cm): Zona 5- fundo matricial vermelho.
- Horizonte branco superior (lâmina C 90cm): Zona 6- fase cinza e Zona 7- fase vermelho-escura.
- Horizonte branco inferior (lâmina A 195cm): Zona 8- fase cinza.

Zona 1- Fase vermelho-escura do horizonte de argila manchada (figura VI.1 A)

Esta fase é composta principalmente por óxidos de ferro sem individualização de partículas. O teor de Fe_2O_3 varia de 70 a 90% (figura VI.1 B), o teor de K_2O , de 0,5 a 1,5% (figura VI.1 C) e Si/Al é de 1,3 a 1,5 (figura VI.1 D). A distribuição espacial dos elementos é muito homogênea e os mapas confirmam a ausência de deferruginização já perceptível morfológicamente em microscopia.

Zona 2- Fase vermelha (figura VI.2 A)

A área apresenta-se no MEV composta de partículas ferruginosas, brancas, isoladas e associadas com plasma cinza e esqueleto. Os teores mínimo e máximo de Fe_2O_3 são de 5 e 70% (figura VI.2 B). O teor de K_2O varia de 1 a 8% (figura VI.2 C) e Si/Al é de 1,1, embora localmente possa ser atingido o valor 4 (figura VI.2 D). A distribuição espacial dos elementos é muito heterogênea do ponto de vista da composição do ferro, que se encontra concentrado nas partículas. No centro das partículas, o teor de Fe_2O_3 varia entre 55 e 70%, os menores teores de K_2O são sempre inferiores a 2% e a relação Si/Al é de 1,1. No plasma cinza, o teor de Fe_2O_3 é inferior a 5%, o teor médio de K_2O geralmente varia de 2 a 3% (exceto em

Figura VI.1. (A) Zona 1 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial vermelho escuro da argila manchada (amostra I 150cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente).

Figura VI.2. (A) Zona 2 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial vermelho da argila manchada (amostra I 150cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente).

algumas áreas onde a presença da illita eleva o teor para até 8%) e a relação Si/Al também é 1,1.

Zona 3- Fase cinza (figura VI.3 A)

A observação no MEV sugeriu que essa área é composta apenas por argilominerais de caolinita e illita e de esqueleto. Os resultados da microsonda mostram que o teor de Fe_2O_3 varia de 1 a 4% (figura VI.3 B), o teor de K_2O , de 1 a 8% (figura VI.3 C) e Si/Al, geralmente de 1,1 a 2 (exceto localmente quando apresenta valor de 18 na proximidade de grão de quartzo) (figura VI.3 D). A distribuição espacial do teor de Fe_2O_3 é homogênea. O teor de K_2O varia de acordo com a constituição mineralógica: as isolinhas de menor valor (inferior a 3%) estão associadas com o plasma caolínítico, enquanto as isolinhas de maior valor (até 8%) associam-se com argilominerais em forma de filete de illita. Localmente, onde se encontra o mínimo de Fe_2O_3 (1%) e de K_2O (1%), observam-se os maiores valores de Si/Al, contrapondo-se ao restante da área onde Si/Al é inferior a 2.

Zona 4- Fase amarela na parede de poro (figura VI.4 A)

Trata-se de uma zona que aparece em microscopia óptica como uma acentuada impregnação amarela na parede de um poro fissural. Em MEV, apresenta constituintes finos de caolinita e mais grosseiros de illita. Sob maior aumento, observam-se numerosas pontuações brancas de óxido de ferro. O teor mínimo e máximo de Fe_2O_3 é de 5 e 30% (figura VI.4 B), o teor de K_2O varia de 1 a 8% (figura VI.4 C) e Si/Al varia de 1,0 a 1,2 (figura VI.4 D). As curvas de isovalor do Fe_2O_3 distribuem-se *grosso modo* paralelas à parede do poro. Quanto mais perto do poro, menor é o valor (10 e 15% perto do poro e 20 a 25% mais longe). Localmente, observa-se uma zona com baixo teor de Fe_2O_3 (10 a 15%), que está associada ao valor maior de K_2O (até 8%).

Figura VI.3. (A) Zona 3 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial cinza da argila manchada (amostra I 150cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente).

Figura VI.4. (A) Zona 4 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial amarelo da argila manchada (amostra I 150cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente).

Zona 5- Fundo matricial do horizonte subsuperficial vermelho (figura VI.5 A)

O teor de Fe_2O_3 é predominantemente de 10 a 12,5% (figura VI.5 B), o teor de K_2O é de 2,5 a 3% (figura VI.5 C) e Si/Al varia de 1,0 a 1,1 (figura VI.5 D). Localmente aparecem as curvas de menor valor de Fe_2O_3 (até 5%), que coincidem com o menor valor de K_2O (0,5%) e com o maior valor de Si/Al , relacionadas à presença de minerais primários (mica ou feldspato).

Zona 6- Fase cinza do horizonte branco superior (figura VI.6 A)

No MEV, a área apresenta apenas plasma de cor cinza. Os resultados da microsonda revelam teor de Fe_2O_3 de 0,5 a 5% (figura VI.6 B), de K_2O de 0,5 a 6,5% (figura VI.6 C) e Si/Al de 1,1 a 3,5 (figura VI.6 D).

Essa área é muito homogênea, com isovalores de Fe_2O_3 de 2 a 2,5% e, localmente, em uma única zona, ocorre valor máximo de 5%. A mesma homogeneidade é observada para K_2O que quase sempre é de 2,5% (embora localmente se observem isolinhas de 3% e de até 6,5%, sendo que esta última coincide com a zona de maior valor de Fe_2O_3). Em quase toda a área, Si/Al é de 1,1 e, localmente, ocorre valor maior de 2 a 3,5.

Zona 7- Fase vermelho-escura do horizonte branco superior (figura VI.7 A)

A observação no MEV mostra que esta fase vermelho-escura em microscopia óptica corresponde a um nódulo homogêneo localizado próximo a um grão de quartzo. Na fase vermelho-escura, longe do quartzo, o teor de Fe_2O_3 varia de 80 a 90% (figura VI.7 B), o teor de K_2O é de 0,25% (figura VI.7 C) e Si/Al é de 0,9 a 1,0 (figura VI.7 D). A distribuição dos elementos é muito homogênea e as únicas variações estão relacionadas à presença de grão de quartzo.

Zona 8- Fase cinza do horizonte branco do centro da depressão (figura VI.8 A)

Essa área apresenta teor de Fe_2O_3 geralmente de 2,0 a 3,0% (figura VI.8 B), o teor de K_2O é de 3% (figura VI.8 C) e Si/Al é de 1,3 (figura VI.8 D). Assim, essa área apresenta-se homogênea, seja do ponto de vista da morfologia quanto da composição. A variação espacial de composição está ligada à proximidade de grãos de quartzo.

Figura VI.5. (A) Zona 5 seleccionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial do horizonte subsuperficial vermelho (amostra I 60cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe₂O₃, K₂O e Si/Al, respectivamente).

Figura VI.6. (A) Zona 6 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial cinza do horizonte branco superior (amostra C 90cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente).

Figura VI.7. (A) Zona 7 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial vermelho escuro do horizonte branco superior (amostra C 90cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe_2O_3 , K_2O e Si/Al , respectivamente).

Figura VI.8. (A) Zona 8 selecionada para a cartografia por microsonda. Fundo matricial cinza horizonte branco do centro da depressão (amostra A 195cm); (B), (C) e (D) Variação espacial de composição (Fe₂O₃, K₂O e Si/Al, respectivamente).

5.2- Síntese das análises por microsonda

As análises químicas mostram teor de sílica, alumínio e potássio coerentes com a natureza dos argilominerais nos principais fundos matriciais que são constituídos principalmente de caolinita e ilita. As diferenças de teor desses elementos possivelmente revelam variação de proporção dos argilominerais.

O resultado da cartografia por microsonda mostra que existe uma correspondência estreita entre a morfologia e a composição química do fundo matricial. A principal diferença morfológica observada macro e microscopicamente está ligada à variação do teor de ferro, expressa por diferença de cor. Existe um gradiente de teor de ferro, de 85% a menos de 3%, a partir das manchas vermelho-escuras até as manchas cinza. Valores intermediários ocorrem nas manchas vermelha e amarela. O estudo da variação espacial mostrou que o limite morfológico nítido entre as manchas corresponde a limite abrupto de composição, por exemplo, as partículas ferruginosas individualizadas correspondem a 50-75% de óxido de ferro, enquanto o plasma cinza, ao redor, contém apenas 3%. Por outro lado, quando o fundo matricial aparece homogêneo, a composição química é pouco variável. Assim, o resultado confirma que, na argila manchada, o ferro encontra-se concentrado nas manchas vermelho-escura e vermelha. Além disso, nas manchas vermelhas, o ferro está segregado em partículas microscópicas. A montante, em direção à superfície do solo, ao contrário, o ferro está disperso em um fundo matricial homogêneo. A jusante, o ferro é segregado em nódulos reliquiaes herdados das manchas vermelho-escuras. Existe uma analogia entre as manchas cinza (a montante da topossequência), que são o resultado da deferruginização das manchas vermelhas, e o fundo matricial cinza típico dos horizontes brancos a jusante.

6- Conclusão

O estudo por microscopia e microsonda mostrou que, na origem, o fundo matricial da argila manchada era composto de argilominerais constituindo o plasma cinza (caolinita e ilita) e de óxidos de ferro segregados na forma de partículas ferruginosas (microscópicas, isoladas e numerosas). A dinâmica que originou a concentração do ferro na forma dessas partículas (fase vermelha) também foi responsável pelo preenchimento completo dos poros antigos (fase vermelho-escura). Posteriormente, a abertura de novos poros, particularmente de fissuras, condicionou o desenvolvimento de manchas (cinza ou amarela) por deferruginização

do antigo fundo matricial. A generalização dessa dinâmica originou o padrão repetitivo que se encontra em toda a grande extensão da argila manchada. A análise química quantitativa mostrou que a diferenciação em manchas está relacionada a diferentes teores de óxido de ferro. Os teores foram definidos desde a origem, no caso das manchas vermelho-escura e vermelha, e definidos pela deferruginização (atual), no caso das manchas cinza e amarela.

Lateralmente, em direção a jusante, o mesmo processo de deferruginização ocorre, a partir do mesmo fundo matricial antigo, mas de maneira mais acentuada. A proporção e o tamanho das manchas cinza aumentam até se generalizar e formar o fundo matricial dos horizontes brancos. Esse fundo matricial mantém a mesma composição das manchas cinza a montante. O fundo matricial do horizonte branco superior distingue-se do fundo matricial do branco inferior pela eluviação de argila. A presença de numerosos poros típicos em forma de “cáries” é a prova da influência marcante desse processo.

A montante, os horizontes superiores são formados a partir da argila manchada por efeito de dinâmica diferente, que provoca a difusão dos óxidos de ferro e a formação do fundo matricial homogêneo, embora conservando raras relíquias da argila manchada. A deferruginização atual desse fundo matricial homogêneo, em direção a jusante, provoca progressivamente uma mudança de cor, passando de vermelho para bruno vivo e, finalmente, para esverdeado.

CAPÍTULO VII

DISCUSSÃO

O estudo realizado em uma região da Amazônia brasileira, situada entre as cidades de Porto Velho (RO) e Humaitá (AM), teve como objetivo inicial contribuir para o melhor conhecimento dos processos pedogenéticos envolvidos na transformação de solos ferralíticos vermelhos em solos hidromórficos brancos.

