

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

ESTUDO DA ESTRUTURA, MORFOLOGIA E MINERALOGIA DE UM SISTEMA DE
SOLOS LATERÍTICO-PODZOLIZADO NA BACIA DO ALTO RIO NEGRO - AM

BRUNA DE SOUZA ARENARE

Orientadora: Profa. Dra. Nádia Regina do Nascimento

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao
Programa de Pós-Graduação em Geografia,
Área de Organização do Espaço, para a
obtenção do título de Mestre em Geografia.

Rio Claro (SP)
2007

551.41 Arenare, Bruna de Souza
A681e Estudo da estrutura, morfologia e mineralogia de um sistema de solos laterítico-podzolizado na bacia do Alto Rio Negro – AM / Bruna de Souza Arenare. – Rio Claro : [s.n.], 2007
155 f. : figs., tabs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Nádia Regina do Nascimento

1. Ciência do solo. 2. Transformações de solos. 3. Podzolização. 4. Lateritização. 5. Amazônia. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Nádia Regina do Nascimento (IGCE/UNESP/Rio Claro)

Profa. Dra. Maria José Marinho do Rêgo (IG/UFBA/Salvador)

Prof. Dr. Jairo Roberto Jimenez Rueda (IGCE/UNESP/Rio Claro)

Bruna de Souza Arenare
Aluno (a)

Rio Claro, 26 de outubro de 2007.

Resultado: APROVADO (A)

Dedico à minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus por iluminar meus caminhos, concedendo-me força para chegar até aqui.

À Profa. Dra. Nádia Regina do Nascimento pela dedicação, orientação, aprendizagem e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto.

Ao Dr. Emmanuel Fritsch, do IRD-França, pelo auxílio no trabalho de campo.

Ao Guilherme pela parceria nas análises de laboratório e pela aprendizagem na realização do trabalho.

À tripulação da embarcação do Quadros Neto, ao comandante Sérgio, Wagner e à Dona Graça pelo transporte e suporte no trabalho em campo.

Ao pessoal do Seringalzinho, Deoni, Grana e Val pelo auxílio nas atividades de campo.

À Suely, técnica do Laboratório LAFS da UNESP, campus Rio Claro, pelo auxílio na realização das análises e pela agradabilíssima convivência.

Ao Sérgio, técnico do NUPEGEO da ESALQ-USP, pelo auxílio na análise de Microscopia de Varredura.

Ao Prof. Dr. Antenor Zanardo, do Departamento de Mineralogia do IGCE da UNESP-Rio Claro/SP, por ter disponibilizado o Laboratório de Microscopia Óptica para os estudos micromorfológicos e à sua aluna, Carolina, pelo apoio.

Aos funcionários da UNESP, em especial à Edna, Elza, Bete, Arnaldo, João e Aparecido Veloso, pelo convívio e amizade.

Ao professor Dante Ximenes Nascimento pela revisão do português.

Aos colegas Rubens, Débora, Daniela e Mateus pela agradável convivência e colaboração na realização da pesquisa.

Às amigas Bia, Karine, Érica e Fabiana, que mesmo distantes estiveram sempre presentes, incentivando e apoiando a realização do trabalho.

À família Chiapetti, à Dulcimar e ao Saulo pela amizade, incentivo e acolhimento.

Ao Adriano e à Cecília, grandes amigos e companheiros de caminhada, por estarem presentes em cada etapa da realização deste trabalho e pelos momentos agradáveis de convivência, amizade e descontração.

Ao José Carlos, companheiro de todos os momentos, pelo carinho, compreensão, paciência e incentivo constante.

Ao meu pai Demétrio, minha mãe Vera e meus irmãos Diego e Matheus por todo incentivo, apoio, acompanhamento e carinho. Em especial, agradeço à minha mãe pela sua presença nos momentos mais difíceis.

Muito obrigada a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho!

RESUMO

Trata-se do estudo da estrutura, morfologia e mineralogia dos sistemas de solos laterítico e podzolizado, localizados na região amazônica, nas proximidades da cidade de São Gabriel da Cachoeira, no baixo curso do Rio Curicuriari, cujo objetivo foi compreender a seqüência da evolução mineralógica desses sistemas de solos, a partir do estudo em toposseqüência. A metodologia utilizada foi a da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET *et al.*, 1982 a, b, c). A seleção da unidade representativa dos sistemas de solos foi feita a partir da análise de imagens geradas por satélite. A investigação em toposseqüência representou a geometria e a distribuição espacial das organizações dos sistemas laterítico e podzolizado na vertente, que apontaram relações de discordância. Visando a uma averiguação mais detalhada desses sistemas de solos, foram escolhidas três trincheiras representativas sobre as quais se desenvolveram as análises de laboratório, que permitiram estabelecer dois principais domínios de solos: o Laterítico de Alteração e Pedogênese e o Podzolizado, possibilitando compreender as principais transformações ocorridas no nível micromorfológico, físico, químico e mineralógico. Verificou-se que o Domínio Laterítico está sendo superimposto e transformado pelo Domínio Podzolizado e confirmou-se que a hidromorfia, justaposta à lateritização, promove o início das transformações no Domínio Laterítico.

Palavras Chave: Transformações de Solos, Podzolização, Lateritização, Amazônia.

ABSTRACT

The present work is a study of structure, morphology and mineralogy of the lateritic and podzolic soils systems, located in the Amazon region, the neighborhoods of São Gabriel da Cachoeira, in the low course of the River Curicuriari. It aimed to comprehend the mineralogical sequence evolution of these soils systems applying the study in topossequence, which is based on the methodology of the Structural Analysis of the Pedological Mantle (BOULET *et al.*, 1982, b, c). A representative unit of the soil systems has been chosen using satellite images analysis. The topossequence investigation represented the geometry and the space distribution of the lateritic and podzolic systems organizations in the slope, which had pointed discord relations. Aiming a more detailed ascertainment of these soils systems, three representative points have been chosen, on which the laboratory analyses were developed. These analyses had allowed establishing two soils domains: the Lateritic of Weathering and Pedogenic and the Podzolic. They have made possible to understand the main transformations occurred in the micromorphologic, physical-chemical and mineralogical levels. It was verified that the Lateritic Domain is being supertax and transformed by the Podzolic Domain and confirmed that the hidromorphy, juxtaposed to the lateritization, promotes the beginning of Lateritic Domain transformations.

Key Words: Soils Transformations, Podzolization, Lateritization, Amazonia.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Localização da área de estudo	18
Figura 2 – Balanço hídrico (Adaptado do Projeto RADAMBRASIL, 1977)	19
Figura 3 – Mapa geológico da área de estudo	20
Figura 4 – Mapa geomorfológico da área de estudo	22
Figura 5 – Carta hipsométrica	23
Figura 6 – Mapeamento de solos	24
Figura 7 – Modelo de transformações mineralógicas a partir de uma rocha granítica nos solos tropicais	29
Figura 8 – Esquema do funcionamento biogeoquímico das lateritas e dos podzóis	31
Figura 9 – Fluxograma da metodologia adotada na pesquisa	34
Figura 10 – Amostras de solos obtidas por tradagens e armazenadas no pedocomparador	36
Figura 11 – Organização dos sistemas de solos na toposseqüência	52
Figura 12 – Pontos investigados em detalhe na toposseqüência	54
Figura 13 – Perfil laterítico com início de acumulação de matéria orgânica	56
Figura 14 – Fotos ao microscópio óptico do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese (Parte I)	62
Figura 15 – Fotos ao microscópio óptico do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese (Parte II)	63
Figura 16 – Fotos ao microscópio óptico do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese (Parte III)	64
Figura 17 – Fotos ao microscópio óptico do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese (Parte IV)	65
Figura 18 – Perfil na justaposição da lateritização/hidromorfia	68
Figura 19 – Fotos ao microscópio óptico dos horizontes na justaposição lateritização/hidromorfia (Parte I)	71
Figura 20 – Fotos ao microscópio óptico dos horizontes na justaposição lateritização/hidromorfia (Parte II)	72

Figura 21 - Superimposição da podzolização sobre os horizontes lateríticos hidromórficos na base do perfil	75
Figura 22 – Fotos ao microscópio óptico da superimposição da podzolização sobre os horizontes lateríticos hidromórficos na parte inferior da dupla língua (Parte I)	78
Figura 23 – Fotos ao microscópio óptico da superimposição da podzolização sobre os horizontes lateríticos hidromórficos na parte inferior da dupla língua (Parte II)	79
Figura 24 - Superimposição da podzolização sobre os horizontes lateríticos de topo	82
Figura 25 – Fotos ao microscópio óptico da podzolização de horizontes lateríticos na parte superior da dupla língua (Parte I)	86
Figura 26 – Fotos ao microscópio óptico da podzolização de horizontes lateríticos na parte superior da dupla língua (Parte II)	87
Figura 27 – Seqüência de transformações do sistema laterítico para podzolizado ...	91
Figura 28 – Síntese da evolução dos fundos matriciais (F.M.) dos domínios de solos estudados	92
Figura 29 – Distribuição percentual da granulometria nos perfis do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese	94
Figura 30 – Distribuição do pH em H ₂ O e em KCl, dos cátions trocáveis, H+Al, SB, T, nitrogênio total e carbono na trincheira TIB3 do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese	96
Figura 31 – Distribuição dos resultados da análise química total por FRX no Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese	98
Figura 32 – Análise mineralógica ao infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese	102
Figura 33 – Análise mineralógica de espectroscopia por reflectância difusa (DRS) no Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese	102
Figura 34 – Micrografias ao MEV e espectro ao EDS do plasma entre as folhas de biotita no horizonte C5 da trincheira TIB1	104
Figura 35 – Distribuição percentual da granulometria no perfil da justaposição lateritização/hidromorfia	105
Figura 36 – Distribuição do pH em H ₂ O e em KCl na justaposição lateritização/hidromorfia	107
Figura 37 – Distribuição dos cátions trocáveis, H+Al, SB, T, nitrogênio total e carbono na trincheira TIB2A na justaposição lateritização/hidromorfia	108

Figura 38 – Distribuição dos resultados da análise química total por FRX na justaposição lateritização/hidromorfia	110
Figura 39 – Análise mineralógica ao infravermelho por transformada de fourier (FTIR) e à espectroscopia por reflectância difusa (DRS) na justaposição lateritização/hidromorfia	114
Figura 40 – Distribuição percentual da granulometria nos perfis do domínio podzolizado	116
Figura 41 – Distribuição do pH em H ₂ O e em KCl no domínio podzolizado	117
Figura 42 – Distribuição dos cátions trocáveis, H+Al, SB, T, nitrogênio total e carbono no domínio podzolizado.....	119
Figura 43 – Distribuição dos resultados da análise química total por FRX no domínio podzolizado	121
Figura 44 – Análise mineralógica ao infravermelho por transformada de fourier (FTIR) e à espectroscopia por reflectância difusa (DRS) no domínio podzolizado .	125

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 4.1 – Resultados da análise química total por fluorescência de raios-x (FRX) nas trincheiras TIB3 e TIB1	97
Tabela 4.2 - Resultados químicos das análises de CBD (d) e oxalato (o) dos horizontes do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese.....	100
Tabela 4.3 – Resultados da análise química total por fluorescência de raios-X (FRX) na justaposição lateritização / hidromorfia	109
Tabela 4.4 – Resultados químicos das análises de CBD (d) e oxalato (o) dos horizontes na justaposição lateritização/hidromorfia	112
Tabela 4.5 – Resultados da análise química total por fluorescência de raios-X (FRX) no domínio podzolizado	120
Tabela 4.6 – Resultados químicos das análises de CBD (d) e oxalato (o) dos horizontes no domínio podzolizado	123

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	15
2 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO	18
2.1 Caracterização geral da área de estudo	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO	25
3.1 Fundamentação teórica para a compreensão do sistema em estudo	25
3.1.1 Sistema de solos em equilíbrio e desequilíbrio pedobioclimático e as frentes de transformação	25
3.1.2 Principais processos das transformações mineralógicas no sistema laterítico-podzolizado	28
3.1.3 Análise estrutural dos sistemas de solos	32
3.2 Metodologia e ações da pesquisa	33
3.2.1 Identificação preliminar do sítio de estudo	35
3.2.2 Análise estrutural da cobertura pedológica e descrição macromorfológica da toposseqüência	35
3.2.3 Técnicas e procedimentos de análise	37
3.2.3.1 Análise micromorfológica	37
3.2.3.2 Análise física	39
3.2.3.3 Análises químicas	40
3.2.3.4 Análises mineralógicas	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1 Organização dos sistemas de solos no nível da toposseqüência	47
4.1.1 Morfologia da superfície do terreno	47
4.1.2 Geometria das organizações dos solos da toposseqüência	48
4.2 Domínios de alteração e de pedogênese: macro e micromorfologia	53
4.2.1 Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese	55
4.2.1.1 Da lateritização ao início da acumulação de matéria orgânica	55

4.2.1.2 Justaposição lateritização / hidromorfia	67
4.2.2 Domínio podzolizado	74
4.2.3. Síntese das interpretações	89
4.3 Análises e discussões dos resultados físicos, químicos e mineralógicos dos domínios de solos	93
4.3.1 Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese.....	93
4.3.1.1 Da lateritização ao início da acumulação de matéria orgânica	93
4.3.1.2 Justaposição lateritização / hidromorfia	105
4.3.2 Domínio podzolizado	116
4.3.2.1 Superimposição da podzolização sobre os horizontes lateríticos hidromórficos na parte inferior e superior da dupla língua	116
4.4 Evolução mineralógica dos sistemas lateríticos e podzolizados	127
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	129
6 REFERÊNCIAS.....	131
7 APÊNDICE	139
7.1 APÊNDICE A - Descrições de campo.....	140
7.2 APÊNDICE B - Resultados das análises granulométricas.....	145
7.3 APÊNDICE C - Resultados das análises químicas do complexo de troca adsorvente	147
7.4 APÊNDICE D - Resultados das análises mineralógicas por meio de difratogramas de raios-X.....	152

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos dos solos amazônicos ocorreram no final da década de 50, com os trabalhos desenvolvidos por Day (1959) (*apud* RODRIGUES, 1996). A partir da década de 70, foram realizadas novas investigações pela EMBRAPA-SNLCS, em áreas estratégicas de interesse econômico. Mais tarde, por meio da instauração do projeto RADAMBRASIL (Projeto Radam 1972-1978), iniciou-se o reconhecimento sistemático da distribuição ordenada dos solos, em escala regional. Outros estudos foram desenvolvidos posteriormente, visando a investigar a estrutura e o funcionamento desses solos, bem como compreender a sua dinâmica evolutiva (KLINGE, 1965; VOLKOFF, 1985; MELFI *et al.*, 1996; LUCAS, 1989; SOUBIES e CHAUVEL, 1985; BRAVARD e RIGHI, 1989; DUBROEUCQ e VOLKOFF, 1998; BOULET *et al.*, 1998; NASCIMENTO *et al.*, 1998; NASCIMENTO *et al.*, 2004).

Na região amazônica foram descobertas extensas áreas de solos podzolizados em meio a solos lateríticos (DUBROEUCQ *et al.*, 1999). Os solos podzolizados aparecem bem distribuídos na superfície terrestre, pois são encontrados nas zonas boreais, temperadas e tropicais. Nas regiões boreais e temperadas, com baixas temperaturas, a podzolização é um processo caracterizado pela decomposição lenta da matéria orgânica, originando espessas serrapilheiras. Entretanto, nas regiões tropicais, com temperaturas e precipitações mais elevadas, a podzolização está associada ao desenvolvimento de condições redutoras e ácidas e à flutuação sazonal dos lençóis freáticos (NASCIMENTO *et al.*, 2004).

Os solos podzolizados caracterizam-se por um horizonte alábico, arenoso e cinza, abaixo da superfície, sublinhado por um horizonte B_h, húmico, escuro e por consecutivo horizonte espódico (Bs) de acúmulo de matéria orgânica e/ou compostos de ferro e alumínio, seguido pelo horizonte C (LUNDSTRÖM *et al.*, 2000). São também conhecidos como *Spodosols* no US Soil Taxonomy.

Os solos podzolizados distribuem-se localmente nas regiões tropicais, ocorrendo extensivamente em áreas muito chuvosas, mais especificamente, na Alta Bacia Amazônica (SOUBIÈS e CHAUVEL, 1985; BRAVARD e RIGHI, 1989; LUCAS, 1989;

DUBROEUCQ e VOLKOFF, 1998, 1999; NASCIMENTO *et al.*, 2004) e, também, nas regiões costeiras da Guiana (TURENNE, 1975; BOULET *et al.*, 1984) e das ilhas da Indonésia (BRABANT, 1987; THOMAS *et al.*, 1999).

O estudo cartográfico dos sistemas de solos na Bacia do Alto Rio Negro (DUBROEUCQ *et al.*, 1999) mostrou a extensão das áreas podzolizadas entre as superfícies aplainadas, de relevo em colinas, encobertas por solos lateríticos. Essas áreas podzolizadas constituem uma grande planície de solos podzolizados hidromórficos e gigantes, desenvolvidos a expensas dos solos lateríticos.

Os processos de podzolização no alto Rio Negro têm sido estudados por vários autores: Lucas *et al.* (1984); Dubroeuq e Volkoff (1998); Bueno e Nascimento (2002) e Nascimento *et al.* (2004), entre outros. Esses pesquisadores têm mostrado, em seus estudos, a importância da podzolização como um processo maior de diferenciação dos ecossistemas amazônicos. Tratam da distribuição e evolução de latossolos em organossolos e espodosolos a partir de estudos em toposseqüências representativas de unidades pedomorfológicas (DUBROEUCQ e VOLKOFF, 1998); apontam uma explicação para a origem dos domínios de areia branca em interflúvios da Amazônia (BUENO e NASCIMENTO, 2002) como extensas áreas de podzóis e apresentam os mecanismos envolvidos no processo de podzolização (NASCIMENTO *et al.*, 2004). Existem outros estudos em andamento, visando a compreender os mecanismos da podzolização dos solos lateríticos.

Nesse sentido, o presente trabalho acopla-se a dois projetos mais amplos que estão sendo desenvolvidos por um grupo de pesquisa no Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade do Estado de São Paulo (UNESP), *campus* Rio Claro, em cooperação com pesquisadores franceses, os quais foram aprovados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Comitê Francês de Avaliação da Cooperação Universitária com o Brasil (COFECUB). Ambos os projetos apresentam a mesma temática: entender os mecanismos hidrobiogeoquímicos envolvidos na Podzolização das Lateritas da Alta Bacia Amazônica que controlam a dinâmica evolutiva e as exportações de matérias nas cabeceiras dos rios da Bacia do Rio Negro.

Diferentes sítios de estudo têm sido investigados no âmbito desses projetos. O sítio atualmente investigado está localizado nas proximidades de São Gabriel da Cachoeira. Ele foi escolhido por representar um maior avanço da podzolização e apresentar uma maior disponibilidade de minerais que se submetem a esse processo.

Desse modo, o problema científico de que se trata nesta pesquisa é o da podzolização dos solos lateríticos, vista do ângulo da evolução mineralógica dos sistemas de solos. Como os sistemas lateríticos e podzolizados apresentam condições pedogenéticas diferentes um do outro e, o segundo está em discordância com o primeiro (BUENO, 2006) espera-se, então, que os sistemas de solos apresentem, no mínimo, duas seqüências mineralógicas, uma vez que o processo de podzolização avança sobre o solo laterítico, do qual interrompe a seqüência mineralógica. Além do mais, ocorre o processo de hidromorfia atuante sobre o solo laterítico, o qual contribui, provavelmente, para o início das transformações. Nesse sentido, o objetivo principal da presente pesquisa é o de buscar compreender, por meio da investigação da estrutura, da morfologia, da mineralogia e da química, a seqüência da evolução¹ mineralógica dos sistemas de solos.

Assim, dados o objetivo e o processo investigativo, esta Dissertação tem a seguinte estrutura: no Capítulo 2, apresentam-se as condições geoambientais da área de estudo, ressaltando-se aquelas características, que fornecem condições para uma melhor compreensão da área. No Capítulo 3, trata-se do referencial teórico-metodológico, base para o entendimento do objeto investigado. Nele, são apresentados o método e os procedimentos técnicos empregados. A organização dos sistemas de solos, no nível da toposseqüência e dos horizontes de solo, é mostrada no Capítulo 4. Os resultados obtidos nas diferentes análises (morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas), em várias escalas, permitiram a formulação de hipóteses que foram discutidas e confrontadas nesse capítulo. Nas CONSIDERAÇÕES FINAIS, apoiada nas discussões e análises desenvolvidas ao longo deste trabalho, confirma-se a hipótese levantada.

¹ O termo evolução refere-se às transformações e mudanças lentas e sucessivas ocorrentes entre os minerais constituintes do solo.

2 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

O objetivo, neste capítulo é reunir as informações básicas e os dados de caracterização geoambiental da área pesquisada, abrangendo os aspectos climáticos, geomorfológicos, hipsométricos, pedológicos, geológicos e de cobertura vegetal.

2.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A área investigada localiza-se na região amazônica, na alta bacia do Rio Negro, na margem direita do baixo curso do rio Curicuriari, afluente do Rio Negro; encontra-se entre as coordenadas 0713167 KmE e 9970612 KmN, fuso 19M, a cerca de 15 km a sudeste da cidade de São Gabriel da Cachoeira-AM (Fig. 1).

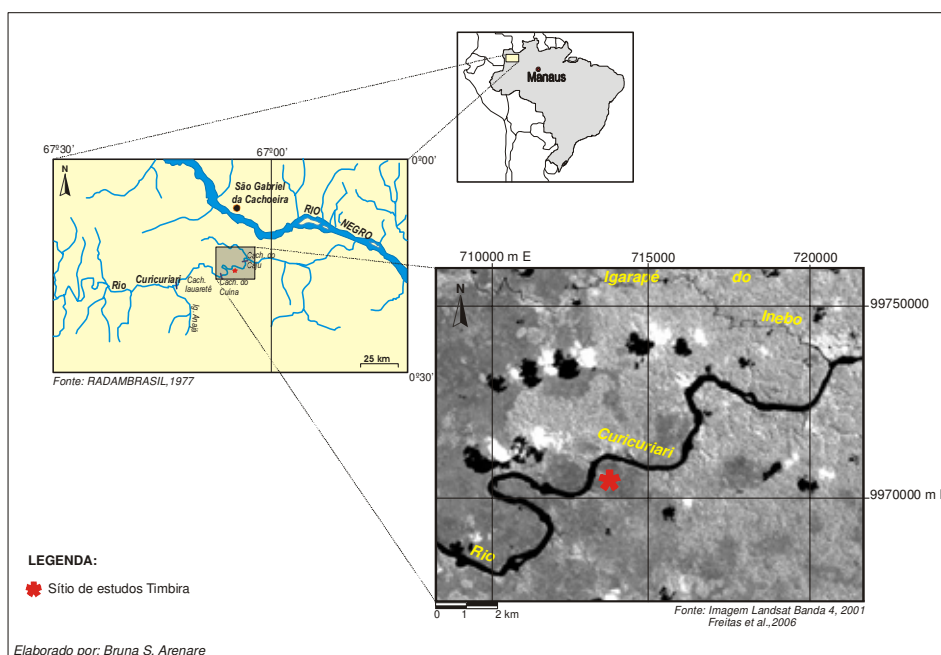


Figura 1 – Localização da área de estudo

A região estudada sofre a influência de um clima tropical, quente e úmido, do tipo Tropical Chuvoso de Floresta (Af), de acordo com a classificação de Köppen, apresenta temperatura média anual de cerca de 25°C, atingindo no mês mais frio

temperatura superior a 18°C. A média anual da umidade relativa do ar é próxima de 90% e a pluviosidade média anual chega a 3000mm (COSTA *et al.*, 1977). O balanço hídrico elaborado por Costa *et al.* (1977), segundo Thornthwaite e Mather (1955), mostra que os meses mais chuvosos são abril, maio e junho e os menos chuvosos, julho, agosto, setembro e outubro, conforme dados da Estação Fonte Boa. Na Figura 2, o gráfico indica a existência de um excedente hídrico durante o ano todo.

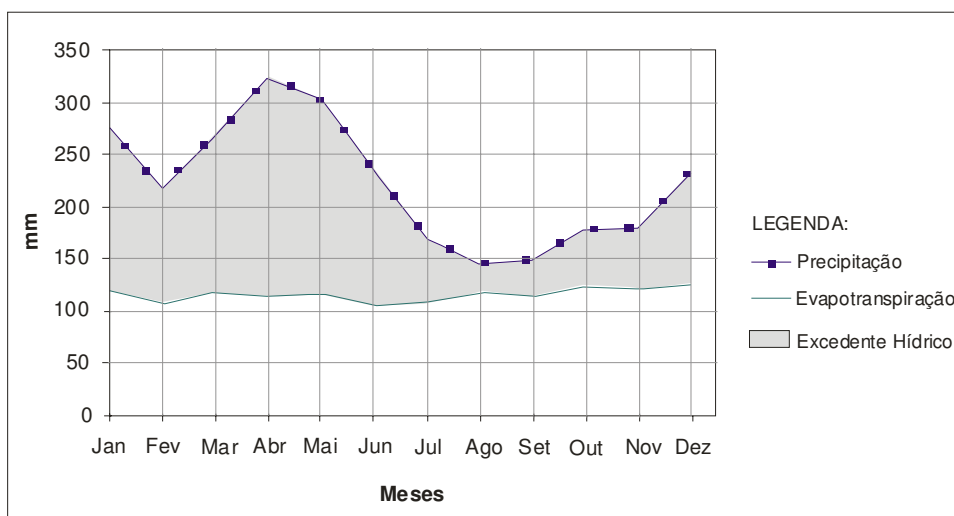


Figura 2 – Balanço hídrico (Adaptado do Projeto RADAMBRASIL, 1977)

A estrutura litológica, sobre a qual se assenta a área em estudo, corresponde à Província Rio Negro-Juruena do Cráton Amazônico (TASSINARI e MACAMBIRA, 1999), redefinida posteriormente como Província Rio Negro por Santos *et al.* (2000). Nessa região, encontra-se a Suíte Intrusiva Rio Uaupês, onde ocorrem litologias do corpo granítico São Gabriel da Cachoeira e do granito Curicuriari, que apresenta granitóides tipo Curicuriari (Fig. 3).

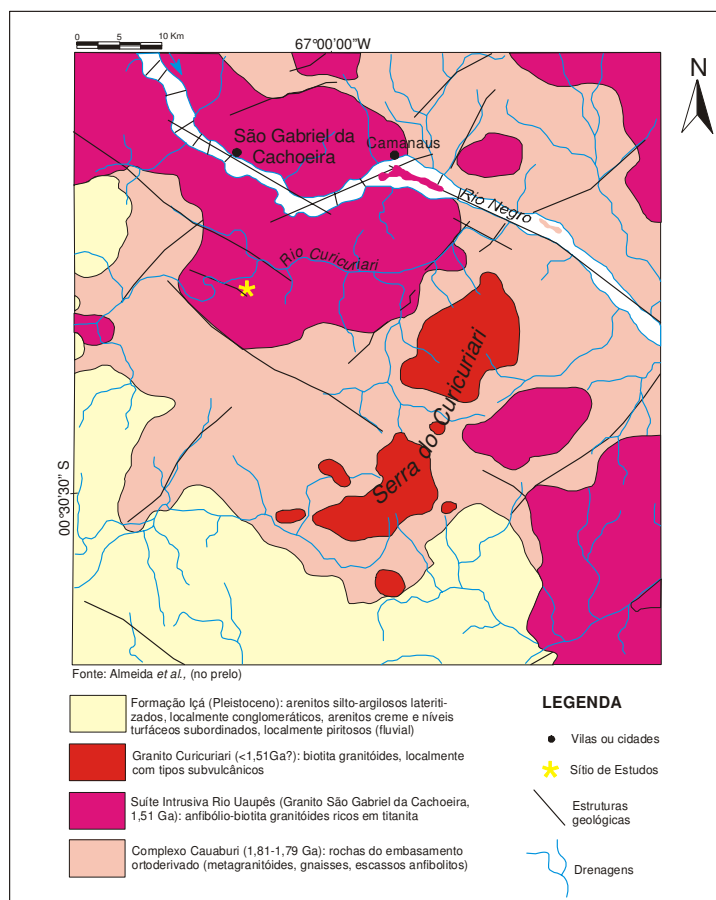


Figura 3 – Mapa geológico da área de estudo

O granito São Gabriel da Cachoeira possui, de modo geral,

[...] composição monzogranítica, sienogranítica e quartzo monzonítica, com cor cinza claro, grão médio a grosso e textura equigranular dominante e aspecto mosqueado característico [...] marcado pela ocorrência de aglomerados máficos milimétricos, ligeiramente circulares, distribuídos pontualmente na matriz da rocha (ALMEIDA, 2005, p. 4).

Os granitóides tipos Curicuriari são

[...] isotrópicos, com coloração rosada, grão grosso a médio, textura equigranular a ligeiramente porfírica e têm a biotita como único mineral varietal. Também possuem baixo a moderado conteúdo de minerais máficos em geral (7-10%) e associação mineral formada por alcalifeldspato rosado a avermelhado, plagioclásio esbranquiçado, quartzo, biotita, além de minerais acessórios como allanita, titanita, magnetita, e raros sulfetos (ex. pirita) (ALMEIDA, 2005, p. 5).

Sobre essas litologias desenvolve-se um relevo inserido no domínio morfoestrutural do Pediplano Rio Branco-Rio Negro, caracterizado por grandes áreas de acumulação inundáveis, inselbergs e pediplanos (FRANCO *et al.*, 1977).

Do ponto de vista da erosão mecânica, a região em estudo apresenta três gerações de relevos residuais, identificadas na Folha NA-19 Pico da Neblina por Nascimento e Prates (1976) *apud* FRANCO *et al.* (1977). A primeira compreende os níveis mais elevados, isolados, com cristas e altitudes em torno de 1000 m, as quais são as Serras do Traíra e Curicuriari, essa última localizada a sudeste da área de estudo. A segunda, corresponde aos níveis rebaixados, com cerca de 250 m de altitude, as quais são as Serras do Irá e Capuari e, a última, compreende as formas residuais, os inselbergs, com 180 m de altitude, próximas à Serra do Curicuriari e Serra do Caranguejo. De acordo com Franco *et al.* (1977), os níveis de aplainamento estão sofrendo dissecação e convexização, em função da umidificação do clima e estabelecimento da vegetação de floresta e campinarana. Conforme a divisão morfoclimática, a área se insere na Faixa de Transição em Superfície Pediplanada e Planalto Dissecado.

O mapa geomorfológico (Fig. 4) indica como forma predominante de relevo, na área de estudo, as superfícies pediplanadas, configurando um relevo que abrange uma larga faixa na margem direita do Rio Negro e na porção sudoeste do mapa. Nas áreas adjacentes, verificam-se colinas de topo convexo separadas por vales em “V”, com aprofundamento de drenagem muito fraco, que aparecem, tanto na margem direita, quanto na margem esquerda do Rio Negro. Os inselbergs, resultantes dos processos de pediplanação, ocorrem em pontos isolados na superfície aplanada. As cristas de topo contínuo e aguçado, separadas geralmente por vales em “V” são representadas pela Serra do Curicuriari, do Caranguejo, Uranari e Amana.

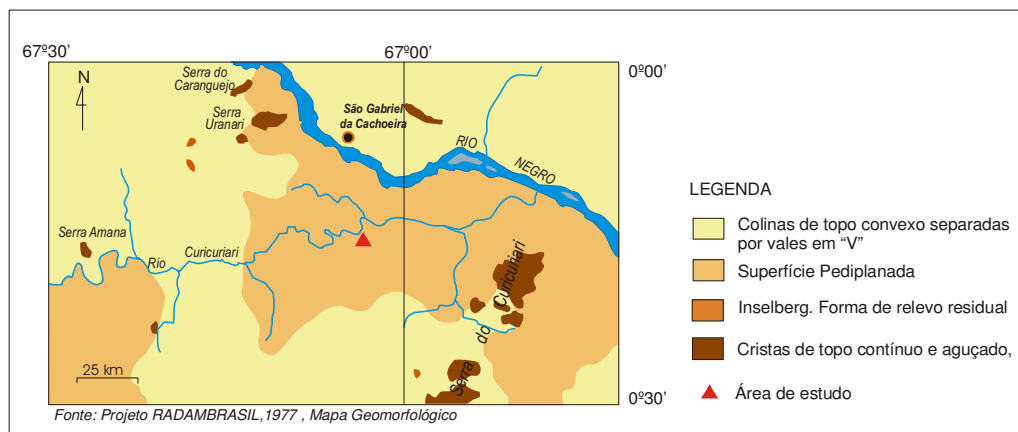


Figura 4 – Mapa geomorfológico da área de estudo

De acordo com Franco *et al.* (1977) a configuração do relevo atual pode ser explicada por um processo de aplainamento poligenético sobre rochas pré-cambrianas, em condições de clima seco. Eles apontam como evidências do processo de pediplanação os relevos residuais do tipo inselbergs, que possuem litologia semelhante à do Complexo Guianense. Entretanto, novas hipóteses foram apresentadas por Bueno (2006), indicando que a evolução geomorfológica atual pode estar vinculada à forte atuação de componentes geoquímicos que levam à evolução do sistema de solos laterita-podzol. Se há ou não um componente erosivo mecânico que leva ao aplainamento e deixa na paisagem seus testemunhos, será preciso maior investigação; entretanto, não se pode negar as feições de erosão geoquímica impressas na paisagem geomorfológica atual.

A carta hipsométrica (Fig. 5) da região de estudo mostra variações altimétricas entre 60 e 140 m. As áreas de menores altitudes aparecem ao longo das margens do rio Curicuriari e de seus afluentes, enquanto na porção nordeste e sudeste existem várias áreas isoladas de altitudes elevadas (120 a 140 m). A toposseqüência está situada numa área com altimetria oscilando entre 80 e 100 m.

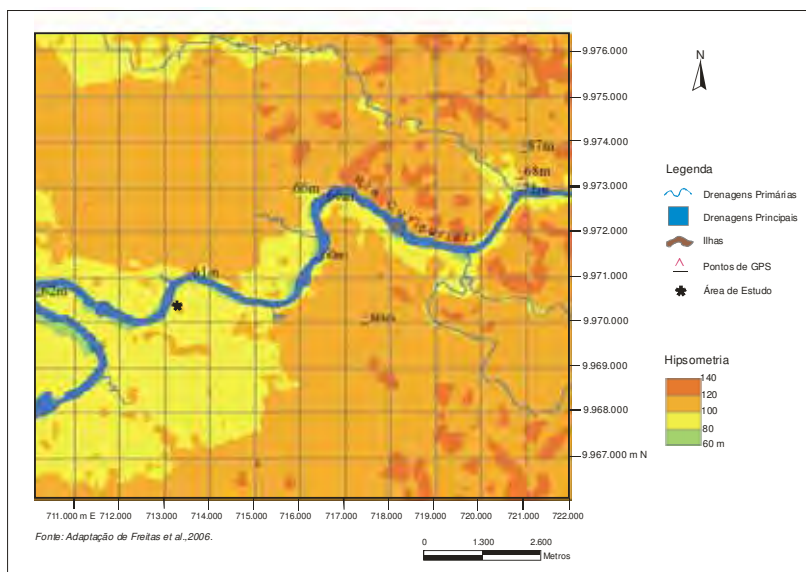


Figura 5 – Carta hipsométrica

Os solos de uma área representativa da superfície pediplanada foram mapeados recentemente por Bueno (2006), que aponta dois principais domínios: o laterítico e o podzolizado (Fig. 6). O primeiro compreende quatro tipos de solos, situados sob floresta densa de “terra firme”, os quais são: laterita vermelha, bem desenvolvida, argilosa e bem drenada, presente nas vertentes convexas; laterita amarelo-avermelhada, areno-argilosa, bem drenada, encontrada também em vertentes convexas; laterita vermelho-amarelada, areno-argilosa, bem drenada, sob as superfícies de topo e laterita amarela, arenosa, de bem a moderadamente drenada, mapeada nas superfícies planas e nos topos de vertentes. Esse grupo de solos apresenta estágio avançado de intemperização e processo intenso de lixiviação.

No segundo domínio, podzolizado, foram identificados quatro tipos de solos, sob vegetação do tipo campinarana, sendo: podzol arenoso, bem drenado, associado à rede de drenagem, coberto por árvores de porte alto; novamente o podzol arenoso, porém de bem a moderadamente drenado, parcialmente associado à rede de drenagem, aparecendo nas superfícies de topo e em vertentes suaves, sob árvores de porte alto; podzol hidromórfico arenoso, parcialmente associado à rede de drenagem, em superfícies planas e sob árvores de porte médio; e por último, um podzol hidromórfico arenoso, não associado à rede de drenagem, em superfícies planas e sob árvores de baixo porte. A Figura 6 mostra o sistema de solos, que está

sendo investigado, identificado no mapa pela transição de lateritas amarelas para podzol hidromórfico.

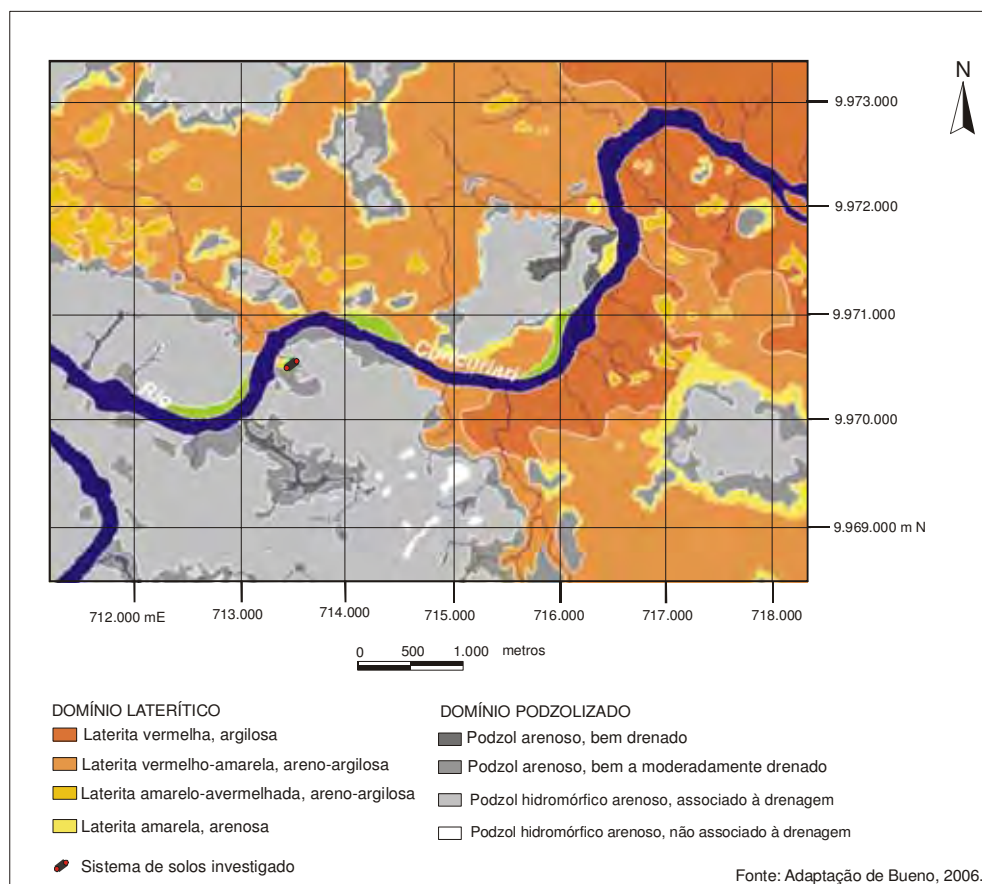


Figura 6 – Mapeamento de solos

3 REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO

Neste capítulo, apresenta-se a base teórico-metodológica que fundamenta e norteia as discussões e interpretações relacionadas à pesquisa. Na primeira seção (2.1), será tratado o embasamento teórico e, na segunda, (2.2) serão descritas a metodologia e as técnicas e procedimentos de análise empregados na área estudada.

3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PARA A COMPREENSÃO DO SISTEMA EM ESTUDO

A base metodológica é discutida a partir de duas principais noções: a de Sistema de Transformação de Solos (BOULET *et al.*, 1984) e a de Frente de Transformação em Solos (MILLOT, 1983). A primeira noção requer a existência de sistemas de solos em desequilíbrio para legitimar o modelo da transformação; a segunda envolve a idéia de limite, de descontinuidade e de movimento, constituindo uma “discordância geométrica” (MILLOT, 1983).

3.1.1 SISTEMA DE SOLOS EM EQUILÍBRIO E DESEQUILÍBRIO PEDOBIOCLIMÁTICO E AS FRENTE DE TRANSFORMAÇÃO

Em Ferreira (1989, p. 505) a palavra transformação denota a geração de uma nova forma, feição ou mesmo mudança, transfiguração. Em pedologia, as transformações são entendidas como “toda modificação química, física ou biológica dos constituintes dos solos, sejam residuais, neoformados ou importados” (OLIVEIRA, 1972, p. 329). No processo pedogenético, as transformações iniciam-se nos materiais próximos ou sobre a superfície da terra, a partir da alteração intempérica. Nahon (1991) explica que essas alterações são um reajuste termodinâmico das rochas às condições ambientais da superfície. Esses reajustes causam a desintegração, dissolução, transformação e neogênese dos minerais, deixando-os em equilíbrio com as novas

condições pedobioclimáticas. As evoluções destes materiais, no tempo, vão constituir os sistemas de solos².

Esses sistemas de solos são abertos, passíveis de sofrer trocas de matéria e energia com o ambiente (BOULET *et al.*, 1984). Assim, estão sob efeitos de fatores bioclimáticos, que intervêm sobre a rocha, provocando a redistribuição, reestruturação e organização dos seus elementos em horizontes. Tais sistemas podem estar em equilíbrio ou desequilíbrio dinâmico com o meio pedobioclimático (BOULET *et al.*, 1984).

A idéia de sistema de solos em equilíbrio dinâmico com as condições pedobioclimáticas vigentes (BOULET, 1978; BOULET *et al.*, 1984; BOULET *et al.*, 1994) parte do pressuposto que as estruturas do solo conservam-se no tempo e que o desenvolvimento dos horizontes de solos dar-se-á, mais ou menos paralelo, à superfície com variações laterais geralmente fracas e/ou progressivas ao longo da vertente, havendo, portanto, uma concordância³ entre as organizações. As estruturas concordantes podem ser superpostas, no caso de estruturas com camadas paralelas, ou justapostas, no caso de outras estruturas fronteiriças (FRITSCH *et al.*, 1992).

A diferenciação do solo, nos sistemas em equilíbrio, incide verticalmente, uma vez que os horizontes se formam a partir da transformação do horizonte inferior, o qual posteriormente recebe e/ou acumula os produtos liberados pelos horizontes subjacentes (NAHON, 1991), estabelecendo-se entre eles uma seqüência genética. Tem-se, então, a atuação de uma **frente de transformação** de caráter químico, físico ou biológico, sobre o sistema de solos, que indica o limite de penetração ou progressão de um horizonte em outro (TARDY, 1993). Millot (1983) chamou essa frente de transformação de “discordância geométrica”, que constitui naturalmente uma superfície de fronteira entre diferentes organizações do solo, por onde transitam matéria e energia.

² Conjunto estruturado de horizontes ou volumes de solos, ordenados no espaço e no tempo (SOUBIÈS e CHAUVEL, 1985).

³ O termo concordância refere-se a uma ausência de intersecção entre as organizações do solo (FRITSCH *et al.*, 1992).

Tratando-se dos sistemas de solos em desequilíbrio, que surgem quando as condições bioclimáticas alteram-se no espaço e no tempo por diversos fatores tais como: as variações climáticas ou as mudanças no nível de base; quando as organizações elementares tornam-se instáveis, ocasionando o rompimento e descontinuidade do domínio em equilíbrio, o qual tende a transformar-se em novas estruturas ajustadas e equilibradas com as condições contemporâneas (BOULET *et al.*, 1984). Essas novas seqüências de organizações elementares interrompem as estruturas da seqüência inicial, a partir do avanço da frente de transformação, que atravessa e altera a cobertura original. Nesse caso, os horizontes formados apresentam-se discordantes, oblíquos e progridem lateralmente e/ou verticalmente no perfil, interrompendo as estruturas da seqüência original, que deixa de ser funcional (BOULET *et al.*, 1994). O conjunto das organizações da cobertura original e da cobertura transformada denomina-se **sistema de transformação** (BOULET *et al.*, 1984).

Segundo FRITSCH *et al.* (1992), as relações discordantes podem ser observadas em dois casos, sendo que em ambos há o surgimento de uma matriz Z que intersecta a transição entre duas matrizes X e Y. Eles explicam que, no primeiro caso, todas as características de Z são diferentes daquelas encontradas nas matrizes X e Y justapostas. No segundo caso, a matriz Z é identificada por uma única característica, a qual é ausente nas matrizes de X e Y (por exemplo, uma diferença de cor). A interpretação dada no primeiro caso seria que as matrizes se formaram de modo distinto sem o estabelecimento de uma cronologia, enquanto no segundo caso, a superimposição da matriz Z sobre as matrizes X e Y mostra que as novas características de Z foram formadas mais tarde em relação à diferenciação entre X e Y.

As relações estruturais de concordância e as de discordância é que definem os limites dos sistemas em transformação, enquanto os dados químicos e mineralógicos auxiliam na caracterização de cada sistema e na identificação dos processos predominantes no solo (lixiviação, podzolização, eluviação-iluviação, etc.) (FRITSCH *et al.*, 1992). Para a investigação dessas relações estruturais e genéticas empregam-se os procedimentos propostos pela **análise estrutural da cobertura pedológica** (BOULET *et al.*, 1982 a, b, c).

Trata-se de uma metodologia que visa a compreender e analisar detalhadamente as variações verticais e laterais das organizações do solo. Parte do pressuposto que o sistema de solos é um meio organizado e estruturado, constituindo uma cobertura contínua ao longo das encostas; apresenta diferentes níveis de organização, e os seus constituintes estão estruturados uns em relação aos outros, configurando uma morfologia e anatomia, que podem ser descritas em diferentes escalas de análise, desde a microscópica até a paisagem.

3.1.2 PRINCIPAIS PROCESSOS DAS TRANSFORMAÇÕES MINERALÓGICAS NO SISTEMA LATERÍTICO-PODZOLIZADO

Sob condições climáticas quentes e úmidas, atuam agentes intempéricos (oxigênio, água e gás carbônico) que conduzem às transformações dos constituintes mineralógicos da rocha.

O intemperismo dos minerais primários resulta na justaposição de dois tipos de constituintes: pequenos minerais residuais bem cristalizados, formando o cristaliplasma, e produtos secundários que se desenvolvem *in situ* a partir dos produtos da alteração desses minerais primários, dando origem ao argiliplasma⁴ (DELVIGNE, 1998). Esse processo inicial de formação dos plasmas é denominado de alteroplasmação (BOULET, 1978, p. 50). Os minerais primários herdados da rocha que permanecem nos solos podem ser posteriormente transformados ou completamente alterados, e seus produtos recombinados em novos minerais (neoformação) no interior dos solos pela ação dos processos de intemperismo químico (MILLOT, 1970) que irão constituir o plasma. Esse processo é reconhecido por pedoplasmação (DELVIGNE, 1998).

Em clima tropical, a alteração de rochas ácidas como o granito – substrato geológico na área de estudo – proporciona principalmente a formação de caulinita e, secundariamente, de gibbsita (MACIAS & CHESWORTH, 1992) a partir da alteração dos feldspatos. As biotitas podem transformar-se em caulinitas e/ou goethitas

⁴ O termo argiliplasma designa os materiais da fração do solo de tamanho coloidal que são formados predominantemente por argilo-minerais (DELVIGNE, 1998, p. 473).

(McFARLANE, 1983) e, a magnetita pode ser modificada, tanto em hematita, quanto em maghemita (KÄMPF e CURI, 2000) (Fig. 7).

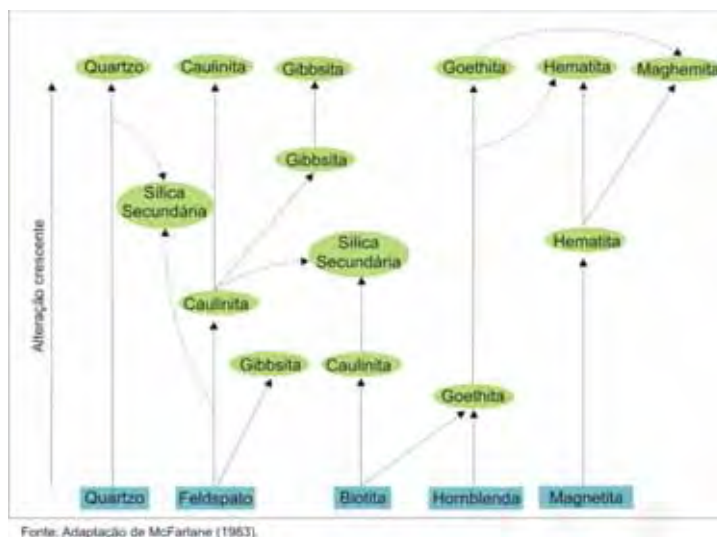


Figura 7 – Modelo de transformações mineralógicas a partir de uma rocha granítica nos solos tropicais

Em ambiente amazônico reconhecem-se dois principais grandes domínios de alteração – das lateritas e dos podzóis. Em área estudada por Bravard e Righi (1989), as coberturas lateríticas são formadas principalmente pelo processo geoquímico de hidrólise, que são favorecidas pelas condições ambientais de alta pluviosidade e temperaturas altas. A instauração do processo de hidrólise sobre as rochas, nessas áreas, ocasiona forte dessilicização dos minerais primários. De acordo com a intensidade de remoção da sílica, pode-se ter a hidrólise parcial (monossilicização) ou total (alitização) (MELFI e PEDRO, 1977). No primeiro caso, parte da sílica e a totalidade dos cátions são mobilizadas e lixiviadas do sistema; essa parcela de sílica não exportada pela drenagem apresenta-se em forma de quartzo residual não alterado (DELVIGNE, 1965) e em forma de argilas neoformadas 1:1, como caulinita e halloysita, resultantes da recombinação do alumínio e da sílica presentes no sistema (LUCAS *et al.*, 1996). No segundo caso, ocorre a solubilização total da sílica, permanecendo os elementos menos móveis (ferro e alumínio) que se precipitam, dando origem aos óxidos e hidróxidos de ferro e

alumínio (goethita, hematita, gibbsita) (FRITZ e TARDY, 1973, 1974 *apud* TARDY, 1993).

Esse processo de formação das coberturas lateríticas é conhecido por lateritização ou ferralitização regido, em síntese, pela lixiviação dos elementos mais solúveis – alcalinos, alcalino-terrosos e a sílica, através da drenagem livre e acumulação dos constituintes menos móveis – sesquióxidos de ferro e alumínio, bem como possíveis neoformações de outros minerais (caulinita), conforme ilustrado na Figura 8. Esses solos apresentam cores vermelhas a amarelas, conforme conteúdo e natureza dos óxidos de ferro, normalmente hematita (avermelhada) e goethita (amarelada).

O domínio dos Podzóis é encontrado em extensas áreas da região amazônica (LUCAS *et al.*, 1987, 1996; BRAVARD e RIGHI, 1989, 1990; DUBROEUCQ *et al.*, 1991, 1998, 1999). O processo que conduz às transformações mineralógicas é a podzolização que, do ponto de vista geoquímico, provoca alteração dos minerais primários e secundários, das rochas e dos solos, e a translocação de materiais para a subsuperfície (DUCHAUFOR, 1960). Os ácidos orgânicos formados pela decomposição da matéria orgânica acumulada na superfície do solo (BUOL *et al.*, 1997) e pela transpiração de raízes, fungos e microorganismos (LUNDSTRÖM *et al.*, 2000) reduzem o pH do meio, dando início ao processo de acidólise. Esses ácidos têm a capacidade de complexar o ferro e o alumínio, deixando-os dissolvidos e mobilizados no solo (TOLEDO *et al.*, 2000); também alteram e solubilizam os constituintes primários do solo (MELFI & PEDRO, 1978). Os produtos da complexação são, então, eluviados e precipitados no horizonte Bh em fases pobremente cristalinas e inorgânicas de Fe, Al e Si (LUNDSTRÖM *et al.*, 2000). Os horizontes superficiais apresentam, assim, relativa acumulação de quartzo (BRAVARD e RIGHI, 1989). A Figura 8 representa de forma esquemática o funcionamento biogeoquímico dos solos lateríticos e dos podzóis em ambiente tropical.

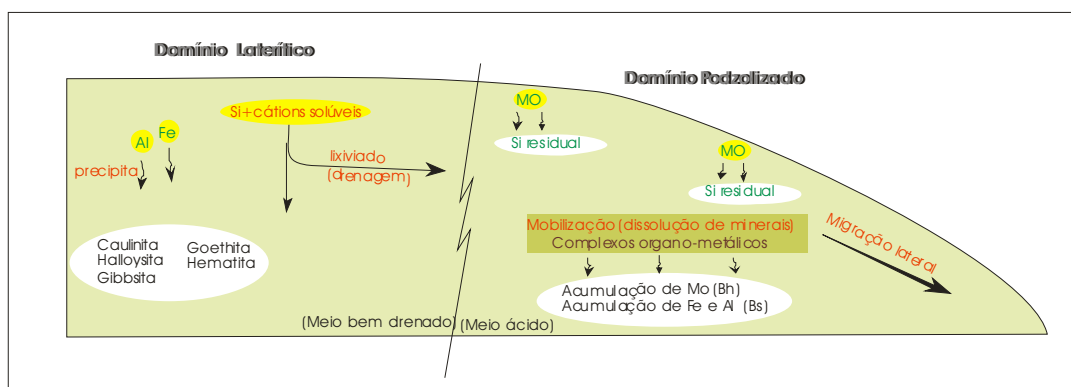


Figura 8 – Esquema do funcionamento biogeoquímico das lateritas e dos podzóis

Fritsch (1986) mostrou que as transformações dos solos lateríticos em podzolizados iniciam-se pelo processo de hidromorfia e dão origem aos sistemas de solos do domínio hidromórfico. O processo de hidromorfismo ocorre em solos mal drenados, associados freqüentemente à existência de lençol freático, próximo à superfície, que flutua de acordo com as estações (VIZIER, 1983). Envolve processos de redução ou segregação local do ferro livre, devido à saturação permanente ou temporária dos poros do solo pela água (DUCHAUFOR, 1997), ocasionando aeração deficiente. Devido a isso, o ferro reduz-se ao estado ferroso (Fe^{+2}), tornando-se solúvel, de acordo com o pH e Eh da solução do solo. Em condições de acidez crescente, o íon ferroso solúvel permanece no sistema e, no momento em que é removido, confere ao solo cor acinzentada; quando deslocado a curtas distâncias, para zonas aeradas, pode reoxidar-se e precipitar-se, em forma de goethita, formando mosqueados alaranjados no solo (BUOL *et al.*, 1997) ou nódulos, quando o nível de água diminui (DUCHAUFOR, 1960).

Na passagem das lateritas vermelho-amarelas para podzóis, há uma fase intermediária marcada pela remoção do ferro em ambiente hidromórfico (FRITSCH *et al.*, 2002) e perda de minerais secundários por meio do empobrecimento de argila (NASCIMENTO *et al.*, 2004). Nessa fase de transição, as lateritas vermelhas ficam amareladas e possuem argilas de atividade baixa, dando origem aos solos lixiviados com baixa atividade de argilas (LAC). Os processos químicos, que atuam nas fronteiras dos horizontes arenosos, permitem o avanço lateral do sistema

podzolizado a expensas do sistema laterítico (LUCAS *et al.*, 1996), desencadeando uma série de transformações mineralógicas.

As filiações genéticas entre os sistemas lateríticos e podzolizados devem ser buscadas a partir das transformações geoquímicas e mineralógicas, ou seja, devem-se investigar as relações existentes entre os processos e os produtos gerados.

3.1.3 ANÁLISE ESTRUTURAL DOS SISTEMAS DE SOLOS

O estudo dos sistemas de solos, segundo Boulet *et al.* (1982 a, b, c), consiste primeiramente na seleção de uma área de estudo representativa da unidade investigada, através de observações e interpretações de mapas de solos, geológicos, geomorfológicos, cartas topográficas, fotografias aéreas, imagens de satélite, assim como trabalhos de reconhecimentos em campo. Nessa etapa, são verificados e coletados dados, por meio de sondagens rápidas, observações em cortes no terreno, quando presentes, e nas características da superfície, como as variações da cobertura vegetal e das condições geomorfológicas, as quais auxiliam na diferenciação das organizações do solo e permitem ter uma noção da dimensão espacial dos sistemas de solos.

Após a seleção da área representativa, inicia-se o estudo em toposseqüência⁵, numa vertente (eixo perpendicular às curvas de nível que liga o topo ao talvegue). Em seqüência, realiza-se o levantamento topográfico detalhado, na extensão desse eixo. Posteriormente, cavam-se três trincheiras: uma no topo, uma na base e outra na meia encosta. Se as trincheiras são diferentes entre si, tradagens intermediárias são necessárias. Elas serão tantas quantas forem necessárias para apontar os limites entre os solos. Boulet *et al.* (1982a) propõe a realização de uma seqüência de tradagens sucessivas, que possibilitam a observação e análise rápida das variações laterais, a partir do surgimento ou desaparecimento de volumes de solos e

⁵ As variações laterais das organizações do solo na toposseqüência ocorrem preferencialmente em função da topografia (RUELLAN e DOSSO, 1993).

das alterações nas características dos solos. Para isso utiliza-se o pedocomparador⁶.

Nas trincheiras, são descritas e analisadas as sucessões de volumes de solos justapostos entre si, observando a geometria dessas organizações e as características dos materiais constituintes. Em seguida, procede-se à extração de amostras para análises posteriores.

As observações e descrições de cada trincheira e tradagem são representadas no perfil topográfico longitudinal, o qual possibilita interpolar e distribuir as diferentes organizações do solo encontradas. Essas indicam a dinâmica das relações espaciais entre os volumes de solos (BOULET *et al.*, 1982a). O emprego desse método permite reconstituir a organização estrutural da cobertura de solos, fornecendo condições para compreender as interligações genéticas verticais e laterais entre os volumes de solos, a gênese e a atuação das frentes de transformação responsáveis pela evolução do sistema de solos no tempo.

3.2 METODOLOGIA E AÇÕES DA PESQUISA

A seqüência de trabalho está representada, esquematicamente, no fluxograma (Fig. 9), no qual aparece também a síntese de todos os procedimentos adotados nesta pesquisa.

⁶ Maleta de madeira (50 cm x 50 cm), com capacidade para 100 caixas de papelão. É usada para armazenar e organizar as amostras de solo, que são dispostas em colunas segundo a ordem de retirada em campo, permitindo visualizar rapidamente todos os horizontes do solo presentes na toposseqüência.

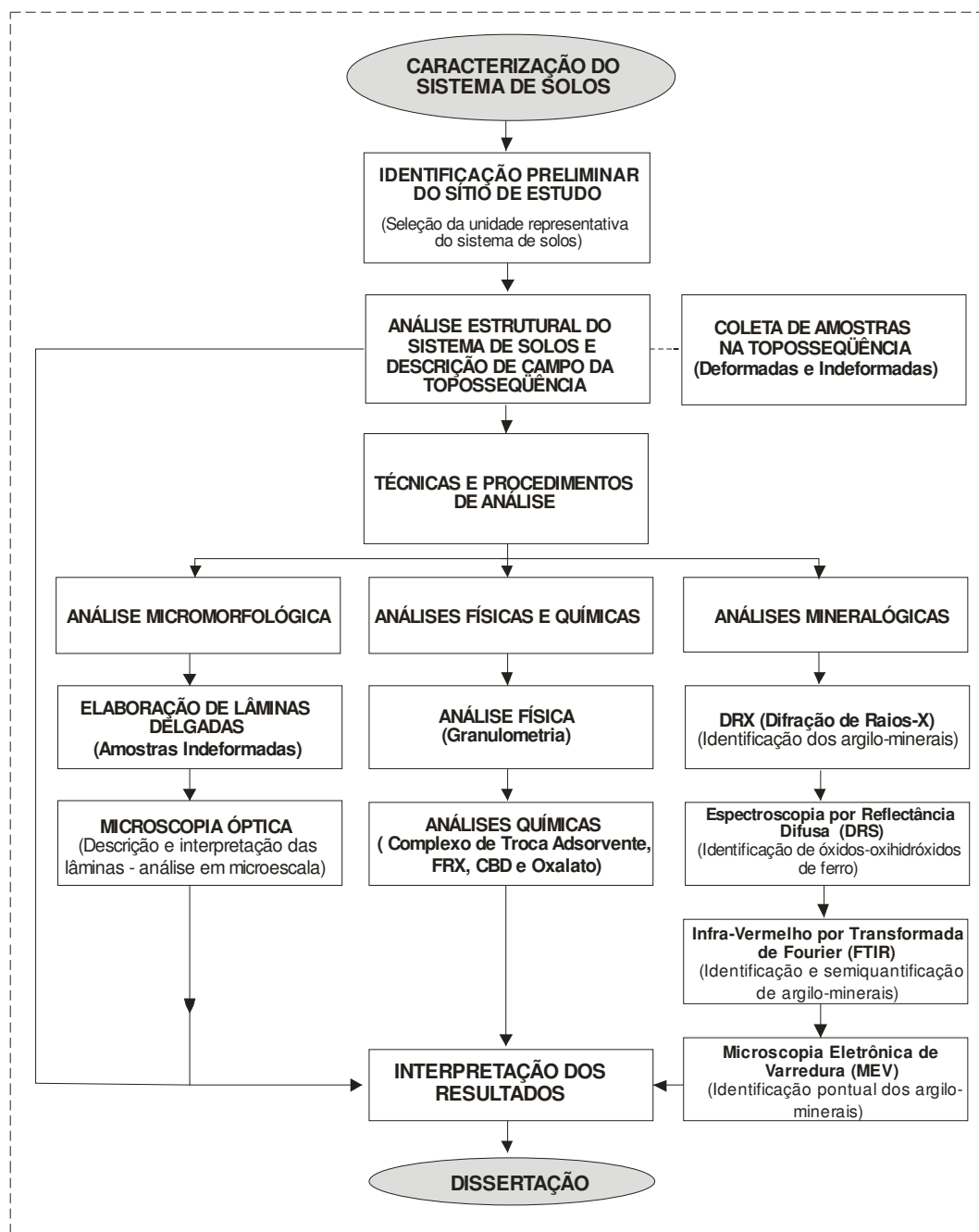


Figura 9 – Fluxograma da metodologia adotada na pesquisa

3.2.1 IDENTIFICAÇÃO PRELIMINAR DO SÍTIO DE ESTUDO

A primeira etapa das investigações consistiu na escolha e identificação da área de estudo, inicialmente selecionada a partir da análise de imagens do TM do Landsat 7 (2001). Para a delimitação da área, foram observados padrões visuais de textura, determinadas pelo tipo de cobertura vegetal (porte e densidade); tonalidade e padrões de dissecação local. As texturas mais rugosas indicaram vegetação de maior porte. As diferentes tonalidades apontavam as condições de drenagem dos solos: quando mais claras, indicavam solos bem drenados; mais escuras, solos mal drenados. A observação dos padrões de dissecação evidenciou a morfologia do relevo e da drenagem superficial. A inter-relação de todas essas características permitiu a identificação e seleção de uma unidade representativa dos sistemas de solos laterítico e podzolizado.

As coordenadas UTM do sítio selecionado e plotado na imagem produzida por satélite georeferenciada foram introduzidas no GPS Garmin 76S. O uso desse instrumento permitiu alcançar os pontos no terreno. Dessa maneira, a partir desses pontos foi estabelecida a toposseqüência estudada.

3.2.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DA COBERTURA PEDOLÓGICA E DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICA DA TOPOSSEQÜÊNCIA

O estudo em toposseqüência (eixo perpendicular às curvas de nível que liga o topo ao talvegue), foi realizado em uma vertente localizada no cruzamento das coordenadas 0713167 KmE e 9970612 KmN, fuso 19M. O levantamento de solos em toposseqüência seguiu a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET *et al.*, 1982 a, b, c; RUELLAN e DOSSO, 1993).

Na primeira etapa da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica realizou-se o levantamento topográfico detalhado na extensão da vertente, utilizando bússola para manter o rumo geográfico e clinômetro, balizas, trena e régua para medição efetuada a cada 5 metros. Posteriormente, iniciou-se o estudo de solos a partir de uma seqüência de 9 tradagens sucessivas, que possibilitaram a observação e análise rápida das variações laterais; para tanto, utilizou-se o pedocomparador (Fig.

10). Os critérios utilizados para a realização das tradagens foram a observação das condições topográficas da vertente e a necessidade de avaliar, com maior precisão, os pontos de transição lateral e vertical das organizações de solos ao longo da vertente.



Figura 10 – Amostras de solos obtidas por tradagens e armazenadas no pedocomparador

Encontrados os limites entre as diferentes organizações de solos, definiram-se os pontos-chave para a abertura de seis trincheiras, sendo as duas primeiras localizadas no topo, a terceira na ruptura entre o topo e o segmento convexo, a quarta no segmento convexo, a quinta entre os segmentos convexo e côncavo e a última no segmento convexo. A numeração das trincheiras seguiu a seqüência de abertura das mesmas.

A observação e o estudo detalhado das diferenciações laterais e da geometria das sucessões de volumes de solos, justapostos entre si, foram realizados em perfis no interior das trincheiras. As características observadas foram: cores, textura, estrutura, porosidade, litologia, concreções e nódulos⁷ residuais e presença de raízes. O exame da cor foi realizado com auxílio da cartela de Munsell. As

⁷ A diferença básica entre nódulos e concreções se encontra no fato de estas apresentarem arranjo e simetria internos organizados em torno de um ponto, de uma linha ou de um plano, enquanto os nódulos não possuem tal organização interna (LEMOS e SANTOS, 1996).

descrições das organizações pedológicas seguiram a terminologia proposta pela classificação da United States Department of Agriculture (USDA). Foram coletadas amostras deformadas para realização de análises físico-químicas e mineralógicas em laboratório e amostras indeformadas para elaboração de lâminas delgadas.

Na discussão dos resultados optou-se em selecionar as três trincheiras representativas dos domínios laterítico e podzolizado e da transição entre ambos (TIB1, TIB3 e TIB2) que melhor caracterizaram as principais transformações mineralógicas existentes.

3.2.3 TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

As amostras de solos deformadas e indeformadas foram encaminhadas para laboratórios, onde foram tratadas e analisadas para fins de avaliação das condições físicas, químicas e mineralógicas.

3.2.3.1 ANÁLISE MICROMORFOLÓGICA

Trata-se a análise micromorfológica de uma técnica de observação da morfologia dos solos em escala micrométrica. Ela permite identificar os constituintes do solo; definir as relações existentes entre esses constituintes (tipos de organização, hierarquia e cronologia das organizações) e formular hipóteses ou demonstrações sobre a dinâmica genética e evolutiva dos solos, contribuindo para compreensão da origem, evolução e comportamento pedogenético (CASTRO, *et al.*, 2003).

A aplicação dessa técnica requer amostras de solos indeformadas e orientadas, as quais são, posteriormente, preparadas em laboratório, transformando-se em lâminas delgadas. Esses materiais são, então, observados, utilizando-se lupas e/ou microscópios ópticos polarizadores.

O processo de elaboração das lâminas delgadas orientadas envolveu três etapas, a saber:

- **Desidratação das amostras:** consistiu na secagem das amostras ao ar, por um período de 2 a 3 semanas, até o peso tornar-se constante; após esse tempo as amostras foram levadas para estufa, numa temperatura de 35°C, permanecendo nesse local durante 5 a 7 dias.
- **Impregnação das amostras:** depois de desidratadas as amostras foram impregnadas com resina do tipo epóxi. Preparou-se a solução, misturando resina araldite, acetona e endurecedor epoxiglass, nas suas devidas proporções, de acordo com a estrutura da amostra. As amostras foram colocadas no vácuo por algumas horas e deixadas ao ar por alguns dias, sendo conduzidas posteriormente à estufa a uma temperatura de 70°C, aproximadamente, para total endurecimento da resina.
- **Corte e desbaste das lâminas:** após o endurecimento total, as amostras foram cortadas em fatias, usando-se uma serra com disco revestido de diamante. Selecionou-se, então, o local mais representativo para elaboração da lâmina. Algumas amostras precisaram ser reimpregnadas, pois apresentavam locais que não estavam completamente endurecidos.

O bloco impregnado, com espessura de 1,0 a 1,5 cm e tamanhos variáveis, foi então colado na lâmina de vidro, cortado numa espessura inferior (aproximadamente 3 mm), e desbastado em retificadora, até atingir uma espessura de cerca de 30 μ m (espessura em que o material começa a ficar translúcido), para que se possam observar as características ópticas de minerais ao microscópio óptico.

Os procedimentos de desidratação, impregnação e corte das amostras de solo foram realizados no LAFS (Laboratório de Análises de Formações Superficiais), do Departamento de Planejamento e Geoprocessamento Territorial do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, da UNESP – Rio Claro/SP, e o desbaste e acabamento final das lâminas foram realizados no INSTITUT EGID BORDEAUX, da Université Michel de Montaigne Bordeaux 3, França.

Elaboraram-se 45 lâminas delgadas que foram observadas, descritas e fotografadas no laboratório de petrologia da UNESP/IGCE, em microscópio petrográfico modelo Axioskop40-Hall 100, da marca Zeiss e câmera digital Canon power shot G5 5.0 mega pixel. Foram utilizadas luz transmitida sem cruzamento dos polarizadores (luz “natural” LN) e luz polarizada (LP). As descrições seguiram as terminologias propostas por Brewer (1964), Bullock *et al.* (1985) e Delvigne (1998).

3.2.3.2 ANÁLISE FÍSICA

- ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica permite determinar quantitativamente a textura dos solos, possibilitando estabelecer as proporções granulométricas de cada fração, conforme o diâmetro das partículas (areia, silte e argila).

Todas as amostras foram analisadas, adotando-se o método da pipeta de Robinson (CAMARGO *et al.*, 1986), o qual consiste em separar 10 g de solo, adicionar 50 ml de solução dispersante (mistura de hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio) e agitar mecanicamente por 16 horas. Após agitação, as amostras foram passadas em peneira de malha de 0,021mm para separação da fração areia, a qual posteriormente foi pesada. A separação de argila e silte foram feitas por pipetagem, de acordo com a Lei de Stokes. As frações foram secadas em estufa e depois pesadas e calculadas. Os intervalos granulométricos considerados foram: areia grossa (2,00 a 0,2 mm); areia fina (0,20 a 0,05 mm); silte (0,05 a 0,002 mm); argila (menor que 0,002 mm). As classes texturais adotadas seguiram o triângulo proposto pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

Em algumas amostras, foi necessário realizar pré-tratamento para remoção de matéria orgânica, utilizando-se H₂O₂ (água oxigenada). As amostras foram mantidas em banho-maria, (aquecimento em torno de 30 a 40°C), durante o período aproximado de um mês, adicionando-se, quando necessário, dosagens de águas destilada e oxigenada, para aumentar a eficiência do ataque à matéria orgânica.

Esses procedimentos foram realizados no LAFS (Laboratório de Análises de Formações Superficiais), do Departamento de Planejamento e Geoprocessamento Territorial do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, da UNESP – Rio Claro/SP.

3.2.3.3 ANÁLISES QUÍMICAS

- ANÁLISE QUÍMICA DO COMPLEXO DE TROCA ADSORVENTE

Compreende uma série de técnicas para medição de cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , Al^{+3} , P^{+3}), carbono orgânico, nitrogênio total, amônio trocável e pH (em H_2O e KCl). Os resultados dessas análises são importantes para fins de classificação dos solos e reconhecimentos das condições químicas que regulam, em parte, os processos pedológicos. A análise do pH foi realizada no LAFS (IGCE/UNESP – Rio Claro/SP), segundo Camargo *et al.* (1986). A relação solo:solução empregada no preparo das amostras foi de 1:2.5. As demais análises foram feitas pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV/MG.

- ANÁLISE QUÍMICA TOTAL POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX)

Esta análise permite identificar a quantidade relativa de elementos maiores no solo (Si; Ti; Al; Fe; Mn; Mg; Ca; Na; K e P), possibilitando o levantamento de hipóteses sobre a evolução geoquímica da cobertura pedológica e comparação da composição química entre vários pontos dessa cobertura. As amostras de material foram moídas até granulometria de 150 mesh e posteriormente submetidas à fluorescência dos raios-X. As análises foram realizadas no laboratório Actlabs, em Ancaster, Canadá.

- ANÁLISE QUÍMICA DAS EXTRAÇÕES DE CBD E OXALATO

Os teores de óxidos de ferro, bem e mal cristalizados, foram determinados por citrato-bicarbonato-ditionito (CBD), segundo o método de Mehra e Jackson (1960), em amostras homogeneizadas de solo, na fração < 2 mm. Amostras semelhantes foram submetidas ao método do oxalato (BLAKEMORE *et al.*, 1981), visando a estimar os conteúdos de espécies mal cristalizadas de Fe e Al. Os extratos foram separados dos resíduos por centrifugação e analisados para Fe, Al, e Si por espectroscopia ICP-AES usando-se um instrumento da marca Varian e modelo Liberty 200. O ferro e alumínio extraídos foram anotados como segue: Fe_d e Al_d para o método de CBD; e Fe_o, Al_o e Si_o para o método do oxalato. A média do alumínio substituído nos óxidos de Fe bem cristalizados foi obtida como segue (JEANROY *et al.*, 1991): $Al\% = (Al_d - Al_o) / [(Fe_d - Fe_o) + (Al_d - Al_o)]$.

Para identificar os materiais espódicos, utilizou-se o seguinte critério: $C \geq 6$ e $Al_o + \frac{1}{2}Fe_o > 5$, expressos em g Kg⁻¹ (FAO, 1998).

As extrações foram realizadas no laboratório de solos da ESALQ-USP e o material foi encaminhado para ser analisado na França, no laboratório da Université Paris VI, em Orsay.

3.2.3.4 ANÁLISES MINERALÓGICAS

Os minerais presentes no solo foram caracterizados, empregando-se as técnicas de difratometria de raios-X, espectroscopia por reflectância difusa, infravermelho por transformada de fourier e microscopia eletrônica de varredura.

- DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX) SOBRE AMOSTRAS DE ARGILA

A técnica da difração de raios-X permite a caracterização de argilo-minerais (MENDES, 1972), e parte do pressuposto que cada estrutura cristalina possui um arranjo ordenado de átomos no espaço, sobre os quais os raios-X são difratados em

um único padrão típico. Dessa maneira, os raios-X podem funcionar como uma “sonda” para identificação dos minerais, uma vez que seu comprimento de onda possui mesma magnitude que a distância entre os planos atômicos (JACKSON, 1979).

Para obtenção das argilas, realizou-se a coleta desta fração, por pipetagem, na suspensão solo-água, utilizando-se o método adaptado de Robert e Tessier (1974). Tal método consiste primeiramente no pré-tratamento das amostras que continham matéria orgânica, seguido pelo procedimento de separação da fração argila. Para a separação foram utilizados 25 g de solo, 100 ml de água destilada e 1 gota de hidróxido de amônia. A solução foi deixada em repouso por uma noite, sendo posteriormente misturada no agitador magnético e passada em peneira de 0,053 mm, extraindo-se a fração areia. O conteúdo foi transferido para proveta aferida a 1000 ml com água destilada; e em seguida, media-se a temperatura e agitava-se a amostra, deixando-a em repouso por 8 ou 16 horas. Após o período de tempo observavam-se, numa tabela, os centímetros correspondentes ao tempo de repouso e à temperatura das amostras para, então, extrair-se a fração argilosa em suspensão com auxílio de um sifão. O material sifonado foi deixado em repouso por várias semanas, retirando-se posteriormente o sobrenadante, obtendo-se, então, a fração argila para as análises mineralógicas.

A extração das argilas foi realizada no LAFS (Laboratório de Análises de Formações Superficiais), da UNESP – Rio Claro/SP. O material foi encaminhado para o Laboratório de Difractometria de Raios-X da Université de Paris VI, onde se procederam às análises. Foram selecionadas amostras “chaves” de cada perfil para serem analisadas. O equipamento utilizado foi Phillips XPert, realizando-se varreduras, passo a passo, das amostras do ângulo inicial de $5,00^\circ$ ao ângulo final de 120° . O tempo, por passo, foi de 400,050 segundos e o tamanho do passo foi $0,0167113^\circ$. Os resultados permitiram que fossem identificados os principais minerais presentes na fração argila.

- ESPECTROSCOPIA POR REFLECTÂNCIA DIFUSA (DRS) NA FAIXA DO NIR-VISÍVEL-UV (INFRAVERMELHO PRÓXIMO-VISÍVEL-ULTRA-VIOLETA).

A espectroscopia por reflectância difusa é uma técnica empregada para auxiliar na identificação e semiquantificação de titânio e óxidos e oxihidróxidos de ferro nas argilas, solos e sedimentos (CORNELL e SCHERTMANN, 1996).

Na faixa do NIR-Vis-UV (200 a 1100 nm) a radiação eletromagnética é capaz de promover transições eletrônicas envolvendo elétrons dos orbitais de metais da primeira coluna dos elementos de transição (CALAS e HAWTHORNE, 1988; ROSSMAN, 1988; GOODMAN, 1994). Essas transições eletrônicas se dão pela absorção de fótons que possuem energias iguais à diferença de energia entre o estado fundamental e um estado menos estável e de maior energia (KOSMAS, 1984). Sherman e Waite (1985) atribuem os principais picos de absorção dos óxidos de Fe, nesta faixa, a três transições eletrônicas simples e a uma transição de par de elétrons (EPT). O pico da EPT é o de maior intensidade e possui forte relação com o matiz das cores (SCHENOIST *et al.*, 1998).

Para identificação dos minerais, os espectros de amostras desconhecidas são comparados a espectros de amostras sintéticas de referência, que funcionam como parâmetro para uma quantificação aproximada. Scheinost *et al.* (1998) apontam as faixas da EPT de absorção dos principais óxidos de Fe, a partir de espectros de amostras sintéticas e naturais, sendo:

- Goethita: 479-493 nm;
- Hematita: 521-565 nm;
- Lepidocrocita: 485-490 nm;
- Maghemita: 486-490 nm.

As análises realizadas por Bueno (2006) tiveram como referência a faixa da EPT (Transição de Par de Elétrons) por apresentar forte intensidade e permitir a distinção da hematita dos demais óxidos (goethita, lepidocrocita, maghemita, ferrihidrita). Assim, os picos de absorção registrados na faixa da EPT entre 485 e 499 nm foram atribuídos à goethita, enquanto os picos entre 521 e 565 nm referem-se à hematita.

Nas goethitas a intensidade do pico da EPT em torno de 485 nm pode ser considerada proporcional ao teor deste mineral nas amostras de solos lateríticos, enquanto nas hematitas é a intensidade do pico da EPT em torno de 530 nm.

Os espectros por reflectância difusa foram obtidos a partir de amostras de solo esborroadas em terra fina e secas em estufa. As amostras foram colocadas em uma cavidade de um disco de alumínio (de 27 mm de diâmetro por 2 mm de profundidade). Sobre a cavidade foi colocada uma lâmina de vidro, evitando compactar a amostra, e posteriormente, sobre essa cavidade, foi presa a parte superior do suporte. Esse conjunto foi submetido à radiação na faixa do NIR-Vis-UV (200 a 2500 nm) em espectrofotômetro Varian Cary 5G, com passos de 1 nm, no modo reflectância. Posteriormente foram gerados espectros de maior resolução dentro da faixa do visível (330 a 660 nm), com passos de 0.1 nm. As amostras foram analisadas no IMPMC (Instituto de Mineralogia e Física dos Meios Condensados), em Paris, por Bueno (2006).

- INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR), FAIXA DO MIR

Os espectros na faixa do IR possibilitam a identificação dos minerais na fração argila, dificilmente acessíveis por difração de raios-X e fornecem ainda dados sobre sua estrutura, natureza, grau das substituições isomórficas, grau de cristalinidade e propriedades morfológicas dos cristais (FARMER, 1964; RUSSELL e FRASER, 1994; PANSU e GAUTHEYROU, 2003; BALAN *et al.*, 2006a; BALAN *et al.*, 2006b).

As propriedades das caulinitas e gibbsitas são mais bem obtidas na faixa do espectro entre 3400 e 3700 cm^{-1} (FARMER, 1964; RUSSELL e FRASER, 1994; ECE *et al.*, 2003; BALAN *et al.*, 2005; BALAN *et al.*, 2006a). Tratando-se das caulinitas, a intensidade dos picos é proporcional ao teor deste mineral nas amostras de solos, sendo que o pico de 3696 cm^{-1} é usado como referência para estimativas semiquantitativas (RUSSELL e FRASER, 1994). No caso das gibbsitas, essa intensidade dos picos também é proporcional ao teor deste mineral nas amostras de

solos. Assim, a intensidade do pico de 3526 pode ser usada para comparações dos teores de gibbsita em amostras diferentes.

As caulinitas apresentam quatro bandas principais de absorção: 3620 cm^{-1} , 3696, 3669 e 3652 cm^{-1} (RUSSELL e FRASER, 1994; BALAN *et al.*, 2005; BALAN *et al.*, 2006b), enquanto as gibbsitas apresentam picos localizados nas seguintes frequências: 3620 cm^{-1} (coincidente com a frequência da caulinitas), 3526 cm^{-1} , 3455 cm^{-1} , 3394 cm^{-1} e 3373 cm^{-1} (WANG e JOHNSTON, 2000; BALAN *et al.*, 2006a).

No presente trabalho, as análises por IR auxiliaram na identificação e caracterização das caulinitas e gibbsitas, a partir da comparação dos espectros destes minerais nos horizontes dos perfis investigados.

As análises por FTIR foram feitas no laboratório do IMPMC (Instituto de Mineralogia e Física dos Meios Condensados), em Paris, por Bueno (2006), que empregou os seguintes procedimentos técnicos: foram moídos cerca de 5 g de terra fina em almofariz de ágata e posteriormente armazenados em estufa a 75°C durante 24 horas para desidratação. Cerca de 1 mg de amostra foi misturado com KBr para totalizar cerca de 300 mg. Os pesos foram anotados. Essa mistura foi homogeneizada no almofariz de ágata e submetida a pressões de cerca de 10ton/ cm^2 em prensa manual para a confecção das pastilhas. As pastilhas foram armazenadas novamente na estufa a 75°C para desidratação. Após 24 horas foram novamente comprimidas à mesma pressão e submetidas à radiação na faixa do MIR (250 a 4000 cm^{-1}) em espectrômetro Nicolet Magna 560, em modo de transmissão e resolução de 4 cm^{-1} . Os resultados foram tratados para a correção das diferenças de quantidade de amostra e de KBr anotadas durante as pesagens. Os arquivos foram convertidos para o formato compatível com o programa Excel e, em seguida, abertos em programa Kaleida Graph, onde foram feitas as representações gráficas.

- ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A *Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)* consiste numa técnica que permite a observação e caracterização de diferentes materiais, a partir da emissão e interação de feixes de elétrons que podem ser focados e movidos, “varrendo” uma pequena área da amostra. O impacto dos elétrons sobre a superfície de uma amostra sólida causa vários tipos de sinais que podem ser detectados pelos detectores sobre a amostra. Estes sinais incluem elétrons secundários, elétrons retro-espalhados, raios-x, catodo-luminescência e elétrons absorvidos (KLEIN, 2002). Nesse tipo de análise as amostras precisam ser recobertas com um filme de carbono ou de metal (em geral, ouro, ouro-paládio ou platina).

A MEV complementa as demais análises mineralógicas, permitindo maior precisão na identificação dos plasmões a partir da observação da morfologia de argilo-minerais e identificação da sua composição química. Esta análise foi realizada no NUPEGEO-ESALQ/USP, em amostras selecionadas como pontos-chaves para a compreensão das transformações mineralógicas. O equipamento utilizado foi da marca Jeol 5600 LV acoplado a espectrômetro de energia dispersiva Noran Voyager,

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os métodos de investigação adotados permitiram analisar a organização dos solos na toposseqüência em vários níveis. Os resultados serão apresentados a partir da escala macro até alcançar o nível micro, de maior detalhe. Na seção 4.1, será apresentada a geometria das organizações dos sistemas de solos, na escala da toposseqüência. Na 4.2, serão descritas a morfologia e a geometria dos solos, por domínios de alteração e pedogênese, nas escalas macro e micro. Na 4.3, serão analisados e discutidos os resultados das análises físicas, químicas e mineralógicas e, em 4.4, explica-se a evolução mineralógica nos domínios de solos.

4.1 ORGANIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE SOLOS NO NÍVEL DA TOPOSEQÜÊNCIA

A toposseqüência investigada abriga dois sistemas de solos – laterítico e podzolizado –, divididos em três compartimentos, conforme posição topográfica e organização pedológica: compartimento de montante, compartimento de transição e compartimento de jusante (Fig. 11). A caracterização morfológica da superfície do terreno e da morfologia das organizações pedológicas evidenciou as transições e filiações verticais e laterais existentes entre os horizontes dos sistemas de solos e a diferenciação da vegetação na toposseqüência.

Na Figura 11, representativa da toposseqüência, alguns horizontes foram agrupados, devido à escala utilizada.

4.1.1 MORFOLOGIA DA SUPERFÍCIE DO TERRENO

A toposseqüência situa-se em encosta de baixo declive; parte do topo de um interflúvio e finaliza-se na borda de um igarapé; está orientada a 040° N, disposta no sentido SW para NE; apresenta extensão total de 93 m, altitude máxima de 62 m e declividade média de 5%, caracterizando um relevo suave ondulado, de acordo com Lemos e Santos (1996). A declividade nos setores de montante é inferior a 2% e

aumenta, na jusante, para aproximadamente 8%, reduzindo em seguida, na várzea do igarapé para 0,4%.

No perfil topográfico, foram identificadas as seguintes feições de relevo: topo com pequena elevação na trincheira TIB3, de morfologia convexa. A partir da trincheira TIB3 para a direção de montante (TIB1) e de jusante (TIB2) há um leve abaixamento da superfície do terreno, tornando-o levemente côncavo. O limite do topo com a vertente é um pequeno segmento retilíneo-convexo que marca, nitidamente, a ruptura de declive entre as duas feições do relevo. A encosta tem segmentos convexos-côncavo-convexo-côncavo-convexo. Na base da seqüência a várzea do igarapé constitui o fundo de vale (Fig. 11).

O aspecto da distribuição da vegetação ao longo da toposseqüência é apresentado na Figura 11. A partir do topo, até 24 m em direção à base da vertente, estão localizadas as trincheiras TIB1, TIB3 e TIB2, sob vegetação de floresta constituída por árvores de porte alto, cujos troncos muito grossos têm maior espaçamento entre si. Prosseguindo dos 24 m até aproximadamente 70 m, a partir do segmento convexo até o segmento côncavo-convexo, encontram-se localizadas as trincheiras TIB5 e TIB4, cobertas por vegetação do tipo campinarana, composta por árvores de porte mais baixo que as do segmento anterior, no qual a freqüência de árvores com diâmetro de até 5 cm aumenta, enquanto o espaçamento entre elas torna-se menor. Dando seqüência aos 70 m, em relação ao topo, até 93 m, ou seja, do segmento côncavo-convexo até a várzea do igarapé, encontra-se a trincheira TIB6, sob mata de galeria folhosa, com espécies de porte mais alto que o segmento anterior e espaçamento maior entre elas. Assim, observa-se que a variação da cobertura vegetal de floresta para campinarana acompanha a transição dos sistemas de solos.

4.1.2 GEOMETRIA DAS ORGANIZAÇÕES DOS SOLOS DA TOPOSSEQÜÊNCIA

As organizações pedológicas da toposseqüência estão representadas bidimensionalmente na Figura 11. Os horizontes agrupados dentro dos dois sistemas de solos, laterítico e podzolizado, se distribuem em dois compartimentos quanto à drenagem: bem drenado e mal drenado.

Na base dos solos, uma seqüência de horizontes saprolíticos distribui-se lateralmente até o igarapé. Esses horizontes mantêm certo paralelismo um com o outro, indicando uma alteração sobre o mesmo material de origem. Em TIB3 estão os horizontes de alteração melhor drenados e que pertencem ao sistema laterítico.

Na direção do compartimento de transição e da trincheira TIB1 os horizontes de alteração tornam-se mal drenados e apresentam características hidromórficas.

No limite, entre os compartimentos de transição e de jusante, os horizontes de alteração mais rasos estão fortemente impregnados por matéria orgânica e por compostos de ferro. Essa impregnação, mais espessa, é bem observada na direção de jusante, quando na trincheira TIB5 a frente de lixiviação corta o horizonte de alteração, dando-lhe características morfológicas álbicas (E1C1). Mais para jusante, esse horizonte de alteração alábico desaparece. Esse desaparecimento coincide com o ponto de maior inflexão da topografia da toposseqüência e dos horizontes de alteração. A partir desse ponto, os horizontes saprolíticos (C2Bh e C2Bs), o horizonte Bh e o topo dos horizontes hidromórficos são truncados por uma segunda frente de lixiviação, ao mesmo tempo em que a base do C2Bh é impregnada pela matéria orgânica e por compostos de ferro.

No compartimento de montante, encontram-se as trincheiras TIB1 e TIB3, que caracterizam uma seqüência de horizontes do sistema laterítico. A trincheira TIB3, que ocupa o centro do interflúvio, representa um conjunto de horizontes lateríticos típicos (A11, A12, B1 e B2) sobrepostos e concordantes entre si, com transições graduais e faixas de separação onduladas. Tanto na direção de TIB1, quanto na direção de TIB2, ainda no conjunto montante, características hidromórficas, na base da seqüência laterítica, justapõem-se às do horizonte B laterítico. Em TIB1 uma seqüência de horizontes em forma de cunha em direção ao centro do interflúvio tem características espódicas e álbicas (da base em direção do topo) e está discordante sobre o horizonte B hidromórfico. O avanço das características hidromórficas sobre os horizontes lateríticos, e das podzolizadas sobre os horizontes hidromórficos configura dois tipos de discordâncias, a primeira por justaposição e a segunda por superimposição.

Essa sucessão de transformação ressalta que a hidromorfia pode constituir uma etapa intermediária entre a lateritização e a podzolização das lateritas. Por outro lado, a geometria, em cunha, que se desenvolve na direção do centro do interflúvio, interrompe o aprofundamento do perfil laterítico, enquanto o sistema podzolizado desenvolve-se lateralmente.

No compartimento de transição, um horizonte arenoso álbico em forma de dupla língua (uma no topo e outra na base) é discordante sobre o sistema laterítico de montante. A partir das duas línguas, da borda, indo na direção do compartimento de montante, características espódicas se superimpõem aos horizontes lateríticos e aos horizontes hidromórficos (BgE, C3g e C1g). Essa superimposição dá origem a horizontes espódicos de forma convoluta. Essa geometria, aliada à forma em dupla língua, mostra que de fato há a interrupção do desenvolvimento do sistema laterítico. Ao mesmo tempo, possibilita levantar a hipótese que este sistema tinha continuidade na vertente.

À jusante, os horizontes álbicos generalizam-se. A seqüência vertical, próxima à transição, é então: A11E, A12E, A13E, E, Bh que se assentam sobre os horizontes saprolíticos. Na altura da trincheira TIB5, relíquias de horizontes B1Bhs e Bhs são observáveis no interior do horizonte E. A partir do ponto máximo de inflexão da topografia da vertente, o horizonte Bh torna-se descontínuo até desaparecer, ao mesmo tempo em que um segundo horizonte E, de areia grossa, aparece, abaixo, assentado sobre um segundo nível de horizonte Bh.

Prosseguindo em direção de jusante, observa-se que o conjunto de horizontes podzolizados prolonga-se até alcançar a várzea do igarapé. Esse conjunto apresenta continuamente na superfície uma seqüência de horizontes A, que se tornam mais espessos na medida em que se avança na direção da várzea do igarapé.

Essa geometria, que apresenta relíquias, tanto do sistema laterítico em transformação (B1Bhs), como do sistema podzolizado (Bhs e Bh), demonstra que o sistema laterítico esteve presente, pelo menos, até no ponto de maior inflexão da

vertente. Aliados a essa geometria, o segundo nível de Bh, as impregnações de matéria orgânica nos horizontes saprolíticos e o espessamento dos horizontes A, orgânicos, testemunham, provavelmente, uma segunda frente de podzolização. Por outro lado, a frente de lixiviação, que dá origem a um horizonte E, mais grosseiro, corrobora a existência da segunda frente de podzolização e permite acrescentar que a presença da areia grossa pode estar indicando que esta segunda fase atingiu, também, diretamente a rocha. De fato, o horizonte C2Bs mantém, ainda, alguns minerais primários.

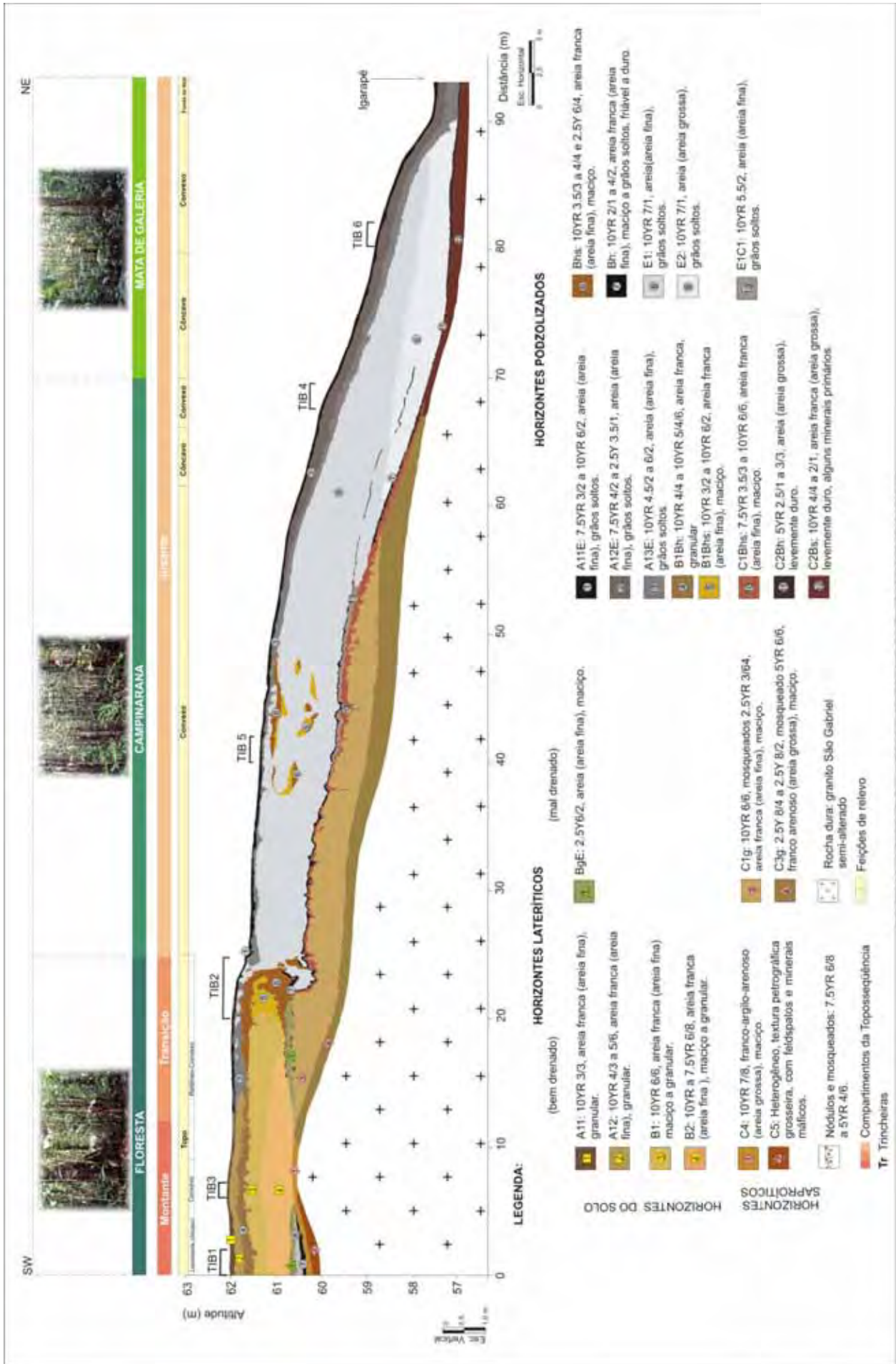


Figura 11 - Organização dos sistemas de solos na topossequência

4.2 DOMÍNIOS DE ALTERAÇÃO E DE PEDOGÊNESE: MACRO E MICROMORFOLOGIA

Apesar da complexidade expressa na geometria da toposseqüência, a análise geométrica revela dois domínios de alteração e de pedogênese: o laterítico, inteiramente reconhecível nas trincheiras TIB3 e TIB1, e o podzolizado, totalmente reconhecível nas trincheiras TIB1, TIB2, topo da TIB3, TIB4, TIB5 e TIB6. A partir das trincheiras TIB3, TIB1 e TIB2 (Fig. 12), acessam-se a morfologia e as principais transformações estruturais entre e nos domínios da alteração e pedogênese. Desse modo, como recursos para as descrições, serão ressaltadas as principais transições encontradas nessas três trincheiras.

Os perfis estudados foram descritos predominantemente na face A e, no caso da trincheira TIB2, foram feitas as descrições da face A e D (Apêndice A). A localização esquemática das faces está apresentada na Figura 12.

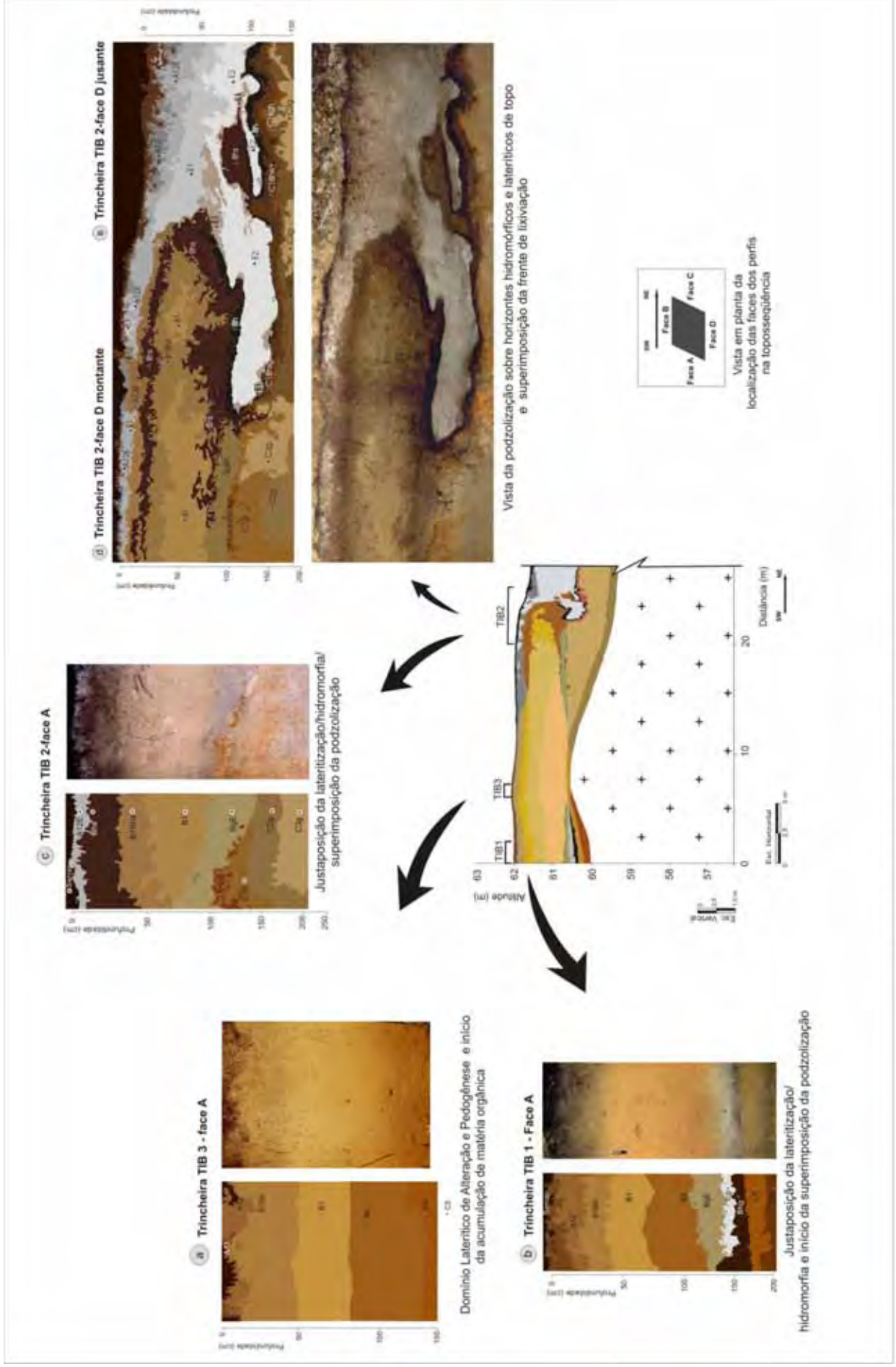


Figura 12 - Perfis investigados em detalhe na topossequência

4.2.1 DOMÍNIO LATERÍTICO DE ALTERAÇÃO E PEDOGÊNESE

4.2.1.1 DA LATERITIZAÇÃO AO INÍCIO DA ACUMULAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

A) MORFOLOGIA DE CAMPO

Partindo-se da base dos perfis, em direção à superfície, e de montante, indo na direção de jusante da toposseqüência, encontra-se, inicialmente, a rocha dura alcançada nas trincheiras TIB1, TIB2 e TIB3, a partir de 198 cm, 258 cm e 150 cm de profundidade (Fig.12). Refere-se ao Granito São Gabriel semi-alterado, que conserva estrutura litológica e textura petrográfica; possui granulação grossa; é eqüigranular com variações locais, para fina a média, com ligeiro enriquecimento em quartzo. Apresenta cor cinza-esbranquiçada, tênue, tom rosado e manchas amareladas e ocre esparsas, em geral, próximas aos minerais máficos, e leve ferruginização dos feldspatos. A análise modal efetuada com base em estimativa visual, numa média de 20 campos de visada, mostrou a presença de quartzo (20%), álcali-feldspatos (microclínio) (28%), plagioclásio (37%), biotita (12%), anfibólio (1%), titanita (0,5%), epídoto (0,5%) e minerais opacos (0,3%) no ponto de amostragem (ALMEIDA, 2005). Esse comportamento da amostra permite defini-la como monzogranito, a partir do diagrama de classificação modal QAP.

A rocha dura transiciona gradualmente para um saprolito grosseiro, horizonte C5, que conserva ainda a textura petrográfica e a estrutura litológica; mantém feldspatos e biotitas. Na direção do topo, reconhecem-se alguns feldspatos esbranquiçados. Outros feldspatos estão coloridos por óxidos de ferro. As biotitas estão sendo ferruginizadas, conferindo coloração avermelhada em meio ao material argiloso.

A transição do saprolito grosseiro (C5) para o saprolito fino (C4) dá-se gradualmente. Na base, a textura é petrográfica, reconhecendo-se ainda alguns feldspatos esbranquiçados, outros coloridos por óxidos de ferro, e algumas biotitas ferruginizadas. Em direção do topo, essa textura petrográfica desaparece, dando lugar a um material de textura franco-argilo-arenosa de cor amarelada (10YR7/8) e estrutura maciça, que predomina nesse horizonte (Fig 13).

A passagem do horizonte C4 para B2 é gradual (Fig. 13). A matriz amarelada generaliza-se em B2, e adquire tons mais escuros, de amarelo-brunados a amarelo-avermelhados (10YR a 7.5YR 6/8). A textura muda para areia franca, a estrutura é maciça com quebra granular e a massa do solo contém raízes finas e médias. Esse horizonte transiciona, gradualmente, com faixa de separação plana, para o horizonte B1, que adquire uma cor amarelo-brunada (10YR6/6); mantém a textura areia franca e generaliza-se a estrutura granular (Fig. 13).

A transição para o horizonte superior, B1Bh é gradual com faixa de separação ondulada. A cor passa para bruno-amarelada escura (10YR4/4), nitidamente mais orgânica, a bruno-amarelada (10YR5/4/6). A textura permanece areia franca e a estrutura mantém-se granular (Fig.13).

O horizonte B1Bh passa gradualmente para o horizonte superior A12 (Fig. 13). A matriz de cor bruno-amarelada (10YR5/6) generaliza-se, enquanto a textura e a estrutura são as mesmas de B1Bh. A transição do horizonte A12 para A11 é clara, com faixa de separação irregular. O horizonte A11 é organo-mineral, irregularmente impregnado pela matéria orgânica, e de cor bruna, escura (10YR3/3). Apresenta, ainda, a textura areia franca, estrutura granular e a porosidade elevada.

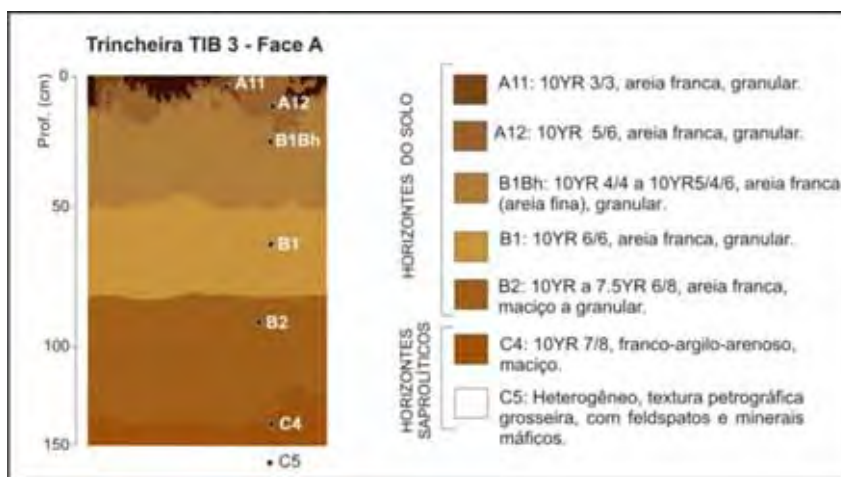


Figura 13 – Perfil laterítico com início de acumulação de matéria orgânica

INTERPRETAÇÕES

A disposição dos horizontes, aproximadamente, paralela à superfície e o predomínio da matriz amarelo-brunada, no domínio laterítico, evidenciam uma filiação vertical a partir da matriz amarelada, encontrada na alteração. Em direção da superfície observa-se que está havendo perda da matriz argilosa e mudança da cor, que passa a ser mais bruna até bruna escura, devido à impregnação pela matéria orgânica. Essa impregnação atinge o horizonte B1, anunciando a mobilidade e acumulação de matéria orgânica. As filiações verticais de cor e de textura indicam uma diferenciação vertical a partir de um mesmo material de origem.

B) DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA

A descrição inicia-se a partir da rocha dura, que se encontra numa fase inicial de alteração. Na rocha, foram verificados três principais domínios: um de quartzo, outro formado por plagioclásios e microclínio, e um terceiro domínio composto por biotitas, anfibólios e minerais acessórios (Fig. 14-A).

O primeiro domínio, quartzoso, apresenta cristais de quartzo subedrais a anedrais, de tamanhos variados entre 0,6 a 3 mm. São alteromorfo do tipo iso-alteromorfo⁸ a meso-alteromorfo⁹. Os cristais exibem fraturas intraminerais irregulares e apresentam extinção ondulante, sob luz polarizada (LP) (Fig.14-A).

No segundo domínio, predominam microclínios, que têm contorno subedral, são meso-alteromorfo com tamanhos que variam entre 1 a 4 mm, exibem uma rede de fraturas linear irregular e extinção cruzada (LP). Os plagioclásios, porém, são anedrais a subedrais, meso-alteromorfo, de tamanhos entre 2 a 6 mm e possuem alteração linear cruzada de fissuras e extinção paralela (LP) (Fig. 14-A).

⁸ O termo iso-alteromorfo é usado quando a forma externa e as dimensões do alteromorfo são similares ao do mineral original (DELVIGNE, 1998).

⁹ O termo meso-alteromorfo é empregado quando a forma externa do mineral original é preservada e identificável, mas o volume é alterado (DELVIGNE, 1998).

No terceiro domínio, foram observados, mais freqüentemente, biotitas de cor bruna, a bruno-avermelhada, sob luz natural (LN). São subedrais, meso-alteromorfas a kata-alteromorfas¹⁰, de tamanhos entre 1,5 a 5,0 mm e exibem alteração linear paralela (LP). As biotitas ocorrem, quase sempre, na forma de agregados, associadas com titanita, magnetita, anfibólio, e contêm inclusões de apatita, zircão e epidoto. Elas estão sendo alteradas e apresentam leve abertura das folhas, nas quais já se podem observar compostos de ferro entre os planos de clivagem (Fig. 14-A).

Os anfibólios ocorrem de modo subordinado, sempre associados à biotita, em cuja borda estão, muitas vezes, localizados, apresentam cor verde-oliva (LP), contornos subédricos a euédricos, enquanto a titanita possui grão, que varia de grosso a fino e contornos igualmente variáveis, podendo ser anédricos e euédricos (Fig. 14-A).

As magnetitas são opacas, anedrais a subedrais, meso a kata-alteromorfas; possuem diâmetros, que variam de 0,2 até 3,0 mm e fraturas intraminerais lineares irregulares (Fig. 14-A). Na sutura, entre as biotitas e magnetitas, observa-se o aparecimento de cristais de cor branca, sob luz natural (LN), de forma aproximadamente prismática e alongada. Trata-se de cristais de titanita, que formam uma coroa em torno das magnetitas (Fig.14-A).

No saprolito grosso (C5) observa-se ainda a presença do domínio quartzoso. Os cristais de quartzo apresentam-se mais fraturados e já se destaca uma redução nos seus tamanhos, que variam entre 0,4 até 2,0 mm. Nos pontos de fraturas, ocorre o deslocamento entre os cristais, com subsequente abertura da porosidade intermineral (Fig. 14-B).

No domínio das biotitas, anfibólios e minerais acessórios, observa-se que no início da alteração das biotitas, o ferro desloca-se e ocupa a porosidade intramineral, e também difunde-se pelo entorno, colorindo os minerais adjacentes (Fig. 14-B). Em estágio mais avançado de alteração, são ressaltadas a expansão e abertura das folhas de biotita com aumento da porosidade intramineral. As bordas são

¹⁰ O termo kata-alteromorfo é empregado quando ocorrem modificações na forma e no volume do mineral original (DELVIGNE, 1998).

expandidas, como uma “vassoura” e, entre os planos de clivagem, aparece um plasma vermelho-amarelado (LN), que ainda mantém a forma da biotita e que por esta morfologia pode ser reconhecido como caulinita (Fig. 14-B).

Nesse mesmo domínio, desaparecem os anfibólios e, os cristais de titanitas dão lugar a um plasma bruno-oliváceo (LN), que ocupa o contorno das magnetitas, que por sua vez, já estão cariadas. Pequenas litorelíquias da titanita são ainda encontradas no interior do plasma bruno-oliváceo (LN) (Fig. 15-A).

No domínio dos plagioclásios e microclínios, tanto os plagioclásios, como os microclínios estão muito fraturados e fragmentados em blocos de tamanhos, que variam entre 0,2 mm a 0,8 mm (Fig. 15-A). Esses minerais são sucedidos pelo aparecimento de um fundo matricial, pouco poroso, de estrutura porfírica fechada, composto por cristalitos de plagioclásio, microclínio, quartzo e fragmentos de biotita de tamanhos entre 50 a 120 μm , em meio a um alteroplasma amarelado (LN) com extinção pontuada (LP). Esse fundo matricial será denominado de *fundo matricial amarelado de alteração* (Fig. 15-A e B). Localizadamente, individualizam-se sobre esse fundo matricial pequenas concentrações, na forma de grânulos, de um plasma vermelho-amarelado (LN) (Fig. 15-B).

No horizonte C4 generaliza-se o *fundo matricial amarelado de alteração*. Observa-se, entretanto, o aumento da porosidade (10%) com aparecimento de fissuras e canais. Os domínios de quartzo, de plagioclásios e microclínio, e de biotitas e minerais acessórios desaparecem, restando apenas cristais de até 2 mm que estão pseudomorfizados (Fig. 16-A) e incorporados ao *fundo matricial amarelado de alteração*.

A transição do horizonte C4 para B2 é marcada pelo desaparecimento do *fundo matricial amarelado de alteração*, que é seguido por um *fundo matricial amarelo-avermelhado*, cuja estrutura de base passa de porfírica fechada para porfírica aberta/enáulica e quitônica (Fig. 16-B). A quantidade de plasma atinge uma proporção estimada em 40%. Nesse fundo matricial, o esqueleto aparece em 50% e é composto por cristais de quartzo e poucos microclínios com tamanhos que variam de 2,0 mm a 100 μm . Os cristais maiores são encontrados numa proporção de 8%

em relação ao esqueleto total, enquanto os pequenos cristais dominam. A porosidade desse fundo matricial é predominantemente do tipo empilhamento complexo, estando em torno de 10%.

No horizonte B2, continua o mesmo *fundo matricial amarelo-avermelhado*, que adquire um plasma um pouco mais brunado (amarelo-brunado) (LN), em torno de 30%. A estrutura de base permanece porfírica aberta/enáulica e quitônica (Fig. 16-C). O esqueleto continua apresentando características semelhantes, verificando-se apenas uma redução da quantidade de cristais maiores de quartzo e de microclínio, que chega a menos de 5%. A porosidade ainda é do tipo empilhamento, mas observa-se um aumento para 20% em relação à lâmina da transição.

Em B1, o *fundo matricial amarelo-avermelhado* passa por diferenciações mais acentuadas, podendo ser reconhecido como *fundo matricial brunado* (Fig. 17-A). Ocorre uma redução da quantidade do plasma em relação a B2, que atinge aproximadamente 25% e uma generalização do plasma amarelo-brunado (LN). A estrutura de base ainda é porfírica aberta/enáulica, em menor proporção, e quitônica (Fig. 17-A). Observa-se uma redução do tamanho dos grãos do esqueleto em comparação ao horizonte B2; e os cristais de quartzo e microclínio de tamanhos maiores ainda são encontrados numa proporção menor (2%). A porosidade aumenta para 25%, sendo constituída por empilhamento (dominante), cavidades policôncavas e canais.

No horizonte B1Bh observa-se ainda o *fundo matricial brunado*, que apresenta plasma de cor mais escura, bruno-amarelada (LN), denunciando um início de acumulação de matéria orgânica. Esse plasma é mais denso (30%). O fundo matricial possui estrutura de base porfírica aberta/enáulica e quitônica. O esqueleto mantém características semelhantes, porém os cristais maiores de quartzo praticamente desaparecem, sendo inferior a 1%. A porosidade aumenta para 30%, sendo formada por cavidades e câmaras, seguidas por empilhamento complexo e por canais (Fig. 17-B).

No horizonte superficial A12, o *fundo matricial brunado* domina, porém o plasma torna-se mais escuro, passando para bruno-escuro (LN) (Fig. 17-C), mantendo a

mesma quantidade observada em B1Bh. A estrutura de base continua porfírica aberta/enáulica e desaparece a estrutura quitônica. O esqueleto e a porosidade mantêm as mesmas características em relação ao horizonte B1Bh.