A hipótese inicial era que a expansão da hidromorfia em detrimento dos solos ferralíticos seria a causa da exportação dos óxidos de ferro. Consideradas por alguns autores (Daniels *et al.*, 1975; Williams & Coventry, 1979; Cury & Franzmeier, 1984, Peterschmitt *et al.*, 1996) como uma das topossequências mais representativas das regiões tropicais, a transição entre perfis vermelho, amarelo e cinza apresenta feições morfológicas estreitamente ligadas com o regime hídrico. Para Fitzpatrick (1987), os processos principais de diferenciação são ligados à mobilização, perda e concentração do ferro. Fitzpatrick (1987) mostra em uma representação esquemática que no perfil a montante a acumulação relativa do ferro predomina e que a argila manchada corresponde a uma zona de mobilização do ferro na forma reduzida. A parte intermediária e a jusante da topossequência, respectivamente nos perfis amarelo e cinza, correspondem, segundo Fitzpatrick (1987), às zonas de mobilização e de acumulação absoluta de ferro. Segundo Fanning & Fanning (1989), o processo de “gleisação” pode ocorrer localmente ou de forma generalizada, induzindo à formação de feições pedológicas típicas. O croma é baixo e de cor cinza onde o ferro é removido, e o croma é alto e vermelho-escuro onde o ferro se acumula. Uma vez detectadas essas feições, o objetivo é caracterizar quais são as transformações envolvidas.

As imagens de satélite mostraram que os campos de savana são enclaves dentro da extensa área florestal. A bibliografia referente aos estudos palinológicos e isotópicos realizados nessa região mostra que a associação dessas coberturas vegetais foi determinada por variação paleoclimática que, principalmente no quaternário, provocou alternadamente expansão e/ou regressão das coberturas florestais. Mapeamento pedológico realizado em escala regional atribuiu a descontinuidade de solos à diferença de vegetação: Podzólico

Vermelho-amarelo nas áreas florestais e Laterita Hidromórfica nos campos. No presente estudo, a partir de um mapeamento detalhado de uma unidade elementar da paisagem (microbacia formando a nascente de um igarapé), mostrou que a descontinuidade pedológica não está relacionada com a descontinuidade vegetal, mas sim ao limite topográfico. Observou-se, a partir deste estudo, que o Podzólico Vermelho-amarelo encontra-se no platô e o solo Hidromórfico situa-se na depressão, tanto no campo quanto na floresta. O desenvolvimento dos solos hidromórficos nas áreas deprimidas do platô é determinado pelo funcionamento hídrico. Nossos resultados mostram que durante a estação seca o lençol está a aproximadamente 5m de profundidade. Após as primeiras chuvas fortes, sobe rapidamente, ficando a 1m de profundidade a montante e submergindo a depressão (até 0,5m de altura de água). Durante aproximadamente 8 meses por ano os solos apresentam um regime hídrico dominado pela saturação. A depressão parcialmente aberta se esvazia, tanto por escoamento superficial quanto por drenagem interna, em direção do eixo de drenagem principal.

Além das transformações da cobertura pedológica provocadas pela hidromorfia, o estudo também teve como objetivo analisar mais detalhadamente a filiação entre os horizontes sobrepostos na parte a montante da topossequência. Isso se deve ao fato de que não se sabia qual era a relação entre o sedimento e o espesso conjunto de argila manchada cuja presença é generalizada na região, assim como, entre a argila manchada e os horizontes superiores vermelhos.

O sistema de solo envolvendo Podzólico Vermelho-amarelo a montante e Lateritas Hidromórficas na depressão a jusante é representativo de uma grande região da Amazônia brasileira. Após numerosas tradagens de reconhecimento regional para confirmar essa representatividade, foi escolhida uma vertente para o estudo detalhado e foram individualizados cinco conjuntos de horizontes:

(i) em profundidade, tanto a montante quanto a jusante, o material parental sedimentar – que provavelmente é o material parental dos solos – é composto por níveis de arenito alterado, silto-arenosos, friáveis e com cimento argilo-ferruginoso. Na base, esse arenito é intercalado por níveis mais argilosos e compactos, que são assoalhos de lençol;

- (ii) acima, um conjunto de argila manchada espesso (3m a montante) e extenso (70m ao longo da topossequência). Termina em forma de língua, lateralmente em direção a jusante;
- (iii) lateralmente, onde ocorre a interrupção da argila manchada, há presença de horizontes brancos acima e abaixo da terminação em forma de língua;
- (iv) em subsuperfície, acima da argila manchada, diferenciam-se três horizontes com transição lateral progressiva: vermelho, bruno vivo e esverdeado;
- (v) à superfície, no platô, ocorrem horizontes humíferos que, para jusante, passam a horizontes orgânicos espessos.

O presente estudo permitiu compreender a filiação entre os conjuntos de argila manchada, horizontes subsuperficiais e horizontes brancos. Também foram obtidos dados sobre a relação entre a alteração do arenito e a formação da argila manchada, bem como a gênese da concentração de matéria orgânica na depressão.

A morfologia mostrou material sedimentar homogêneo, numa espessura de 440m a montante e 160m a jusante e, na base, material heterogêneo apresentando uma sucessão litoestratigráfica. O estudo granulométrico confirmou a presença de material sedimentar relativamente homogêneo, caracterizado por curvas de distribuição de tamanho de partículas arenosas típicas (moda entre 14 e 15 μ m). Não aparecem evidências de descontinuidade sedimentar entre os horizontes do arenito alterado, da argila manchada, dos horizontes vermelhos e humíferos. As pequenas diferenças observadas localmente podem estar ligadas à variação local das condições de sedimentação do material sedimentar homogêneo. O material heterogêneo foi caracterizado por curvas de distribuição de partículas bastante diferentes entre si (moda entre 8 e 12 μ m).

O resultado das observações macromorfológicas e de distribuição das curvas de isovalor construídas a partir da análise granulométrica, química e físico-química evidencia duas unidades de evolução pedogenética ao longo da topossequência. Uma unidade desenvolve-se no platô, a montante da topossequência, e outra desenvolve-se na depressão, a jusante da topossequência. A primeira apresenta uma sequência de horizontes sobrepostos e diferenciados verticalmente. Nahon (1991) define esse tipo de organização como “unidade

estrutural original". Nessa unidade, a evolução pedológica é litodependente. Nós mostramos que ela se inicia com a alteração do sedimento areno-siltoso cujo resultado é a formação dos horizontes de argila manchada (os produtos de alteração são caolinita, ilita e óxidos de ferro). A parte superior da cobertura pedológica, atualmente sujeita a rápidas variações de umidade e dessecação, provoca a pedoplasmação por redistribuição de argila e difusão do óxido de ferro. Isso gera os horizontes com fundo matricial homogêneo vermelho e a formação de nódulos. Esses horizontes são compostos por caolinita, vermiculita aluminosa e óxidos de ferro. Segundo Nahon (1991), a pedoplasmação em meio tropical úmido traduz-se pela reorganização do argiliplasma em pedoplasma, originando finas estruturas poliédricas.

A segunda unidade é caracterizada por apresentar horizontes em discordância com a unidade original e desenvolve-se lateralmente, de jusante para montante, em detrimento da unidade original. A unidade discordante foi denominada por Nahon (1991) de "unidade estrutural derivada".

Quanto ao aspecto morfológico, a organização dos horizontes reflete a dinâmica da topossequência. As mais nítidas frentes de transformação lateral são provocadas pelo desenvolvimento em cunha de horizontes brancos hidromórficos que avançam para montante da topossequência a partir da depressão, transformando os horizontes de argila manchada e os horizontes subsuperficiais. Ao avançar para montante, o horizonte branco generalizado da depressão segue duas vias distintas de evolução. A primeira via é a de um horizonte denominado de branco superior, que se desenvolve transformando a parte superior da argila manchada e a parte inferior do horizonte subsuperficial esverdeado. Apresenta características de horizonte eluvial. O sentido de eluviação, nesse caso, corresponde à perda de argila, seja na forma particulada ou seja por hidrólise. É provável que a hidrólise predomine. Assim, no perfil I, a perda de argila entre a argila manchada e o horizonte vermelho coincide com a presença de traços de gibbsita. Por outro lado, os argilans são raros e frequentemente dão a impressão de ser herdados. O estudo aprofundado da granulometria mostra que existe uma diminuição do teor de argila, fraca no meio da vertente e forte na depressão. A análise dos dados através de curvas de isovalor ao longo da topossequência evidenciou eluviação de argila a partir do centro da depressão que se prolonga para o meio da vertente e coincide com o aparecimento do horizonte branco superior. A morfologia das curvas de isovalor é típica de

um processo pedogenético remontante (Boulet, 1974 ; Boulet *et al.*, 1984), descartando a hipótese de descontinuidade sedimentar. Outros resultados também apresentados em curvas de isovalor mostram que, nesse horizonte, também há perda de ferro, potássio e alumínio. Outro resultado que confirmou a eluviação foi a presença de uma porosidade específica, em forma irregular de “cárie”, que apareceu apenas no horizonte eluvial, estando ausente em outros locais da topossequência. O desenvolvimento desse horizonte eluvial não é acompanhado pela formação de um horizonte iluvial. Os cutans observados nos horizontes brancos parecem ser formas antigas de iluviação. Atualmente são estáveis e encontram-se incorporados ao fundo matricial cinza.

A segunda via é o desenvolvimento de outro horizonte, denominado de branco inferior. Ele se desenvolve na base da trincheira, transformando a parte inferior da argila manchada. Não apresenta características de horizonte eluvial, ocorrendo perda de ferro mas não de argila. Esse horizonte conserva características geoquímicas e mineralógicas similares às características da argila manchada.

O desenvolvimento dos dois horizontes brancos expandindo-se em detrimento da parte superior e inferior da argila manchada faz com que esta termine, na depressão, em forma de língua.

Foi observada macroscopicamente uma transição progressiva entre a argila manchada e o horizonte vermelho caracterizada pela diminuição progressiva das manchas vermelhas, cinza e amarela típicas da argila manchada e pelo aparecimento progressivo de volumes vermelhos. A observação microscópica ilustrou bem que nessa transição encontram-se relíquias do horizonte de argila manchada que são precursoras do horizonte vermelho. Essa transformação, de um horizonte manchado em outro homogêneo é acompanhada de diminuição de argila (aproximadamente 15%), sem variação do teor de ferro. A transformação geoquímica e mineralógica que acompanha essa transição é uma evolução de illita em vermiculita aluminosa, provavelmente uma hidrólise dos argilominerais responsável pela diminuição do teor de argila (como no caso estudado por Lucas, 1989) e a formação de gibbsita em pequena quantidade (mostrada nos difratogramas de raio X, mas não visível em microscópio). A origem da vermiculita aluminosa é estritamente pedogenética. Esse argilomineral distribui-se de modo uniforme, encontra-se freqüentemente nos horizontes

superiores do solo e está associado com a caolinita. As condições ótimas para a formação da vermiculita aluminosa são ambientes de moderada acidez (pH entre 4 e 5,8), presença de matéria orgânica não complexante e condições oxidantes com freqüentes intercalações de períodos secos e úmidos (Vicente *et al.*, 1977; Barnhisel & Betsch, 1989 ; Wilson, 1999).

Lateralmente, os horizontes subsuperficiais são submetidos a uma transformação refletida pela variação de cor do horizonte vermelho (2,5YR 5/6) em bruno vivo (7,5YR 4/6) e, posteriormente, em esverdeado (10YR 5/4 a 2,5Y 5/3). O desenvolvimento do fundo matricial bruno provoca a descontinuidade lateral do horizonte vermelho e o desaparecimento dos nódulos. Em direção a jusante, o desenvolvimento do horizonte esverdeado é muito progressivo e conserva relíquias do horizonte bruno precedente. Essa variação morfológica (em escala macro e microscópica) é acompanhada por diminuição do teor de ferro de montante para jusante (de 10% no horizonte vermelho a 4% no horizonte esverdeado), sem variação granulométrica.