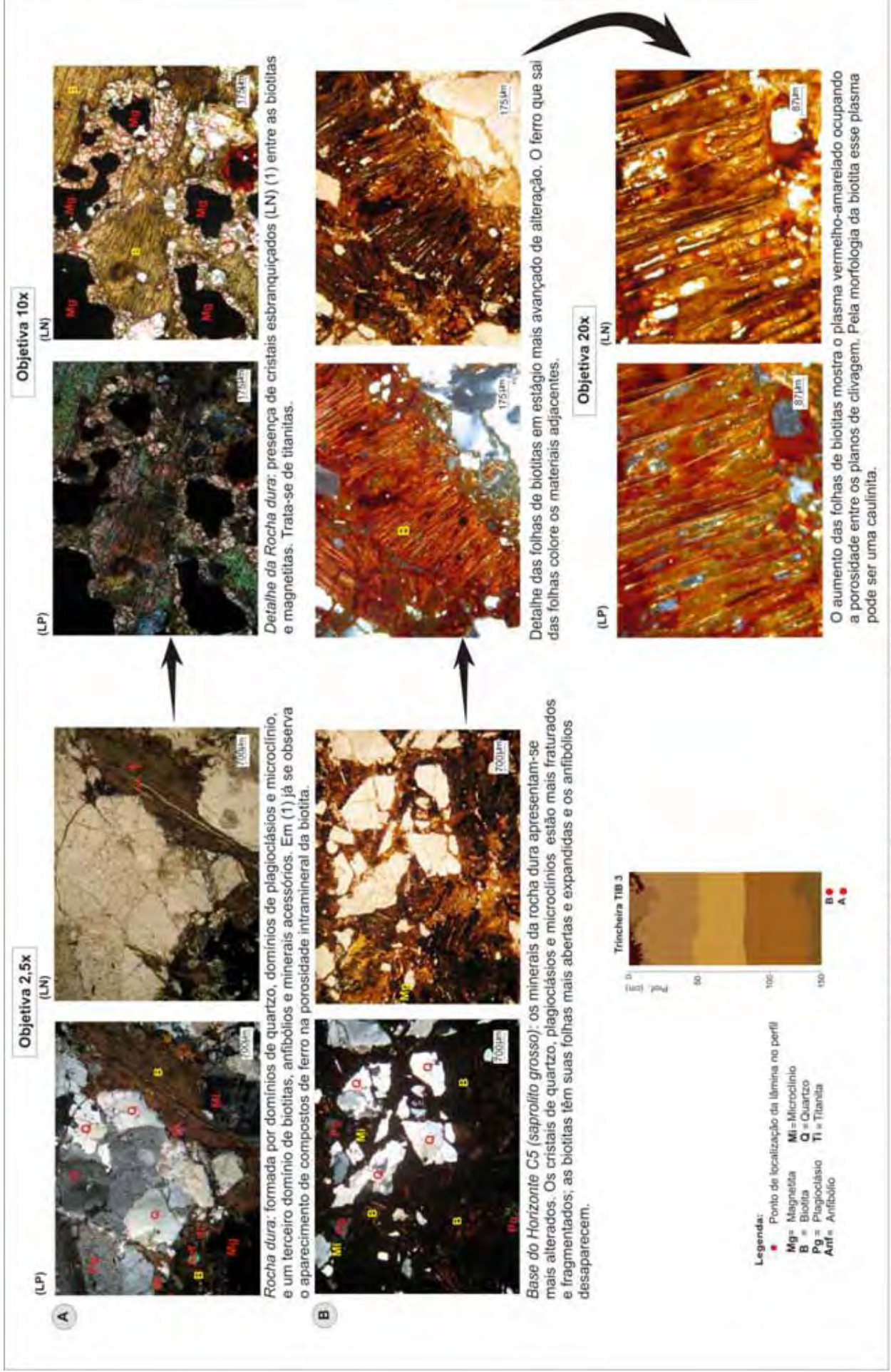


Figura 14- Fotos ao microscópio óptico do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese (Parte I)

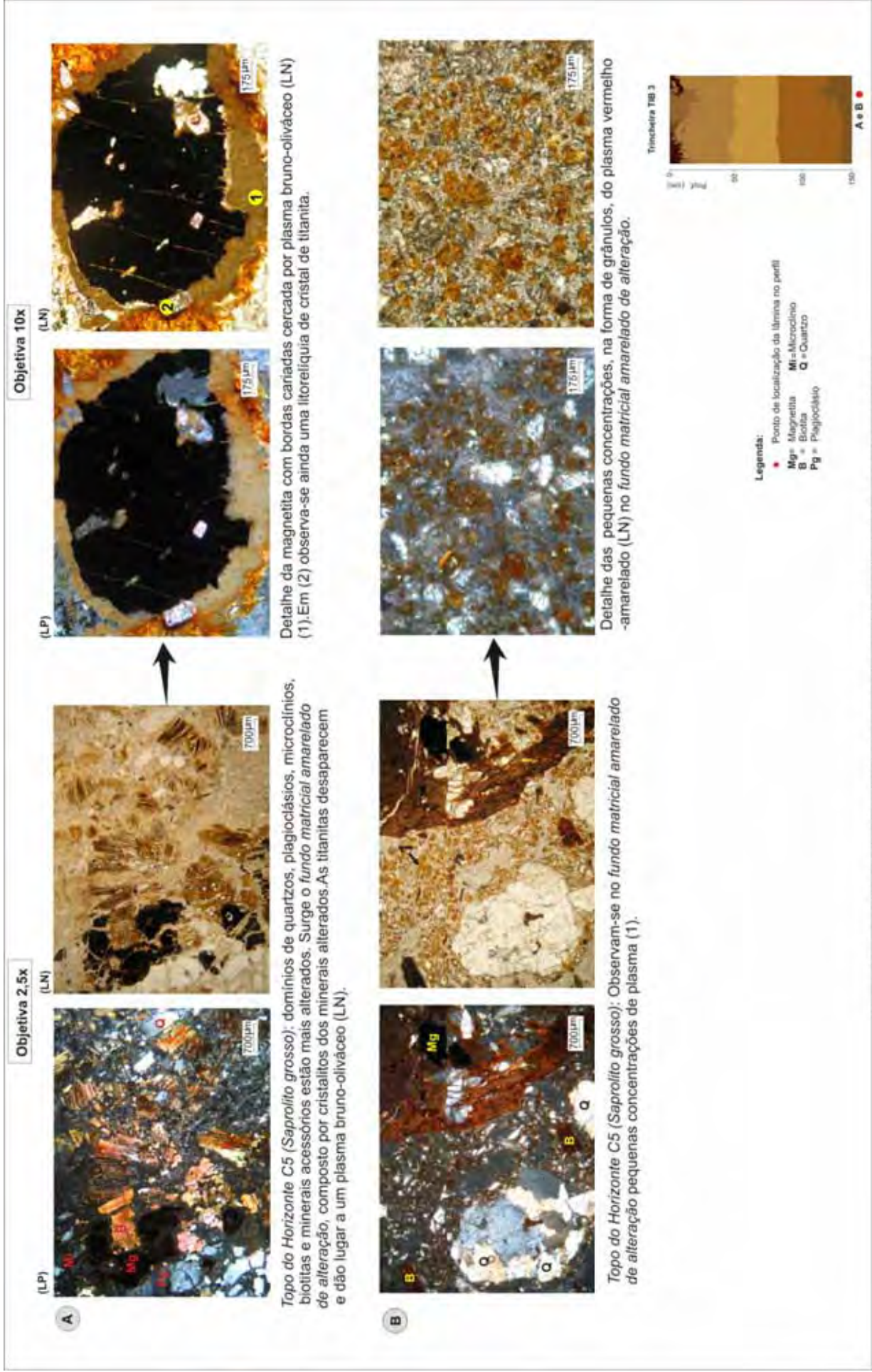


Figura 15- Fotos ao microscópio óptico do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese (Parte II)

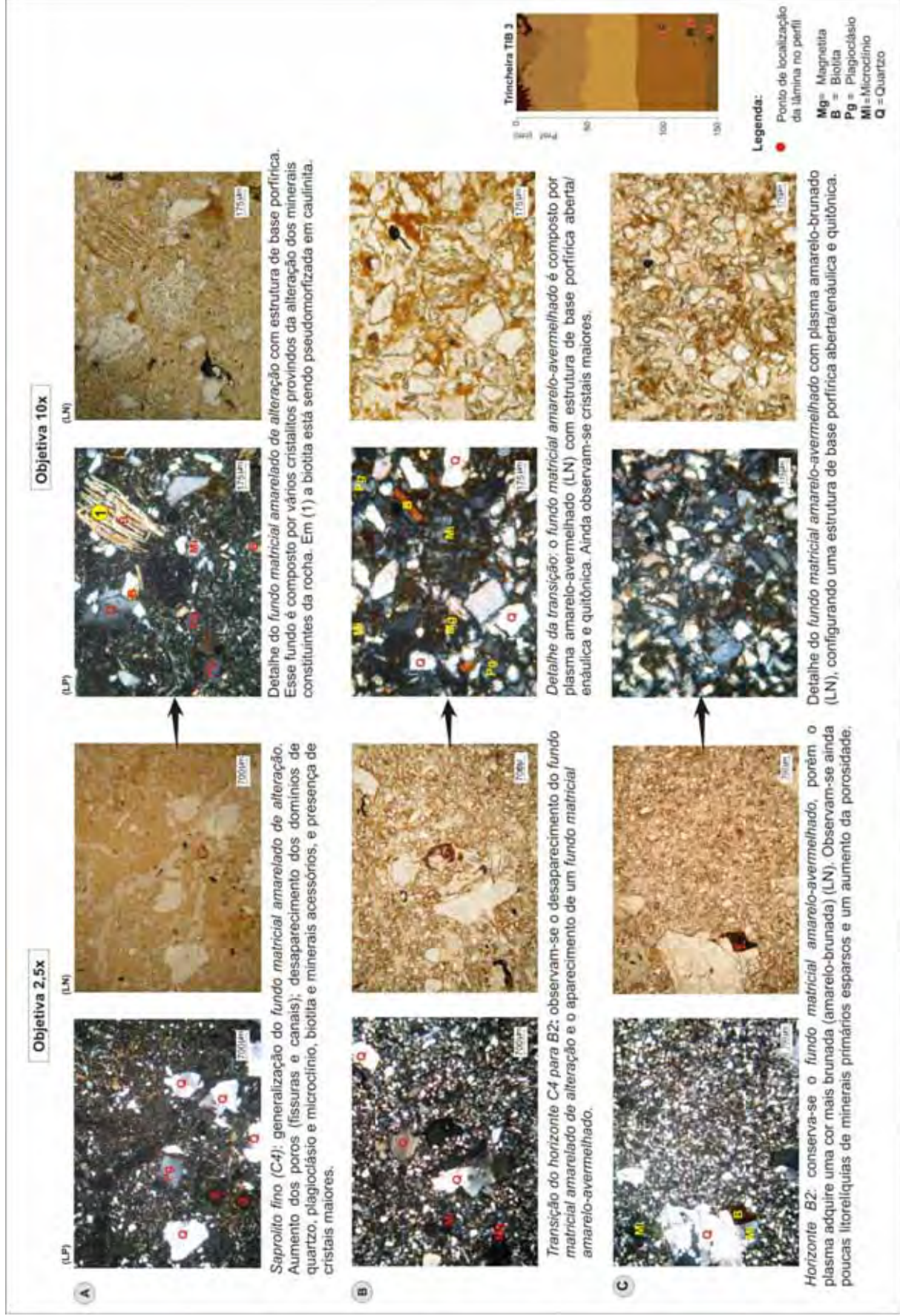


Figura 16- Fotos ao microscópio óptico do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese (Parte III)

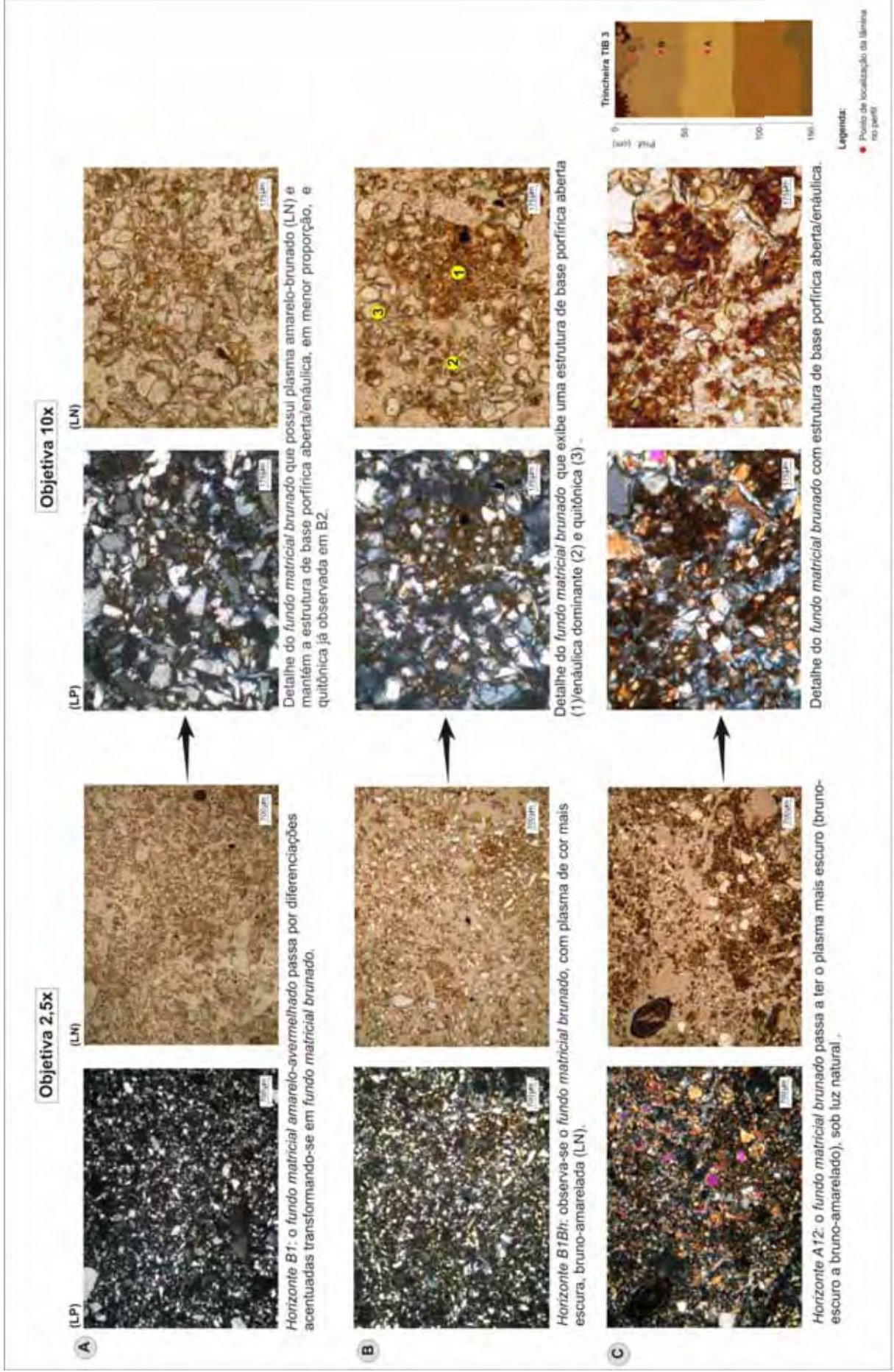


Figura 17- Fotos ao microscópio óptico do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese (Parte IV)

INTERPRETAÇÕES

Existe uma continuidade nos processos de transformação dos minerais primários, identificados a partir da rocha dura, em direção ao horizonte C5 (saprolito grosso). Os minerais primários, facilmente alteráveis, desaparecem na transição do horizonte C5 (saprolito grosso) para C4 (saprolito fino).

A morfologia da pseudomorfose sobre as biotitas revela que o mineral secundário formado, identificado pela expansão das bordas, é a caulinita. Ao mesmo tempo, um plasma bruno-oliváceo, vindo da alteração das titanitas e provavelmente das magnetitas, uma vez que essas últimas apresentam figuras de dissolução, permanece no entorno desse último mineral, desaparecendo em C4. No nível da lâmina delgada, não foi possível identificar a sua mineralogia.

À medida que a porosidade aumenta no nível do horizonte C5 (saprolito grosso) e, que os domínios observados da rocha ao horizonte C4 (saprolito fino) tendem a desaparecer, toma lugar um fundo matricial amarelado, cuja constituição não pôde ser identificada no nível da lâmina delgada. Esse fundo matricial, no saprolito grosso, começa a organizar-se em grânulos de cor mais avermelhada, anunciando a passagem de um fundo matricial de alteração para um fundo matricial pedogenético, que irá generalizar-se no horizonte B2.

A seqüência de transformação do fundo matricial, a partir do horizonte C5 (saprolito grosso), é seguida pela redução do tamanho dos grãos do esqueleto em direção do topo, da diminuição do plasma e do aumento da porosidade no mesmo sentido. Isso demonstra a verticalidade do desenvolvimento do solo sobre um mesmo material de origem. Por outro lado, essa mesma seqüência de diferenciação revela a perda ou dissolução dos plasmas.

Porém, no horizonte B1 e mais nitidamente em B1Bh e A12, observa-se a mudança do fundo matricial, diferenciado a partir dos horizontes de alteração, para um *fundo matricial brunado*, cujos plasmas são de bruno-amarelados a bruno escuro. Esse fundo matricial mostra a acumulação de matéria orgânica, que se difunde sobre os plasmas no nível dos horizontes B1Bh e A12, e anuncia o início dos processos de

podzolização sobre a seqüência laterítica, revelando, portanto, um primeiro evento de acumulação de matéria orgânica.

4.2.1.2 JUSTAPOSIÇÃO LATERITIZAÇÃO / HIDROMORFIA

Os horizontes hidromórficos, descritos a seguir, estão localizados na base da trincheira TIB2. A hidromorfia atua sobre os horizontes saprolíticos e dos solos (Fig.18).

A) MORFOLOGIA DE CAMPO

A passagem do horizonte C4 (Fig. 13), descrito na seqüência laterítica, para C3g dá-se por limite abrupto e pela generalização da matriz fina de cor amarelada (10YR7/8) que se torna mais clara (2,5Y8/4 a 2,5Y8/2) (Fig.18). O horizonte C3g apresenta, então, uma cor amarela, pálida a branca (2,5Y8/4 a 2,5Y8/2), e mosqueados amarelo-avermelhados (5YR6/6) com diâmetro de aproximadamente 3 mm. Possui textura franco-arenosa e estrutura maciça. A porosidade é intersticial e com poros tubulares finos.

O horizonte C3g transiciona gradualmente com faixa de separação irregular para o horizonte C2g, que apresenta na base cor amarela (10YR7/6) e, em direção do topo, cor amarelo-brunada (10YR6/6) (dominante). Tem textura franco-arenosa, com predomínio de areia fina, e estrutura maciça (Fig. 18).

A passagem do horizonte C2g para C1g é gradual, com faixa de separação ondulada. O horizonte C1g é levemente endurecido por ferro e continua com a mesma matriz de C2g, amarelo-brunada (10YR6/6), porém a textura passa de franco-arenosa para areia franca e a estrutura permanece maciça. No topo do horizonte C1g, aparece uma zona endurecida com aspecto compacto e cor amarelo-avermelhada (7,5YR6/8) (Fig. 18).

O horizonte C1g transiciona abruptamente com limites irregulares para o horizonte BgE (Fig.18). Na parte inferior, apresenta matriz dominante cinza-brunada clara (2.5Y6/2), com mosqueados amarelos (10YR7/6), que se justapõe no topo, à matriz amarelo-brunada (10YR6/6). No topo do horizonte BgE, aparecem nódulos ferruginosos duros, que se quebram com os dedos, e têm domínios vermelho escuro (2,5YR3/6) e zonas amarelas (10YR7/6) na periferia. A textura do horizonte BgE é areia, com predomínio de areia fina, e a estrutura é maciça. O material apresentou-se muito úmido, sobretudo na parte inferior.

A passagem do horizonte BgE para o horizonte B1 é abrupta, com faixa de separação irregular. Esse horizonte apresenta cor amarelo-brunada (10YR6.5/6) a amarelo-olivácea (2.5Y6.5/6). A textura muda de areia, para areia franca, e a estrutura continua maciça (Fig. 18).

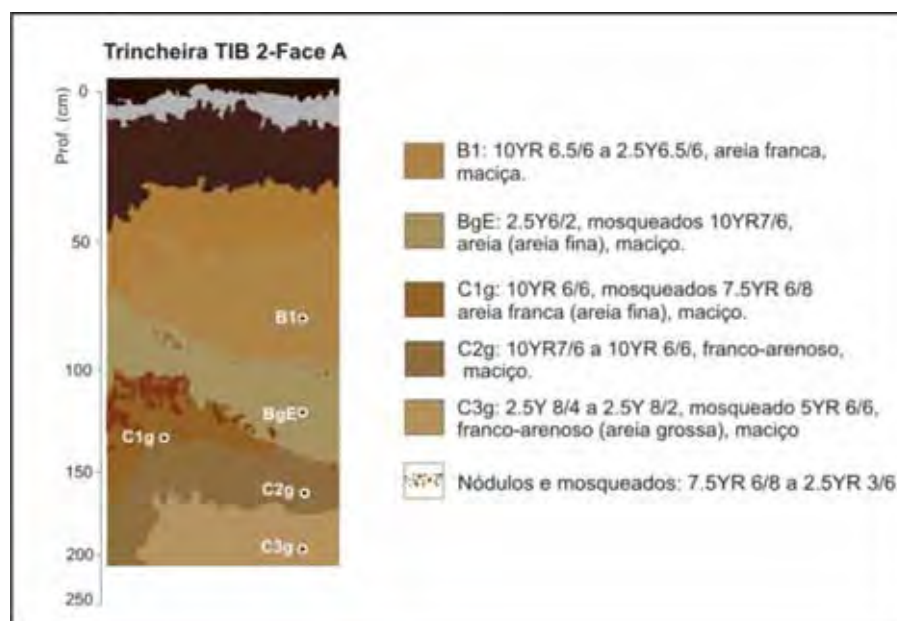


Figura 18 – Perfil na justaposição da lateritização/hidromorfia

INTERPRETAÇÕES

Os horizontes de alteração e dos solos, descritos no domínio laterítico, não apresentam nenhuma discordância ou traços de depleção/acumulação do ferro; ao contrário, a seqüência aponta no sentido da lateritização.

Neste perfil (Fig. 18), a diferenciação laterítica é interrompida por feições nodulares e mosqueadas, acompanhadas pelo empalidecimento da cor das matrizes lateríticas.

Assim, as cores claras e os valores elevados dos horizontes da base do perfil aliados aos nódulos ferruginosos endurecidos (2,5YR3/6) e aos mosqueados (10RY7/6), no topo do BgE, resultam da depleção/acumulação do ferro provavelmente ligados à flutuação do lençol que atinge os horizontes C3g, C2g, C1g e BgE. De fato, as matrizes mais claras justapõem-se à matriz brunada do horizonte B laterítico, revelando que a hidromorfia é discordante sobre o perfil laterítico. Por outro lado, o endurecimento do topo do horizonte C1g pelo ferro (7,5YR6/8) indica a mobilidade e acumulação desse elemento. A passagem da textura areia franca, do C1g para areia do BgE, e o retorno à textura areia franca no horizonte B, marca uma descontinuidade no perfil que pode indicar a presença de uma frente de lixiviação, posterior à hidromorfia.

B) DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA

Na transição do saprolito fino (C4) (Fig. 16-A), para o saprolito fino hidromórfico (C3g), observam-se dois fundos matriciais (Fig.19-A). O primeiro, descrito no “Domínio Laterítico de Alteração” é o *fundo matricial amarelado de alteração*, composto por cristalitos de minerais primários que formam um alteroplasma amarelado (LN), e dentro do alteroplasma aparecem alguns cristais de quartzo, plagioclásio, microclínio e biotita esparsos e de tamanhos maiores (0,4 a 2,5 mm) (Fig.19 A). Esse fundo matricial se reorganiza, dando origem a um *fundo matricial oliváceo* (Fig.19 - A e B), caracterizado por plasma amarelo-oliváceo (LN), menos denso (30%), que tende a ocupar os interstícios entre os grãos, configurando uma estrutura de base porfírica aberta/enáulica (dominante) e, secundariamente, gefúrica; esqueleto composto predominantemente por pequenos grãos de quartzo (50 a 300 μm), uma vez que os cristais maiores fragmentaram-se e os mais alteráveis desapareceram; e por maior porosidade, passando de 10% para 20%, em forma de empilhamento complexo.

Esse *fundo matricial oliváceo* é localmente cortado por um *fundo matricial* que denominar-se-á *amarelo-oliváceo* (Fig. 19-C), cujas características são: estrutura de base gefúrica (60%) e mônica (40%), plasma amarelo-oliváceo (LN), em torno de 10%; esqueleto composto por grãos de quartzo de tamanhos entre 80 a 200 μm , numa proporção de 50% e porosidade formada por empilhamentos de grãos (40%). Esse fundo matricial é discordante sobre o pré-existente (*fundo matricial oliváceo*).

Em C3g, C2g e C1g convivem os *fundos matriciais oliváceo e amarelo-oliváceo* (Fig. 19-D). O plasma torna-se mais escuro, passando para bruno-oliváceo (LN), e menos denso (20%). A estrutura de base dominante é gefúrica/mônica e, secundariamente, enáulica, uma vez que domina o *fundo matricial amarelo-oliváceo*. O esqueleto conserva as mesmas características da transição do horizonte C4 para C3g (50%) e a porosidade passa para 30%.

No topo de C1g o *fundo matricial oliváceo* é cortado por canais revestidos internamente por um plasma vermelho-amarelado (LN). Esse plasma também aparece no entorno do esqueleto. Essa configuração pode ser reconhecida como um novo fundo matricial, denominado *fundo matricial oliváceo com cutãs* (Fig. 20-A). O plasma vermelho-amarelado (LN) dos revestimentos difunde-se nesse fundo matricial, superimpondo-o (Fig.20-B). Por outro lado, começa a aparecer um plasma bruno a preto (LN), que ocupa os interstícios entre os grãos, e que parece ser predominantemente orgânico (Fig. 20-A). O esqueleto mantém-se o mesmo e a porosidade diminui para 20%.

Na transição do horizonte C1g para BgE o *fundo matricial oliváceo com cutãs* é cortado pelo *amarelo-oliváceo* (Fig. 20-C).

Em BgE reencontram-se algumas ilhas do *fundo matricial oliváceo*, enquanto o *amarelo-oliváceo* tende a generalizar-se (Fig. 20-D).

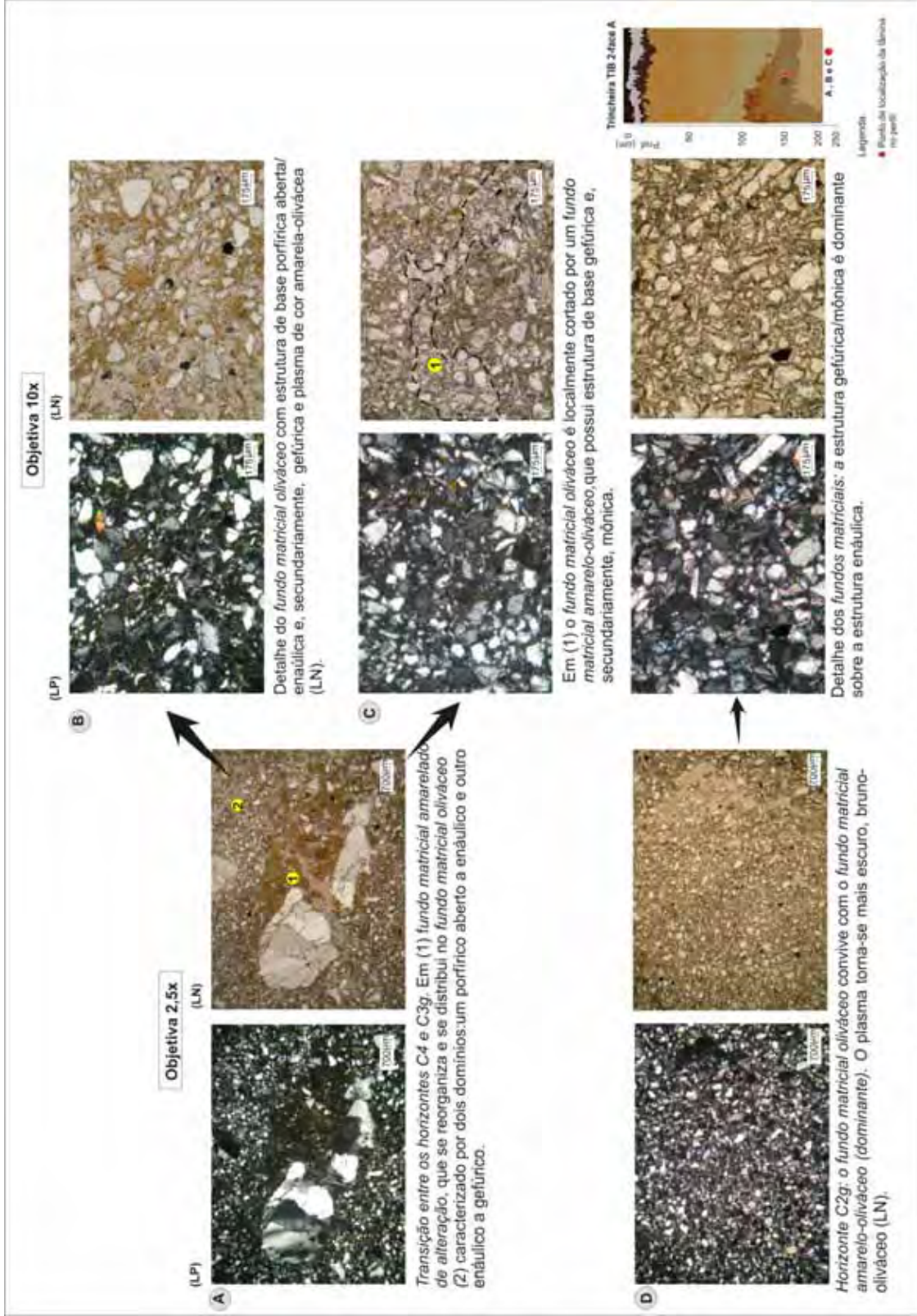


Figura 19 - Fotos ao microscópio óptico dos horizontes na justaposição da lateritização/ hidromorfia (Parte I)

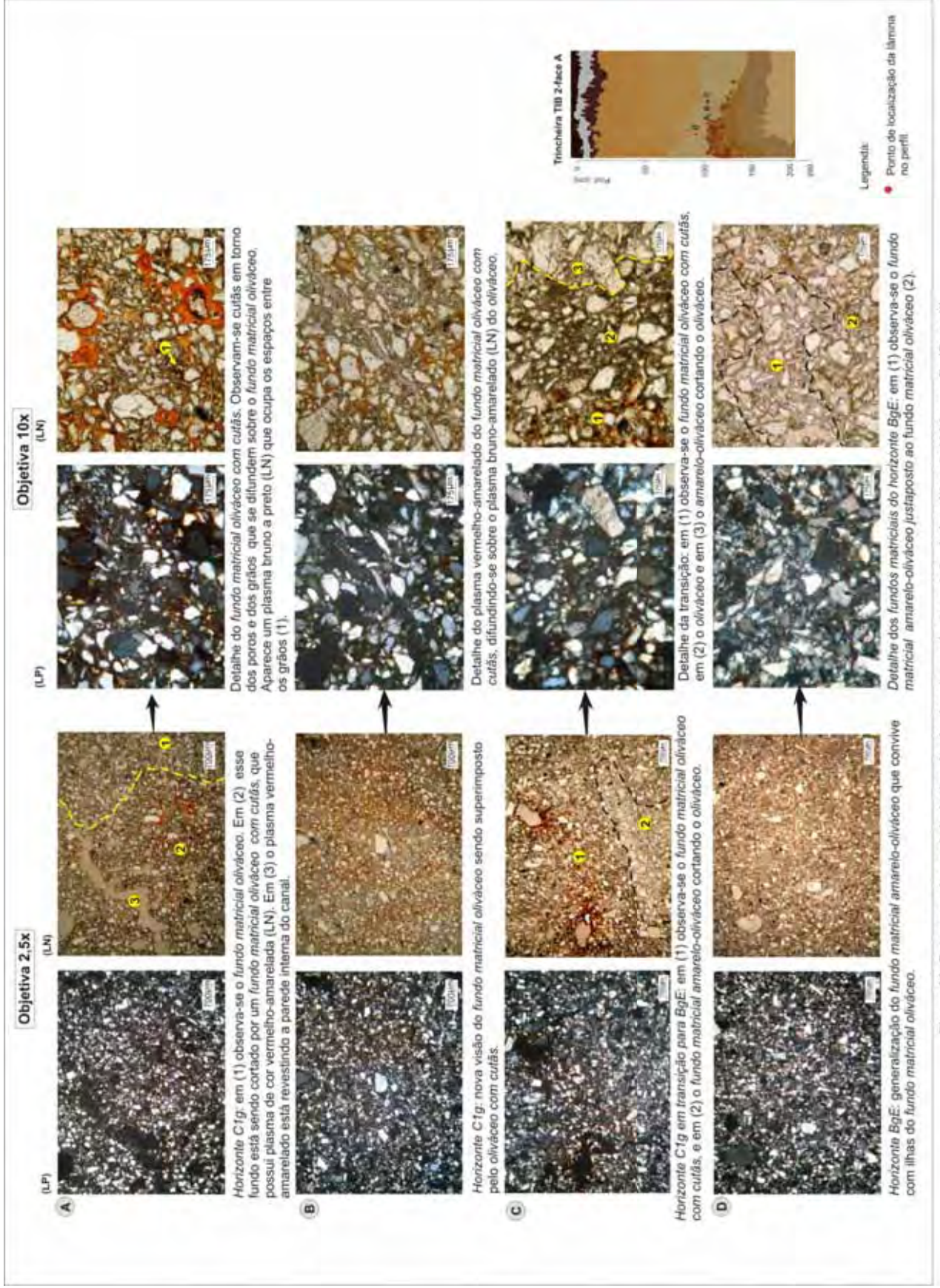


Figura 20- Fotos ao microscópio óptico dos horizontes na justaposição da lateritização/ hidromorfia (Parte II)

INTERPRETAÇÕES

A reorganização do *fundo matricial amarelado de alteração*, pela fragmentação e dissolução dos minerais de tamanho maior, seguida pelo aumento da porosidade e reestruturação do plasma, que se torna menos denso e microagregado, indica uma diferenciação sobre o fundo matricial da alteração (horizontes C3g, C2g, C1g e BgE) no sentido da formação dos horizontes lateríticos.

Os plasmas oliváceos mostram a ação da hidromorfia, melhor visualizada no nível macroscópico, dada a presença dos nódulos no topo do BgE e de mosqueados. A complexidade da relação entre os fundos matriciais e a cor dos plasmas que se tornam mais brunadas em direção de BgE mascaram, entretanto, as evidências da hidromorfia (topo C1g), mas mostram, por outro lado, a mobilidade e acumulação da matéria orgânica nesses níveis (C3g, C2g, C1g e BgE), anunciando a podzolização.

Do horizonte C3g ao BgE, o *fundo matricial amarelo-oliváceo* é discordante sobre os fundos matriciais da alteração e do horizonte B, hidromorfizados e levemente impregnados de matéria orgânica, e constitui uma frente de lixiviação que é anunciada em C3g e é mais dominante em BgE.

No topo do horizonte C1g o *fundo matricial oliváceo* está sendo impregnado por ferro (cutãs), que confere o endurecimento desse topo, observado no nível macroscópico, e possivelmente por compostos organo-metálicos. Esse endurecimento pode mostrar o início da formação de um horizonte C1sgh.

Essa geometria complexa refere-se, provavelmente, a quatro eventos principais: i) à hidromorfia justaposta à lateritização, cujo traço é o *fundo matricial oliváceo* (C3g, C2g, C1g e BgE); ii) a acumulação de matéria orgânica que torna os plasmas brunados; iii) à mobilização e acumulação do ferro no topo do horizonte C1g, cujos traços são os revestimentos ferruginosos e a difusão do ferro sobre o fundo matricial amarelado; e iv) à frente de lixiviação, cujo traço é a estrutura gefúrica e mônica em C3g, C2g, C1g e BgE.

No que se refere à mineralogia de cada um desses horizontes, as análises em lâmina delgada não possibilitaram a identificação dos minerais presentes nos plasmas.

4.2.2 DOMÍNIO PODZOLIZADO

Esse domínio desenvolve-se através de duas vias: sobre os horizontes lateríticos hidromórficos e sobre os horizontes lateríticos de superfície.

4.2.2.1 SUPERIMPOSIÇÃO DA PODZOLIZAÇÃO SOBRE OS HORIZONTES LATERÍTICOS HIDROMÓRFICOS NA PARTE INFERIOR DA DUPLA LÍNGUA

A) MORFOLOGIA DE CAMPO

Segue-se a C1g (Fig. 18), descrito no domínio hidromórfico, por transição abrupta e faixa de separação irregular o horizonte C1sgh (Fig. 21), que tem cor heterogênea amarelo-brunada (10YR6/6) e zonas ferruginosas bruno-avermelhadas a bruno-avermelhadas escuras (5YR4/4 a 2,5YR3/4); textura areia franca e estrutura maciça (Fig. 21). Esse horizonte transiciona abruptamente, na direção do topo, para o horizonte C1Bhsg, que conserva a matriz amarelo-brunada (10YR6/6) e apresenta domínios bruno escuros (7.5YR3.5/3) a bruno (7.5YR5/4); mantém mesma textura e estrutura do C1sgh (Fig.21).

A passagem do horizonte C1Bhsg para o horizonte superior Bh é abrupta, com faixa de separação irregular. No horizonte Bh observa-se uma matriz bruno-acinzentada muito escura (10YR3/2) na parte inferior e bruno-acinzentada escura na parte superior (10YR4/2). Conserva-se a mesma textura e estrutura do horizonte C1Bhsg (Fig. 21).

A passagem do horizonte Bh para o E2 se dá de forma gradual, com o aparecimento de zonas cinza claras (7,5YR7/1), anastomosadas, em meio a relíquias de zonas bruno-acinzentadas escuras a cinza-brunadas claras (10YR4/2 a 10YR6/2), que

constituíam a matriz de Bh. A textura passa de areia franca para areia e a estrutura é em grãos soltos (Fig. 21).

O horizonte E1 transiciona gradualmente para o horizonte E2. Nesse horizonte, as zonas cinza-claras (7,5YR7/1) generalizam-se. A textura continua areia, constituída essencialmente de areia quartzosa e a estrutura permanece em grãos soltos (Fig.21).

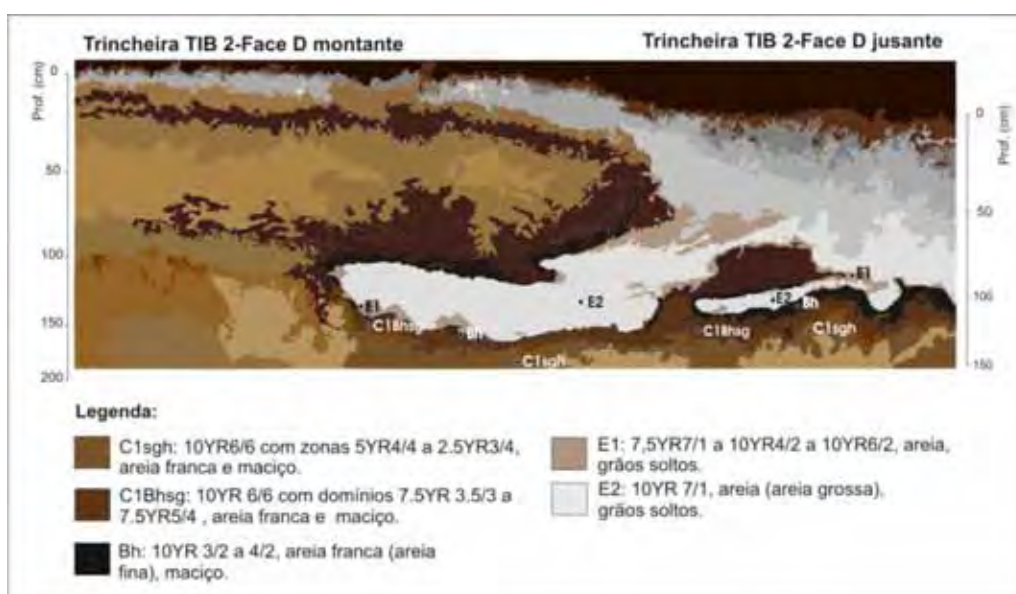


Figura 21 - Superimposição da podzolização sobre os horizontes lateríticos hidromórficos na base do perfil

INTERPRETAÇÕES

No topo de C1g, como visto anteriormente, as zonas endurecidas pelo ferro anunciavam a sua acumulação e o início da formação de um horizonte C1sgh. A continuidade da superimposição de matrizes com matiz avermelhado ou bruno, de cromas e valores baixos, sobre os horizontes de alteração hidromórficos, indica não só a mobilidade e acumulação de ferro, como também de compostos orgânicos que vão originar os horizontes C1sgh e C1Bhsg.

No horizonte Bh, desaparecem as matrizes avermelhadas e domina a de cor bruno-acinzentada escura, que passa gradualmente para cinza claro no horizonte E1, acompanhada pela mudança textural e estrutural. A matriz cinza claro generaliza-se em E2. Essa configuração evidencia uma frente de lixiviação, que atinge a parte basal dos perfis e que dá origem ao setor inferior da dupla língua (Fig. 21).

B) DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA

No horizonte C1sgh observa-se a continuidade da formação do *fundo matricial oliváceo com cutãs*, descrito no topo de C1g, cujas características principais são plasma vermelho-amarelado (LN), mais denso (35%), e uma generalização da estrutura porfírica. O esqueleto mantém as mesmas características de C1g e a porosidade diminui, sendo formada por canais que cortam o fundo matricial. Os cutãs estão mais desenvolvidos e estão sofrendo fragmentação e deslocamento (Fig. 22-A).

No horizonte C1Bhsg mantém-se o *fundo matricial oliváceo com cutãs*. Entretanto, o plasma nesse nível é de cor bruna a preta (LN), provavelmente organo-metálico. Esse plasma corresponde àquele que apenas se insinua ocupando os interstícios dos grãos, como visto no topo de C1g (Fig. 22-B).

Esse fundo matricial está sendo cortado por uma frente de dissolução que atinge o plasma bruno a preto (LN), deixando-o de cor amarela forte (LN). (Fig.22-C).

No horizonte Bh desaparece o *fundo matricial oliváceo com cutãs*. Aparece um *fundo matricial bruno* (dominante), que tem plasma de cor bruna muito escura a preta (LN e LP) (25%) e estrutura de base enáulica, devido à presença de matéria orgânica em forma de grânulos. Essa matéria orgânica é diferente das observadas anteriormente e está ocupando os interstícios entre os grãos deixados pela estrutura gefúrica-mônica (Fig. 23-A). Permanece secundariamente o *fundo matricial amarelo-oliváceo*, descrito no domínio hidromórfico, porém o plasma é de cor bruno-olivácea (LN).

A passagem do horizonte Bh para o E1 é marcada pelo desaparecimento gradual do *fundo matricial bruno* e predomínio do *fundo matricial amarelo-oliváceo* (Fig. 23-B). Há a redução dos plasmas; o esqueleto mantém-se semelhante ao de Bh e a porosidade aumenta para 30%, sendo do tipo empilhamento complexo e simples.

No horizonte E2 o *fundo matricial amarelo-oliváceo* passa para *acinzentado*, no qual não se tem mais o plasma e, a estrutura é mônica, com grãos soltos (Fig. 23-C). A porosidade aumenta para 35%, sendo constituída por empilhamento simples e, o esqueleto mantém as mesmas características de E1.

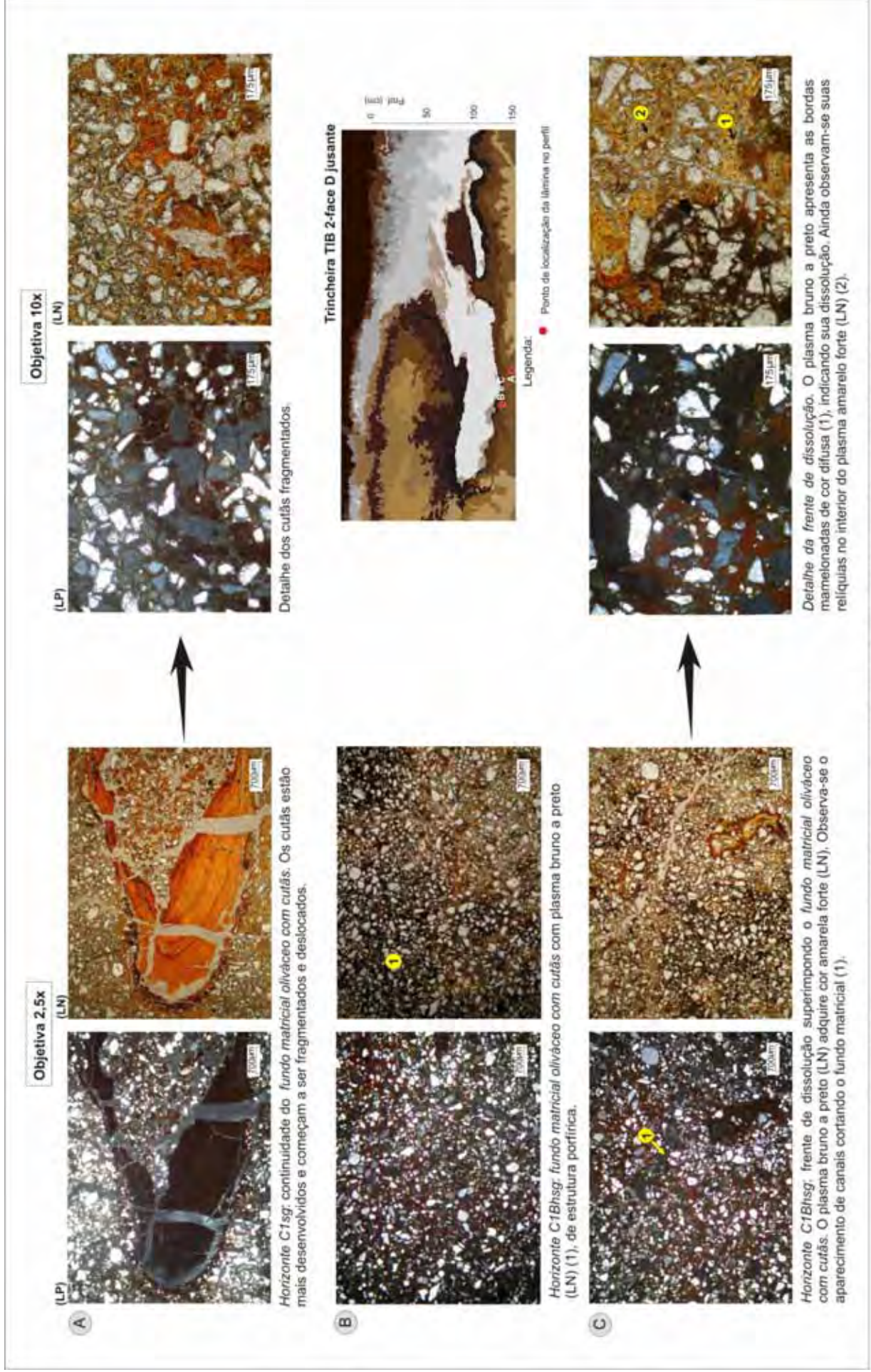


Figura 22 - Fotos ao microscópio óptico da superimposição da podzolização sobre os horizontes lateríticos hidromórficos na parte inferior da dupla língua (Parte I)

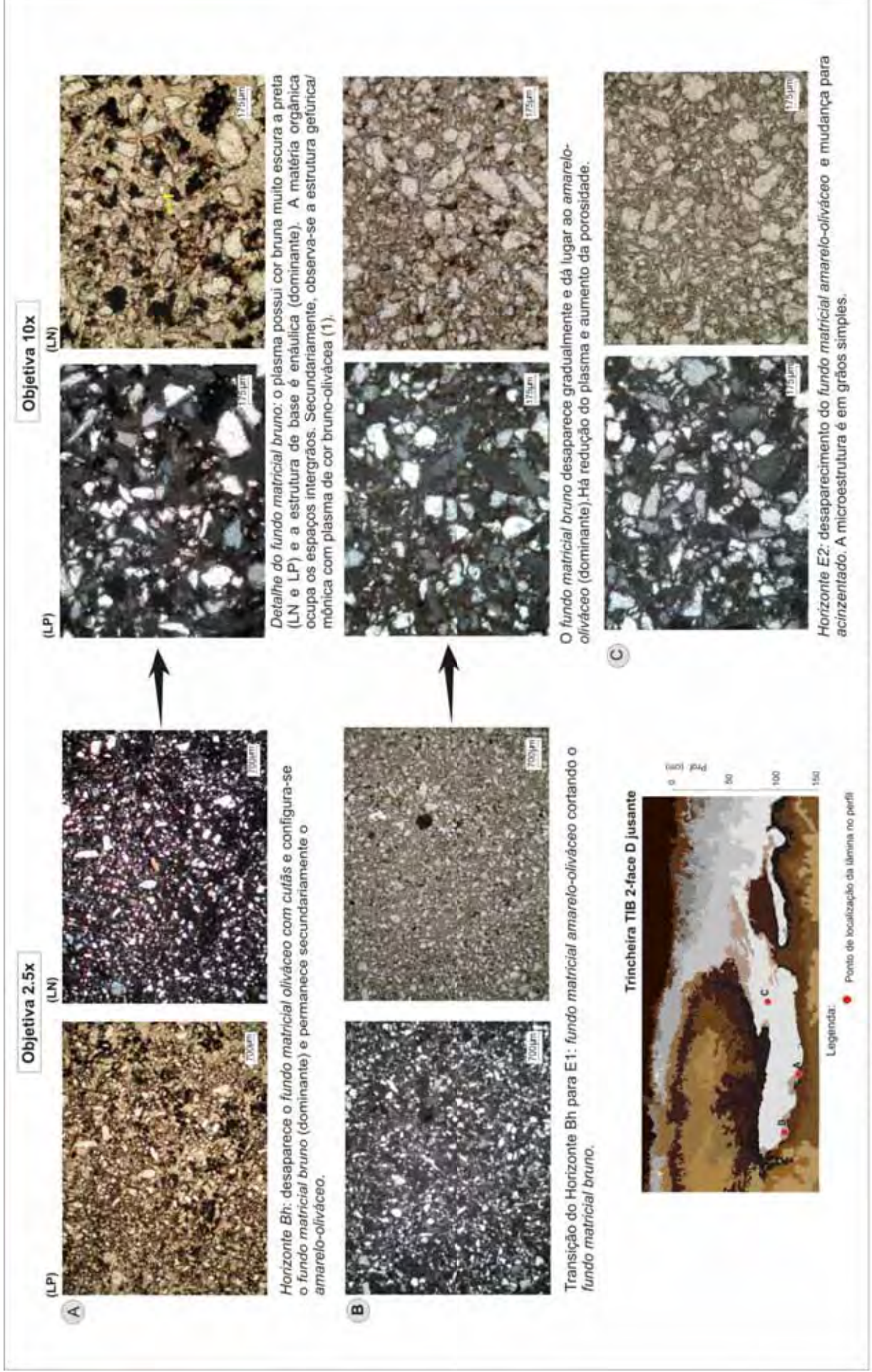


Figura 23-Fotos ao microscópio óptico da superimposições da podzolização sobre os horizontes lateríticos hidromórficos na parte inferior da dupla língua (Parte II)

INTERPRETAÇÕES

No topo do horizonte C1g observa-se a presença de cutãs e a difusão do ferro sobre o *fundo matricial amarelado*. Essa configuração generaliza-se em C1sgh, que apresenta um nível maior de acumulação de ferro. No horizonte C1Bhsg o *fundo matricial oliváceo com cutãs* passa a ter um plasma bruno a preto (LN), que já estava presente em C1g, indicando a entrada e o acúmulo de compostos organometálicos. Essa configuração revela a mobilização e a impregnação do ferro e da matéria orgânica sobre os horizontes de alteração hidromorfizados, mostrando a superimposição da podzolização sobre esses horizontes.

Ao mesmo tempo, uma frente de dissolução está cortando esse *fundo matricial oliváceo com cutãs*, deixando o plasma bruno a preto (LN) com cor amarela forte (LN). Essa dissolução da matéria orgânica anuncia a presença de uma frente de lixiviação, que é mais expressiva em Bh, no qual esse plasma de cor amarela forte não existe mais ou nunca existiu, uma vez que não há traços dele no fundo matricial.

Essa porosidade do *fundo matricial amarelo-oliváceo* do horizonte Bh aparece, ao contrário, preenchida por grânulos de matéria orgânica de cor preta, tanto em luz natural como em luz polarizada. A matéria orgânica desses grânulos é muito diferente daquela observada em C1Bhsg, aquela nítida e homogeneamente difundida sobre o plasma inicial (oliváceo). Em Bh, a relação entre os grânulos orgânicos, a porosidade e o esqueleto dá origem ao *fundo matricial bruno*, de estrutura enáulica. Esse fundo matricial tende a desaparecer na passagem para o horizonte E1, generalizando-se como *fundo matricial amarelo-oliváceo* que se transforma em *acinzentado* no horizonte E2.

Essa configuração autoriza dizer que: i) a formação dos horizontes C1sgh e C1Bhsg está relacionada a um evento de acumulação de ferro e de compostos organometálicos, diferente do evento que deu origem à acumulação de matéria orgânica do horizonte Bh; ii) uma frente de lixiviação parece ter se instalado entre os dois eventos de acumulação, que pode ser a responsável tanto pelo primeiro como pelo segundo evento de dissolução e mobilidade de ferro e de matéria orgânica, que vão dar origem aos horizontes lixiviados Bh, E1 e E2 e aos horizontes de acumulação

C1sgh, C1Bhsg e Bh a partir da acumulação dos compostos lixiviados dos horizontes adjacentes.

4.2.2.2 SUPERIMPOSIÇÃO DA PODZOLIZAÇÃO SOBRE OS HORIZONTES LATERÍTICOS NA PARTE SUPERIOR DA DUPLA LÍNGUA

A) MORFOLOGIA DE CAMPO

O horizonte B1 (Fig. 24) apresenta uma matriz amarelo-brunada (10YR6/6) a amarelo-olivácea/amarela (2.5Y6.5/6) com textura areia franca e estrutura maciça. Esse horizonte transiciona gradualmente para o horizonte B1Bhs, que não possui mais traços da matriz amarelo-brunada e apresenta uma generalização da cor bruno-olivácea clara/bruno-amarelada clara (2,5Y5.5/4). Conserva a mesma textura e estrutura de B1 (Fig. 24).

A transição do horizonte B1Bhs para o horizonte superior Bhs é gradual, com faixa de transição irregular. Esse horizonte desenvolve-se de forma convoluta em relação ao B1Bhs. Assim, a transição se dá pela parte superior, pela jusante e pela parte inferior de B1Bhs (Fig. 24). O horizonte Bhs (a 30 cm na parte superior; a 90 cm na parte inferior) possui matriz bruna escura (10YR3.5/3) e domínios bruno-acinzentados muito escuros (10YR3/2) e bruno-avermelhados (2.5YR4.5/3) (Fig. 24). A textura de Bhs (a 90 cm) permanece areia franca e a estrutura continua maciça. Por outro lado, no horizonte Bhs (a 30 cm), há uma mudança textural, que passa de areia franca para areia e a estrutura continua maciça. Em ambos os horizontes a porosidade está preenchida pela matéria orgânica.

Em maior profundidade, o horizonte Bhs (90 cm) transiciona abruptamente para o horizonte Bh, descrito anteriormente, o qual possui uma matriz bruno-acinzentada muito escura (10YR3/2) na parte superior e bruno-acinzentada escura na parte inferior (10YR4/2), com mesma textura e estrutura do Bhs (a 90cm) (Fig. 24).

Na direção do topo o horizonte Bhs (a 30 cm) transiciona gradualmente para o horizonte A13E (Fig. 24), que possui uma matriz cinza-brunada clara (10YR6/2) e

manchas bruno-acinzentadas (10YR5/2). Apresenta uma mudança textural, passando de areia franca para areia e a estrutura permanece a mesma, maciça.

A transição de A13E para A12E é clara com faixa de separação irregular. O horizonte A12E possui matriz cinza-claro (10YR7/2), com imbricações de fase bruna (7.5YR4/3) e fase bruno-acinzentada (10YR5/2). Mantém a textura areia e a estrutura passa de maciça para grãos soltos (Fig.24).

O horizonte A12E transiciona para o horizonte A11E de forma clara e irregular. Esse último tem matriz bruna escura (7.5YR3/2) a cinza-brunada clara (10YR6/2) e mantém a mesma textura e estrutura de A12E.

Tanto o horizonte A12E, quanto o A13E transicionam gradualmente para o horizonte E1, que tem matriz cinza claro (7.5YR7/1), textura areia e estrutura em grãos soltos (Fig. 24).

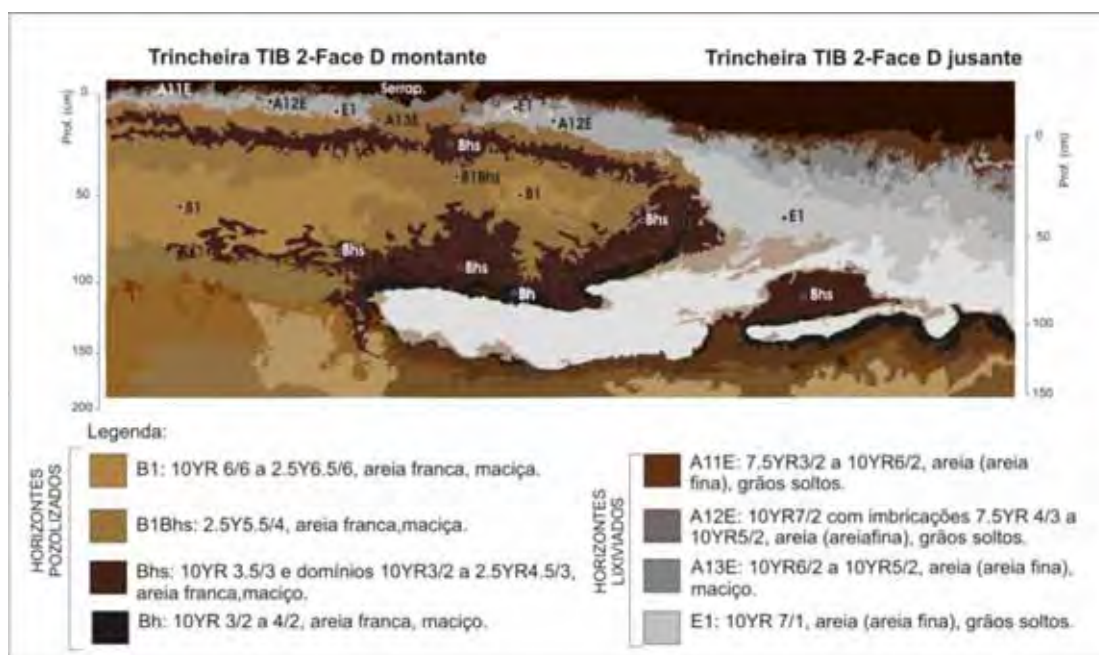


Figura 24 - Superimposição da podzolização sobre os horizontes lateríticos de topo

INTERPRETAÇÕES

A partir do horizonte B1, há uma mudança na cor da matriz que antes era amarelo-brunada (10YR6/6) no “Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese” e que agora passa gradualmente para amarelo-olivácea/amarela (2.5Y6.5/6). Essa mudança nas matrizes, destacada pela diferença de matizes, sugere provavelmente o início de hidromorfia sobre o horizonte B1.

A generalização dessa matriz amarelo-olivácea em B1Bhs e o escurecimento da sua cor, que se torna mais bruna nos horizontes Bhs (a 30 cm e a 90 cm) e Bh, mostram a continuidade da hidromorfia sobre o horizonte B1 e o início da podzolização, a partir da acumulação de matéria orgânica nos poros. Em Bhs, as cores brunas de baixos valores e cromas tornam-se dominantes e surgem as matrizes bruno-avermelhadas. Também há uma mudança textural de areia franca para areia no topo (a 30 cm), o que mostra uma depleção de argila. Todas essas alterações indicam maior mobilidade e acúmulo de matéria orgânica sobre as matrizes lateríticas amarelo-brunadas e, também, revela a passagem de uma frente de lixiviação no topo.

Nos horizontes superficiais, fica mais evidente a superimposição da frente de lixiviação formada pela língua arenosa, uma vez que as cores adquirem matrizes mais acinzentadas e, a textura torna-se areia (Fig. 24).

Em maior profundidade, na transição do horizonte Bhs (a 90 cm) para o Bh, as matrizes avermelhadas desaparecem predominando as brunado-acinzentadas. A textura e estrutura continuaram as mesmas (areia franca e maciça), porém nos resultados granulométricos, foi apontado um pequeno decréscimo de argila no Bh, em relação ao Bhs. Assim, essa perda de argila, aliada à mudança de cor, evidencia a passagem da frente de lixiviação que está atingindo a parte basal dos perfis, originando o setor inferior da dupla língua.

B) DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA

Na transição de B1 para B1Bhs são encontrados dois fundos matriciais: um *bruno-oliváceo* e outro *vermelho-brunado* (Fig. 25-A). O *fundo matricial bruno-oliváceo* apresenta plasma de cor bruno-olivácea (LN), mais denso (20%) e configura uma estrutura porfírica aberta/enáulica. Os grãos do esqueleto têm tamanhos, que variam entre 30 a 160 μm e a porosidade é em torno de 20%, sendo formada por cavidades e câmaras, seguidas por empilhamento complexo e por canais (Fig. 25-A). O *fundo matricial vermelho-brunado* é discordante sobre o *bruno-oliváceo*. Possui plasma de cor vermelho-brunada (LN) e estrutura de base inicialmente quitônica, em torno dos grãos, e depois progride em enáulica, formando pequenos grânulos (Fig. 25-B).

No horizonte Bhs da parte inferior (a 90 cm) existem, ainda, relíquias do *fundo matricial bruno-oliváceo*, cortado pelo *fundo matricial vermelho-brunado*, que se generaliza. O plasma permanece com a cor vermelho-brunada (LN), porém se torna mais denso (35%). A estrutura dominante é enáulica, e secundariamente porfírica (Fig. 25-C). O esqueleto preserva as mesmas características de B1Bhs e a porosidade aumenta um pouco para aproximadamente 25%

No horizonte Bh o *fundo matricial vermelho-brunado* e o *bruno* também observado na parte inferior da dupla língua, desaparecem gradualmente, dando lugar ao *amarelo-oliváceo*, também descrito no domínio hidromórfico (Fig. 25-D).

Na parte superior, o horizonte Bhs (a 30 cm) tem fundo matricial *amarelo-oliváceo* cuja estrutura de base é gefúrica e, secundariamente, mônica. Tem plasma de cor bruno-olivácea (LN) (5%) (Fig. 26-A). Esse fundo está sendo superimposto pelo *vermelho-brunado* (dominante), descrito, porém seu plasma possui cor mais brunada e é menos denso que em Bhs (a 90 cm) (25%). A estrutura de base é enáulica/porfírica, podendo ser observados grânulos de matéria orgânica na porosidade intersticial; o esqueleto apresenta grãos de tamanhos menores (30 a 50 μm dominantes) (45%) e a porosidade mantém-se a mesma.

No horizonte superficial A12E o *fundo matricial amarelo-oliváceo*, visto em Bhs (a 30 cm) é dominante sobre o *vermelho brunado* (Fig. 26-B). O plasma passa a ter uma

cor bruna e se distribui numa estrutura dominante mônica e secundária gefúrica/enáulica. O esqueleto é semelhante ao observado em Bhs (a 30 cm), podendo ser observada uma orientação dos grãos; a porosidade aumenta para 30%, sendo formada por canais, cavidades e empilhamento simples e complexo.

Na passagem lateral do horizonte A12E para EA12, o *fundo matricial amarelo-oliváceo* desaparece gradualmente e dá lugar a um *acinzentado*. Nesse, o plasma não mais existe e a estrutura é essencialmente mônica, com grãos soltos (Fig. 26-C). A porosidade diminui para 25%, sendo constituída por empilhamento simples e, o esqueleto mantém as mesmas características A12E.

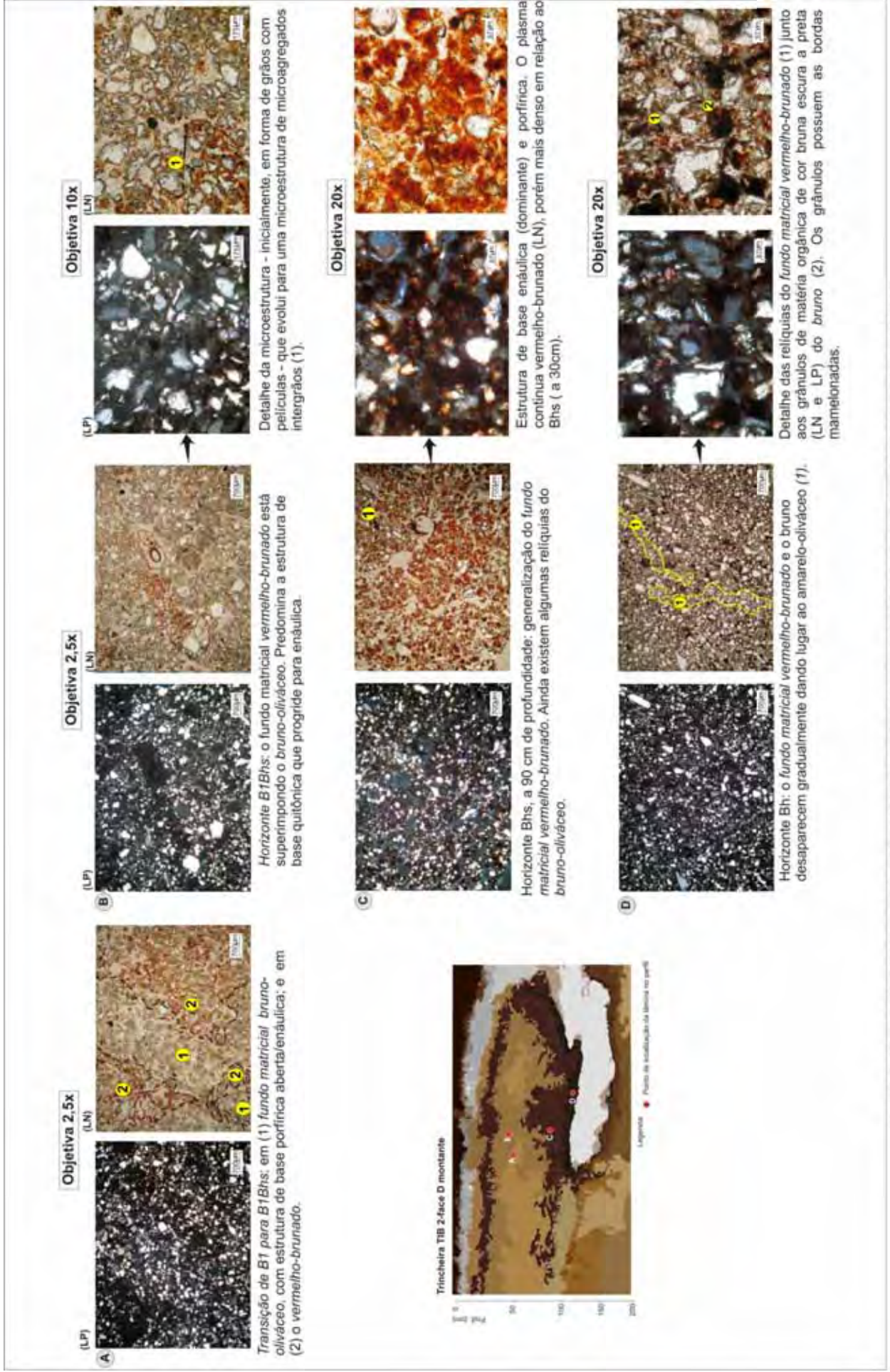


Figura 25- Fotos ao microscópio óptico da podzolização de horizontes lateríticos na parte superior da dupla língua (Parte I)

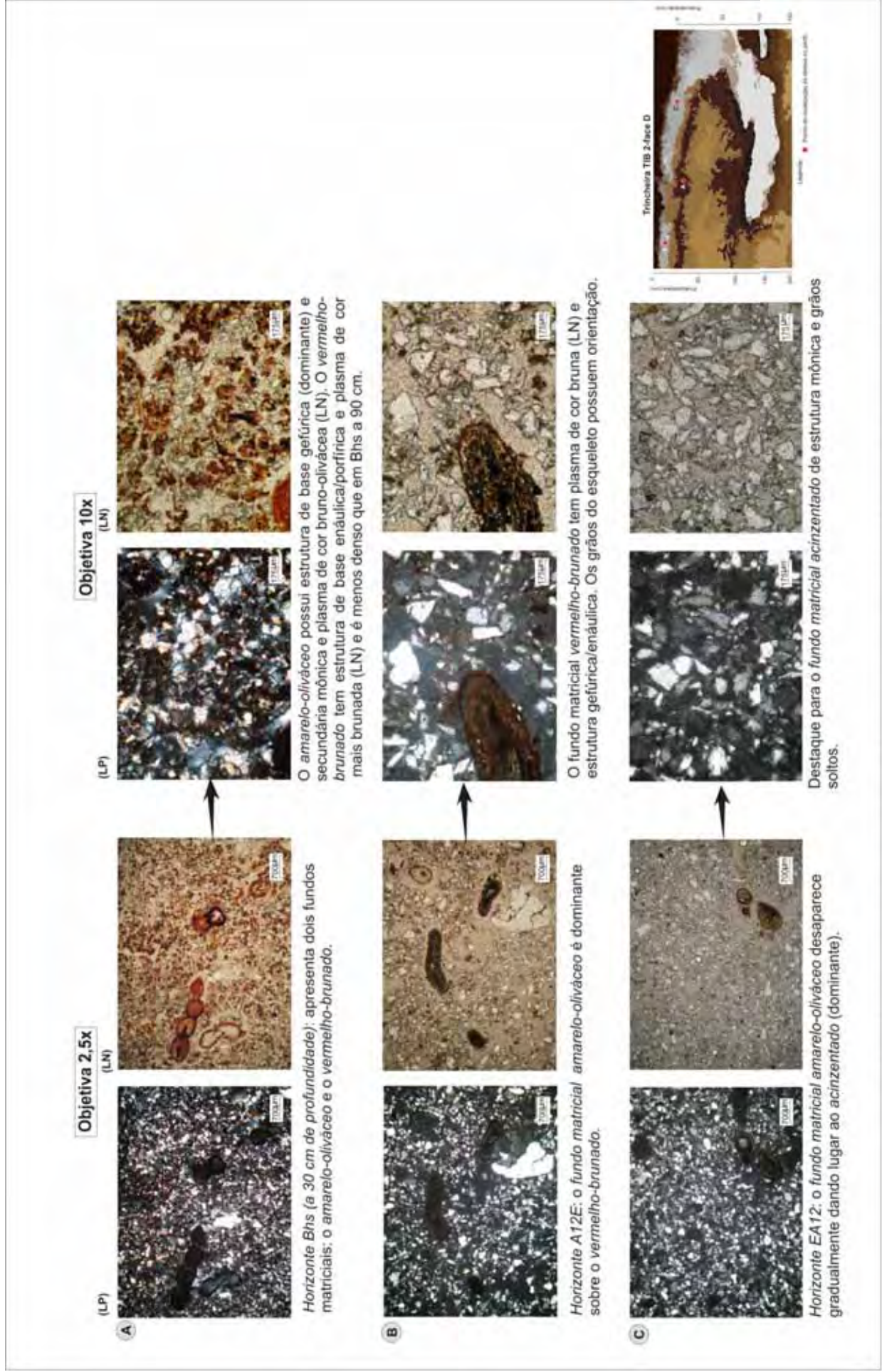


Figura 26- Fotos ao microscópio óptico da podzolização de horizontes lateríticos na parte superior da dupla língua (Parte II)

INTERPRETAÇÕES

Desde o “Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese”, o horizonte B1 mostrava o início da impregnação por matéria orgânica no *fundo matricial brunado*, que caracterizava o horizonte B1Bh.

No “Domínio Podzolizado” existe uma continuidade dessas impregnações, que se tornam mais expressivas, dando origem inicialmente ao horizonte B1Bhs e, posteriormente, ao horizonte Bhs. A presença de relíquias do *fundo matricial bruno-oliváceo*, do horizonte B1, nos horizontes B1Bhs e Bhs (a 30 e a 90 cm) e o aparecimento do *fundo matricial vermelho brunado*, mais dominante em Bhs (a 90 cm), evidenciam a entrada de compostos orgânicos, que podem estar ligados aos metais, estão superimpondo o fundo matricial de B1 (*bruno-oliváceo*) e levando à formação dos horizontes espódicos.

O desaparecimento gradual dos *fundos matriciais vermelho-brunado e bruno*, no horizonte Bh, e o surgimento do *amarelo-oliváceo* indicam que uma frente de lixiviação está, possivelmente, causando a dissolução e saída de compostos organo-metálicos. Essa frente de lixiviação corresponde àquela descrita na parte inferior da dupla língua arenosa.

Nos horizontes superficiais Bhs (a 30 cm), A12E e EA12, reencontrou-se esse fundo matricial *amarelo-oliváceo* que dá lugar gradualmente ao *acinzentado*. Essa configuração no topo deve-se à passagem da frente de lixiviação, que equivale à dupla língua arenosa superior.

Essas transformações identificadas a partir dos fundos matriciais do horizonte B (*bruno-oliváceo e brunado*) indicam os seguintes eventos: i) passagem de uma frente de lixiviação nos horizontes superiores e ii) mobilização de compostos, possivelmente, organo-metálicos nos horizontes superiores e, posterior acumulação nos horizontes B, formando os horizontes B1Bhs, Bhs e Bh de caracteres espódicos.

4.2.3. SÍNTESE DAS INTERPRETAÇÕES

No “Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese”, foi mostrada a verticalidade do desenvolvimento do solo sobre um mesmo material de origem (Fig. 27- i), visualizada pela geometria dos horizontes, aproximadamente paralela; cor e textura, predominantemente amarelo-brunadas e areia franca, e pelas transformações mineralógicas, no nível microscópico, no fundo matricial amarelado de alteração, que passa para amarelo-avermelhado na direção do topo (Fig. 28). No topo, pôde ser visto o primeiro evento de acumulação de matéria orgânica sobre os horizontes B1 e A12 (em B1Bh). As análises de laboratório apresentadas nos próximos itens acrescentam dados às descrições e permitirão uma melhor identificação e caracterização mineralógica.

Na “Justaposição Lateritização/Hidromorfia” procuraram-se evidências da atuação da hidromorfia sobre os horizontes lateríticos de alteração e pedogênese (Fig.27-ii). No nível macroscópico, essas evidências foram ressaltadas pelas matrizes claras de valores elevados, discordantes em relação às matrizes brunadas do perfil laterítico; pela presença de nódulos ferruginosos endurecidos e mosqueados no topo de BgE e pela descontinuidade textural, com o aparecimento de horizontes arenosos justapostos aos horizontes de textura areia franca. No nível microscópico foi mostrada uma reorganização do fundo matricial amarelado de alteração que se torna oliváceo (Fig.28), permitindo levantar a hipótese da existência da justaposição da hidromorfia sobre a lateritização. Os resultados das análises físico-químicas e mineralógicas apresentados nos itens adiante irão ajudar na averiguação dessa hipótese, assim como revelar se as transformações na mineralogia dos horizontes lateríticos de alteração e pedogênese iniciam-se a partir do processo de hidromorfia.

Nas descrições de campo e de micromorfologia do “Domínio Podzolizado”, foram evidenciadas, na parte inferior da dupla língua, a mobilização e a impregnação do ferro e da matéria orgânica sobre os horizontes de alteração hidromorfizados (Fig.27-iii); e, ao mesmo tempo, foi descrita a passagem de uma frente de lixiviação, responsável pela dissolução e mobilização desses possíveis compostos organometálicos, que deram origem aos horizontes lixiviados (Fig. 27-iv). Na parte superior da dupla língua, foi mostrado o início da impregnação da matéria orgânica nos

horizontes B lateríticos, que configura uma seqüência de horizontes espódicos (Fig. 27-iii). Em direção do topo, nos horizontes superficiais, surgem características (cores acinzentadas, textura areia, fundo matricial amarelo-oliváceo a acinzentado) (Fig. 28), que demonstram a passagem de uma frente de lixiviação (Fig. 27-iv). Provavelmente, essa frente de lixiviação contribui para a mobilização de possíveis compostos organo-metálicos nos horizontes superiores, os quais são posteriormente acumulados nos horizontes B espódicos. As descrições não permitiram avaliar se houve transformações mineralógicas nesses horizontes podzolizados. Isso será verificado por meio das análises de laboratório, apresentadas adiante, as quais também confirmarão esses fatos.

Enfim, as descrições macro e micromorfológicas apresentadas procuraram evidências que demonstrassem as principais transformações sobre o domínio dos horizontes lateríticos de alteração e de pedogênese, que resultassem na formação do domínio dos horizontes podzolizados. Contudo, serão as análises de laboratório mostradas nos próximos itens, que irão comprovar as evidências apresentadas nesta Dissertação.

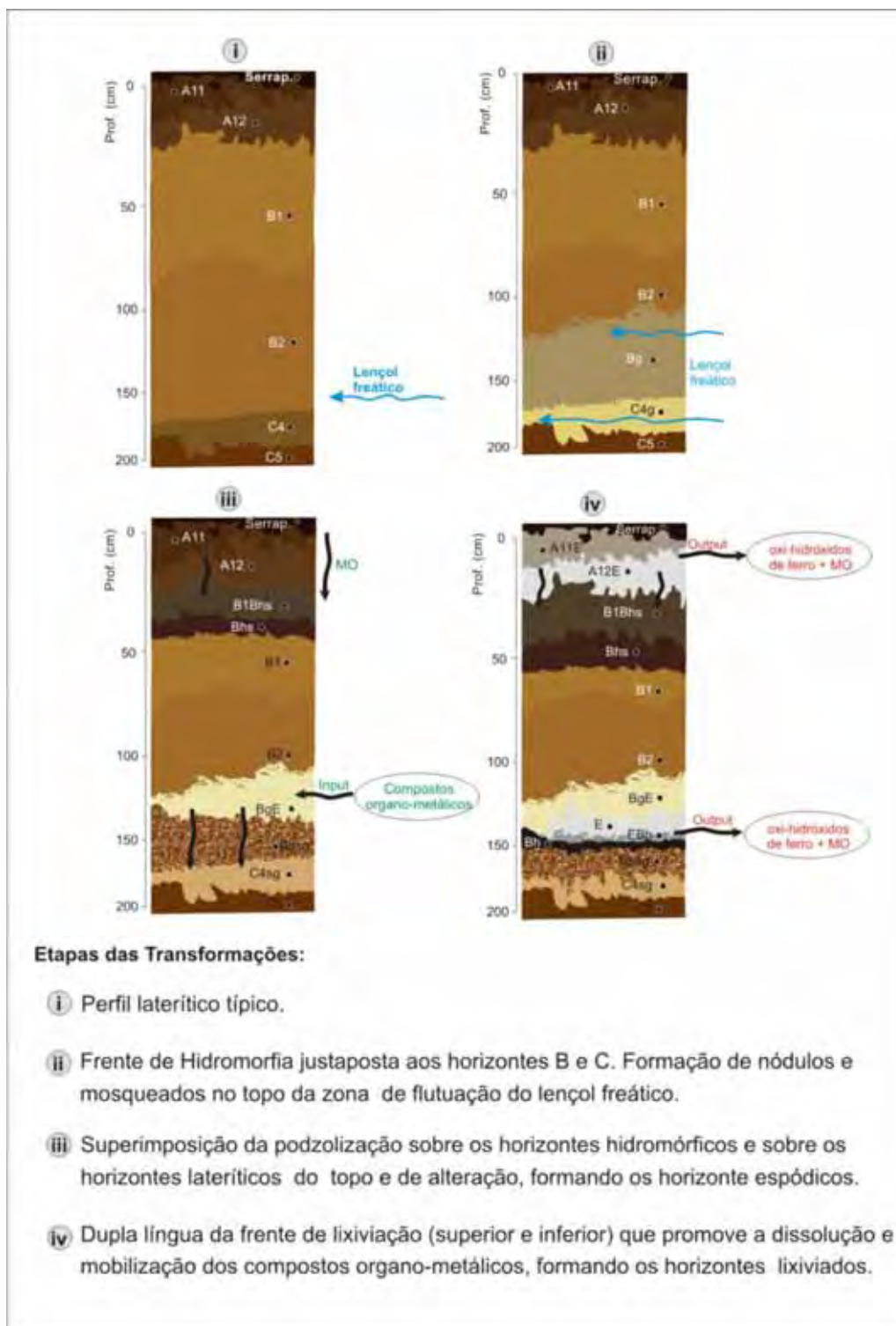


Figura 27 - Seqüência de transformações do sistema laterítico para podzolizado

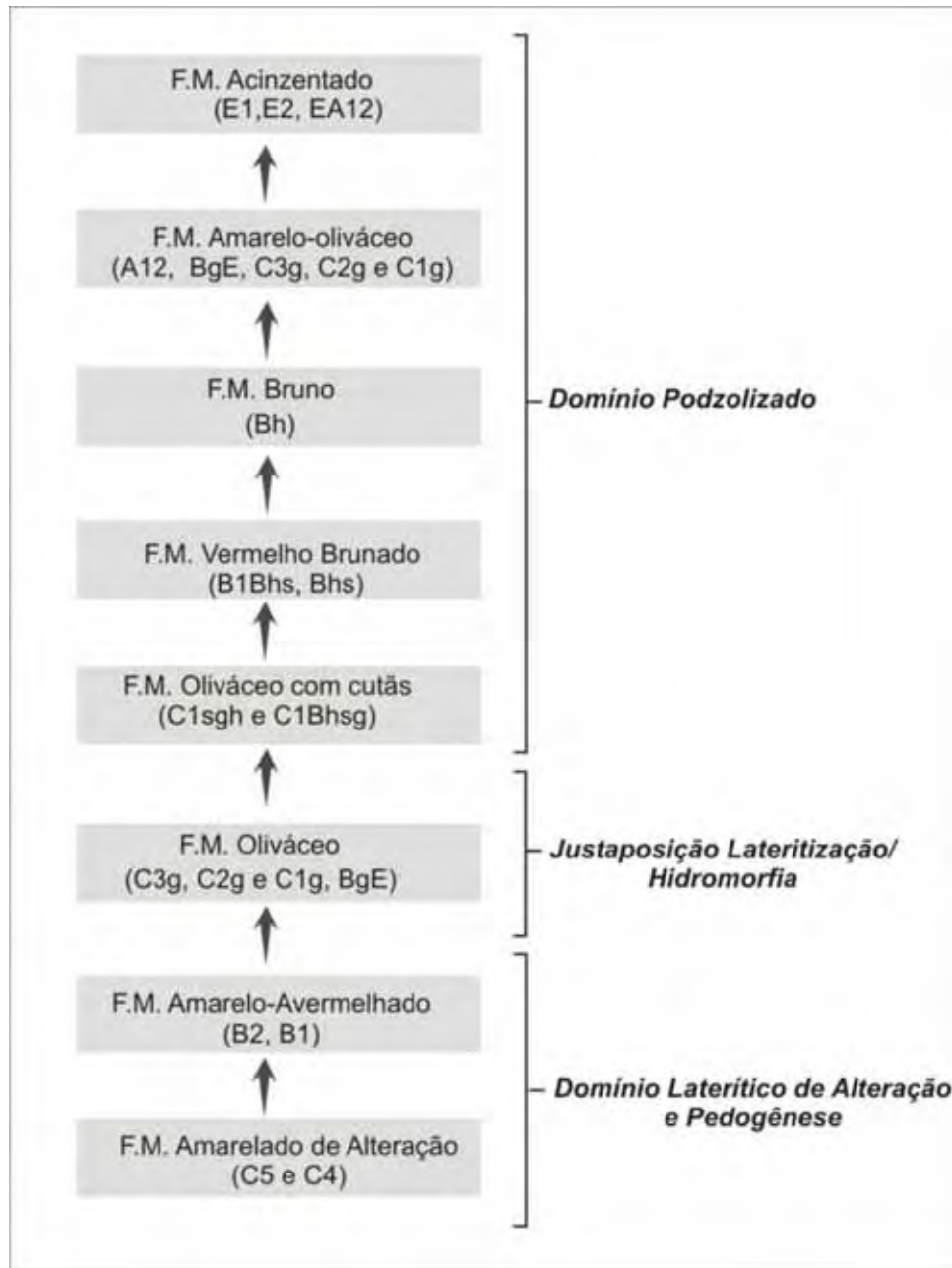


Figura 28 – Síntese da evolução dos fundos matriciais (F.M.) dos domínios de solos estudados

4.3 ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DOS DOMÍNIOS DE SOLOS

Nesta seção, serão descritos e discutidos os resultados das análises de granulometria, de complexo de troca adsorvente e de mineralogia de cada domínio de solos, visando a averiguar as hipóteses levantadas a partir das descrições macro e micromorfológicas. Esses resultados também permitirão compreender as principais transformações mineralógicas estabelecidas nos domínios laterítico e podzolizado.