Além dessas fortes evidências, outras feições reconhecidas aparecem associadas à oxirredução e redução (Vepraskas, 1992). São os próprios horizontes manchados ou os volumes centimétricos situados entre a argila manchada e os horizontes superiores. As feições de redução surgem como manchas de cor bruna viva no perfil vermelho, sendo maiores e de cor cinza nos perfis do meio da vertente. Os trabalhos realizados em solos lateríticos, especialmente na África, mostraram detalhadamente os mecanismos envolvidos na formação da argila manchada. Para Tardy (1992 e 1993), o horizonte de argila manchada num perfil encouraçado funcional (em equilíbrio) desenvolve-se na zona de flutuação do lençol, configurando-se como um meio de dissolução, transformação e redistribuição de matéria. Graças a essas características, pode ser considerado, ao mesmo tempo, como um horizonte pedológico B (acumulação) ou E (eluviação). As manchas vermelhas e violáceas são formadas pelo enriquecimento absoluto de óxido de ferro, enquanto a lessivagem em zonas ricas em quartzo origina as manchas descoloridas, iniciando o desenvolvimento da porosidade grosseira. Outros autores (Nahon *et al.*, 1977; Leprun, 1981; Ambrosi & Nahon, 1986; Ambrosi *et al.*, 1986 e Nahon, 1991) consideram que um horizonte mosqueado constitui-se em horizonte de acumulação absoluta cujo principal processo de evolução é a substituição da caolinita pelos óxidos de ferro trazidos pelo lençol. No topo do horizonte, as manchas

vermelhas e violáceas se endurecem e se enriquecem, formando um horizonte nodular ferruginoso ou uma couraça. As manchas de plasma cinza consistem em pacotes de caolinita orientada associada com caolinita menor e não orientada. Gradualmente, na superfície, as manchas cinza desaparecem em contraste com o incremento das manchas vermelhas, violáceas e amarelas.

Na topossequência estudada, a perda de óxido de ferro é um processo generalizado. A jusante, esse processo é claramente visível em escala macroscópica. Na parte a montante, precisou-se de microscopia para demonstrar a deferruginização. A diferenciação das manchas ocorre atualmente em consequência da remoção dos óxidos de ferro, pelo lençol, através dos poros fissurais e biológicos. O fundo matricial anteriormente sem manchas era composto por plasma de caolinita e ilita, esqueleto quartzoso e óxidos de ferro segregados em partículas isoladas e dispersas regularmente ou preenchendo antigos poros. A remoção atual do ferro parece ocorrer pela solubilização das partículas ferruginosas. Parte do ferro solubilizado se oxida, impregnando a borda dos poros fissurais e biológicos e originando um plasma amarelo. A concentração do ferro presente na forma de preenchimento poral parece ser mais resistente à solubilização. O efeito da deferruginização provoca concentração da fase vermelho-escura na forma de nódulos reliquiaes particularmente concentrados na terminação em língua da argila manchada. Lateralmente, a jusante, na terminação em língua da argila manchada, observa-se o aumento da proporção da fase cinza associada a relíquias herdadas de montante. As relíquias endurecidas possuem borda vermelha mais clara e amarela. O limite entre as fases, nítido a montante, torna-se difuso a jusante, indicando o desaparecimento da fase vermelha ferruginosa. A similaridade entre as manchas de montante e de jusante foi comprovada através de microanálise química quantitativa.

A bibliografia sobre a argila manchada indica que seu desenvolvimento está geralmente ligado ao desenvolvimento de perfis lateríticos bastante espessos onde se desenvolve um horizonte superior nodular ou encouraçado a partir do endurecimento das manchas vermelhas da argila manchada. Em decorrência da forte alteração, esses perfis são constituídos de caolinita (herdada e neoformada), quartzo (herdado da rocha) e óxidos de ferro.

Os solos da topossequência estudada, do ponto de vista morfológico e mineralógico, não correspondem completamente às características descritas acima. São solos pouco espessos (3m de argila manchada e 60cm correspondendo aos horizontes superficiais e subsuperficiais) e sua composição mineralógica revela abundância de ilita. As características dos solos estudados são determinadas pela idade do sedimento da formação Solimões que, relativamente jovem (Plioceno superior-Pleistoceno inferior), determina um tempo de evolução menor que aqueles descritos na bibliografia.

O processo predominante responsável pela formação da argila manchada, segundo a bibliografia, é a concentração absoluta de óxidos de ferro. No caso da topossequência estudada, o padrão da argila manchada é resultado de um processo predominante de deferruginação. Deste ponto de vista, essa topossequência não corresponde a uma sequência laterítica típica, apesar de estar localizada em uma região bioclimática propícia. Também do ponto de vista mineralógico, a presença de ilita evoluindo para vermiculita aluminosa não é típica de um perfil laterítico.

A forte concentração de matéria orgânica nos horizontes superficiais da depressão constitui-se em outra originalidade da topossequência estudada. Embora a gênese e a composição não tenham sido detalhadamente estudadas nesta tese, indiretamente algumas conclusões podem ser obtidas. Chama a atenção a presença de gibbsita e de vermiculita aluminosa nesses horizontes. Acredita-se, baseando-se nos trabalhos desenvolvidos sobre os podzóis da Amazônia (Volkoff *et al.*, 1989; Chauvel *et al.*, 1996; Lucas, 1989) que a estabilidade da gibbsita no solo estudado se deve à composição da matéria orgânica, que não produz ácidos fortemente complexantes. Aliado a isso, o caráter semi-aberto da depressão não favorece a drenagem eficiente das soluções.

A abordagem metodológica utilizada nesta tese para o estudo detalhado da cobertura pedológica foi sugerida também na mais recente proposta de referência dos solos (World Reference Base for Soil Resources, ISSS, 1998). A compreensão de um sistema de distribuição lateral fornece as chaves para a compreensão dos processos passados e atuais que transformam a cobertura pedológica e, conseqüentemente, fornece informações mais precisas para a melhor utilização dos solos.

1- Proposta de um modelo de evolução pedogenética

Baseando-se na organização dos horizontes da topossequência, nos dados analíticos e nas informações paleoambientais, estabeleceu-se um modelo de sequência de evolução do modelado e dos solos (figura VII.1).

O estágio 1 corresponde à sedimentação da formação Solimões, primeiro com a deposição de um sedimento heterogêneo e, depois, com a deposição de um sedimento areno-siltoso com cimento argilo-ferruginoso. Durante esse estágio muito úmido, há permanência de um lençol alto e generalizado, cujo assoalho é a argila compacta (sedimento heterogêneo inferior).

No estágio 2, a permanência das condições anteriores levou à alteração do arenito, à argilização e à liberação do ferro do cimento ferruginoso e dos minerais primários. As condições paleoclimáticas excessivamente úmidas associadas com cobertura florestal foram ideais para a formação de uma matriz argilosa (associação de caolinita e ilita) e para a segregação do ferro na forma de partículas. O provável mecanismo de formação dessas partículas é, em razão do intenso aporte de carbono associado a um ambiente confinado, o ferro ter permanecido concentrado sob a forma de carbonato (FeCO_3 – siderita) que se cristaliza em forma de hexágonos micrométricos, isolados em certos meios atualmente pantanosos (Absy *et al.*, 1991, Siffedine *et al.*, 1994a e 1994b).

No estágio 3, com a variação das condições paleoclimáticas mais secas, houve mudança de vegetação e abaixamento do nível de base regional, provocando, como consequência, o aprofundando das calhas dos rios. A sazonalidade, com períodos úmidos e secos mais contrastados e mais longos, iniciou a flutuação do lençol freático. Essas novas condições ambientais provocaram mudança na dinâmica hídrica e no comportamento físico do solo. O aparecimento de redes de fissuras provocadas pela dessecação contribui para a drenagem dos solos. A permanência de uma fase mais seca provoca a transformação por oxidação da siderita em, provavelmente, goethita, conservando porém a segregação do ferro sob a forma de partículas isoladas numa matriz argilosa. Os poros fissurais e/ou biológicos tornaram-se o caminho preferencial para a saída dos óxidos de ferro com a água do lençol flutuante. Nessa

Figura VII.1- Esquema mostrando os estádios sucessivos de evolução da topossequência. Os detalhes em azul indicam os níveis saturados constante ou temporariamente por água.

fase ocorre a formação dos horizontes de argila manchada, a partir da deferruginização de uma matriz anteriormente homogênea. Aparecem as manchas vermelhas (herdadas da fase anterior, do ferro segregado em forma de partículas na matriz argilosa), as manchas cinza (herdadas ou deferruginizadas) e amarelas (áreas com oxidação parcial do ferro). Sobre esses horizontes, nos primeiros centímetros do solo, com a possibilidade de drenagem vertical, originou-se uma pedoplasmação, com difusão do ferro e a formação de horizontes pouco evoluídos, do tipo cambissolos. Nesse estágio, é provável que a existência de falhas tectônicas tenham gerado “pontos de fuga” em sentido vertical no lugar onde se desenvolve, conseqüentemente, uma depressão pouco profunda (sazonalmente alagada). A partir desse ponto de fuga de matéria, o desequilíbrio localizado do horizonte de argila manchada é determinado. Finalmente, esse estágio determina a diferenciação pedogenética da parte de jusante com um processo predominantemente lateral, enquanto na parte a montante a evolução vertical permaneceu (argilização do arenito, argila manchada e horizonte vermelho).

No estágio 4, intensifica-se a abertura do sistema e amplia-se o papel do “ponto de fuga”. Quanto mais aberto torna-se o sistema, a perda de matéria origina o desenvolvimento e aprofundamento da depressão sobre o platô, em conexão com os principais eixos de drenagem.

Concluindo, a evolução que ocorre no platô é uma evolução vertical, desde o material parental até um cambissolo, ocorrendo entre eles um horizonte de argila manchada. Essa evolução permanece a montante e trata-se de uma cobertura de solo em equilíbrio. A evolução que se iniciou a jusante progride lateralmente em direção a montante, a partir de um ponto de perda de matéria. A progressão lateral dos horizontes gerados (particularmente dos horizontes brancos) é feita em detrimento da organização original.

2- Identificação das frentes de transformação atuais

Foi possível caracterizar os horizontes, estabelecer a filiação entre eles e identificar as frentes de transformação (indicadas pela letra F seguida por um número). Assim, identificou-se uma sequência de frentes de transformação, de dinâmica principalmente vertical, que atua a montante e outra, a jusante, com dinâmica lateral (figura VII.2).

Figura VII.2- Frentes de transformação na topossequência.

F1: esta frente corresponde à evolução vertical inicial que forneceu a matriz argilosa por alteração do arenito com cimento argilo-ferruginoso (argilização e liberação do ferro).

F2: após a formação da matriz argilosa (F1), o desenvolvimento desta frente é responsável pela formação das manchas características da argila manchada. Esta frente corresponde ao processo principal de deferruginação a partir de um fundo matricial homogêneo, composto de caolinita, ilita, quartzo e óxidos de ferro segregados na forma de partículas ou preenchendo antigos poros. A perda dos óxidos de ferro ocorre a partir da borda das manchas vermelhas, provocando a diminuição desta fase associada com o aumento relativo da fase cinza. Esse processo, generalizado na topossequência, é possível graças à presença de poros fissurais e/ou biológicos, em uma zona de flutuação sazonal do lençol.

F3: gênese do horizonte subsuperficial vermelho a partir da argila manchada. Esta frente de transformação está ligada ao processo de pedoplasmação, caracterizado especialmente pela difusão dos óxidos de ferro herdados dos horizontes de argila manchada (desaparecimento das manchas e homogeneização do fundo matricial). Esse processo é determinado pelos contrastes, em curto espaço de tempo, de condições de redução e oxidação. Os nódulos são herdados da argila manchada (antigos volumes vermelhos escuros e densos). Atualmente estão se destruindo através do aparecimento de uma matriz bruna.

F4 e F5: correspondem às transformações, especialmente de cor, dos horizontes subsuperficiais. A progressiva perda dos óxidos de ferro, provocando inicialmente a transformação do vermelho em bruno vivo e de bruno vivo passando a esverdeado. Este último horizonte reflete uma intensidade variável de hidromorfia temporária.

F6: corresponde ao embranquecimento que evolui a partir do centro da depressão em direção a montante. Esta frente é caracterizada pelo desenvolvimento de um horizonte branco superior eluvial. Há perda de ferro e também de argila, de alumínio e de potássio. A progressão desse horizonte é remontante e avança sobre a parte superior da argila manchada e no horizonte subsuperficial esverdeado. Essa dinâmica sugere que o meio é aberto.

F7: assim como a frente de transformação F6, esta também avança de jusante para montante. Corresponde à evolução lateral de um segundo horizonte branco, inferior, que apresenta as mesmas características macromorfológicas do horizonte branco superior. Apesar da similaridade da morfologia, não apresenta a mesma constituição, pois não apresenta características de horizonte eluvial. Há forte perda de ferro mas não de argila. Esse horizonte evolui, transformando lateralmente a parte inferior da argila manchada num meio semi-aberto.

F8: finalmente, esta frente corresponde ao aparecimento, na depressão, de um conjunto de horizontes cuja gênese não é diretamente relacionada aos outros horizontes da topossequência (embora existam algumas relíquias da argila manchada). A origem desses horizontes ricos em matéria orgânica e em argila não pode ser satisfatoriamente explicada sem um estudo detalhado da matéria orgânica. A hipótese de colúvio não é inicialmente aceita por não ocorrer, nas lâminas, indícios de orientação dos grãos de quartzo e estratos sedimentares. Provavelmente, o acúmulo da matéria orgânica está relacionado com as características hídricas do local, seja durante as variações paleoambientais secas ou úmidas.

CONCLUSÃO GERAL

A distribuição espacial dos solos da bacia Amazônica e do Brasil em geral é bem conhecida na escala regional (1: 1000 000). O mapeamento revelou a existência de associação de solos unidos por relações genéticas que são, porém, pouco conhecidas. A transição de solos vermelhos, solos amarelos e solos brancos superpostos a horizontes de argila manchada é representativa de grande unidade morfoestrutural da Amazônia brasileira.

Foi mostrado que essa transição se desenvolve nas vertentes pouco inclinadas originadas pelas depressões desenvolvidas nos platôs rebaixados. A diferenciação da cobertura dos solos está relacionada com a topografia e não está associada à diferenciação sistemática da cobertura vegetal.

Uma topossequência representativa da paisagem regional foi estudada detalhadamente, ligando o platô (montante) até a parte central de uma depressão (jusante). As principais transformações atuais foram estudadas e uma reconstituição da evolução pedogenética foi proposta.

- a montante, no platô, o solo vermelho (Cambissolo álico) se desenvolve por pedoplasmação (difusão sem perda dos óxidos de ferro), a partir dos horizontes de argila manchada. Os horizontes de argila manchada se desenvolvem pela alteração de um arenito de granulometria areno-siltosa com cimento argilo-ferruginoso. A sequência pedogenética é vertical.

O processo responsável pela deferruginização da argila manchada é diferente daquele geralmente descrito na bibliografia. As manchas se formam por deferruginização de um fundo matricial originalmente homogêneo. Uma outra originalidade foi evidenciada no fundo matricial. O ferro está segregado na forma de partículas micrométricas isoladas ou está concentrado sob a forma de preenchimentos de antigos poros.

- a jusante, na depressão, a evolução é determinada pela hidromorfia, que está relacionada com a dinâmica de saturação de água durante mais de 8 meses ao ano. A hidromorfia é responsável pela formação dos horizontes brancos, pela mobilização dos constituintes do solo (argila e elementos químicos), seja por circulação interna ou externa, e pela ligação da depressão com a rede de drenagem superficial.

A seqüência pedogenética é lateral, a partir da depressão em direção a montante. A evolução lateral é discordante em relação à seqüência vertical de montante. O embranquecimento progride na parte superior do solo por perda de ferro, alumínio e argila e, na parte inferior, somente por perda de ferro.

Do ponto de vista metodológico, o trabalho mostrou o interesse da caracterização muito detalhada da transição vertical do material sedimentar original até a superfície (9m de investigação) e da transição lateral do platô até o centro da depressão (90m de investigação).

A partir de um conhecimento regional, foi escolhida uma bacia elementar, nascente de um igarapé. Na vertente escolhida, a identificação das frentes de transformação a jusante apóia-se na caracterização macroscópica (morfologia e constituição) e, a montante, nas características microscópicas.

Este trabalho poderá servir de base para um estudo detalhado do funcionamento hidrogeoquímico (fisiologia), agora que as estruturas são bem conhecidas (anatomia). Este trabalho abriu também a perspectiva de estudo sobre a origem e a dinâmica da matéria orgânica que se acumulou na depressão e serviu para caracterizar detalhadamente o material parental e sua alteração.

Recomendação final: Aptidão e uso da terra

O estudo detalhado das características e do funcionamento dos solos na região entre Porto Velho e Humaitá evidenciou condições que limitam a atividade antrópica. O uso desses solos deve ser controlado de forma criteriosa, uma vez que esse mesmo sistema se estende por uma vasta região da Amazônia brasileira.

Nessa região ocorrem duas grandes unidades de solo: os solos do platô sob floresta, que são chamados de cambissolos, ou seja, são argilosos, com horizonte B vermelho e porosidade média a fraca (conseqüentemente, com permeabilidade média a fraca), passando na base, a 80cm de profundidade, a uma plintita cuja ocorrência é generalizada na região. Nos campos, os solos dominantes são lateritas hidromórficas, ou seja, solos argilo-siltosos, brancos, passando, a 50cm de profundidade, a uma plintita com dominância de material branco.

Regime hídrico

Os solos do platô não são muito permeáveis, mas não mostram sinais de excesso de água na parte superior vermelha ou bruna viva. Ao contrário, a plintita é o local de flutuação sazonal do lençol. As lateritas hidromórficas ficam submersas na estação chuvosa e permanecem nessas condições durante 8 meses por ano.

O clima é úmido, com média anual de chuvas de 2 200mm, com um máximo entre os meses de setembro e janeiro e um mínimo em julho e agosto. Nos meses secos, o déficit hídrico é de aproximadamente 50mm e, nos meses úmidos, o excedente é de 300mm.

Fertilidade química e física

Esses solos são constituídos de quartzo, caolinita, ilita e óxidos de ferro. São solos ácidos (pH entre 4,8 e 5,5) e pobres em nutrientes. Do ponto de vista físico, a estruturação é maciça e a permeabilidade baixa (platô) a muito baixa (campos).

Possibilidades de utilização

Os resultados obtidos que indicam a limitação de ocupação desses solos estão de acordo com os documentos mais antigos, do Projeto Radambrasil (1978), que concluíram que esses solos são impróprios para a atividade agrícola intensiva por suas propriedades químicas, sendo sugerido o seu uso para pastagens.

No caso de utilização agrícola intensiva, os principais fatores limitantes são, portanto, a pobreza química e as características hídricas.

No caso da pobreza química, essa limitação poderia ser eventualmente superada por adubação. Porém, o principal fator limitante – o excesso de água durante 8 meses ao ano – restringe a utilização agrícola à rizicultura e, mesmo para esta, permanece a grande dificuldade de acesso mecanizado ao campo. Outro forte fator limitante está relacionado às propriedades mecânicas do material, já que, no período úmido, graças à sua textura e baixa permeabilidade, ele se torna fortemente « pegajoso », enquanto, no período seco, fica muito duro. Por essas características, a duração do período favorável aos trabalhos de aração e de colheita são curtos.

Pode-se pensar em resolver o problema de excesso de água com sistemas de drenagem. Nesse caso, seria necessária uma rede de drenagem muito densa (já que não existe vazão porque o relevo é muito plano) para resolver o problema de acessibilidade dos campos.

Por outro lado, o sistema de transformação natural sugere uma « degradação » desses solos do ponto de vista agrícola. A cultura mecanizada desses solos frágeis poderá provocar maior degradação química e física (estrutura e permeabilidade), acelerando os processos naturais de empobrecimento. Aparentemente, parece não haver riscos de erosão superficial antrópica importante.

Finalmente, o incentivo para uma agricultura intensiva nessa região, que sabemos ser inadequada do ponto de vista econômico (baixa competitividade com outras regiões do país) e natural (degradação ambiental), também parece não ser satisfatório do ponto de vista social, pois essa atividade não iria trazer melhorias nas condições de vida da população local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. 1996. *Amazônia: do discurso à praxis*. Edusp, São Paulo, 319p.
- ABSY, M. L. & VAN DER HAMMEN, T. 1976. Some paleoecological data from Rondônia, Southern part of the Amazon Basin. *Acta Amazonica*, 6, 3, 293-299.
- ABSY, M. L.; CLEEF, A.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SERVANT, M.; SIFEDDINE, A.; FERREIRA DA SILVA, M.; SOUBIÉS, F.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. & VAN DER HAMMEN, T. 1991. Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt amazonienne dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60.000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. *C. R. Acad. Sci. Paris, série 2*, 312, 673-678.
- ABSY, M. L. 1993. Mudanças da vegetação e clima da Amazônia durante o Quaternário. In: E. J. G. Ferreira, G. M. Santos, E. L. M. Leão e L. Oliveira (eds). *Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia*, INPA, Manaus, 2, 3-10.
- ADOBE PHOTOSHOP LE. 1995. Adobe Systems Incorporated. Charleston Road, Califórnia.
- ADOBE ILLUSTRATOR 5.5 PROGRAM. 1994. Adobe System Incorporated. Charleston Road, Califórnia.
- AMBROSI, J. P. & NAHON, D. 1986. Petrological and geochemical differentiation of lateritic iron crust profiles. *Chem. Geol.*, 57, 371-393.
- AMBROSI, J. P.; NAHON, D. & HERBILLON, A. J. 1986. The epigenic replacement of kaolinite by hematite in laterite-petrographic evidence and the mechanisms involved. *Geoderma*, 37, 283-294.
- BARNSHISEL, R. I. & BERTSCH, P. M. 1989. Chlorite and hidroxy-interlayered vermiculite and smectite. In: J. B. Dixon & S. B. Weed (eds). *Minerals in soil environments*. Soil Sci. Soc. America, Madison, Wisconsin, 729-788.
- BARTOLI, F.; BURTIN, G. & HERBILLON, A. J. 1991. Disagregation and clay dispersion of Oxisols: Na resin, a recommended methodology. *Geoderma*, 49, 301-317.
- BENNEMA, J. ; BEEK, K. J. & CAMARGO, M. N. 1965. Interpretação de levantamento de solos no Brasil : primeiro esboço. Um sistema de classificação de aptidão de uso da terra para levantamento de reconhecimento de solos. Rio de Janeiro, Divisão de Pedologia e Fertilidade do solo, 46p.

- BORCHARDT, G. 1989. Smectites. In: J. B. Dixon & S. B. Weed (eds). Minerals in soil environments. Soil Sci. Soc. America, Madison, Wisconsin, 675-727.
- BOULET, R. 1974. Toposéquence de sols tropicaux en Haute Volta. Équilibre et déséquilibre pédobioclimatique. Mém. ORSTOM, 85, 272p.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A., HUMBEL, F. X. & LUCAS, Y. 1982a. Analyse structurale et cartographie en pédologie: I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. Cah. ORSTOM, sér. Pedol., XIX, 4, 309-321.
- BOULET, R.; HUMBEL, F. X. & LUCAS, Y. 1982b. Analyse structurale et cartographie en pédologie: II. Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. Cah. ORSTOM, sér. Pedol., XIX, 4, 323-339.
- BOULET, R.; HUMBEL, F. X. & LUCAS, Y. 1982c. Analyse structurale et cartographie en pédologie: III. Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. Cah. ORSTOM, sér. Pedol., XIX, 4, 341-351.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A. & LUCAS, Y. 1984. Les systèmes de transformation en pédologie. In: Livre jubilaire du cinquantenaire de l'AFES, 167-179.
- BREWER, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soil. John Wiley & Sons Inc., 482p.
- BREWER, R. & SLEEMAN, J. R. 1988. Soil structure and fabric. CSIRO, Australia, 173p.
- BROWN, K.S. & AB'SABER, A. N. 1979. Ice-age forest refuges and evolution in the neotropics: correlation of paleoclimatological and pedological data with modern biological endemism. Paleoclimas, 5, 1-30.
- BRUAND, A. & PROST, R. 1987. Effect of water content on the fabric of a soil material: an experimental approach. J. Soil Sci., 38, 461-472.
- BRUAND, A.; COUSIN, I.; NICOULLAUD, B.; DUVAL, O. & BÉGON, J. C. 1996. Backscattered electron scanning images of soil porosity for analysing soil compaction around roots. Soil Sci. Soc. Am. J., 60, 895-901.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G. & TURSINA, A. 1985. Handbook for soil thin section description. Waine research publications, England, 152p.
- BUSH, M. B.; COLINVAUX, P. A.; WIEMAN, M. C.; PIPERNO, D. R. & LIU, K. 1990. Late Pleistocene temperature depression and vegetation change in Ecuadorian Amazonia. Quaternary Research, 34, 330-345.