4.3.1 DOMÍNIO LATERÍTICO DE ALTERAÇÃO E PEDOGÊNESE

4.3.1.1 DA LATERITIZAÇÃO AO INÍCIO DA ACUMULAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

As análises e discussões foram feitas, baseando-se nos resultados da trincheira TIB3, que melhor representa o domínio laterítico. Dados da trincheira TIB1 também foram utilizados para auxiliar nas caracterizações e demonstrações desse domínio, embora essa trincheira já apresente horizontes em fase inicial de hidromorfia e podzolização, os quais não foram analisados nas discussões.

- ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os resultados dessa análise são apresentados na Tabela 1 e no Apêndice B. A distribuição dos resultados das trincheiras TIB3 e TIB1, representada na Figura 29, mostra que a fração da areia fina é dominante nos horizontes lateríticos (acima de 67%), enquanto as argilas mantêm baixos teores (inferior a 10%). Em maior profundidade, os horizontes de alteração C5 e C4 destacam-se com valores mais altos de argila (12% a 27%) e de areia grossa (28 a 45%).

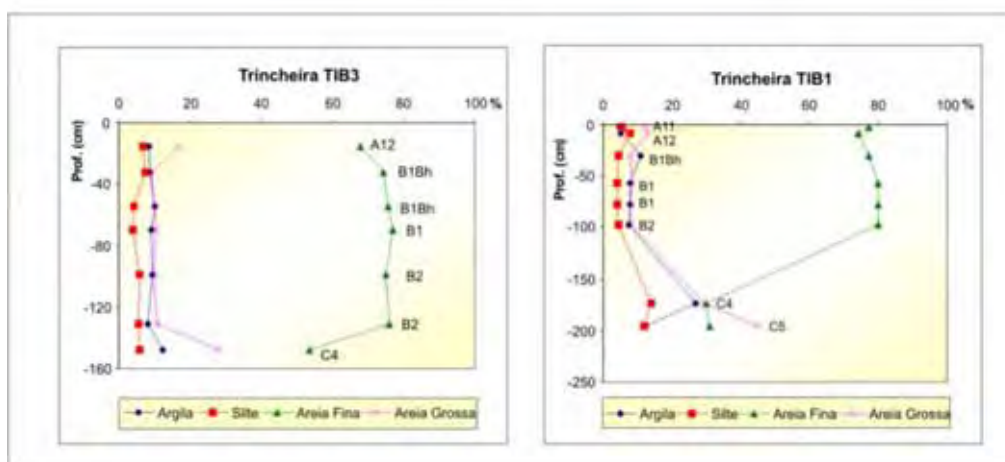


Figura 29 – Distribuição percentual da granulometria nos perfis do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese

INTERPRETAÇÕES

A distribuição percentual das diferentes frações granulométricas, por trincheira, indicou uma redução da percentagem de argila na direção do topo (Fig. 29). Isso reafirma a existência de uma perda dessa fração, observada nas descrições de campo, que dá origem aos horizontes empobrecidos em argila.

Nos horizontes de alteração C5 e C4, das trincheiras TIB3 e TIB1, encontraram-se os maiores teores de areia grossa (Fig. 29) apoiando, portanto, as descrições micromorfológicas, que mostraram a presença de uma grande quantidade de cristais e fragmentos de minerais primários. Entretanto, no horizonte C4, essa fração grosseira reduz-se e dá lugar à fração argilosa (Fig. 29), demonstrada na micromorfologia, pelo surgimento do fundo matricial amarelado de alteração.

Esses resultados evidenciam que a alteração dos minerais é mais forte, a partir do horizonte C4 em direção da superfície.

- ANÁLISE QUÍMICA DO COMPLEXO DE TROCA ADSORVENTE

Os resultados químicos do complexo de troca adsorvente foram tratados na forma gráfica, mostrando a variação em profundidade no perfil TIB3 dos teores de cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3}), acidez potencial (H+Al), pH em H_2O e em KCl, SB, CTC (T), nitrogênio total e carbono (Fig.30-A, 30-B, 30-C). Os resultados brutos encontram-se no Apêndice C (Tab. 2 e 3).

As condições químicas desse domínio laterítico são caracterizadas por um ambiente ácido, cujo pH em H_2O varia de 3,4 a 6,0 e em KCl de 3,1 a 5. A acidez se apresenta mais elevada¹¹ nos horizontes superficiais (Fig. 30-A).

Os resultados assinalaram, na trincheira TIB3, quantidades baixas de cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2}), SB e CTC (T), destacando-se os maiores teores nos horizontes superficiais e uma depleção em direção à base (Fig.30-B). Os valores de V (saturação de bases) oscilaram entre 0,6% a 2,5% nos horizontes lateríticos, que foram classificados como solos distróficos. A quantidade de Al trocável¹² foi variável, revelando teores médios a altos nos horizontes superficiais (0,76 a 2,76 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) e teores baixos, chegando a nulo, nos horizontes mais profundos (Tab. 2 – Apêndice C). Os resultados de acidez potencial (H+AL), carbono e nitrogênio total, também apontaram quantidades mais elevadas nos horizontes da superfície (Fig. 30-B).

¹¹ A classificação de pH utilizada foi proposta por Tomé Jr. (1997) que considera acidez elevada ≤ 5 , acidez média na faixa de 5,0 a 5,9 e acidez fraca entre 6,0 a 6,9.

¹² A avaliação do teor de Al trocável considerou a classificação proposta por Tomé Jr. (1997): teor baixo $< 0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, médio de 0,5 a 1,5 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ e alto $> 1,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$.

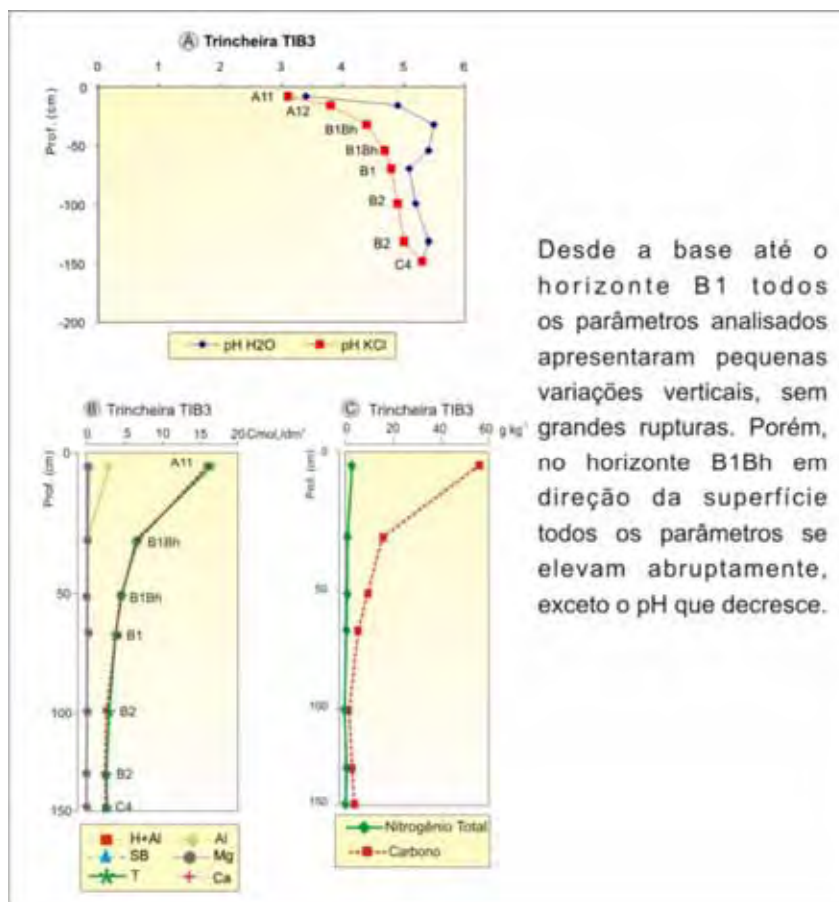


Figura 30 – Distribuição do pH em H₂O e em KCl, dos cátions trocáveis, H+Al, SB, T, nitrogênio total e carbono na trincheira TIB3 do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese

INTERPRETAÇÕES

A distribuição dos resultados nos gráficos mostrou maiores concentrações de bases, Al trocável, H+Al, SB, T, pH, nitrogênio total e carbono nos horizontes superficiais. A ausência de fortes rupturas, até o horizonte B1 e a variação vertical gradual dos parâmetros, no gráfico, são características de perfis lateríticos, com filiação vertical. A partir do horizonte B1Bh em direção ao topo, observa-se uma descontinuidade vertical dos parâmetros analisados, devido à influência da matéria orgânica acumulada. Os resultados de pH auxiliam na demonstração dessa descontinuidade, evidenciando nos horizontes superficiais uma acidez elevada, já que a matéria orgânica é uma das principais fontes de íons H⁺ solúveis ao solo.

A análise química do complexo de troca adsorvente revelou, também, um solo extremamente empobrecido em argila, com argilas de baixa atividade.

- ANÁLISE QUÍMICA TOTAL POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX)

Os resultados obtidos na análise química total, por meio da Fluorescência de Raio-X (FRX) nas trincheiras TIB3 e TIB1, podem ser observados na Tabela 4.1e na Figura 31.

Tabela 4.1 – Resultados da análise química total por fluorescência de raios-x (FRX) nas trincheiras TIB3 e TIB1

Perfil	Hor.	Prof. (méd.) cm	(1)SiO ₂	(1)Al ₂ O ₃	(1)Fe ₂ O ₃ (T)	(1)MnO	(1)MgO	(1)CaO	(1)Na ₂ O	(1)K ₂ O	(1)TiO ₂	(1)P ₂ O ₅	(1)LOI	Total	Relação SiO ₂ :Al ₂ O ₃
			%												
TIB3	A11	8	83,4	1,94	1,33	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,603	0,05	12,9	100,30	43
	A12	15	89,6	1,72	0,62	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,702	0,03	6,35	99,06	52
	B1Bh	32	86,8	3,49	1,50	< 0,01	0,01	0,02	0,03	< 0,01	0,749	0,04	6,32	98,99	25
	B1Bh	54	88,4	4,27	1,64	< 0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,902	0,04	4,85	100,20	21
	B1	70	88,5	4,16	1,59	0,01	0,02	0,02	0,05	0,05	0,89	0,04	3,85	99,21	21
	B2	99	89,8	3,88	1,52	0,01	0,02	0,02	0,03	0,08	0,877	0,04	3,22	99,47	23
	B2	131	89,5	4,20	1,54	< 0,01	0,03	0,01	0,04	0,05	0,878	0,03	3,16	99,41	21
	C4	148	80,1	8,03	3,80	0,02	0,28	0,03	0,05	0,90	1,068	0,04	5,82	100,20	10
TIB 1	A11	2	85,24	1,76	1,28	0,01	0,01	0,02	0,06	< 0,01	0,55	0,04	10,63	99,58	48
	A12	8	88,75	2,42	1,29	< 0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,59	0,03	7,00	100,20	37
	B1Bh	30	87,14	3,70	1,48	< 0,01	0,01	0,01	0,04	0,03	0,76	0,03	5,82	99,04	24
	B1	57	89,63	3,61	1,45	< 0,01	0,01	< 0,01	0,03	0,05	0,84	0,03	3,37	99,05	25
	B1	78	63,78	3,57	1,41	< 0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,86	0,03	29,00	98,77	18
	B2	97	91,98	3,41	1,35	< 0,01	0,02	0,01	0,04	0,05	0,85	0,03	2,70	100,50	27
	BgE	124	94,30	1,62	1,08	< 0,01	0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	0,65	0,03	1,34	99,09	58
	Eg	143	97,75	0,60	0,72	< 0,01	0,01	0,01	0,03	< 0,01	0,74	0,02	0,46	100,30	163
	Bhg	155	90,77	2,87	0,86	< 0,01	0,03	0,02	0,02	0,08	1,20	0,03	3,17	99,06	32
	C4	174	59,43	20,56	3,04	0,03	0,40	0,08	0,03	0,78	1,43	0,05	13,94	99,76	3
C5	196	56,78	19,78	4,67	0,07	1,02	0,17	0,19	5,27	1,49	0,08	10,30	99,83	3	

⁽¹⁾ Método de Referência: FUS-ICP

Os dados da Tabela 4.1 mostram uma predominância dos elementos SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ e TiO₂ em todas as amostras analisadas, com maior destaque para SiO₂. Os outros componentes analisados ocupam, em geral, valores inferiores a 1%, com exceção do elemento K₂O no horizonte C5 da TIB1. A relação SiO₂:Al₂O₃ aumenta da base em direção ao topo, nas duas trincheiras (TIB3 e TIB1).

Os resultados dos elementos dominantes foram representados graficamente na Figura 31, mostrando suas distribuições verticais, na trincheira TIB3 e TIB1.

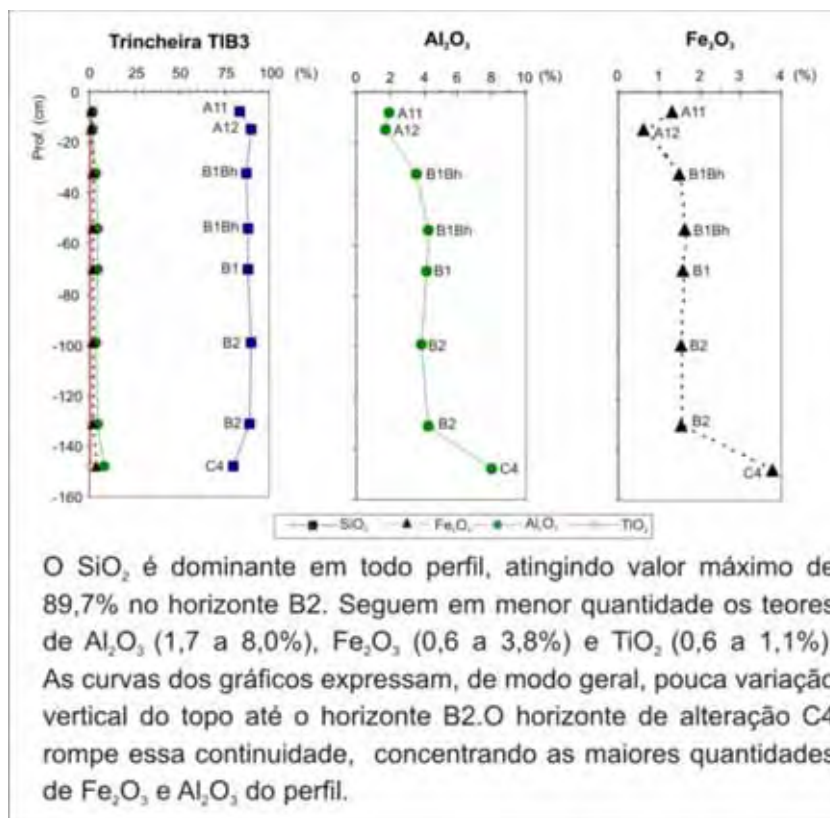


Figura 31 – Distribuição dos resultados da análise química total por FRX no Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese

INTERPRETAÇÕES

O domínio de SiO_2 em todo o perfil, corrobora os resultados obtidos nas análises granulométricas e do complexo de troca adsorvente, que evidenciaram o predomínio da fração areia quartzosa e o empobrecimento em argila.

Os horizontes C4 e C5 das trincheiras TIB3 e TIB1 mostraram os mais altos teores de K_2O , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , TiO_2 e uma menor relação $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$. Isso indica que esses elementos são constituintes da fração argilosa, confirmando, portanto, as análises de granulometria. No horizonte C5 esses teores foram mais elevados, indicando uma alteração mais fraca dos minerais primários em relação aos horizontes superiores.

- ANÁLISE QUÍMICA DAS EXTRAÇÕES DE CBD E OXALATO

Os conteúdos de Fe, Al e Si extraídos pelo tratamento de CBD e oxalato estão referidos na Tabela 4.2 e mostram a quantidade de óxidos de ferro e hidróxidos de alumínio, bem cristalizados no domínio laterítico, a partir dos dados químicos (Fed-Feo e Ald-Alo). Esses resultados também permitiram calcular a substituição por Al na goethita, pela fórmula sugerida por Jeanroy *et al.* (1991): $Al\% = (Al_d - Al_o) / [(Fe_d - Fe_o) + (Al_d - Al_o)]$ e avaliar o caráter espódico dos horizontes, de acordo com os critérios químicos propostos pelo FAO (1998): $C \geq 6$ e $Al_o + \frac{1}{2} Fe_o > 5$.

Os resultados apontaram que os óxidos de ferro bem cristalizados estão presentes em maiores quantidades nos horizontes de alteração C4 e C5 dos perfis TIB3 e TIB1 (173,1 a 77,2 g.Kg⁻¹) e estão decrescendo abruptamente na direção do topo (46,9 a 7,1 g.Kg⁻¹). A relação Feo:Fed (Tab. 4.2) demonstra essa depleção.

A quantidade de alumínio bem cristalizado (Ald-Alo) é variável. Os horizontes de alteração C5 e C4, seguidos do horizonte B1Bh, apresentaram os maiores valores (41,0 a 37,0 g.Kg⁻¹).

O cálculo da substituição de alumínio na goethita mostrou que nos horizontes superficiais e no horizonte B1Bh há uma maior substituição (10,6 a 15,5%), enquanto nos horizontes de alteração C5 e C4 se dá de forma menos expressiva (7,2% a 4,4%).

Os horizontes que apresentaram caráter espódico foram encontrados próximos ao topo das trincheiras TIB3 e TIB1. São os horizontes B1Bh, em ambas as trincheiras, e o A12 da TIB1. Abaixo do horizonte B1Bh os materiais espódicos são ausentes.

Tabela 4.2 - Resultados químicos das análises de CBD (d) e oxalato (o) dos horizontes do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese

Perfil	Hor.	Prof. Média (cm)	CBD			OXALATO			Grau de Cristalização			Feo:Fed	Substituição Al		Critérios Espódicos		Caráter Espódico
			Ald	Fed	Sid	Alo	Feo	Sio	Ald-Alo	Fed-Feo	Sid-Sio		g Kg ⁻¹	%	Alo+1/2Feo	C	
TIB3	A11	8	17,1	23,0	12,6	1,5	4,9	0,4	15,6	18,0	12,3	0,22	0,5	11,0	4,0	55,7	N
	A12	15	21,0	32,2	8,0	1,7	4,8	0,3	19,2	27,4	7,7	0,15	0,4	9,8	4,1	ND	S
	B1Bh	32	41,1	46,6	5,8	4,2	4,7	0,4	37,0	41,9	5,4	0,10	0,5	11,2	6,5	16,3	S
	B1Bh	54	41,9	50,9	6,6	4,5	4,0	0,4	37,4	46,9	6,2	0,08	0,4	10,6	6,5	8,9	S
	B1	70	31,9	49,8	5,5	5,0	4,3	0,5	26,9	45,5	5,0	0,09	0,4	8,8	7,2	4,5	N
	B2	99	23,6	48,2	5,0	4,2	3,6	0,4	19,5	44,6	4,6	0,07	0,3	7,2	6,0	0,8	N
	B2	131	17,5	37,1	-0,9	4,6	3,7	0,5	12,9	33,4	-1,3	0,10	0,3	6,6	6,4	3	N
	C4	148	47,6	179,5	-1,2	8,0	6,4	1,1	39,5	173,1	-2,4	0,04	0,2	4,4	11,2	3,7	N
TIB1	A11	2	14,9	12,2	5,5	1,7	5,0	0,5	13,2	7,1	5,1	0,41	0,7	15,5	4,2	ND	ND
	A12	8	26,4	29,8	3,4	2,5	4,8	0,3	23,9	25,0	3,2	0,16	0,5	11,6	4,9	23,7	S
	B1Bh	30	45,9	50,3	3,7	4,9	4,4	0,4	41,0	45,9	3,3	0,09	0,5	11,2	7,1	13,3	S
	B1	57	30,6	43,8	3,4	4,4	4,1	0,4	26,3	39,6	3,0	0,09	0,4	9,5	6,4	3	N
	B1	78	25,2	43,2	3,1	3,9	3,3	0,4	21,3	39,9	2,7	0,08	0,3	8,3	5,6	3	N
	B2	97	18,6	42,8	2,7	4,1	3,6	0,5	14,5	39,2	2,3	0,08	0,3	6,4	5,9	1,5	N
	BgE	124	11,8	4,9	3,0	2,2	3,7	0,5	9,6	1,2	2,5	0,75	0,9	21,1	4,0	0,8	N
	Eg	143	5,1	-0,3	0,8	0,7	2,7	0,2	4,4	-3,0	0,6	-9,34	3,1	72,9	2,0	0,8	N
	Bhg	155	24,3	1,9	3,1	3,2	3,0	0,5	21,1	-1,1	2,6	1,55	1,1	25,1	4,7	4,5	N
	C4	174	54,6	81,0	4,5	21,3	3,7	2,7	33,3	77,2	1,8	0,05	0,3	7,2	23,2	4,5	N
C5	196	42,2	84,4	3,4	19,5	6,5	3,4	22,7	77,9	0,0	0,08	0,2	5,4	22,7	ND	ND	

ND: Não Determinado

INTERPRETAÇÕES

As concentrações de ferro e de alumínio bem cristalizados nos horizontes de alteração C5 e C4 reafirmam que a alteração dos minerais é mais fraca na base. Essas transformações mineralógicas tornam-se mais intensas na direção do topo, onde se observou uma depleção desses elementos. Por outro lado, o aumento significativo de alumínio bem cristalizado no horizonte B1Bh pode estar relacionado com minerais residuais associados à fase lateritizante.

O incremento da relação Feo:Fed na direção da superfície, também, mostra que há um leve aumento na quantidade de complexos organo-Fe nos horizontes do topo; aliada a uma substituição por alumínio na goethita de modo mais forte.

A presença da goethita aluminosa e o aumento da substituição por alumínio, em direção da superfície dos horizontes, explicam as matrizes com tons amarelados descritas na macro e micromorfologia. Segundo Fritsch *et al.* (1986), as dissoluções de hematitas e a recristalização do ferro na forma de goethita aluminosa são responsáveis pelas cores amareladas.

Os resultados químicos apontaram o caráter espódico do horizonte B1Bh, validando as evidências indicadas pelo escurecimento da cor, na escala macro, e mudança no fundo matricial, no nível microscópico e maior concentração de carbono e nitrogênio, na análise do complexo de troca adsorvente (Fig. 30-C). Todos esses resultados legitimam a hipótese do início de acumulação de matéria orgânica sobre o horizonte B1, ainda no domínio laterítico de alteração e pedogênese.

- ANÁLISES MINERALÓGICAS

A mineralogia dos horizontes do domínio laterítico está identificada nas Figuras 32 e 33 e nos difratogramas das trincheiras TIB3 e TIB1 (Apêndice D).

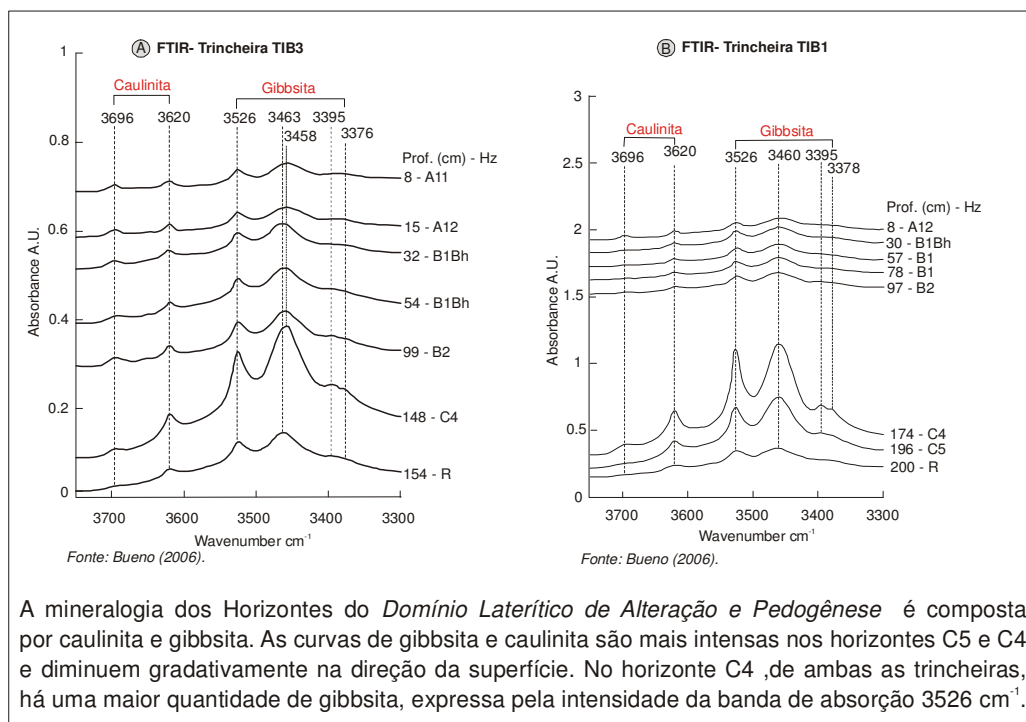


Figura 32 – Análise mineralógica ao infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese

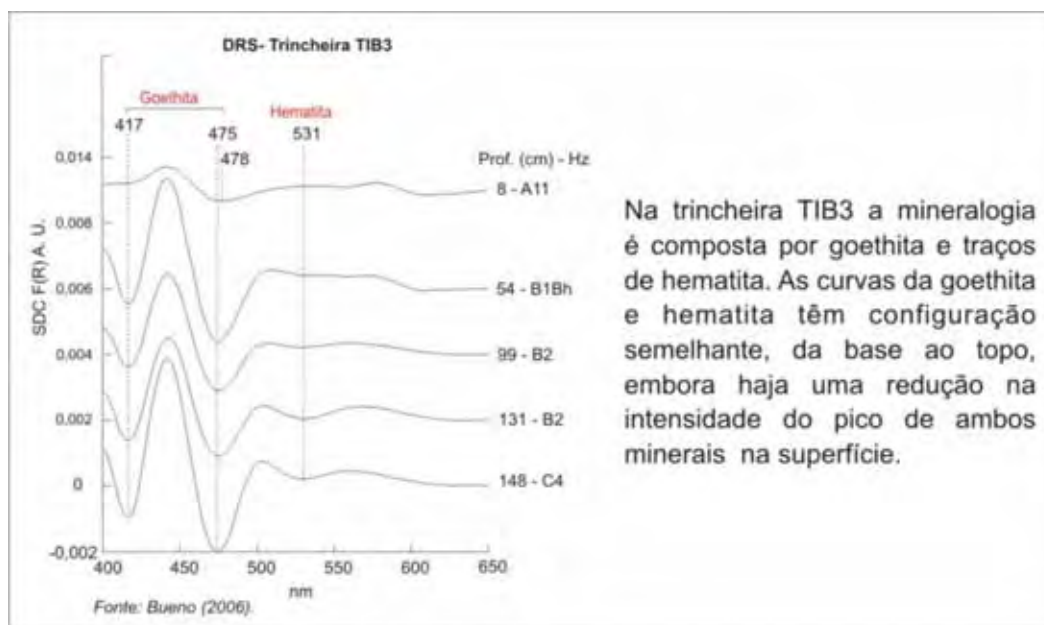


Figura 33 – Análise mineralógica de espectroscopia por reflectância difusa (DRS) no Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese

De acordo com os resultados mineralógicos, os horizontes do Domínio Laterítico são constituídos na fração argila, predominantemente, por quartzo (Apêndice D) e, secundariamente, pelos argilo-minerais caulinita e gibbsita (Fig. 32-A, 32-B e Apêndice D) e pelos óxidos de ferro goethita e hematita (Fig. 33). Os minerais acessórios identificados foram o anatásio e o rutilo, mais resistentes à alteração (Apêndice D).

INTERPRETAÇÕES

A mineralogia do Domínio Laterítico mostrou, de modo geral, picos e espectros mais intensos nos horizontes de alteração C5 e C4 das trincheiras TIB3 e TIB1, confirmando, portanto, as concentrações elevadas de ferro e de alumínio bem cristalizados detectadas na análise química por CBD e oxalato, juntamente com os altos teores de Al_2O_3 e Fe_2O_3 verificados nas análises por FRX. Esses elementos estão incorporados principalmente nas estruturas da hematita, goethita, gibbsita e caulinita.

O espectro do infravermelho permitiu semiquantificar a proporção relativa de gibbsita e caulinita – revelando um predomínio da gibbsita sobre a caulinita nos perfis – e a depleção de ambos minerais em direção do topo. Essa tendência corrobora os resultados de granulometria e de análise química, que apontaram o empobrecimento de argila e de compostos de ferro e de alumínio na superfície.

As curvas de infravermelho e de espectroscopia de reflectância difusa não demonstraram uma diferenciação no comportamento mineralógico do horizonte B1Bh, que está sendo impregnado pela matéria orgânica. Essa diferenciação poderá ser mais bem visualizada nas análises do domínio podzolizado.

A configuração semelhante das curvas, da base ao topo dos perfis, demonstra a filiação vertical dos horizontes lateríticos.

- ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Nessa análise espera-se comprovar a pseudomorfose da caulinita no horizonte de alteração C5 da trincheira TIB1, indicada na microscopia óptica pela morfologia da biotita. A biotita apresentava as bordas expandidas e, entre os planos de clivagem, aparecia um plasma vermelho-amarelado (Fig. 14-B). A sondagem foi feita sobre esse plasma, permitindo averiguar a composição química desse material. As micrografias e o espectrograma podem ser observados na Figura 34 que mostra picos muito intensos de Si e Al, seguidos pelo Fe, K e Mg no plasma sondado.

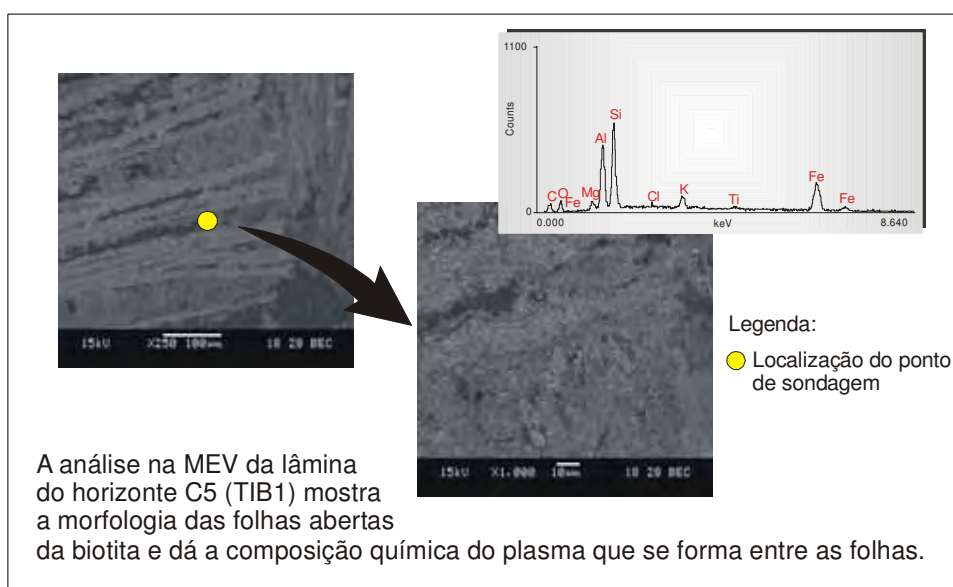


Figura 34 – Micrografias ao MEV e espectro ao EDS do plasma entre as folhas de biotita no horizonte C5 da trincheira TIB1

INTERPRETAÇÕES

O resultado do espectrograma possibilitou identificar, com clareza, a composição do plasma, mas os elementos constatados podem referir-se, tanto à composição da própria biotita ($(K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2(Al,Fe)(Si_3O_{10}))$), bem como à da caulinita ($(Al_2Si_2O_5(OH)_4)$) e goethita ($(FeOOH)$). Entretanto, a morfologia observada, tanto no nível do microscópio óptico, como no MEV (Fig. 34) reafirma a presença de caulinita.

SÍNTESE DAS INTERPRETAÇÕES

As análises de laboratório confirmaram as hipóteses levantadas nas descrições macro e micromorfológicas. As interpretações mostraram o desenvolvimento vertical do perfil laterítico a partir do mesmo material de origem; comprovaram o início da acumulação de matéria orgânica no horizonte B1 e possibilitaram caracterizar a composição mineralógica do Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese, o qual é constituído por gibbsita, caulinita, goethita, hematita, quartzo, anatásio e rutilo.

4.3.1.2 JUSTAPOSIÇÃO LATERITIZAÇÃO / HIDROMORFIA

As análises e discussões foram feitas a partir dos resultados da trincheira TIB2A.

- ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A distribuição dos resultados da trincheira TIB2A está representada na Figura 35, enquanto os resultados brutos encontram-se na Tabela 1 – Apêndice B.

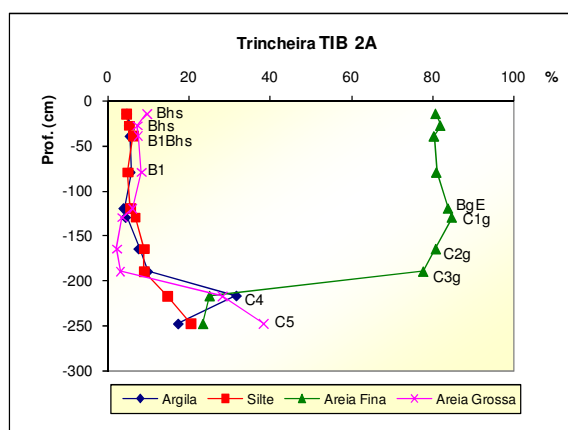


Figura 35 – Distribuição percentual da granulometria no perfil da justaposição lateritização/hidromorfia

A Figura 35 mostra que os horizontes da base do perfil (C5 e C4) são constituídos, predominantemente, por areia grossa e argila. Na direção do topo, essas frações decrescem abruptamente, enquanto a fração areia fina passa a ser dominante. Os

horizontes lateríticos hidromorfizados BgE e C1g destacam-se pelo menor teor de argila (<5%) e maior teor de areia fina (>88%) (Tab.1 – Apêndice B).

INTERPRETAÇÕES

As curvas da distribuição granulométrica na trincheira (Fig. 35) mostraram uma ruptura e uma variação vertical abrupta entre os horizontes lateríticos de alteração (C5 e C4) e os horizontes lateríticos hidromorfizados (C3g, C2g, C1g, BgE).

Os horizontes lateríticos hidromorfizados BgE e C1g destacaram-se pelo baixo conteúdo de argila e elevado teor de areia fina. Esses resultados confirmam a passagem de uma frente de lixiviação sobre esses horizontes identificada a partir das descrições micromorfológicas. É essa frente de lixiviação que proporciona o empobrecimento de argila e uma alteração mais forte dos minerais.

Os elevados teores das frações argila, areia grossa e silte, nos horizontes de alteração C4 e C5, assemelham-se aos resultados obtidos na trincheira TIB3 do domínio laterítico, constituindo, portanto, mais uma evidência do desenvolvimento dos sistemas de solos sobre o mesmo material de origem.

- **ANÁLISE QUÍMICA DO COMPLEXO DE TROCA ADSORVENTE**

Os resultados mostram as variações em profundidade dos teores de cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3}), acidez potencial (H+Al), pH em H_2O e em KCl, SB, CTC (T), nitrogênio total e carbono no perfil TIB2A. Os resultados brutos encontram-se no Apêndice C (Tab. 2 e 3).

Nesse perfil, os valores de pH em H_2O variaram de 4,9 a 5,6 e em KCl de 4 a 5, predominando uma acidez média nos horizontes (Fig. 36).

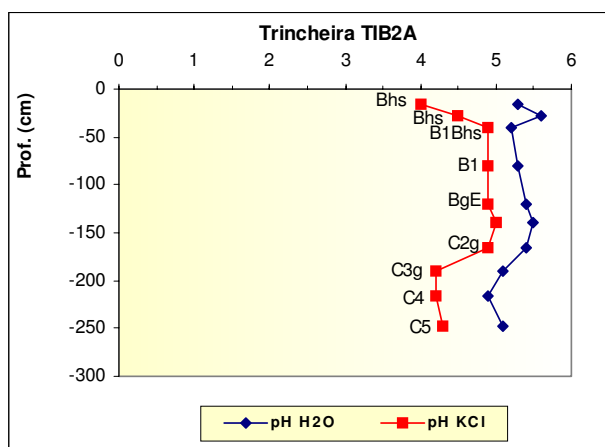


Figura 36 – Distribuição do pH em H₂O e em KCl na justaposição lateritização/hidromorfia

A distribuição dos teores de cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2}), SB, CTC (T), H+Al, nitrogênio total e carbono indicou valores mais altos nos horizontes superficiais e decréscimo em profundidade nos horizontes hidromorfizados (Fig. 37). Os valores de \underline{V} (saturação de bases) oscilaram entre 0,2% a 1,6%, sendo considerados solos distróficos (Tab.2 – Apêndice C). O teor de Al trocável¹³ foi nulo nos horizontes hidromorfizados (BgE, C1g e C2g) e baixo a médio nos horizontes lateríticos (0,1 a 0,95 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) (Tab.2 – Apêndice C).

¹³ A avaliação do teor de Al trocável considerou a classificação proposta por Tomé Jr. (1997): teor baixo < 0,5 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ e médio de 0,5 a 1,5 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$.

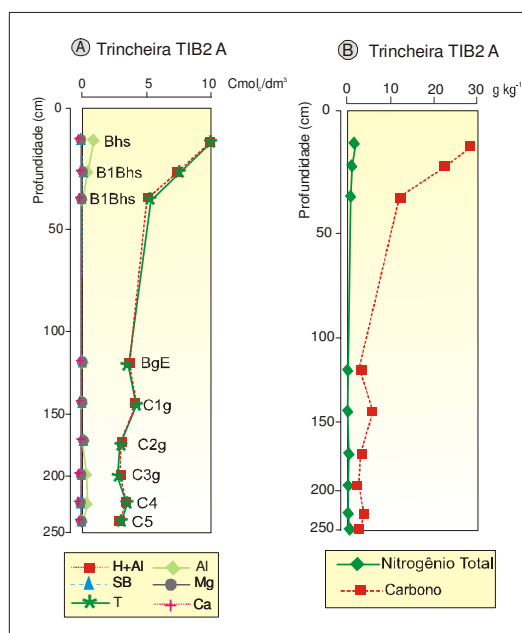


Figura 37 – Distribuição dos cátions trocáveis, H+Al, SB, T, nitrogênio total e carbono na trincheira TIB2A na justaposição lateritização/hidromorfia

INTERPRETAÇÕES

As curvas dos parâmetros analisados (cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2}), SB, CTC (T), H+Al, nitrogênio total e carbono) apresentaram pequena variação da base até os 120 cm (BgE). Acima dos 120 cm, todos os parâmetros se elevam abruptamente, marcando uma descontinuidade vertical.