- BUURMAN, T. P. & MUGGLER, C. C. 1997. Laser grain-size determination in soil genetic studies. 1- Practical problems. *Soil Sci.*, 162, 3, 211-218.
- CAMARGO, M. N. 1981. Mapa de solos do Brasil, escala 1:5.000.000. Embrapa-SNLCS. Rio de Janeiro.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A. & VALADARES, J. M. A. S. 1986. Método de análise química, mineralógica e física dos solos. Boletim técnico 106, IAC, Campinas, 94p.
- CHAUVEL, A.; WALKER, I. & LUCAS, Y. 1996. Sedimentation and pedogenesis in a Central Amazonian black water basin. *Biogeochemistry*, 33, 77-95.
- COLINVAUX, P. A.; OLIVEIRA, P. E.; MORENO, J. E.; MILLER, M. C. & BUSH, M. B. 1996. A long pollen record from Lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. *Science*, 274, 85-88.
- CRÓSTA, A. 1992. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas, IG/UNICAMP, 170p.
- CURI, N. & FRANZMEIER, D. P. 1984. Soil genesis, morphology and classification. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Sci. Am. J.*, 48, 341-346.
- DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. E.; BUOL, S. W. & BAILEY, H. H. 1975. Free iron sources in an Aquult-Udult sequence from North Carolina. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 39, 335-340.
- DNPM/CPRM. Departamento Nacional da Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1990. Geologia da região de Porto Velho-Abunã. Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil em escala 1:100 000. Brasília, 273p.
- EMBRAPA/SNLCS. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. 1983. Levantamento exploratório dos solos ao longo da rodovia Manaus-Porto Velho. Boletim técnico 21, 97p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 212p.
- FANNING, D. S. & FANNING, M. C. 1989. Soil morphology, genesis and classification. John Wiley & Sons Inc., 395p.

- FIES, J. C. 1984. Analyse de la répartition du volume des pores dans les assemblages argile-squelettes : comparaison entre un modèle d'espace poral textural et les données fournies par la porosimétrie au mercure. *Agronomie*, 4, 9, 891-899.
- FITSPATRICK, E. A. 1984. *Micromorphology of soils*. London, Chapman & Hall, 433p.
- FITSPATRICK, R.W. 1987. Some future directions in the combined use of pedology and mineralo-chemistry in tropical regions with emphasis on iron compounds. In: R. J. Haynes & R. Naidu (eds). *Agricultural development in the Pacific Islands in the 90's*. Proceedings of an international conference and workshop held in Suva, Fiji, 196-216.
- FREITAS, H. A. 1999. Estudo da dinâmica de vegetações no sul da Amazônia brasileira no Quaternário recente, utilizando datação por ^{14}C e razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ da matéria orgânica do solo. Dissertação de mestrado. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 99p.
- FRITSCH, E.; VALENTIN, C.; MOREL, B. & LEBLOND, P. 1990. La couverture pédologique: Interactions avec les roches, le modelé et les formes de dégradation superficielles. In: *Structure et fonctionnement hydropédologique d'un petit bassin versant de savane humide*. Ed. ORSTOM, 31-57.
- FRITSCH, E. & FITZPATRICK, R. W. 1994. Interpretation of soil features produced by ancient and modern processes in degraded landscapes: I. a new method for constructing conceptual soil-water-landscape models. *Aust. J. Soil. Res.*, 32, 889-907.
- GOUVEIA, S. E. M.; PESSENDA, L. C. R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; ROVERATTI, R. & GOMES, B. M. 1998. Dinâmica de vegetações durante o Quaternário recente no sul do Amazonas indicada pelos isótopos de carbono (^{12}C , ^{13}C e ^{14}C). *Geochimica Brasiliensis*, 11, 3, 355-367.
- GRIMALDI, M.; CARON, X.; ALLARD, V.; ROSOLEN, V.; LAMOTTE, M.; FRITSCH, E.; BOULET, R. & MAGAT, P. 1999. Dynamique de la nappe et régime hydrologique des rivières dans le haut bassin amazonien (Humaitá, Brésil). *Anais do I Simpósio Internacional "Processos hidrológicos e geoquímicos das grandes bacias fluviais"*, Manaus.
- EIGHT INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: classification, characterization and utilization of oxisols. *Brasil*, 39-48.

- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Dados climatológicos das estações de Porto Velho (RO) e Humaitá (AM) durante o período de 1961-1990. (<http://www.inmet.gov.br/port.climato/grafclim.htm>), 02/08/1999.
- IRIONDO, M. & LATRUBESSE, E. M. 1994. A probable scenario for a dry climate in central amazonia during the Late Quaternary. *Quaternary International*, 21, 121-128.
- ISSS, Working Group. 1998. World reference base for soil resources. In: J. A. Deckers, F. O. Nachtergaele & O. C. Spaargaren (eds), Louven, Bélgica, 165p.
- KOOISTRA, M. J. & TOVEY, N. K. 1994. Effects of compaction on soil microstructure. In: B. D. Soane and C. van Ouwerkerk (eds). *Soil Compaction in Crop Production*, Amsterdam, Elsevier Science, 91-111.
- LAMOTTE, M.; BRUAND, A.; HUMBEL, F. X.; HERBILLON, A. & RIEU, M. 1997a. A hard sandy-loam soil from semi-arid Northern Cameroon: I- Fabric of the groundmass. *European Journal of Soil Science*, 48, 213-225.
- LAMOTTE, M.; BRUAND, A.; OHNENSTETTER, P.; ILDEFONSE, P. & PÉDRO, G. 1997b. A hard sandy-loam soil from semi-arid Northern Cameroon: II- Geochemistry and mineralogy of the bonding agent *European Journal of Soil Science*, 48, 227-237.
- LATRUBESSE, E. M. & FRANZINELLI, E. 1993. Rios da Amazônia. Reconstrução das condições hidrológicas do passado. *Ciência Hoje*, 16, 93, 40-43.
- LATRUBESSE, E. M. & RAMONELL, C. G. 1994. A climatic model for Southwestern Amazonia in last glacial times. *Quaternary International*, 21, 163-169.
- LATRUBESSE, E. M. & FRANZINELLI, E. 1995. Cambios climaticos en Amazonia durante el Pleistoceno Tardio- Holoceno. In: J. Argollo & Ph. Mourguiart (eds). *Climas Cuaternarios en América del Sur*, 77-93.
- LAWRENCE, G. P. 1977. Measurement of pore size in fine textured soils. A review of existing techniques. *J. Soil Sci.*, 28, 527-540.
- LEDRU, M. P.; BERTAUX, J.; SIFEDDINE, A. & SUGUIO, K. 1998. Absent of Last Glacial Maximum records in lowland tropical forests. *Quaternary Research*, 49, 233-237.
- LEPRUN, J. C. 1981. Some principal features of ironcrusts in dry Western Africa. In: *International Seminar on Laterization Processes*, India, 1979, 144-153.

- LUCAS, Y.; CHAUVEL, A.; BOULET, R.; RANZANI, G. & SCATOLINI, F. 1984. Transição Latossolos-Podzóis sobre a Formação Barreira na região de Manaus, Amazônia. *Rev. Bras. Ci. do Solo*, 8, 325-335.
- LUCAS, Y. 1989. Systèmes pédologiques en Amazonie brésilienne. Équilibres, déséquilibres et transformations. Thèse Doct., Université Poitiers. TDM ORSTOM, Paris, 54, 160p.
- LUCAS, Y. 1992. Soil landscapes of the Amazon Basin. ECO-92, Conferência Internacional do Rio de Janeiro, Brasil.
- MAIA, R. G. N.; GODOY, H. K.; YAMAGUTI, H. S.; MOURA, P. H.; COSTA, F. S. F.; HOLANDA, M. A. & COSTA, J. A. 1977. Projeto carvão no Alto Solimões. Relatório final, Manaus, 142p.
- MARBUT, C. F. & MANIFOLD, C. B. 1926. The soils of the Amazon Basin in relation to their agricultural possibilities. *Geogr. Ver.*, 16, 414-442.
- MARKGRAF, V. 1998. Past climates of South America. In: J. E. Hobbs, J. A. Lindesay & H. A (eds). *Climates of the Southern continents: present, past and future*. J. Wileys & Sons. 357-385.
- MARMOS, J. L. 1998. Geologia. In: Projeto de zoneamento ecológico-econômico da região fronteira Brasil-Colômbia, Eixo Tabatinga-Apaporis. CPRM/SUDAM/OEA, Belém, 3 vol.
- MARTIN, L.; FOURNIER, M.; MOURGUIART, P.; SIFEDDINE, A.; TURCQ, B.; ABSY, M. L. & FLEXOR, J. M. 1993. Southern oscillation signal in South American paleoclimatic data of the last 7.000 years. *Quaternary Research*, 39, 338-346.
- MEGGERS, B. 1994. Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millenia. *Climatic Change*, 28, 321-338.
- MEHRA, O. P. & JACKSON, M. L. 1960. Iron oxides removal from soils and clay by a dithionite-citrate systems buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.*, 7, 317-327.
- MELFI, A. J.; FRITSCH, E.; BOULET, R.; SEYLER, F.; CARVALHO, A. & MAGAT, P. 1996. Distribuição dos solos nas paisagens lateríticas da Amazônia. Elaboração de um modelo conceitual ilustrando a evolução hidro-bio-geoquímica destas paisagens. In: *Cong. Lat. Am. C. Solo, Águas de Lindóia, São Paulo*.

- NAHON, D.; JANOT, C.; KARPOFF, A. M.; PAQUET, H. & TARDY, Y. 1977. Mineralogy, petrography and structures of iron crusts (ferricretes) developed on sandstones in the western part of Senegal. *Geoderma*, 19, 263-277.
- NAHON, D. 1991. Introduction to the petrology of soils and chemical weathering. Nova York, John Wiley & Sons Inc., 313p.
- PÉDRO, G.; CHAUVEL, A. & MELFI, A. J. 1976. Recherches sur la constitution et la genèse des Terra Roxa Estruturada du Brésil. *Ann. Agron.*, 27(3):265-294.
- PESSENDA, L. C. R. & CAMARGO, P. B. 1991. Datação radiocarbônica de amostras de interesse arqueológico e geológico por espectrometria de cintilação líquida de baixa radiação de fundo. *Química Nova*, 14(2):98-103.
- PESSENDA, L. C. R.; GOMES, B. M.; RIBEIRO, A. S.; GOUVEIA, S. E. M.; BOULET, R.; CRUZ, M. V. L.; ROVERATTI, R. & PESSIN, G. 1996. A avaliação de mudanças de vegetação na Amazônia ocidental durante o Holoceno com emprego dos isótopos do carbono do solo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, 39, 539-544.
- PESSENDA, L. C. R.; GOMES, B. M.; ARAVENA, R.; RIBEIRO, A. S.; BOULET, R. & GOUVEIA, S. 1998a. The carbon isotope record in soils along a forest-cerrado ecosystem transect: implication for vegetation changes in the Rondônia State, southwestern Brazilian Amazon region. *The Holocene*, 8(5):631-635.
- PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S.; ARAVENA, R.; GOMES, B. M.; BOULET, R. & RIBEIRO, A. S. 1998b. ^{14}C dating and stable carbon isotopes of soil organic matter in forest-savanna boundary areas in Southern Brazilian Amazon Region. *Radiocarbon*, 40(2):1013-1022.
- PETERSCHMITT, E.; FRITSCH, E.; RAJOT, J. L. & HERBILLON, A. J. 1996. Yellowing, bleaching and ferritisation processes in soil mantle of the Western Ghâts, South India. *Geoderma*, 74, 235-253.
- POUCHOU, J. L. 1987. Pratique de la spectrométrie de WDS. In: D. Benoit, F. Grillon, F. Maurice, N. Roinel, J. Ruste & R. Tixier (eds). *Microanalyse par sonde électronique: spectrométrie de rayons X*. Association Nationale de la Recherche et de la Technologie, Paris, E1-E23.

- PRANCE, G. T. 1987. Vegetation. In: T. C. Whitemore & G. T. Prance (eds). *Biogeography and Quaternary history in tropical america..* Oxford Science Publication, Oxford, 28-44.
- RADAMBRASIL. Projeto Radar Amazônia. 1972-1978. Levantamento de recursos naturais. Vol. 1 a 15. Ministério das Minas e Energia. Departamento de Produção Mineral, Rio de Janeiro.
- RADAMBRASIL. 1978a. Porto Velho-SC-20. Levantamento de recursos naturais. Vol. 16. Ministério das Minas e Energia. Departamento de Produção Mineral, Rio de Janeiro, 663p.
- RADAMBRASIL. 1978b. Purus-SB-20. Levantamento de recursos naturais. Vol. 17. Ministério das Minas e Energia. Departamento de Produção Mineral, Rio de Janeiro, 561p.
- ROSANEN, M. 1991. History of the fluvial and alluvial landscape of the Western Amazon Andean Forelands. II Biol. Geogr. Geol., 75.
- SIFFEDINE, A. 1991. La sédimentation en région tropicale humide (Carajás, Amazonie, Brésil): relation avec les modifications de l'environnement climatique au cours des 60000 dernières années. Thesis. Museum National d'Histoire Naturelle, Paris.
- SIFFEDINE, A.; BERTRAND, P.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SERVANT, M.; SOUBIÈS, F.; SUGUIU, K. & TURCQ, B. 1994a. La sédimentation organique lacustre en milieu tropical humide (Caracjas, Amazonie orientale, Brésil): Relation avec les changements climatiques au cours des 60 000 dernières années. Bulletin Société Géologique de France, 165, 6, 613-621.
- SIFFEDINE, A.; FRÖLICH, F.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SERVANT, M.; SOUBIÈS, F.; TURCQ, B.; SUGUIU, K. & VOLLMER-RIBEIRO, C. 1994b. La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30 000 dernières années (Carajás, Amazonie, Brésil). Comptes Rendus Académie des Sciences de Paris, 2, 318, 1645-1652.
- SILVA, L. L. 1999. Um grave problema estratigráfico na região do Alto Solimões. In: Anais do VI Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus, 431-434.

- SIOLI, H. 1984. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morfology of the river courses and river types. In: H. Sioli (ed). The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin., Netherlands, 126-165.
- SOMBROEK, W. G. 1966. Amazon soil: a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. PUDOC, Wageningen, Netherlands, 300p.
- SOMBROEK, W. G. & CAMARGO, M. N. 1982. Groundwater laterite and ironstone soils in Brazil with exemples from the Amazon region. In: 2nd Intern. Seminar on Lateritisation Processes, São Paulo, 541-552.
- SOMBROEK, W. G. 1984. Soil of the Amazon region. In: The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Ed. H. Sioli, Netherlands, 521-535.
- SOUBIÉS, F. 1980. Existence d'une phase sèche en amazonie brésilienne datée par la présence de charbons dans les sols (6000-3000 ans B.P.). Cah. ORSTOM, Sér. Géol., XI, 1, 133-148.
- SUGUIO, K. 1999. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais. (passado+presente=futuro?). Paulo's Editora, São Paulo, 366p.
- SUDAM/IBGE. Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia/Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1989. Mapa de solos da Amazônia legal, escala 1:1 000 000.
- SURFER 6.4. Surface Mapping Systems.1993-1996. Goldem Software Inc. USA.
- TARDY, Y. 1992. Diversity and terminology of lateritic profiles. In: I.P. Martini & Chesworth (eds). Weathering, Soil and Paleosols, Amsterdam, Elsevier, 379-405.
- TARDY, Y. 1993. Pétrologie des latérites et des sols tropicaux. Masson, Paris, 451p.
- TURCQ, B.; SUGUIO, K.; MARTIN, L. & FLEXOR, J. M. 1993. Registros milenares nos sedimentos dos lagos da serra de Carajás. Ciência Hoje, 16(93):31-35.
- VACHIER, P.; CAMBIER, P. & PROST, R. 1979. Structure d'un milieu poreux: la craie. Ann. Agron., 30(3):247-263.
- VALENTIN, C. 1989. Bassin versant de Booro-Borotou: carte des réorganisations superficielles à 1:2500. ORSTOM, 40p.
- VAN DER HAMMEN, T. 1972. Changes in vegetation and climate in the amazon basin and surrounding areas during the Pleistocene. Geologie, 51, 641-643.

- VAN DER HAMMEN, T. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *Journal of Biogeography*, 1, 3-26.
- VEPRASKAS, M. J. 1992. Redoximorphic features for identifying Aquic conditions. Technical bulletin, 301, 1-33.
- VIEIRA, L. S. & SANTOS, P. C. T. C. dos. 1987. Amazônia: seus solos e outros recursos naturais. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, 416p.
- VILLAS-BOAS, P. F. 1993. Projeto Alto Rio Negro. Relatório preliminar. MME/CPRM. Relatório inédito.
- VILLAS-BOAS, P. F. & MELO, A F. F. DE. 1994. Caracterização e distribuição da Formação Içá na porção Noroeste do Estado do Amazonas. In: Anais do IV Simpósio de Geologia da Amazônia, SBG, Belém, 204-205.
- VICENTE, M. A. ; RAZZAGHE, M. & ROBERT, M. 1977. Formation of aluminium hydroxy vermiculite (intergrade) and smectite from mica under acidic conditions. *Clay Miner.*, 12, 101-112.
- VOLKOFF, B.; MELFI, A. J. & CERRI, C. C. 1989. Solos Podzólicos e Cambissolos eutróficos do Alto rio Purus (Estado do Acre). *R. Bras. Ci. Solo*, 13, 363-372.
- VOLKOFF, B. 1984-1985. Organisations régionales de la couverture pédologique du Brésil. Chronologie des différenciations. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XXI, 4, 225-236.
- WACKERMANN, J. 1966. Les techniques d'étude microstructurales utilisées au Centre de Ham-Dakar. *Bull. Pédol., ORSTOM*, XV, 1, 18-23.
- WILLIAMS, J. & COVENTRY, R. J. 1979. The contrasting hydrology of red and yellow earths in a landscape of low relief. In: *The hydrology of Areas of Low Precipitation. Proc. Canberra Symp. (Int. Assoc. Sci. Hydrol.)*, 128, 385-395.
- WILSON, M. J. 1999. The origin and formation of clay minerals in soil: past, present and future perspectives. *Clay Miner.*, 34, 7-25.

ANEXO V.1

Perfil I

Conjunto com predominância de horizontes superiores vermelhos sobre argila manchada

Horizontes superficiais húmiferos

0-20cm- **Horizonte superficial bruno.** Horizonte 10YR 3,5/2 (bruno acinzentado muito escuro) com numerosas manchas 7,5YR 4/6 (bruno vivo). Argilo-orgânico. Estrutura poliédrica (1 a 4cm). Porosidade estrutural e tubular bastante desenvolvida.

20-30cm- **Horizonte bruno vermelho amarelado.** Horizonte com coloração passando de 7,5YR 4/4 (bruno escuro) no topo para 5YR 4/6 (vermelho amarelado) na base. Argiloso. Estrutura poliédrica (1 a 2cm). Porosidade estrutural, tubular (mm) e de preenchimento biológico bem desenvolvida.

Horizonte vermelho

30-60cm- **Horizonte vermelho.** Fundo 2,5YR 5/6 (vermelho) e abundantes (20%) nódulos vermelho mais escuro 10R 4/6 (2 a 3 mm de diâmetro). Comporta alguns raros volumes irregulares 10R 5,5/8 (vermelho) e alguns preenchimentos biológicos mais amarelados 10YR 6/7 (amarelo brunado). Argiloso. Estrutura poliédrica (2 a 3cm). Porosidade estrutural e tubular (1 mm) fraca.

Horizontes de argila manchada

60-110cm- **Horizonte de transição horizontes vermelhos-argila manchada.** Horizonte de transição entre os horizontes superiores vermelho e avermelho-amarelado e a argila manchada. Associação de volumes de cor 10YR 6/4 (bruno amarelado) e 2,5YR 4/8 (vermelho) que localmente pode atingir até 80% e nódulos 10R 4/6 (vermelho). Argiloso. Estrutura poliédrica. Porosidade tubular (mm) irregularmente distribuída, de fraca a bem desenvolvida.

110-130cm- **Horizonte de argila manchada com volumes vermelhos endurecidos.** Este horizonte comporta uma fase (60%) cinza 10YR 7/2 (cinza claro) com pequenos (mm) volumes vermelhos difusos e outra fase (40%) composta por 30% de volumes 10R 4/6 (vermelho) alongados verticalmente (5 a 30mm) geralmente incluindo volumes mais escuros e mais endurecidos, e por 10% de volumes 10YR 5/6 (bruno amarelado) situados nas bordas e/ou como filetes no interior dos volumes vermelhos. Estrutura poliédrica. Porosidade muito fraca. Argiloso.

130-170cm- **Horizonte de argila manchada com proporção de vermelho maior que cinza.** Horizonte comportando 60% de fase vermelha escura 10R 3/3 (50%) e amarelo avermelhado 7,5YR 6/8 (10%) e 40 % de cinza claro 10YR 7/1. Estrutura, textura e porosidade são idênticas ao horizonte superior.

170-280cm. **Horizonte argila manchada com proporção de vermelho superior ao cinza.** Comporta uma fase (60%) com volumes 10R 3/6 (vermelho escuro) (50%) com volumes bruno vivo 7,5YR 5/8 (10%) nas bordas. A fase cinza claro é 10YR 7,5/1. Estrutura, textura e porosidade são idênticas aos horizontes superiores.

Perfil	Prof.	Horizonte	Óxidos								TRB	Ki
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO		
			g /100g									
cm												
I	5	HU1	70,47	11,64	4,09	1,32	0,75	0,19	0,10	0,00	28,6	2,2
I	15	HU1										2,5
I	25	HU2	69,38	12,90	5,02	1,32	0,81	0,20	0,10	0,00	30,3	2,6
I	35	VA										3,1
I	45	V	61,03	16,08	10,04	1,29	1,11	0,26	0,13	0,03	41,7	
I	95	AM1	57,01	19,35	10,62	1,16	1,91	0,37	0,18	0,00	64,7	4,5
I	125	AM2	58,48	19,34	9,34	1,20	2,01	0,37	0,19	0,00	67,2	3,9
I	155	AM3	61,34	18,98	8,26	1,20	1,98	0,35	0,19	0,00	65,5	4,5
I	205	AM3										3,9
I	275	AM3	70,75	13,69	5,91	0,79	1,38	0,26	0,14	0,00	46,7	4,2

Perfil	Prof.	Horizonte	Complexo absorvente								pH	C	Granulometria		
			Al	K	Mg	Na	Ca	CTC	S	V			Areia	Silte	Argila
			mmole/kg										g/100g		
cm											g/100g				
I	5	HU1	45,0	2,1	2,0	0,2	4,0	132,3	8,3	6	4,6	2,76	16,9	44,3	38,8
I	15	HU1	41,0	1,1	1,0	0,2	2,0	108,3	4,3	4	4,6	1,9	17,3	39,7	43,0
I	25	HU2	41,0	0,9	1,0	0,2	1,0	83,1	3,1	4	4,8	1,22	17,3	38,7	43,9
I	35	VA	35,0	0,7	1,0	0,2	1,0	72,9	2,9	4	5,0	0,83	15,5	39,1	45,4
I	45	V										0,68			
I	95	AM1	65,0	1,2	1,0	0,2	1,0	83,4	3,4	4	5,0	0,26	11,8	31,1	57,1
I	125	AM2	70,0	3,1	1,0	0,2	1,0	97,3	5,3	5	5,3	0,2	14,9	28,7	56,4
I	155	AM3	76,0	1,8	1,0	0,2	1,0	92,0	4,0	4	5,1	0,12	15,1	30,7	54,2
I	205	AM3	64,0	2,6	1,0	0,2	1,0	88,8	4,8	5	5,2	0,06	31,2	25,6	43,2
I	275	AM3	68,0	1,8	1,0	0,2	1,0	83,0	4,0	5	5,0	0,05	29,5	27,5	43,0

Perfil G

Conjunto de transição: horizonte bruno vivo sobre argila manchada

Horizontes superiores húmiferos

0-10 cm- **Horizonte superior bruno.** Horizonte homogêneo 10YR 3,5/2 (bruno acinzentado muito escuro). Argilo-orgânico. Inúmeras raízes (mm a cm). Coesão forte (seco). Estrutura poliédrica arredondada (1 a 4 cm). Porosidade estrutural e tubular (mm) bastante desenvolvida com numerosas manchas 7,5YR 4/6 (bruno vivo).