A distribuição dos resultados, nos gráficos, mostrou maiores concentrações de bases, Al trocável, H+Al, SB, T, pH, nitrogênio total e carbono nos horizontes superficiais, onde há maior acúmulo de matéria orgânica. Esses horizontes superficiais estão sendo podzolizados.

A ausência de Al trocável nos horizontes hidromorfizados (BgE, C1g e C2g) indica uma possível precipitação do alumínio, neofornando minerais pouco cristalizados. Isso poderá ser confirmado pelas análises mineralógicas.

- ANÁLISE QUÍMICA TOTAL POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX)

Os resultados dessa análise, na trincheira TIB2A, podem ser observados na Tabela 4.3 e na Figura 38.

Tabela 4.3 – Resultados da análise química total por fluorescência de raios-X (FRX) na justaposição lateritização / hidromorfia

Perfil	Hor.	Prof. (méd.) cm	(1)SiO ₂	(1)Al ₂ O ₃	(1)Fe ₂ O ₃ (T)	(1)MnO	(1)MgO	(1)CaO	(1)Na ₂ O	(1)K ₂ O	(1)TiO ₂	(1)P ₂ O ₅	(1)LOI	Total	Relação SiO ₂ :Al ₂ O ₃
			%												
	Bhs	15	89,08	1,27	1,26	< 0,01	< 0,01	0,02	0,01	0,04	0,583	0,03	6,6	98,9	70
	Bhs	28	87,88	1,89	1,27	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,634	0,03	6,79	98,53	46
	B1Bhs	40	90,48	2,26	1,21	< 0,01	0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,701	0,03	5,02	99,76	40
	BgE	120	94,56	1,51	1,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,89	0,03	1,91	99,96	63
TIB2A	C1g	130	91,78	2,63	1,29	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,644	0,03	3,71	100,2	35
	C2g	165	90,47	4,12	1,49	< 0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,927	0,02	3,51	100,6	22
	C3g	190	86,85	5,93	1,16	< 0,01	0,07	0,02	0,01	0,11	0,903	0,03	3,77	98,85	15
	C4	217	59,65	19,59	3,86	0,03	0,43	0,02	0,01	0,5	1,394	0,04	14,27	99,81	3
	C5	248	54,94	19,08	7,91	0,06	0,95	0,03	0,03	1,32	1,623	0,05	12,84	98,84	3

⁽¹⁾ Método de Referência: FUS-ICP

A partir dos dados da Tabela 4.3 pode-se observar um predomínio dos elementos SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ e TiO₂ nas amostras analisadas. Nos horizontes hidromorfizados, a concentração de óxidos de ferro e de alumínio é menor, em relação aos demais horizontes do perfil, destacando-se o horizonte BgE com valores inferiores a 1,5%. A relação SiO₂:Al₂O₃ é baixa, na base, e aumenta na direção do topo da trincheira TIB2A.

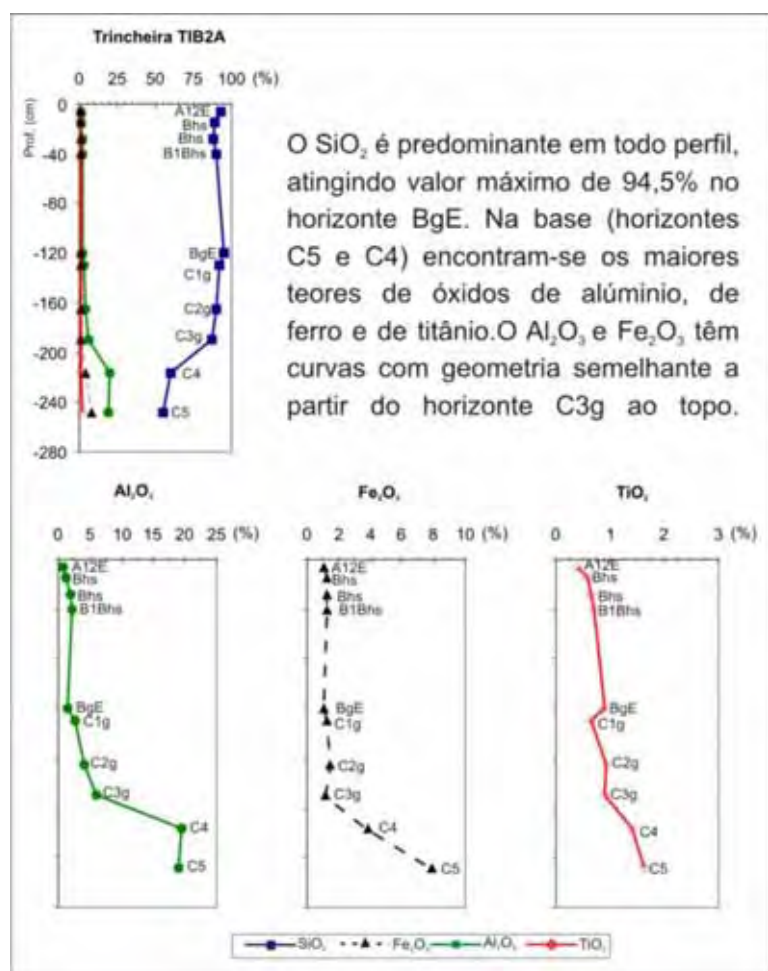


Figura 38 – Distribuição dos resultados da análise química total por FRX na justaposição lateritização/hidromorfia

INTERPRETAÇÕES

Os horizontes lateríticos hidromorfizados (BgE, C1g, C2g e C3g) apresentaram teores mais baixos de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 e os mais altos conteúdos de SiO_2 . Isso confirma os resultados da granulometria, os quais indicaram o predomínio da fração arenosa e uma depleção da fração argilosa nesses horizontes. Além disso, esses resultados mostram que está havendo uma remoção dos óxidos de ferro e de alumínio nesses horizontes hidromorfizados.

Os altos teores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 nos horizontes de alteração C5 e C4 reafirmam os resultados obtidos no domínio laterítico de alteração e pedogênese. A

similaridade entre esses dados demonstra, novamente, a continuidade lateral desses horizontes na toposseqüência.

- ANÁLISE QUÍMICA A PARTIR DAS EXTRAÇÕES DE CBD E OXALATO

Os conteúdos de Fe, Al e Si extraídos pelo tratamento de CBD e oxalato estão apresentados na Tabela 4.4.

Os resultados das análises mostraram o predomínio de óxidos de ferro bem cristalizados nos horizontes de alteração C4 e C5 (141,0 a 262,8 g.Kg⁻¹). Esses conteúdos decrescem abruptamente nos horizontes hidromorfizados (6,8 a 41,0 g.Kg⁻¹).

A relação Feo:Fed (Tab. 4.4) é baixa nos horizontes da base (0,03) e aumenta em direção à superfície, destacando-se o horizonte BgE com maior valor (0,48).

Os conteúdos de alumínio bem cristalizados (Ald-Alo) distribuem-se de maneira variável. Os mais altos teores concentram-se nos horizontes C5 e Bhs (a 30 cm) (52,0 a 52,7 g.Kg⁻¹), enquanto os horizontes lateríticos hidromorfizados apresentaram quantidades que variam entre 9,3 a 35,5 g.Kg⁻¹.

Os horizontes superficiais e os horizontes BgE e C1g apresentaram maior substituição de alumínio na goethita (acima de 10 %).

De acordo com a avaliação dos critérios espódicos pela fórmula: $C \geq 6$ e $Al_0 + \frac{1}{2}Fe_0 > 5$ (FAO, 1998), os horizontes lateríticos hidromorfizados não possuem caráter espódico, ao contrário dos resultados verificados nos horizontes superficiais.

Tabela 4.4 – Resultados químicos das análises de CBD (d) e oxalato (o) dos horizontes na justaposição lateritização/hidromorfia

Perfil	Hor.	Prof. Média (cm)	CBD			OXALATO			Grau de Cristalização			Substituição Al		Critérios Espódicos		Caráter Espódico	
			Ald	Fed	Sid	Alo	Feo	Sio	Ald-Alo	Fed-Feo	Sid-Sio	g Kg ⁻¹	%	AlO+1/2Feo	C		g Kg ⁻¹
	Bhs	15	24,0	20,7	2,0	2,0	5,5	0,2	22,1	15,3	1,8	0,26	0,6	14,1	4,7	28,2	S
	Bhs	28	55,2	30,0	3,2	3,2	3,9	0,3	52,0	26,1	2,9	0,13	0,7	15,9	5,1	22,3	S
	B1Bhs	40	49,6	27,6	3,3	3,7	4,3	0,5	45,9	23,3	2,8	0,16	0,7	15,8	5,8	11,9	S
	B1	80	25,6	23,8	2,5	2,9	4,0	0,4	22,7	19,8	2,1	0,17	0,5	12,7	4,9	2,2	N
	BgE	117	19,7	13,2	1,0	2,3	6,4	0,5	17,3	6,8	0,4	0,48	0,7	17,1	5,5	ND	ND
	C1g	130	39,5	45,4	1,1	4,0	4,4	0,4	35,5	41,0	0,7	0,10	0,5	11,1	6,2	5,2	N
	C2g	165	25,9	45,7	-1,0	5,9	5,0	0,6	20,0	40,7	-1,6	0,11	0,3	7,9	8,4	3	N
	C3g	190	16,5	24,4	0,2	7,1	3,1	1,2	9,3	21,2	-1,0	0,13	0,3	7,3	8,7	1,5	N
	C4	217	53,7	146,0	-0,4	22,2	4,9	2,2	31,5	141,0	-2,6	0,03	0,2	4,3	24,7	3,7	N
	C5	246	70,5	271,7	0,4	17,8	9,0	3,6	52,7	262,8	-3,2	0,03	0,2	4,0	22,3	2,2	N

ND: Não Determinado

INTERPRETAÇÕES

As altas concentrações de ferro e de alumínio bem cristalizados, nos horizontes de alteração C5 e C4, mostram que as transformações mineralógicas são mais lentas e conservam a estrutura dos minerais primários e secundários existentes, conforme relatado nos resultados do domínio laterítico de alteração e pedogênese.

Por outro lado, nos horizontes lateríticos hidromorfizados essas transformações mineralógicas são mais intensas, levando a uma maior dissolução e mobilidade dos óxidos de ferro e à formação de complexos organo-Fe, indicados pelos valores expressos na relação Feo:Fed. Essa relação deixa evidente que, além da hidromorfia, a podzolização começa a agir nesse nível, independentemente de o caráter espódico não ter sido identificado pela fórmula da FAO (1998). O efeito da hidromorfia e da podzolização, portanto, tiveram consequência na mobilidade do ferro e na formação de compostos mal cristalizados.

Outro aspecto a ser ressaltado é a substituição por alumínio na goethita ser mais intensa no horizonte BgE, estando em concordância com as cores amarelo claras observadas nas descrições em campo, sendo efeito da redução do ferro e da mobilização e entrada de alumínio nas goethitas.

O alumínio bem cristalizado apresentou um padrão de distribuição heterogêneo nos horizontes lateríticos hidromorfizados, dificultando compreender se há e como se dão as transformações mineralógicas promovidas pela hidromorfia. São os resultados mineralógicos, a seguir, que auxiliarão nessa interpretação.

Os resultados químicos apontaram o caráter espódico dos horizontes superficiais, confirmando as evidências indicadas na análise do complexo de troca adsorvente (Fig. 37).

- ANÁLISES MINERALÓGICAS

Os minerais na fração argila dos horizontes na justaposição lateritização/hidromorfia estão identificados na Figura 39 e no difratograma da trincheira TIB2A (Apêndice D).

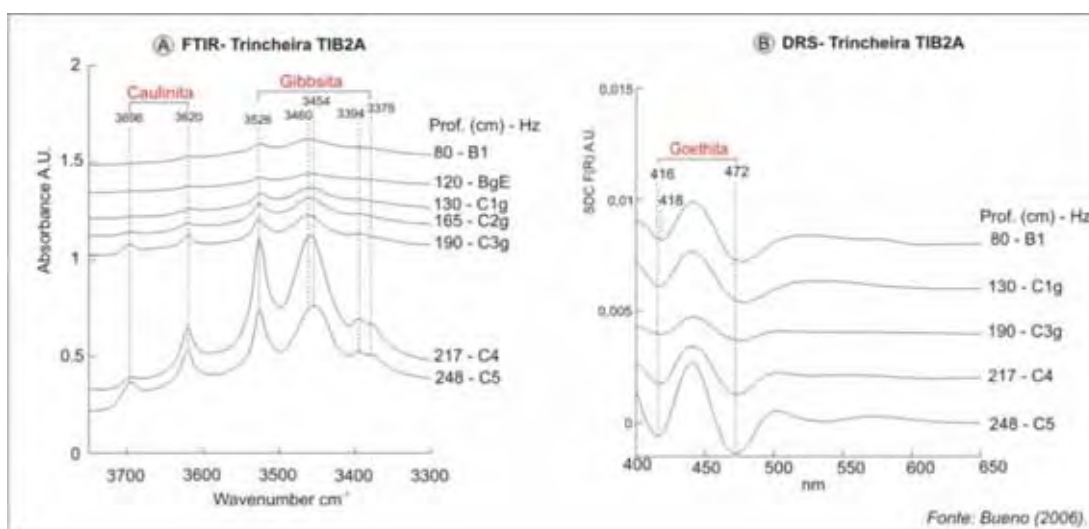


Figura 39 – Análise mineralógica ao infravermelho por transformada de fourier (FTIR) e à espectroscopia por reflectância difusa (DRS) na justaposição lateritização/hidromorfia

A mineralogia dos horizontes lateríticos hidromorfizados e dos horizontes lateríticos de alteração é composta por caulinita, gibbsita e goethita (Fig. 39). As curvas de gibbsita e caulinita são mais intensas nos horizontes C5 e C4 e diminuem abruptamente nos horizontes hidromorfizados.

Os horizontes C1g e BgE apresentam pouca quantidade de caulinita e gibbsita, expressas pela baixa intensidade das bandas de absorção 3696 cm^{-1} e 3526 cm^{-1} , enquanto o horizonte C3g possui pico menos intenso de goethita.

Os resultados de difração de raios-x mostraram, também, que esses horizontes lateríticos hidromorfizados são constituídos na fração argila por quartzo, anatásio e rutilo (Apêndice D).

INTERPRETAÇÕES

A diminuição da quantidade de goethita, caulinita e gibbsita nos horizontes lateríticos hidromorfizados evidencia que o ambiente hidromórfico favorece a dissolução e a mobilização do ferro da goethita e o podzolizado, à dissolução dos argilo-minerais, e que ambos os ambientes levam ao predomínio da fração quartzosa. Isso confirma os resultados da granulometria, que mostraram o empobrecimento de argila e maior acúmulo de areia, e aqueles obtidos na análise química por fluorescência de raios-x, os quais indicaram uma perda de óxidos de alumínio e aumento nos teores de SiO_2 .

A hematita identificada no domínio laterítico desaparece nesses horizontes hidromorfizados, ou seja, as condições de saturação do meio propiciam a redução desse óxido de ferro e sua remoção do perfil, reafirmando os resultados obtidos na análise química por CBD e oxalato.

Desse modo, os resultados mineralógicos mostraram que as condições do ambiente hidromórfico propiciam o início das transformações mineralógicas nos horizontes lateríticos.

SÍNTESE DAS INTERPRETAÇÕES

As análises físico-químicas e mineralógicas confirmaram a hipótese da justaposição da hidromorfia sobre a lateritização. Os resultados mostraram que o ambiente hidromórfico e podzolizante promovem algumas mudanças mineralógicas nos horizontes lateríticos, caracterizadas pela dissolução dos óxidos de ferro e de alumínio.

4.3.2 DOMÍNIO PODZOLIZADO

4.3.2.1 SUPERIMPOSIÇÃO DA PODZOLIZAÇÃO SOBRE OS HORIZONTES LATERÍTICOS HIDROMÓRFICOS NA PARTE INFERIOR E SUPERIOR DA DUPLA LÍNGUA

As análises e discussões desse domínio foram feitas a partir dos resultados das trincheiras TIB2Dm e TIB2Dj.

- ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os resultados granulométricos das trincheiras TIB2Dm e TIB2Dj estão representados na Figura 40, enquanto os resultados brutos encontram-se na Tabela 1 – Apêndice B.

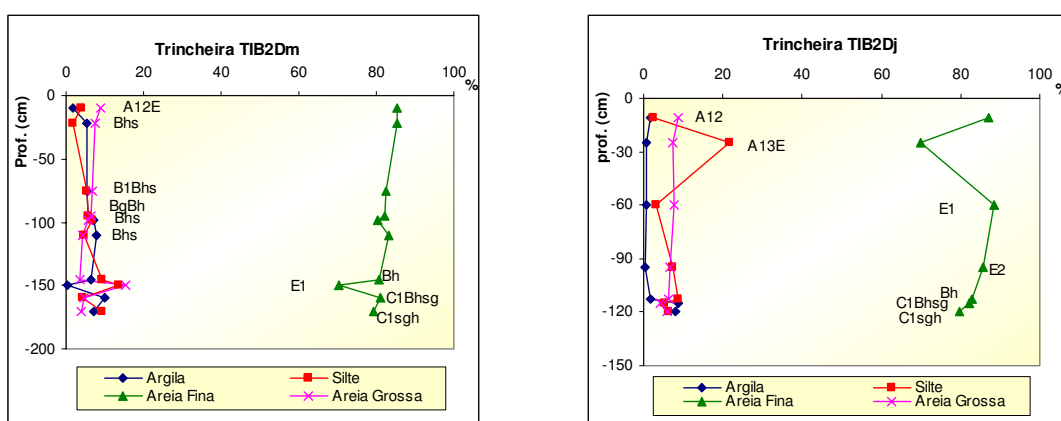


Figura 40 – Distribuição percentual da granulometria nos perfis do domínio podzolizado

Os resultados das trincheiras TIB2Dm e TIB2Dj mostraram que em todos os horizontes há predomínio da fração areia fina (>70%) e baixo conteúdo de areia grossa (<16%), silte (em geral, inferior a 10%) e argila (<10%).

Os horizontes de alteração hidromorfizados e podzolizados (C1sgh e C1Bhsg) apresentaram os maiores teores de argila (7,3 a 9,8 %), enquanto os horizontes superficiais registraram valores inferiores a 2%.

INTERPRETAÇÕES

A distribuição das percentagens nas trincheiras mostrou, de modo geral, baixos conteúdos de argila, principalmente nos horizontes superficiais, e altos teores de areia fina. Isso revela que a alteração dos minerais é intensa em todos os horizontes dos perfis TIB2Dm e TIB2Dj e também dá indícios da passagem de uma frente de lixiviação, que caracteriza a dupla língua arenosa.

- ANÁLISE QUÍMICA DO COMPLEXO DE TROCA ADSORVENTE

Os resultados mostram a distribuição em profundidade, nos perfis TIB2Dm e TIB2Dj, dos teores de cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3}), acidez potencial (H+Al), pH em H_2O e em KCl, SB, CTC (T), nitrogênio total e carbono (Fig.41 e Fig.42). Os resultados brutos estão no Apêndice C (Tab. 2 e 3).

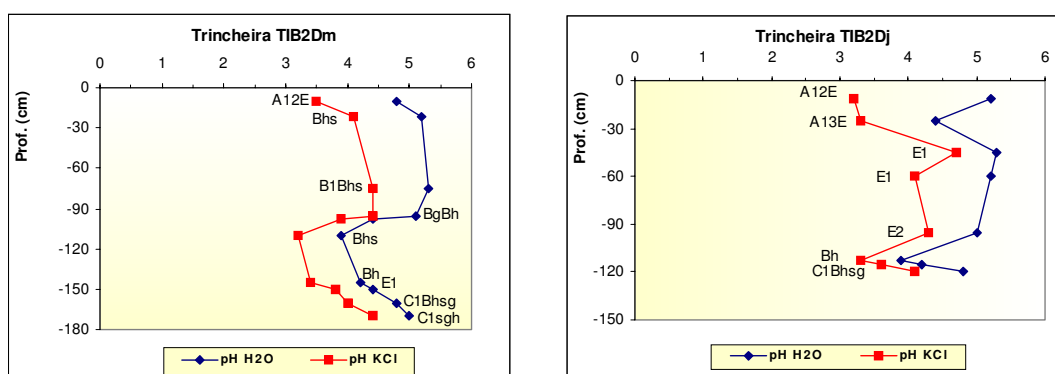


Figura 41 – Distribuição do pH em H_2O e em KCl no domínio podzolizado

A análise do pH indica uma acidez alta, com pH em H_2O variando de 3,9 a 5,3 e em KCl de 3,2 a 4,7. A acidez é mais forte nos horizontes Bh e Bhs e nos horizontes superficiais (Fig. 41).

As quantidades de cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2}), SB e CTC (T) são baixas em todos os horizontes, destacando-se os horizontes Bh, Bhs e C1Bhsg com maiores valores (Fig. 42-C e D). Esses resultados relacionam-se com os valores de V (saturação de bases), inferiores a 2% na maioria dos horizontes (Tab. 2 – Apêndice C).

Os teores de carbono e nitrogênio total mostram ligação com a CTC (T) e a acidez potencial (H+Al). As configurações das curvas de CTC (T), H+Al e carbono são muito semelhantes nos dois perfis (Fig. 42). Os resultados indicam maior acúmulo de carbono e nitrogênio total nos horizontes da parte inferior do perfil (Bhs, Bh, C1Bhsg).

A quantidade de Al trocável foi alta nos horizontes da parte inferior (2,57 a 3,71 cmolc/dm^3), conforme mostra a curva no gráfico (Fig. 42 - C e D), refletindo a elevada saturação por Al (m), que atingiu até 100% (Tab. 2 – Apêndice C). No entanto, nos horizontes da parte superior da dupla língua o teor de Al trocável foi baixo a médio, chegando a nulo, nos horizontes E (Fig.42 - C e D).

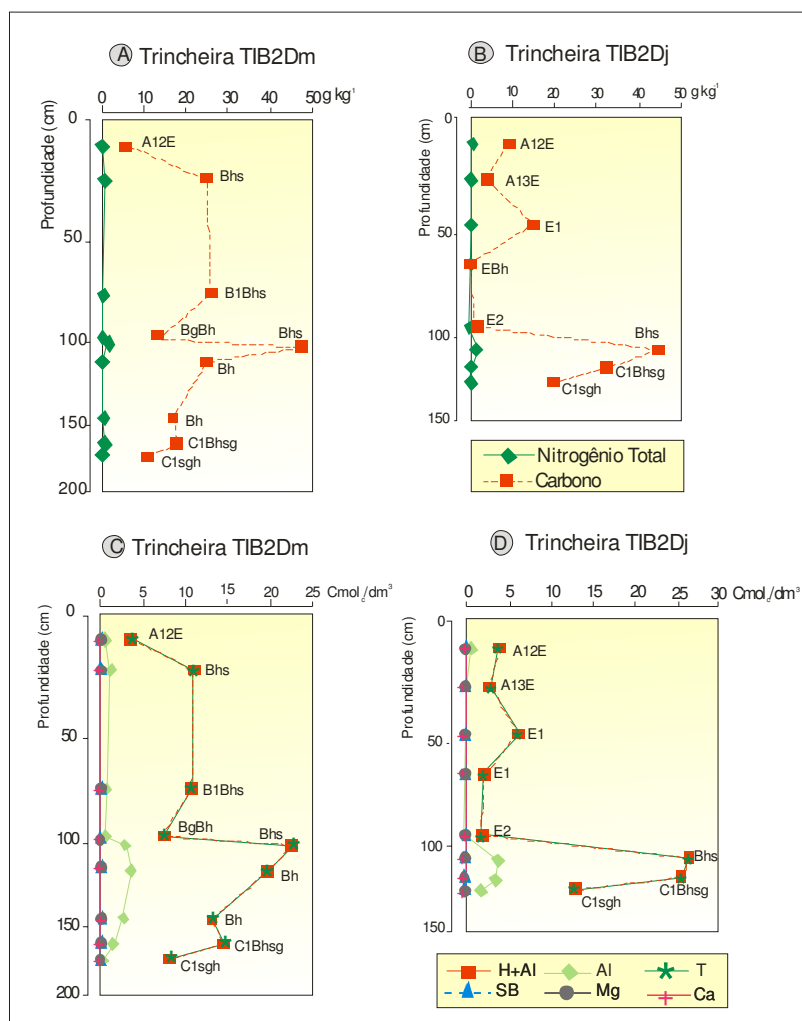


Figura 42 – Distribuição dos cátions trocáveis, H+Al, SB, T, nitrogênio total e carbono no domínio podzolizado

INTERPRETAÇÕES

A distribuição dos teores nos gráficos indicou maiores concentrações de bases, Al trocável, H+Al, SB, T, nitrogênio total e carbono nos horizontes da parte inferior da dupla língua (Bhs, Bh, C1Bhsg, C1sgh). Isso se deve à presença e ao acúmulo de matéria orgânica.

Nos horizontes da parte superior foi observada uma descontinuidade vertical em relação à parte inferior, indicando um decréscimo de praticamente todos os

parâmetros analisados. Esse decréscimo está relacionado à remoção de argilas e de matéria orgânica, devido à passagem da frente de lixiviação.

- ANÁLISE QUÍMICA TOTAL POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX)

Os resultados das trincheiras TIB2Dm e TIB2Dj podem ser observados na Tabela 4.5 e na Figura 43.

Tabela 4.5 – Resultados da análise química total por fluorescência de raios-X (FRX) no domínio podzolizado

Perfil	Hor.	Prof. (méd.) cm	⁽¹⁾ SiO ₂	⁽¹⁾ Al ₂ O ₃	⁽¹⁾ Fe ₂ O ₃ (T)	⁽¹⁾ MnO	⁽¹⁾ MgO	⁽¹⁾ CaO	⁽¹⁾ Na ₂ O	⁽¹⁾ K ₂ O	⁽¹⁾ TiO ₂	⁽¹⁾ P ₂ O ₅	⁽¹⁾ LOI	Total	Relação SiO ₂ :Al ₂ O ₃
			%												
TIB2dm	A12E	10	97,19	0,18	0,9	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,414	0,02	1,15	99,89	540
	Bhs	22	90,5	1,29	1,32	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,662	0,02	6,41	100,2	70
	B1Bhs	75	90,02	2,17	1,28	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,05	0,694	0,03	5,01	99,29	41
	BgBh	95	91,6	1,74	1,18	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	0,73	0,03	5,01	100,4	53
	Bhs	98	78,39	2,87	1,44	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,805	0,03	15,44	99	27
	Bhs	110	90,72	0,79	0,78	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	0,02	1,622	0,03	5,85	99,87	115
	Bh	145	91,08	0,62	0,9	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	0,04	2,724	0,03	3,78	99,23	147
	E1	150	88,5	1,58	0,78	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	0,838	0,02	8,17	99,95	56
	C1Bhsg	160	88,57	2,7	1,63	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,08	0,671	0,03	6,89	100,6	33
	C1sg	170	89,64	2,04	2,79	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	< 0,01	1,24	0,02	5,04	100,8	44
TIB2dj	A12E	11	96,14	0,13	0,73	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	0,365	0,02	1,89	99,33	740
	A13E	25	96,54	0,13	0,74	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,494	0,02	0,56	98,51	743
	E1	45	92,08	1,57	1,09	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,02	0,652	0,02	5,07	100,5	59
	E2	60	97,53	0,12	0,66	< 0,01	< 0,01	0,02	0,01	< 0,01	0,485	0,02	0,22	99,07	813
	E2	95	98,62	0,11	0,65	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	0,53	0,02	0,2	100,2	897
	Bh	113	87,13	0,95	0,83	< 0,01	< 0,01	0,02	0,01	< 0,01	1,166	0,03	9,66	99,8	92
	C1Bhsg	115	84,87	2,63	0,85	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	0,697	0,02	10,27	99,4	32
	C1sg	120	86,07	3,34	1,32	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,671	0,02	8,85	100,3	26

⁽¹⁾ Método de Referência: FUS-ICP

Os valores apresentados na Tabela 4.5 mostram predominância do SiO₂ em todas as amostras analisadas, atingindo um valor mínimo de 78% e máximo de 98,6% no horizonte E2. Os teores de Al₂O₃ e Fe₂O₃ nos horizontes dos dois perfis são baixos, inferiores a 3,3% (Fig.43).

A relação SiO₂: Al₂O₃ é mais baixa nos horizontes da base e se eleva abruptamente nos horizontes superficiais A12E, A13E e nos horizontes intermediários E1 e E2 (Tab. 4.5).

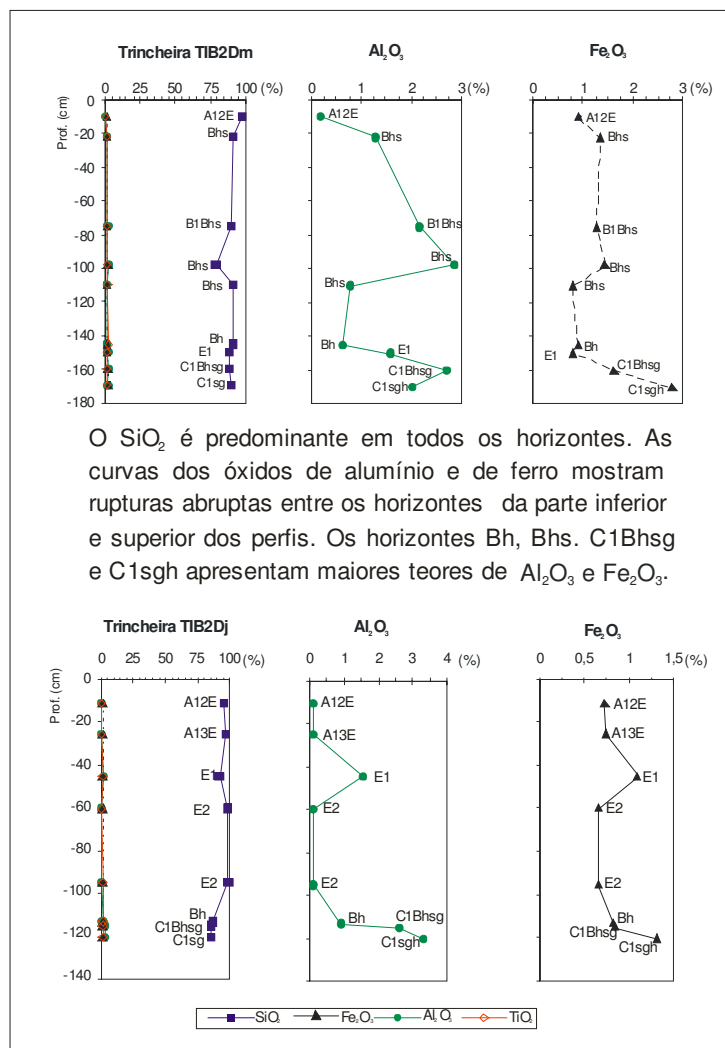


Figura 43 – Distribuição dos resultados da análise química total por FRX no domínio podzolizado

INTERPRETAÇÕES

Os resultados apontaram o predomínio de SiO_2 em todos os horizontes, o que indica um acúmulo de grãos de quartzo e intensa lixiviação das argilas, conforme mostrado nas análises de granulometria e nas do complexo de troca adsorvente.

Os conteúdos de Al_2O_3 e Fe_2O_3 concentram-se em maior proporção nos horizontes da base (C1Bhsg e C1sgh) e nos horizontes Bhs. Esses horizontes também possuem maiores teores de argila, conforme verificado na granulometria.

Nos horizontes superficiais e nos horizontes E, no entanto, os teores de óxidos de alumínio e de ferro, muito reduzidos, reafirmam a passagem de uma frente de lixiviação, que promove a dissolução e saída desses elementos dos horizontes.

- ANÁLISE QUÍMICA DAS EXTRAÇÕES DE CBD E OXALATO

A Tabela 3.6 exhibe os conteúdos de Fe, Al e Si extraídos pelo tratamento de CBD e oxalato. Os resultados mostraram o predomínio de ferro bem cristalizado no horizonte da base – C1sgh (124,6 g.Kg⁻¹). Em direção do topo, as quantidades desse elemento decrescem abruptamente (46,6 a 16,7 g.Kg⁻¹). A relação Feo:Fed (Tab. 4.6) expressa médio e baixos valores nos horizontes da base (C1Bhsg e C1sgh) e resultados mais elevados na direção da superfície.

Os conteúdos de alumínio bem cristalizados (Al_d-Al_o, Tab. 3.6) e a substituição por alumínio na goethita são mais elevados nos horizontes da parte superior da dupla língua (Bhs, a 30 cm e a 90 cm e B1Bhs). Os horizontes da parte inferior (C1sgh e C1Bhsg) apresentaram quantidades inferiores de Al bem cristalizado.

A avaliação dos critérios espódicos confirmou que, tanto os horizontes da parte superior, quanto os da parte inferior da dupla língua possuem caráter espódico.

Tabela 4.6 – Resultados químicos das análises de CBD (d) e oxalato (o) dos horizontes no domínio podzolizado

Perfil	Hor.	Prof. Média (cm)	CBD			OXALATO			Grau de Cristalização			Substituição Al		Critérios Espódicos		Caráter Espódico	
			Ald	Fed	Sid	Alo	Feo	Sio	Ald-Alo	Fed-Feo	Sid-Sio	g Kg ⁻¹	%	AlO+1/2Feo	C		g Kg ⁻¹
	Bhs	22	31,7	21,9	-0,9	2,0	5,2	0,2	29,6	16,7	-1,1	0,24	0,6	15,2	4,6	25,2	S
	B1Bhs	60	84,5	49,4	0,8	4,3	6,2	0,5	80,2	43,3	0,3	0,13	0,6	15,5	7,4	ND	ND
	B1Bhs	75	77,1	29,3	1,4	4,4	4,7	0,5	72,8	24,6	0,9	0,16	0,7	17,8	6,7	26,7	S
TIB2Dm	EgBh	95	46,5	21,6	1,7	3,1	4,3	0,8	43,4	17,2	0,9	0,20	0,7	17,1	5,3	13,3	S
	Bhs	98	91,2	35,1	1,5	5,4	6,1	1,7	85,8	29,0	-0,2	0,17	0,7	17,8	8,4	47,5	S
	C1Bhsg	160	67,9	51,8	1,7	4,2	5,2	0,6	63,7	46,6	1,1	0,10	0,6	13,8	6,8	17,8	S
	C1sgh	170	55,5	136,9	1,0	3,7	12,3	1,0	51,7	124,6	0,0	0,09	0,3	7,0	9,9	10,4	S

ND: Não Determinado

INTERPRETAÇÕES

A presença de maiores quantidades de ferro bem cristalizado, aliada à baixa relação Feo:Fed nos horizontes da parte inferior da dupla língua (C1sgh e C1Bhsg) confirmam o acúmulo de óxidos de ferro apontado pelas descrições macro e micromorfológicas. A diminuição da quantidade do ferro bem cristalizado na direção do topo e o aumento crescente da relação Feo:Fed indicam que esses óxidos de ferro estão sendo mobilizados e complexados pela matéria orgânica.

Ao contrário dos conteúdos de ferro, o alumínio bem cristalizado apresenta baixos teores nos horizontes da base, o que indica que as transformações dos minerais são mais intensas nesse nível, enquanto na direção do topo o aumento dos teores de alumínio pode estar relacionado com minerais residuais associados com a fase lateritizante.

Os resultados mostraram o caráter espódico dos horizontes do Domínio Podzolizado, comprovando as evidências das descrições macro e micromorfológicas.

- **ANÁLISES MINERALÓGICAS**

Essas análises revelaram a composição mineralógica, na fração argila, dos horizontes no Domínio Podzolizado (Fig. 44 e Apêndice D - trincheiras TIB2Dm e TIB2Dj).

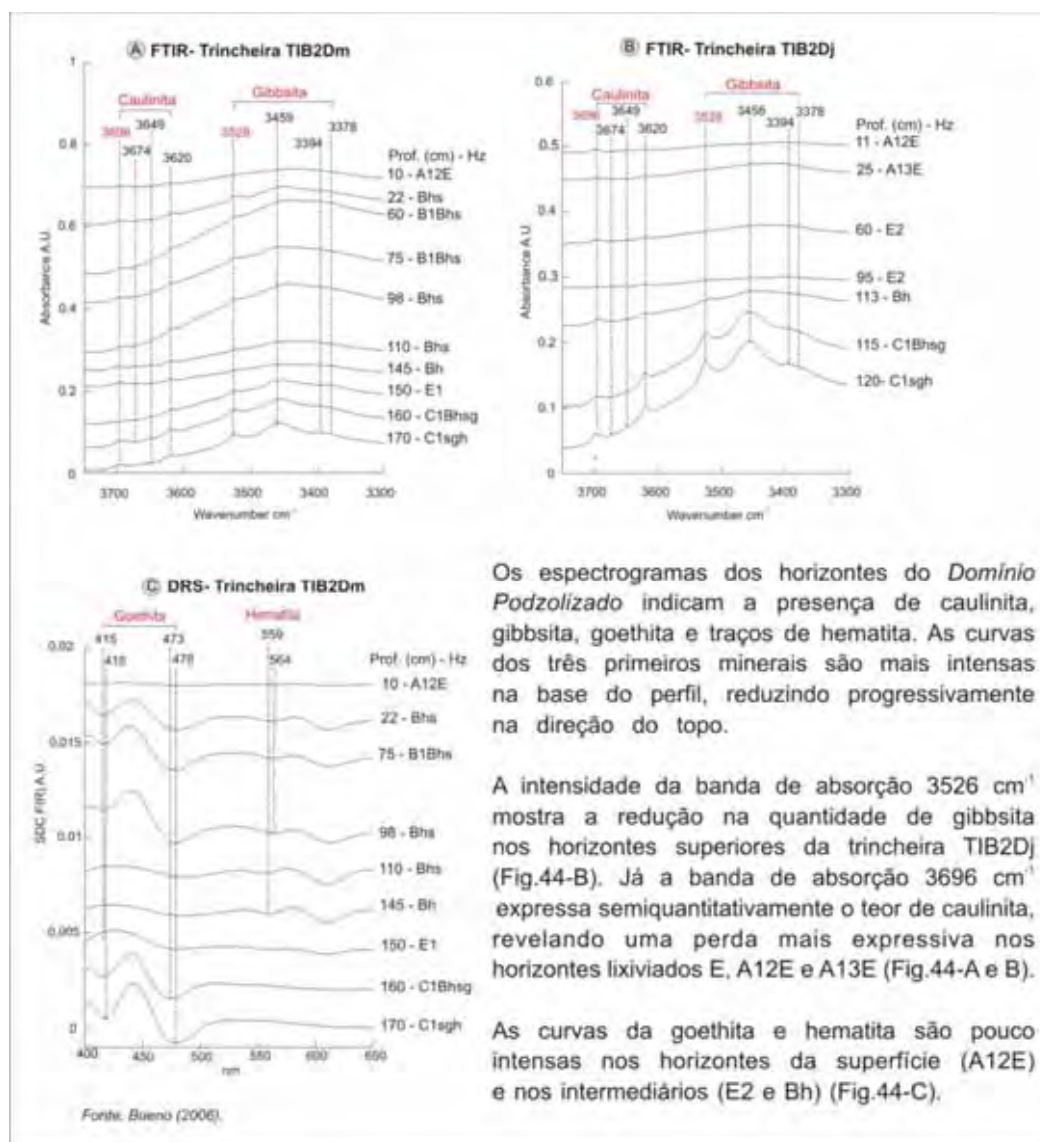


Figura 44 – Análise mineralógica ao infravermelho por transformada de fourier (FTIR) e à espectroscopia por reflectância difusa (DRS) no domínio podzolizado

Na análise de difração de raios-x foram confirmados nos horizontes do Domínio Podzolizado os argilo-minerais caulinita e gibbsita, além de identificar o quartzo, anatásio e rutilo (Apêndice D).