10-30 cm- **Horizonte bruno vermelho amarelado.** Horizonte com coloração passando de 7,5YR 4/4 (bruno escuro) no topo para 5YR 4/6 (vermelho amarelado) na base. Argiloso. Coesão fraca (fresco). Estrutura poliédrica angulosa nítida (1 a 2 cm). Porosidade estrutural, tubular (mm) e de preenchimento biológico bem desenvolvida.

Horizonte bruno vivo

30-80 cm- **Horizonte bruno vivo.** Horizonte homogêneo no topo, cor 7,5YR 4/6 (bruno vivo). Na base, este horizonte possui fundo (60%) 7,5YR 5,5/6 (bruno vivo) comportando volumes (40%) 5YR 4,5/6 (vermelho amarelado) friáveis ou não, com pequenos (mm) volumes difusos 2,5YR 4/6 (vermelho) no interior. Estrutura poliédrica angulosa nítida (3 a 4cm). Quando seco, após uma semana da abertura da trincheira, houve o aparecimento de subestruturas prismáticas separados por fendas finas bordejadas por argila mais amarela 10YR 6/4 (bruno amarelado claro). Porosidade tubular (mm) e de preenchimento biológico média a fraca localizadas exclusivamente na fase bruna. Entre 70 e 80cm de profundidade, há o aumento (até 80%) de volumes vermelhos e concentração de nódulos ferruginosos muito duros (quebram-se com alicate) de cor 10R 3/5 (vermelho escuro). Presença de poucos carvões (mm). Argiloso. Coesão muito forte (seco). Estrutura poliédrica angulosa nítida (1 a 3cm). Porosidade estrutural, tubular (mm) e de preenchimento biológico pouco desenvolvida. Limite nítido (cor), transição rápida.

Horizontes de argila manchada

80-150 cm- **Horizonte de argila manchada com proporção de vermelho superior ao cinza-** Horizonte constituído de 2 fases: uma fase comportando volumes vermelhos e amarelos (80%) e uma fase cinza (20%). Os volumes (retículos) vermelhos são 2,5YR 4/8 (vermelho) e os volumes amarelos são 7,5YR 5/8 (bruno vivo) e 10YR 6/4 (bruno amarelado claro). Os volumes vermelhos, localmente, podem conter volumes mais escuros 10R 4/6 (vermelho) endurecidos. Os volumes brunos amarelados são mais abundante no interior dos volumes vermelhos. A fase cinza 10YR 6/2 (cinza brunado claro) possui orientação preferencial vertical e podem constituir volumes com diâmetros (de até 20 cm) superiores aos volumes vermelhos e amarelos. No interior dos volumes cinza presença de pontuações da fase vermelha e amarela, frequentemente friáveis. As duas fases são argilosas com coesão muito forte (seco) e estrutura poliédrica pouco nítida (0,5 a 1 cm). A porosidade da fase cinza é tubular fraca a média (mm a cm) e de preenchimento biológico. A fase vermelha e amarela é mais

compacta em comparação com a fase cinza. Aparecimento de uma porosidade tubular (cm) com orientação vertical e associada exclusivamente com a fase cinza.

150-280 cm- **Horizonte de argila manchada com proporção de branco superior ao vermelho.** Horizonte com uma abundante (70%) fase branca associando volumes 10YR 8/1 (branco) com orientação preferencial vertical. Outra fase (30%) dominam (25%) volumes 10R 5/6 (vermelho) com (5%) 10YR 7/5 (bruno muito claro) na borda. Argiloso. Coesão muito forte (seco). Estrutura poliédrica pouco nítida (1 a 4 cm). Porosidade tubular fraca (mm) exclusivamente localizada na fase branca onde existe, também, algumas raízes (mm) apodrecidas. A fase com volumes vermelho e bruno muito claro é mais compacta que a fase cinza.

Perfil	Prof. cm	Horizonte	Óxidos								TRB	Ki
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO		
			g /100g									
G	5	HU1										1,5
G	15	HU1										2,0
G	25	HU1	71,94	12,94	4,13	1,37	0,73	0,20	0,10	0,00	28,7	1,5
G	35	BA	72,89	12,88	4,35	1,38	0,75	0,20	0,10	0,00	29,1	1,4
G	55	BA										4,37
G	75	BA	74,82	12,44	3,76	1,46	0,78	0,19	0,10	0,01	29,6	3,3
G	75	BA	74,08	12,40	4,71	1,46	0,79	0,19	0,10	0,01	29,8	3,1
G	90	AM6	64,06	16,77	8,20	1,26	1,45	0,30	0,15	0,02	51,2	3,8
G	125	AM6										5,1
G	165	AM5										5,8
G	215	AM5	74,52	13,50	2,14	0,86	1,30	0,26	0,14	0,00	45,0	3,6

Perfil	Prof. cm	Horizonte	Complexo absorvente								pH	C g/100g	Granulometria			
			Al	K	Mg	Na		Ca	CTC	S			V	Areia	Silte g/100g	Argila
						mmole/kg										
G	5	HU1	30,0	1,7	1,0	0,2	1,0	104,9	4,9	5	4,9	3,18	17,1	40,8	42,0	
G	15	HU1	28,0	0,9	1,0	0,2	1,0	103,1	3,1	3	5,1	2,07	16,0	38,1	45,9	
G	25	HU1	45,0	2,1	2,0	0,2	4,0	82,9	8,3	6	4,6	2,00				
G	35	BA	27,0	0,6	1,0	0,2	1,0	76,8	2,8	4	5	0,91				
G	55	BA	21,0	0,9	1	0,2	1	67,1	3,1	5	4,1	0,57	16,0	39,9	44,1	
G	75	BA	28,0	0,7	1,0	0,2	1,0	56,9	2,9	5	5,4	0,41	15,1	40,3	44,6	
G	90	AM6	46,0	1,5	1,0	0,2	1,0	83,7	3,7	4	5,2	0,29	13,5	34,4	52,2	
G	125	AM6	68,0	2,6	1,0	0,2	1,0	100,8	4,8	5	5,2	0,16	15,5	33,6	50,8	
G	165	AM5	100,0	1,4	1,0	0,2	1,0	153,6	3,6	2	5,0	0,11	13,5	27,2	59,3	
G	215	AM5	67,0	1,5	1,0	0,2	1,0	75,7	3,7	5	5,2	0,10	32,4	26,4	41,2	

ANEXO V.3

Perfil F

Horizontes esverdeados sobre argila manchada

Horizontes superficiais húmiferos

0-20cm- **Horizonte bruno acinzentado escuro.** Horizonte 10YR 3,5/2 (bruno acinzentado escuro). Argilo-orgânico. Inúmeras raízes (mm a cm). Coesão forte (seco). Estrutura poliédrica arredondada nítida (1 a 4 cm). Porosidade estrutural e tubular (mm) forte com numerosas manchas 7,5YR 4/6 (bruno vivo).

20-30 cm- **Horizonte bruno esverdeado.** Horizonte com fundo 2,5Y 5/2,5 (bruno acinzentado a bruno oliva claro). Argiloso. Coesão fraca (úmido). Estrutura poliédrica nítida (1 a 4cm). Porosidade estrutural e tubular desenvolvida e de preenchimento biológico com manchas e finos retículos 7,5YR 4/6 (bruno vivo). Na presença de raízes, pequenos volumes 2,5Y 5/2 (bruno acinzentado) e 2,5YR 5/4 (bruno avermelhado).

Horizonte esverdeado

30-60cm- **Horizonte bruno amarelado a bruno oliva claro.** Horizonte com fundo variando de 10YR 5/4 (bruno amarelado) a 2,5Y 5/3 (bruno oliva claro) com numerosos volumes (até 2cm) 2,5YR 4/8 (vermelho) com periferia 10YR 5/8 (bruno amarelado vivo). Alguns destes volumes vermelhos são duros porém quebram-se com as mãos e podem apresentar, no interior, filetes brunos. Neste horizonte aparecem volumes (10 a 15 cm de largura), alongados verticalmente em continuidade com aqueles do horizonte superior. Entre estes volumes ocorrem fissuras (2 a 5mm) com paredes mais escuras 10YR 4/2 (bruno acinzentado escuro) ou mais amarelas 10YR 5/6 (amarelo brunado). Argiloso. Coesão forte (seco). Estrutura poliédrica arredondada nítida (1 a 3cm). Porosidade estrutural e tubular desenvolvida.

Horizontes de argila manchada

60-90 cm- **Horizonte de argila manchada com cinza dominante.** Horizonte com fundo 10YR 6/1.5 (cinza) com numerosas (30%) pontuações e volumes com bordas difusas vermelhos 2,5YR 4/8. Muitos destes volumes contém nódulos sem diferença de cor, endurecidos que quebram-se com as mãos. Argilo-siltoso. Coesão muito forte (seco). Estrutura poliédrica pouco nítida (1 a 3 cm) e provavelmente subestrutura prismática (10 cm). Porosidade tubular fraca. Limite nítido (cor), transição rápida.

90-170cm- **Horizonte de argila manchada endurecida-** Horizonte apresentando contraste forte devido ao aumento dos volumes vermelhos (70%). É composto por duas fases. Uma fase constituída de grandes volumes (até 10 cm) 10R 4/8 (vermelho), mais ou menos anastomosados. Volumes (10%) 7,5YR 5/8 (bruno vivo) aparecem no interior ou nas bordas dos volumes vermelhos. Estes volumes apresentam orientação preferencial vertical e secundariamente horizontal. Os volumes vermelhos são variavelmente endurecidos. A outra fase (20%) é 10YR 7/1 (cinza claro) com volumes inferiores a 5 cm de diâmetro. Argilo-siltoso. Porosidade tubular fraca (mm).

170-220 cm- **Horizonte de argila manchada com dominância de vermelho.** Horizonte comportando abundante fase associando 50% volumes 10R 3/3 (vermelho escuro) e 10% de volumes 7,5YR 6/8 (amarelo avermelhado). A outra fase, 40%, é 10YR 7/1 (cinza claro). Os volumes vermelho escuros são bordejados ou penetrados por filetes brunos ou amarelo avermelhados. Argiloso. Coesão muito forte (seco). Porosidade tubular (mm) fraca.

220-250 cm **Horizonte de argila manchada com proporção de volumes cinza iguais aos volumes vermelhos.** Horizonte comportando uma fase (50%) 2,5Y 5/1 (cinza) associados a outra fase com abundantes (40%) volumes 10R 4/6 (vermelho) e volumes (10%) 7,5YR 6/8 (amarelo avermelhado). A fase cinza possui orientação preferencial vertical e os volumes vermelhos são agrupados, formando colunas de 2 a 10 cm de largura, irregulares, separadas pelos volumes cinza. Argiloso. Coesão muito forte (seco). Porosidade tubular muito fraca (mm).

Perfil	Prof. cm	Horizonte	Óxidos								TRB	Ki
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO		
			g/100g									
F	5	HU2										1,8
F	15	HU2										2,2
F	25	HU2	69,49	13,67	3,70	1,41	0,77	0,20	0,09	0,00	29,2	1,6
F	55	VE	75,85	11,96	3,05	1,40	0,73	0,18	0,09	0,00	27,3	1,7
F	75	BRS	80,11	10,48	2,69	1,46	0,70	0,17	0,09	0,01	26,6	1,8
F	95	AM7	77,28	11,20	4,58	1,49	0,82	0,19	0,10	0,02	30,8	2,0
F	135	AM7										2,1
F	175	AM8	59,74	22,02	4,36	1,11	2,18	0,44	0,21	0,00	74,9	2,2
F	215	AM8	64,35	19,83	3,57	1,12	2,20	0,43	0,21	0,00	74,8	2,2

Perfil	Prof.	Horizonte	Complexo absorvente								pH	C	Granulometria		
			Al	K	Mg	Na	Ca	CTC	S	V			Areia	Silte	Argila
			cm	mmole/kg									%		g/100g
F	5	HU2	28,0	1,9	1,0	0,2	1,0	110,1	4,1	4	5,1	3,13	17,7	39,9	42,4
F	15	HU2	30,0	0,9	1,0	0,2	4,0	94,1	6,1	6	5,1	1,92	12,8	42,1	45,1
F	25	HU2	28,0	0,8	1,0	0,2	3,0	81,0	5,0	6	5,2	1,38	13,1	39,4	47,5
F	55	VE	27,0	0,5	1,0	0,2	1,0	62,7	2,7	4	5,4	0,58	16,2	40,7	43,1
F	75	BRS	36,0	0,6	1,0	0,2	1,0	60,8	2,8	5	5,1	0,28	18,2	42,7	39,1
F	95	AM7	43,0	0,9	1,0	0,2	1,0	72,1	3,1	4	5,0	0,18	16,1	44,5	39,4
F	135	AM7	68,0	1,2	1,0	0,2	1,0	91,4	3,4	4	5,2	0,13	13,0	33,9	53,1
F	175	AM8	84,0	1,7	1,0	0,2	1,0	137,9	3,9	3	5,0	0,08			
F	215	AM8	90,0	3,0	2,0	0,2	1,0	126,2	6,2	5	5,1	0,06	8,7	33,2	58,1

ANEXO V.4

Perfil C

Horizontes cinza associados com argila manchada

Horizontes superficiais enriquecidos com matéria orgânica

0-30cm- **Horizonte preto.** Horizonte homogêneo, orgânico, 10YR 2/1 (preto). Estrutura em torrões biológicos (2 cm) com subestrutura grumosa. Coesão fraca (úmido). Porosidade (mm) visível tubular fraca e porosidade fissural média bem desenvolvida quando seco. Presença abundante de raízes (mm) que diminui na base deste horizonte.

30-70cm- **Horizonte cinza muito escuro.** Horizonte 10YR 3/1 (cinza muito escuro) com volumes pretos (dm a cm) frequentemente orientados verticalmente e pontuações brancas. Argiloso. Estrutura poliédrica pouco nítida (2 a 4cm). Coesão fraca (úmido). Porosidade tubular fina e grosseira (mm) bem desenvolvida e fissuras verticais. Poros maiores revestidos por argila 10YR 4/6 (bruno amarelado escuro). Rara presença de raízes. Contraste fraco (cor).

Profundidade 70-90 cm- **Horizonte acinzentado muito escuro.** Horizonte com fundo 10YR 3,5/1 (bruno acinzentado muito escuro) contendo abundantes volumes (mm) 10R 4/8 (vermelho). Argiloso. Coesão fraca (úmida). Estrutura poliédrica pouco nítida com subestrutura prismática (fissuras verticais a cada 40-60cm). Areia fina, branca, preenchendo algumas fissuras. Porosidade tubular grosseira (1 a 2mm) pouco desenvolvida com manchas vermelhas. Transição (10 cm), contraste forte (cor).

Horizontes cinza associados com argila manchada

90-140 cm- **Horizonte cinza claro superior.** Horizonte com fundo 2,5Y 6/1 (cinza) com pequenos volumes (mm) 2,5Y 7/1 (cinza claro). Presença de volumes 10R 3/6 (vermelho), mais raros no topo (5%) e mais abundantes (15%) na base do horizonte que podem comportar pontuações cinza claro no interior. Franco argilo-siltoso, provavelmente com pouca areia fina. Coesão muito forte (seco). Porosidade tubular fraca (mm) com manchas 10YR 7/6 (amarelo), pouco abundantes que, assim como os volumes vermelhos, aumentam do topo para a base do horizonte. Estrutura poliédrica pouco nítida (1 a 3 cm) com subestrutura prismática muito larga (até 50 cm), visível após secagem do perfil. As fendas verticais do horizonte superior se prolongam neste horizonte.

140-160 cm- **Horizonte de argila manchada endurecida.** Horizonte comportando uma fase, com numerosos (40%) retículos 2,5YR 4,5/8 (vermelho) e (25%) 7,5YR 5/6 (bruno vivo) organizados verticalmente (20 cm de altura por 10 cm de largura). Abundância de volumes 10R 3/6 (vermelho escuro) endurecidos. Outra fase 10YR 7/1 (cinza claro) comporta pequenos volumes (mm) vermelhos no interior. Argilo-siltoso. Coesão muito forte (seco). Estrutura maciça. Porosidade tubular fraca (mm) com manchas amarelas.

160-220 cm- **Horizonte cinza inferior.** Fundo 2,5Y 6/0 (cinza). Os volumes 10YR 7/8 (amarelo) atingem 30% e comportam 5% de pequenos volumes (mm) 10R 3/6 (vermelho escuro). Os volumes vermelhos estão associados

verticalmente como um prolongamento do horizonte superior, formando colunas de 2 a 10 cm de largura e irregulares. Argilo-siltoso, plástico. Coesão muito forte (seco). Estrutura maciça. Porosidade tubular muito fraca (mm).

Perfil	Prof. cm	Horizonte	Óxidos								TRB	Ki
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO		
			g/100g								meq/100g	
C	5	ORG										1,4
C	15	ORG										1,2
C	25	ORG	41,24	25,67	2,94	1,77	0,95	0,25	0,11	0,00	36,1	
C	35	ORG	47,27	26,33	3,49	1,88	1,04	0,27	0,13	0,00	39,7	1,6
C	55	CME	47,01	27,30	4,01	1,93	1,12	0,25	0,11	0,00	39,7	1,2
C	85	CE	79,96	10,82	1,70	1,71	0,79	0,18	0,10	0,01	29,3	3,2
C	115	BRS	86,08	6,94	0,70	1,34	0,63	0,15	0,08	0,00	23,4	4,6
C	155	AM7	79,58	10,58	1,83	1,28	1,10	0,24	0,13	0,01	39,8	4,6
C	215	BRI	68,72	17,30	2,83	1,04	2,18	0,46	0,19	0,00	75,2	5,5

Perfil	Prof.	Horizonte	Complexo absorvente									pH	C	Granulometria		
			Al	K	Mg	Na	Ca	CTC	S	V	Areia			Silte	Argila	
			mmole/kg											%	g/100g	
cm																
C	5	ORG	16,0	1,0	1,0	0,2	1,0	169,9	3,9	2	5,0	14,90	7,4	42,3	50,3	
C	15	ORG	11,0	1,7	1,0	0,2	1,0	143,0	3,0	2	5,4	9,00	5,0	42,8	52,1	
C	25	ORG														
C	35	ORG	28,0	0,8	1,0	0,2	1,0	103,0	3,0	3	5,4	2,30	1,5	29,6	68,9	
C	55	CME	28,0	0,8	2,0	0,2	4,0	125,5	7,5	6	4,8	1,70	1,5	31,9	66,6	
C	85	CE	40,0	1,3	1,0	0,2	1,0	98,8	2,8	3	5,3	0,39	1,6	56,6	41,8	
C	115	BRS	33,0	0,6	1,0	0,2	1,0	53,6	2,6	5	5,2	0,09	15,7	55,8	28,5	
C	155	AM7	40,0	0,9	1,0	0,2	1,0	61,1	3,1	5	5,4	0,11	15,0	45,5	39,5	
C	215	BRI	74,0	2,5	7,0	0,2	1,0	108,7	10,7	10	5,4	0,13	5,7	40,1	54,1	

ANEXO V.5

Perfil A

Conjunto com horizontes superiores ricos em matéria orgânica sobre horizonte branco

Horizontes superiores ricos em matéria orgânica

0-40 cm- **Horizonte preto.** Horizonte homogêneo, argilo-orgânico, 10YR 2/1 (preto). Estrutura poliédrica (3 cm) com subestrutura grumosa. Porosidade tubular fina a média. Presença abundante de raízes (mm).

40-70 cm. **Horizonte cinza muito escuro.** Horizonte 10YR 3/1 (cinza muito escuro) com numerosas pontuações brancas. Argiloso. Estrutura poliédrica angulosa (2 a 3cm). Porosidade tubular fina e grosseira (mm) com raras manchas 10YR 4/6 (bruno amarelado escuro) e fissuras verticais.

70-120 cm- **Horizonte acinzentado escuro.** Horizonte com fundo 10YR 3,5/1 (bruno acinzentado muito escuro) contendo abundantes volumes (mm) 10YR 5/8 (bruno amarelado) e alguns 2,5YR 4/6 (vermelho). Argilo-siltoso. Estrutura prismática. Porosidade tubular grosseira (1 a 2 mm) pouco desenvolvida.

Horizonte cinza claro

120-300cm- **Horizonte cinza claro.** Fundo (90%) 10YR 7/1 (cinza claro) comportando volumes milimétricos (10%) 2,5YR 4/6 (vermelho) associados ou não a volumes difusos 10YR 6/6 (bruno amarelado). Franco argilo-siltoso. Estrutura maciça. Porosidade tubular fraca (mm), freqüentemente com paredes 7,5YR 5/6 (bruno amarelado)

Perfil	Prof. cm	Horizonte	Óxidos								TRB	Ki
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO		
			g/100g								meq/100g	
A	5	ORG	35,97	22,58	1,78	1,37	0,75	0,22	0,10	0,01	30,4	
A	15	ORG										2,0
A	25	ORG	40,32	26,27	2,59	1,69	0,99	0,27	0,12	0,00	38,3	
A	35	ORG										
A	55	CME	45,27	28,49	3,36	1,89	1,29	0,28	0,14	0,00	45,8	1,1
A	85	CE	62,98	18,82	3,81	2,04	1,38	0,30	0,15	0,02	49,7	3,7
A	115	BR										4,2
A	145	BR	86,33	6,40	1,07	1,20	0,62	0,14	0,08	0,02	23,4	5,2
A	195	BR										6,4

Perfil	Prof. cm	Horizonte	Complexo absorvente								pH	C g/100g	Granulometria		
			Al	K	Mg	Na	Ca	CTC	S	V			Areia	Silte	Argila
			mmole/kg										g/100g		
A	5	ORG										9,98			
A	15	ORG	12,0	1,3	1,0	0,2	5,0	235,5	7,5	3	5,4	6,52	2,4	34,7	62,9
A	25	ORG										5,10			
A	35	ORG										2,96			
A	55	CME	30,0	1,5	1,0	0,2	2,0	146,7	4,7	3	5,3	1,78	1,8	27,9	70,3
A	85	CE	72,0	0,9	1,0	0,2	2,0	154,1	4,1	3	4,9	0,75	5,6	28,3	66,1
A	115	BR	62,0	0,6	1,0	0,2	2,0	133,8	3,8	3	5,2	0,41	13,2	42,7	44,1
A	145	BR	32,0	0,5	1,0	0,2	1,0	70,7	2,7	4	5,2	0,08	22,6	50,9	26,5
A	195	BR	29,0	0,8	1,0	0,2	2,0	70,0	4,0	6	5,4	0,04	26,7	50,3	23,1