INTERPRETAÇÕES

Os resultados mineralógicos somados às demais análises mostraram que as condições do meio favorecem a instabilidade e dissolução da gibbsita na direção do topo dos perfis do Domínio Podzolizado. Isso, inclusive, pode justificar os teores mais elevados de Al^{+3} e de saturação por alumínio nos horizontes podzolizados, mostrados pelas análises do complexo de troca adsorvente. Ao contrário, a caulinita mantém seus picos mais preservados nos horizontes podzolizados, indicando uma menor solubilidade desse mineral, exceto nos horizontes fortemente lixiviados (A12E e E2). Os resultados químicos corroboram essa afirmação, apontando o aumento de óxidos de alumínio bem cristalizados na direção do topo, o que pode estar associado aos minerais residuais da lateritização.

Nos horizontes lixiviados pela dupla língua arenosa (A12E, A13E, E1, E2), a redução da intensidade dos picos dos argilo-minerais caulinita e gibbsita e o predomínio de picos de quartzo, anatásio e rutilo reafirmam o empobrecimento de argila e o domínio de areia, observados nas análises granulométricas e nas do complexo de troca adsorvente.

A presença da goethita com picos mais expressivos nos horizontes espódicos do topo e da base do perfil TIB2Dm confirmam os resultados de CBD e oxalato, os quais apontaram quantidades maiores de óxidos de ferro bem cristalizados nesses horizontes e indicaram que parte dessa goethita é aluminosa.

Os traços de hematita, identificados nos horizontes espódicos do topo, possivelmente são relíquias dos horizontes B lateríticos, já que esse mineral desapareceu dos horizontes da parte inferior do perfil e do horizonte lixiviado (A12E) no topo.

SÍNTESE DAS INTERPRETAÇÕES

As análises e discussões dos resultados do Domínio Podzolizado caracterizaram física e quimicamente os horizontes desse domínio e demonstraram as alterações

no comportamento mineralógico desses perfis. As principais mudanças foram expressas pela acumulação, dissolução e mobilização de matéria orgânica (formando os horizontes espódicos); dissolução e mobilização do alumínio e do ferro dos argilo-minerais gibbsita, hematita, goethita e caulinita; neoformação de compostos mal cristalizados de ferro e de alumínio e de complexos organo-metálicos, e acumulação relativa de quartzo nos horizontes lixiviados.

4.4 EVOLUÇÃO MINERALÓGICA DOS SISTEMAS LATERÍTICOS E PODZOLIZADOS

São vários os estudos realizados na região amazônica, que procuraram investigar a transição dos solos lateríticos para podzolizados, sobre um mesmo material de origem (LUCAS, 1989; SOUBIÈS e CHAUVEL, 1985; BRAVARD e RIGHI, 1989; DUBROEUCQ e VOLKOFF, 1998 e NASCIMENTO *et al.*, 2004). Nascimento *et al.* (2004) mostraram que os principais mecanismos, que envolvem essa transição são o empobrecimento de argila, a produção de ácidos orgânicos, a formação e a translocação de complexos organo-metálicos.

A gênese dos solos lateríticos é comandada intensamente pelo processo químico de hidrólise dos minerais. Esse processo pedogenético promove a remoção de Si e uma relativa acumulação de Al, Fe e Ti. Essa acumulação se dá na forma de caulinita e de gibbsita para o alumínio, e de óxidos para o ferro e o titânio (BRAVARD e RIGHI, 1989). Os horizontes mais gibbsíticos são os mais profundos, enquanto os caulíníticos são mais superficiais (LUCAS *et al.*, 1996), conforme mostraram os espectrogramas das trincheiras do domínio laterítico.

O início das transformações dos solos lateríticos em podzolizados é marcado pela justaposição da hidromorfia sobre a lateritização. A saturação temporária do solo pela água provoca uma progressiva lixiviação do ferro, após sua redução para o estado ferroso (BRAVARD e RIGHI, 1989), provocando um amarelecimento dos materiais. O processo pedogenético que atua também nesse ambiente é a acidólise parcial. Esse processo provoca a solubilização e destruição dos argilo-minerais sob condições de pH ácido, através de soluções que contenham ácidos orgânicos vindos

da decomposição da matéria orgânica (MAFRA, 2000). De fato, os resultados apontaram uma diminuição da quantidade dos argilo-minerais caulinita e da gibbsita e o desaparecimento da hematita nos horizontes lateríticos hidromorfizados.

As transformações mineralógicas continuam no domínio podzolizado através do processo de acidólise total ou podzolização. Na decomposição da matéria orgânica formam-se os ácidos orgânicos que tornam as soluções dos solos fortemente ácidas, conforme indicaram os resultados de pH. Essas soluções são capazes de destruir os argilo-minerais e de complexar o ferro e o alumínio (MELFI e PEDRO, 1978; TOLEDO *et al.*, 2000). Esses produtos complexados são translocados dos horizontes superficiais e precipitados nos horizontes inferiores, formando os horizontes Bh e Bhs. De fato, nos horizontes espódicos do Domínio Podzolizado, foi observado um aumento nos teores de Fe e Al a partir das extrações por oxalato. Os horizontes superficiais tornam-se empobrecidos em argilas e apresentam relativa acumulação de quartzo, dando origem aos horizontes álbicos (BRAVARD e RIGHI, 1989).

De acordo com os resultados, foi mostrado que o ambiente podzolizado promove uma série de transformações na composição mineralógica do domínio laterítico. Em primeiro lugar, a complexação do ferro pela matéria orgânica favorece a dissolução e a sua migração da goethita (ROBERT *et al.*, 1984, NASCIMENTO *et al.*, 2004); em segundo, as condições do meio propiciam a dissolução preferencial da gibbsita e de parte da caulinita (NASCIMENTO *et al.*, 2004) e em terceiro, os compostos complexados mal cristalizados e inorgânicos de Fe e Al migram e se acumulam nos horizontes de caráter espódico (LUNDSTRÖM *et al.*, 2000).

Assim, o avanço dos solos podzolizados sobre os solos lateritizados desencadeia várias transformações e diferenciações no nível mineralógico de cada domínio de solos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na escala da toposseqüência, foi mostrada a existência de dois sistemas de solos: o laterítico e o podzolizado. Os estudos mostraram a continuidade litológica na base da toposseqüência, revelando que esses sistemas se desenvolvem *in situ*, a partir da mesma rocha-mãe. Foi verificado que a podzolização está avançando progressivamente na direção de montante sobre os horizontes lateritizados do topo da vertente, constituindo um sistema de transformação que está sendo modificado essencialmente por processos geoquímicos.

O estudo detalhado das trincheiras representativas de cada domínio permitiu compreender a seqüência das transformações entre os sistemas de solos lateritizados e podzolizados, a partir dos resultados morfológicos, micromorfológicos, físicos, químicos e mineralógicos. As análises e discussões tiveram como ponto de partida o Domínio Laterítico de Alteração e Pedogênese, que representa uma seqüência de solos mais antigos; passaram pela Justaposição da Hidromorfia/Lateritização, revelando uma etapa intermediária no processo evolutivo e, o ponto final foi o Domínio Podzolizado, marcado por vários eventos de transformação das estruturas dos solos existentes.

Os dois domínios analisados apresentaram relações pedogenéticas entre si e permitiram estabelecer uma seqüência da evolução mineralógica. Os resultados mostraram que o domínio laterítico é formado essencialmente pelos argilo-minerais gibbsita, caulinita, goethita e hematita. Esses minerais estão sendo submetidos aos processos de hidromorfia e de podzolização. A hidromorfia é responsável pela dissolução dos óxidos de ferro e a podzolização provoca dissoluções dos argilo-minerais, complexações com a matéria orgânica e neoformações de produtos mal cristalizados. Desse modo, os produtos mineralógicos apontados no domínio podzolizado foram os complexos orgânicos de Fe e de Al e minerais mal cristalizados desses mesmos elementos.

Os resultados alcançados mostraram a eficiência da metodologia empregada para realizar uma investigação detalhada de sistemas de solos.

Os estudos que estão sendo desenvolvidos pelos outros participantes do projeto complementarão e auxiliarão uma melhor compreensão da dinâmica evolutiva e da diferenciação entre os sistemas de solos lateríticos e podzolizados.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. E. **Levantamento geológico como suporte à pesquisa pedológica na Bacia do Rio Negro**. Manaus: CPRM, UNESP, IRD, 2005. 13 p. (Relatório de Viagem).

ALMEIDA, M. E.; LUZARDO, R.; PINHEIRO, S. DA S.; OLIVEIRA, M. A. Folha SA.19. **Mapa Geológico**. Projeto GIS do Brasil, Brasília, MME, CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Escala 1:1.000.000. (No prelo).

BALAN, E.; LAZZERI, M.; SAITTA, A. M.; ALLARD, T.; FUCHS, Y; MAURI, F. First-principle study of OH-stretching modes in kaolinite, dickite, and nacrite. **American mineralogist**, 90, 2005, p. 50-60.

BALAN, E.; LAZZERI, M.; MORIN, G.; MAURI, F. First-principles study of OH-stretching modes of gibbsite. **American mineralogist**, 91, 2006a, p. 115-119.

BALAN, E.; LAZZERI, M.; MAURI, F. **Infrared spectrum of hydrous minerals from first-principles calculations**. Disponível em: <<http://psi-k.dl.ac.uk/2006b>>. Acesso em: 02 set. 2006.

BLAKEMORE, L.C., SEARLE, P. L. & DALY, B.K. **Methods for chemical analysis of soils**. New Zeland Soil Bureau Scientific Report 10A, Department of Scientific and Industrial Research, New Zeland, 1981.

BOULET, R. **Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta** : équilibre et déséquilibre pédobioclimatique. Paris: Mémoire ORSTOM, 1978, 272 p.

BOULET, R. *et al.* 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. Pédol.**, v. XIX, n.4, p. 309-321. 1982a.

BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. II – Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.**, v. XIX, n. 4, p. 323-339. 1982b.

BOULET, R. *et al.* Analyse structurale et cartographie en pédologie. III – Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. **Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.**, v. XIX, n. 4, p. 341-351. 1982c.

BOULET, R.; CHAUVEL, R.; LUCAS Y. Les systemes de transformation en pedologie. **Livre Jubilaire du Cinquantenaire - Association Française pour l'Etude du Sol**, Maugein - Lachaise, Malemort, 1984. p. 167-179.

BOULET, R. *et al.* Géochimie des Paysages: Le Rôle des Couvertures Pédologiques. In: **Coll. Sédimentologie et Géochimie de la Surface à la Mémoire de Georges Millot**. 1994. p. 55 – 76.

BOULET, R. *et al.* Iron Bands, Fragipans and Duripan in the North-Eastern Plateaus of Brazil - Properties and Genesis. **Can. J. of Soil Science**, p. 519-530, 1998.

BRABANT, P. La répartition des podzols à Kalimantan (Ile de Bornéo). In: RIGHI, D.; CHAUVEL, A. **Podzols et podzolization**. Paris: INRA, 1987. p. 13-24.

BRAVARD, S. & RIGHI, D. Geochemical differences in an oxisol-spodosol toposequence of Amazonia, Brazil. **Geoderma**, v. 44, p.29-42, 1989.

BRAVARD, S. & RIGHI, D. Podzols in Amazonia. Brazil, **Catena**. v. 17, p. 281-295, 1990.

BREWER, R. **Fabric and minerals of soils**. New York: John Wiley e Sons, 1964, 482 p.

BUENO, G. T. ; NASCIMENTO, Nádia Regina do. Origem dos domínios de areia branca em interflúvios da Amazônia: uma história de desequilíbrio da cobertura pedológica.. In: L. H. O. Gerardi; I. A. Mendes. (Org.). **Do natural, do social e de suas interações: visões geográficas**. 1 ed. Rio Claro: Ageteo, 2002, p. 79-92.

BUENO, G. T. Podzolisation of laterites on the upper Amazon Basin: spatial distribution of the soil compartments (at local and regional scales) and preliminary results on the soil chemistry and mineralogy. In: **Anais do Congresso de Doutorandos do IPGP (Instituto de Física do Globo de Paris)** - 2006, Paris, 2006, p. 38.

BULLOCK, P. *et al.* **Handbook for soil thin section description**. Waine research Publications, 1985, 151 p.

BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; Mc CRACKEN, R. J. **Soil genesis and classification**. Ames: ISUP, 1997, 527 p.

CALAS, G. & HAWTHORNE, F. C. Introduction to spectroscopic methods. IN: RIBBE, P. H. (Ed.). **Spectroscopic Methods in Mineralogy and Geology**. Mineralogical Society of America, 1988, p. 1-9.

CAMARGO, O. A. *et al.* Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física dos Solos do Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim Técnico** n° 106. Instituto Agronômico: Campinas, 1986, 94 p.

CASTRO, S.S. *et al.* Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: **Tópicos da Ciência do Solo**, Viçosa: SBCS, v. 3, 2003. p. 107-164.

CORNELL, R. M.; SCHERTMANN, U. **The iron oxides. structure, properties, reactions, occurrences and uses**. New York, VCH Edt., 1996. 573 p.

COSTA, A. M. R. *et al.* Pedologia. **Manaus**. v. 19. DNPM/Projeto Radambrasil: Rio de Janeiro, 1977. p. 181-237.

DELVIGNE, J. **Pedogênese em zona tropical: a formação dos minerais secundários em meio ferralítico**. Paris: ORSTOM-Dunod, 1965. 177p.

DELVIGNE, J.E. **Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering**. The Canadian Mineralogist, Special Publ.3. ORSTOM and Mineralogical Assoc. of Canada, Ottawa, ON, Canada, 1998. 493 p.

DUBROUECQ, D.; VOLKOFF, B & PEDRO, G. La couverture pédologique du Bouclier du Nord de l' Amazonie (bassin du Haut Negro). Séquence évolutive des sols et son rôle dans l' aplanissement généralisé des zones tropicales perhumides. **C. R. Acad Sci**. Paris, 312, II, 1991, p. 663-67.

DUBROUECQ, D.; VOLKOFF, B. From oxisols to spodosols and histosols: evolution of the soil matles in the Rio Negro Basin (Amazonas). **Catena**, v.32, p.245-280, 1998.

DUBROUECQ, D.; VOLKOFF, B.; FAURE, P. Les couvertures pédologiques à podzols du bassin du haut Rio Negro (Amazonie). **Etude et gestion des sols**, n. 6, p.131-153, 1999.

DUCHAUFOR, P. **Précis de pédologie**. Paris: Masson e Cie, Boulevard Saint-Germain, 1960. 437p.

DUCHAUFOR P. **Abrégé de pedologie**. Paris: Masson, 1997. 291p.

ECE, O. I.; NAKAGAWA, Z. E.; SCHROEDER, P. A. Alteration of volcanic rocks and genesis of kaolin deposits in the Sile region, northern Istanbul, Turkey I: clay mineralogy. **Clays and Clay Minerals**, 51 (6), 2003, p. 675-688.

FAO. **World reference base for soil resources**. World Soil Resources Report, n.84, FAO, Rome, 1998.

FARINA, M. Fundamentos de Microscopia Analítica para Biólogos. In: SOUZA, W. (Ed.). **Técnicas Básicas de microscopia eletrônica aplicada às Ciências Biológicas**. Rio de Janeiro: UENF, p. 161-177, 1998.

FARMER, V. C. Infrared absorption of hydroxyl groups in kaolinite. **Science**, 145, 1964, p. 1189-1190.

FERREIRA, A. B. H. **Minidicionário Aurélio**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 2. ed., 1989, 536 p.

FRANCO, E. M. S.; MOREIRA, M, M. M. A. Geomorfologia. **Manaus**. v. 19. DNPM/Projeto Radambrasil: Rio de Janeiro, 1977. p. 127 – 180.

FREITAS, I. M; PEREIRA, O. J. R.; BUENO, G. T. MAGAROTTO, M. G. **Carta Imagem de São Gabriel da Cachoeira**. UNESP/IGCE/CEAPLA, São Paulo, 2006. Escala 1:180.000.

FREITAS, I. M.; PEREIRA, O. J. R.; BUENO, G.T. MAGAROTTO, M. G. **Hipsometria de São Gabriel da Cachoeira**. UNESP/IGCE/CEAPLA, São Paulo, 2006. Escala 1:70.000.

FRITSCH, E. *et al.* Les systèmes transformants d'une couverture ferrallitique de Guyane française. Analyse structurale d'une formation supergène et mode de représentation. **Cah. ORSTOM, sér. Pédol.**, vol. XXII, n. 4, 1986. p. 361-395.

FRITSCH, E.; PETERSCHMITT, E.; HERBILLON, A.J. A structural approach to the regolith: identification of structures. Analysis of structural relationships and interpretations. **Sci. Géol. Bull**, vol.45, 1992. p. 77-97

FRITSCH, E.; MONTES-LAUAR, C.R.; BOULET, R.; MELFI, A.J.; BALAN, E.; MAGAT, P. Lateritic and redoximorphic features in a faulted landscape near Manaus, Brazil. **European Journal of Soil Science**, vol. 53, 2002. p. 203-217.

GOODMAN, B. A. Molecular spectroscopy: Introduction and general principles. IN: WILSON, M. J. (Ed.) **Clay mineralogy**: spectroscopic and chemical determinative methods. London: Chapman & Hall, 1994, p. 1-10.

HATAKEYAMA, T. & LIU, Z. **Handbook of thermal analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 500 p.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analyses-advanced course**. 2nd ed. Madison, Univ. of Wisconsin: M. L. Jackson, 1979.

JACKSON, L. A. **Glossary of geology**. Falls Church: American Geological Institute, 1997, 805 p.

JEANROY, E.; RAJOT, J.L.; PILLON, P. & HERBILLON, A.J. Differential dissolution of hematite and goethite in dithionite and its implication on soil yellowing. **Geoderma**, v.50, p. 79-94, 1991.

KARATHANASIS, A. D. & HARRIS, W. G. Quantitative Thermal Analysis of Soil Materials. In: AMONETTE, J. E. & ZELAZNY, L. W. (Ed.). **Quantitative Methods in Mineralogy**. SSSA Miscellaneous Publication, p. 360-411, 1994.

KLEIN, C. **Mineral Science**. 22th ed. USA: John Wiley & Sons, Inc. 2002. 642p.

KLINGE, H. Podzol soils in the Amazon Basin. **Journal of Soil Science**. n. 16, p.96-103, 1965.

KOSMAS, C. **Visible spectra and color of synthetic** Al-substituted goethites and hematites. 1984. 184 p. Tese (Doutorado) – Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1984.

LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: SBCS, 1984. 45 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.178 p.

LUCAS, Y. *et al.* Transição latossolos-podzóis sobre a Formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 325-335, 1984.

LUCAS, Y.; BOULET, R.; CHAUVEL, A. ; VEILLON, L. Systèmes sols ferrallitiques-podzols en région amazonienne. In : RIGHI, D. & CHAUVEL, A (Ed.). **Podzols et Podzolization**. AFES et INRA, Plaisier et Paris, 1987. p. 53-65.

LUCAS, Y. **Systèmes pédologiques en Amazonie brésilienne. Équilibres, déséquilibres et transformations**. 1989. 157 p. Tese (Doutorado). Universidade de Poitiers, Paris, 1989.

LUCAS, Y. *et al.* Genèse et fonctionnement des sols en milieu équatorial. **Comptes Rendus de l' Académie des Sciences**. Paris, Série Ila, 322, 1996, p.1-16.

LUNDSTRÖM, U. S.; VAN BREEMEN, N. & BAIN, D. The podzolization process: a review. **Geoderma**, n. 94, p. 91-107, 2000.

MACIAS, F.; CHESWORTH, W. Weathering in humid regions, with emphasis on igneous rocks and their metamorphic equivalents. In: MARTINI, IP.; CHESWORTH, W. **Weathering, soils and paleosols**. Amsterdam: Elsevier, 1992. p.283-306.

MAFRA, A. L. **Organização e pedogênese de um sistema latossolo-podzol na região do alto rio Negro, Amazonas**. 2000. 161 p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2000.

McFARLANE, M.J. **Lateites**. In: GOUDIE, A.S. ; PYE, K. (Ed.). Chemical sediments and geomorphology : precipitates and residua in the near-surface environment. London: Academic Press, 1983. p. 7-57.

MEHRA, O. P. & JACKSON, M. L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate buffered with sodium bicarbonate. **Clays and clay minerals**, 7, 1960. p. 317-327.

MELFI, A.J.;PEDRO, G.Estudo Geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1: Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, v.7, p. 271-286, 1977.

MELFI, A.J.;PEDRO, G.Estudo Geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2: Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.8, p. 11-22, 1978.

MELFI, A. J.; FRITSCH, E.; BOULET, R.; SEYLER, F.; CARVALHO, A.; MAGAT, P. Distribuição dos solos nas paisagens lateríticas da Amazônia: elaboração de um modelo conceitual ilustrando a evolução hidrobiogeoquímica destas paisagens. In:

Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo, 13., Águas de Lindóia, São Paulo, 1996.

MENDES, A. C. T. **Identificação das argilas do solo por difração do raio X**. Laboratório de Mineralogia de Solos, ESALQ. Piracicaba, 1972. 34 p.

MILLOT, G. **Geology of clays**. Masson-Paris: Chapman e Hall, 1970.429 p.

MILLOT, G. Planation of continents by intertropical weathering and pedogenetic processes. In: MELFI A. J. & CARVALHO A. (Org.). Lateritisation Processes. **Proceedings of the II International Seminar on Lateritisation Processes** - São Paulo: USP, p. 53 – 63. 1983.

NAHON, D. B. **Introduction to the petrology of soils and chemical weathering**. Chichester: Wiley, 1991. 313p.

NASCIMENTO, N. R. *et al.* Red-yellow-white Laterites, Clay Depleted Soils and Podzols in the Plateaus of the Middle-East Part of the Upper Amazon Basin (Jaú National Park) - Structure, Mineralogy and Genesis. In: **Anais do 16º Congresso Mundial da Ciência do Solo**, Montpellier, França, 1998.

NASCIMENTO, N. R. *et al.* Erosão química dos solos e das alteritas na Bacia do Rio Jaú -AM: balanços geoquímicos. 2000 (Projeto de pesquisa)

NASCIMENTO, N. R. *et al.* Podzolisation as a deferralitization process. A study of an Acrisol-Podzol sequence derived from Paleozoic sandstones in the northern upper Amazon Basin. **European Journal of Soil Science**, Inglaterra, v. 55, p. 523-538, 2004.

OLIVEIRA, J.B. Processos Pedogenéticos. In: MONIZ, A. C (org.). **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972, 459p.

PANSU, M & GAUTHEYROU, J. **L'Analyse du sol, minéralogique, organique et minérale**. Paris: Springer-IRD, 2003, 994p.

PROJETO RADAM. **Levantamento de Recursos Naturais**. Ministérios das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Rio de Janeiro, Brasil, 1972-1978, pp.1-15.

RADAMBRASIL. Içá-SA.19.**Levantamento de recursos naturais**. v. 19. Ministério das Minas e Energia. Departamento de Produção Mineral, Rio de Janeiro, 1977.

ROBERT, M.; TESSIER, D. **Méthode de préparation des argiles des sols pour des études mineéralogiques**. Ann. Agron. v. 25, 1974. p. 859-882.

RODRIGUES, T. E. **Solos da Amazônia**. In: ALVAREZ, V.H.V.; FONTES, L.E.; FONTES, M.P.F (Orgs). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa-MG: SBCS, UFV, DPS, 1996. p. 19-60.

ROSOLEN, V. S. **Transformação de uma cobertura laterítica por hidromorfia: estudo de uma topossequência da Amazônia brasileira (Humaitá-AM)**. Tese (doutorado). São Paulo, 2000. 201p. Universidade de São Paulo.

ROSSMAN, G. R. Optical spectroscopy. IN: RIBBE, P. H. **Spectroscopic methods in Mineralogy and Geology**. Mineralogical Society of America. 1988, p. 207-243.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Paris: Les Éditions Foucher, 1993. 192 p.

RUSSELL, J. D & FRASER, A. R. Infrared methods. IN: WILSON, M. J. **Clay mineralogy: Spectroscopic and chemical determinative methods**. London: Chapman and Hall, 1994, p. 11-67.

SANTOS, J.O.S *et al.* A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. **Gondwana Research**, 3 (4), 2000. p 453-488

SCHEINOST, A. C.; CHAVERNAS, A.; BARRÓN, V e TORRENT, J. Use and Limitations of second-derivative diffuse reflectance spectroscopy in the visible to near-infrared range to identify and quantify Fe oxide minerals in soils. **Clay and Clay Minerals**, vol. 46, n°5. 1998, p. 528-536.

SHERMAN, D. M. & WAITE, T. D. Electronic spectra of Fe³⁺ oxides and oxides hydroxides in the near IR to near UV. **American Mineralogist**, 70, 1985, p. 1262-1269.

SILVA, F. C. F.; JESUS, R. M.; RIBEIRO, A.G. Vegetação. **Manaus**. v. 19. DNPM/Projeto Radambrasil: Rio de Janeiro, 1977. p. 301-321.

SOUBIES, F.; CHAUVEL, A. Présentation de quelques systèmes de sols observés au Brésil Cah. ORSTOM. **Série Pédologie**, v 19, p.237-251, 1985.

TARDY, Y. **Pétrologie des latérites et des sols tropicaux**. Paris: Masson, 1993. 459 p.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. **Episodes**, 22 (3), 1999.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Intemperismo e Formação do Solo. In: TEIXEIRA, W. *et al* (Org). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Cap. 8, 139-165.

THOMAS, M.; THORP, M.; McALISTER, J. Equatorial weathering, landform development and formation of white sands in north western Kalimantan, Indonesia. **Catena**, v.36, p. 205-232, 1999.

TURENNE, J. F. **Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises**. Thèse Univ. Nancy et Mém. ORSTOM, 1975. 173p.

VIEIRA, L. S. **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 416p.

VIZIER, J. F. **Étude des phénomènes d'hydromorfie dans les sols des régions tropicales a saisons contrastées. Dynamique du fer et différenciation des profils**. ORSTOM : Paris, 1983, 294p.

VOLKOFF, B. Organisations régionales de la couverture pédologique du Brésil. Chronologie des différenciations. **Cah. ORSTOM. Sér. Pédologie**, v. XIX, 4, p. 225-236, 1985.

WANG, S. L. & JOHNSTON, C. T. Assignment of the structural OH stretching bands of gibbsite. **American Mineralogist**, 85, 2000, p. 739-744.

7 APÉNDICE

7.1 APÊNDICE A - DESCRIÇÕES DE CAMPO

DESCRIÇÕES DE CAMPO DOS PERFIS

- DESCRIÇÃO DA TRINCHEIRA TIB3 FACE A

0 a +5 cm: Oi: Serrapilheira: composta por camadas de cobertura contínua de folhas secas (estrutura reconhecível) e por material pastoso orgânico que mantém alguns fragmentos reconhecíveis de raízes e talos.

0 - 7 cm: A11: Horizonte organo-mineral irregularmente impregnado pela matéria orgânica. Cor bruna escura (10YR3/3), areia franca, granular, muito poroso. Transição clara com faixa de separação irregular.

7 - 12 cm: A12: Horizonte bruno-amarelado (10YR5/6); areia franca; granular; porosidade estrutural; muitas raízes médias; transição gradual e ondulada.

12 - 57 cm: B1Bh: Horizonte com distribuição irregular de matéria orgânica; cor bruno-amarelada escura (10YR4/4); areia franca, granular, porosidade tubular estrutural e textural, transição gradual e ondulada.

57 - 72 cm: B1: Horizonte amarelo-brunado (10YR6/6); areia franca; pouco plástico e não-pegajoso; estrutura granular; porosidade estrutural e tubular ligadas às raízes mortas; poucas raízes; transição gradual e ondulada.

72 – 137 cm: B2: Horizonte amarelo-brunado a amarelo-avermelhado (10YR a 7,5YR6/8); areia franca; maciça; porosidade textural; poucas raízes médias (vivas e mortas); transição gradual e ondulada.

137 - 149 cm: C4: Saprolito fino, apresentando plasma de cor 10YR 7/8, franco-argilo-arenoso e maciço.

149 cm⁺: R: Rocha pouco alterada: se quebra em placas horizontais, entre as quais existem raízes finas e presença de feldspatos e minerais máficos.

- DESCRIÇÃO DA TRINCHEIRA TIB1 FACE A

0 a +10 cm: Oi: Serrapilheira composta por folhas secas com estrutura reconhecível e material pastoso bruno-avermelhado com fragmentos vegetais não decompostos, reconhecíveis a olho nu e muitas raízes mortas.

0 – 3 cm: A11: organo-mineral, bruno muito escuro (10YR2/2); areia franca; pouco pegajoso e pouco plástico; granular fraca, muitos poros estruturais e muitas raízes. Transição abrupta e ondulada.

3 – 18 cm: A12: bruno escuro (10YR4/3); areia franca; não pegajoso e pouco plástico; granular (grânulos até 5 mm) fraca; porosidade estrutural e tubular; muitas raízes finas e médias. Transição ondulada e gradual pelo amarelecimento da cor.

18 – 41 cm: B1Bh: bruno-amarelado (10YR5/6) e amarelo-brunado (10YR6/6); textura areia franca; não pegajoso e pouco plástico; maciça com quebra granular,

fraca; porosidade estrutural e tubular; muitas raízes médias. Transição ondulada e gradual pelo amarelecimento da cor.

41 – 82 cm: B1: amarelo-brunado (10YR6/6), textura areia; não pegajoso; maciço, fraca; porosidade estrutural e tubular, raízes finas e médias. Transição ondulada.

82 – 112 cm: B2: amarelo-brunado (10YR6/8); areia franca; não pegajoso e pouco plástico; maciço com quebra granular, fraca; porosidade estrutural. Presença de carvões, raízes finas e médias e de raízes mortas. Transição gradual e ondulada.

112 – 135 cm: BgE: Horizonte de cor heterogênea, amarelo-brunado (10YR 6/6) no topo, redução do croma na base; mosqueados (10YR 7/6) na base, nódulos ferruginosos cor 5YR 4/6 no topo, duros. Areia (areia fina), maciço, porosidade textural. Transição abrupta e ondulada.

135 – 150 cm: Eg: Horizonte cinza claro (2,5Y7/2); areia, poros tubulares preenchidos por material orgânico, escuros. Maciço, porosidade textural alta, mosqueados mais amarelos no topo. Transição ondulada.

150 – 160 cm: Bhg: 2.5YR 3/3, endurecido, areia franca, maciço, poucos poros. Amarelo pálido (2.5YR 7/4) cor dominante, areia franca, mais poroso, maciço, mais amarelo na base. Transição ondulada.

160 – 193 cm: C4: plasma: 10YR 7/8, manchas: amarelo-avermelhadas (7.5YR 6/8), relíquias de feldspato e biotitas, textura franco-argilo-arenosa. Transição gradual.

193 – 198 cm: C5: textura petrográfica, estrutura litológica; mantém feldspatos e biotitas. Transição gradual.

198 cm+: R: a partir desse ponto encontrou-se a rocha dura em início de alteração.

- DESCRIÇÃO DA TRINCHEIRA TIB 2 FACE A (TIB2A)

0 a +3 cm: Oi: Serrapilheira composta por camadas de folhas secas com estrutura reconhecível, e material pastoso bruno avermelhado, com raízes mortas observáveis a olho nu.

0 – 5 cm: A12E: Horizonte heterogêneo bruno (10YR5/3), branco (10YR8/1) com domínios bruno-acinzentados escuros (10YR4/2); areia; grãos soltos; porosidade textural; raízes finas. Transição clara e irregular.

5 – 33 cm: Bhs: Horizonte heterogêneo bruno (10YR5/3), dominante, e manchas bruno escuras (10YR4/3); areia franca a areia; granular (até 5 mm); porosidade tubular preenchida por areia branca. Transição abrupta e irregular.

33 – 54 cm: B1Bhs: cor bruno-olivácea clara a bruno-amarelada clara (2,5Y5,5/4), com zonas mais escuras; areia franca; maciça; poros texturais finos e tubulares. Transição gradual e irregular.

54 – 79 cm: B1: amarelo-brunado (10YR6.5/6) a amarelo oliváceo (2,5Y6,5/6) e; areia franca; maciço; poros texturais e tubulares, raízes vivas e mortas. Transição abrupta e irregular.

79 -109 cm: BgE: Horizonte cinza-brunado claro (2,5Y6/2); areia, com predomínio de areia fina; maciço; porosidade textural. No topo do horizonte tem nódulos compactos de cor vermelho escuro (2,5YR3/6) e zonas amarelas (10YR7/6) na periferia. Transição abrupta e irregular.

109 - 171 cm: C1g e C2g: horizonte amarelo (10YR6/6) com manchas amarelo-avermelhadas (7,5YR6/8), maciço, porosidade intersticial e tubular fina, textura franco-arenosa a areia franca. Transição gradual e irregular.

171- 200 cm: C3g: horizonte amarelo pálido a branco (2,5Y8/4 a 2,5Y8/2) com mosqueados amarelo-avermelhados (5YR6/6) de 3mm de diâmetro, franco-arenoso e maciço. Poros intersticiais e tubulares finos. Transição abrupta.

200-237 cm: C4: plasma: 10YR 7/8, manchas: amarelo-avermelhadas (7.5YR 6/8), relíquias de feldspato e biotitas, textura franco-argilo-arenosa. Transição gradual.

237-267 cm : C5: textura petrográfica, estrutura litológica; mantém feldspatos e biotitas. Transição gradual.

267cm +: R: Rocha dura em início de alteração

- TIB2 FACE D MONTANTE

0 a +4 cm: Oi: Serrapilheira com muitas raízes e folhas de estrutura reconhecível misturados a material orgânico de cor bruno-escuro (7,5YR3/2). Na parte inferior aparecem grãos soltos e areias brancas. Contraste forte com o horizonte inferior.

0 – 6 cm: A12E: Horizonte de cor cinza-claro (10YR7/2), com domínios bruno (7.5YR4/3), muito friável, areia, grãos soltos e porosidade textural. Transição clara e irregular.

6 – 30 cm: Bhs: Horizonte de cor bruno-escuro (10YR 3.5/3), domínios bruno-acinzentados muito escuro (10YR 3/2) e zonas bruno-avermelhadas (2.5YR 4.5/3) (sobretudo na base); areia franca; maciço; porosidade intersticial e textural, poros preenchidos por material orgânico. Transição gradual e irregular.

30 – 39 cm: B1Bhs: bruno-olivácea clara a bruno-amarelada clara (2.5Y5.5/4); areia franca; friável; maciço; poros texturais e tubulares finos, às vezes preenchidos por material orgânico. Transição gradual e irregular com contraste fraco.

43 – 87 cm: B1: Cor amarelo-brunada (10YR6/6) a amarelo-olivácea/amarela (2.5Y 6.5/6); areia franca; maciço; porosidade textural e tubular fina, encontrando-se algumas raízes mortas. Transição gradual e irregular com contraste médio.

90-120 cm: Bhs: Horizonte de cor bruno-escuro (10YR 3.5/3), domínios bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2) e zonas bruno-avermelhadas (2.5YR 4.5/3;

areia franca; maciço; porosidade intersticial e textural, poros preenchidos por material orgânico. Transição gradual e irregular.

- TIB2 FACE D JUSANTE (TIB2DJ)

0 a +4 cm: Oi: Serrapilheira com descrição semelhante à citada na TIB2dm.

4 – 15 cm: A12E: Imbricação de fase bruna (7,5YR4/3) com fase bruno-acinzentada (10YR5/2); areia; grãos soltos; porosidade intersticial e presença de raízes. Transição clara e irregular.

15 – 42 cm: A13E: Horizonte cinza-brunado claro (10YR6/2) dominante, com manchas bruno-acinzentadas (10YR5/2) e areias brancas; areia (areia fina); maciço; porosidade intersticial; poucas raízes, algumas mortas em poros tubulares. Transição gradual e irregular com contraste médio.

42 – 55 cm: E1: Horizonte com areias de cor cinza clara (7,5YR7/1); areia; maciço; porosidade intersticial; poucas raízes.

55 – 66 cm: E2: relíquias bruno-acinzentadas escuras a cinza-brunada clara (10YR4/2 a 10YR6/2) com zonas cinza claras (7,5YR7/1) anastomosadas, areia. Transição gradual e irregular.

63 – 105 cm: Bhs: Relíquias dentro do E, bruno-acinzentadas muito escuras a cinza-brunada clara (10YR3/2 a 10YR6/2), de forma descontínua. No interior deste horizonte há relíquias de Bh de cor bruno-acinzentada escura a bruno-escuro (10YR4/2 a 10YR4/3); areia; maciça e mais compacta.

105 – 107 cm: Bh: Parte superior bruno-acinzentada escura (10YR4/2) e a porção inferior é bruno-acinzentada muito escura (10YR3/2); areia franca; maciça e mais compacta; porosidade intersticial, talvez revestimento de matéria orgânica sobre matriz arenosa. Transição abrupta e irregular.

123 – 125 cm: C1sgh: Horizonte de cor heterogênea matriz amarelo-brunada (10YR6/6) com zonas bruno-avermelhadas a bruno-avermelhada escura (5YR4/4 a 2,5YR3/4), configurando acumulação de matéria orgânica e sesquióxidos de ferro; areia franca; maciço, compacto e duro. Transição abrupta e irregular com contraste médio.

125 +cm: C1g: horizonte amarelo (10YR6/6) com manchas amarelo-avermelhadas (7,5YR6/8), maciço, porosidade intersticial e tubular fina, textura areia franca.

7.2 APÊNDICE B - RESULTADOS DAS ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

TABELA 1- Distribuição percentual das partículas dos solos da topossequência

Perfil	Horizonte	Prof. Média (cm)	Argila	Silte	%			Classificação Textural ⁽¹⁾
					Areia Fina	Areia Grossa	Areia total	
TIB3	A12	15	8,52	6,91	67,83	16,75	84,58	areia franca
	B1Bh	32	8,89	7,41	74,49	9,22	83,71	areia franca
	B1Bh	54	9,95	4,14	75,76	10,16	85,92	areia franca
	B1	70	8,99	3,95	76,82	10,23	87,05	areia franca
	B2	99	9,52	5,90	74,86	9,71	84,57	areia franca
	B2	131	8,14	5,37	75,84	10,65	86,49	areia franca
	C4	148	12,22	6,00	53,43	28,35	81,78	franco arenoso
TIB1	A11	2	4,82	5,53	77,32	12,34	89,66	areia franca
	A12	8	4,95	7,77	74,21	13,08	87,29	areia franca
	B1Bh	30	10,81	4,30	77,17	7,72	84,89	areia franca
	B1	57	7,74	4,13	79,79	8,35	88,14	areia franca
	B1	78	7,91	4,18	79,93	7,98	87,91	areia franca
	B2	97	7,48	4,44	80,01	8,07	88,09	areia franca
	BgE	124	3,80	5,06	85,57	5,58	91,15	areia
	Eg	143	1,58	3,68	93,56	1,19	94,75	areia
	Bhg	155	6,92	4,20	86,85	2,03	88,89	areia franca
	C4	174	26,96	14,05	29,82	29,18	59,00	franco argilo-arenoso
TIB2A	C5	196	12,16	12,05	30,78	45,01	75,80	franco arenoso
	Bhs	15	4,85	4,62	80,99	9,55	90,54	areia
	Bhs	28	5,41	5,24	82,15	7,20	89,35	areia franca
	B1Bhs	40	5,59	6,35	80,57	7,49	88,07	areia franca
	B1	80	5,68	4,90	81,17	8,26	89,43	areia franca
	BgE	120	4,06	5,79	84,07	6,08	90,15	areia
	C1g	130	4,58	6,87	84,99	3,56	88,56	areia franca
	C2g	165	7,74	9,06	81,05	2,15	83,21	franco arenoso
	C3g	190	9,95	9,07	77,93	3,06	80,99	franco arenoso
	C4	217	31,71	14,82	25,15	28,32	53,47	franco argiloso
TIB2dm	C5	248	17,46	20,58	23,53	38,43	61,96	franco
	A12E	10	1,75	3,95	85,37	8,94	94,31	areia
	Bhs	22	5,49	1,74	85,43	7,35	92,78	areia
	B1Bhs	75	5,30	5,41	82,60	6,70	89,30	areia franca
	BgBh	95	5,78	5,62	82,23	6,38	88,61	areia franca
	Bhs	98	7,09	6,92	80,42	5,58	86,00	areia franca
	Bhs	110	7,76	4,77	83,30	4,17	87,48	areia franca
	Bh	145	6,40	9,19	80,71	3,70	84,41	areia franca
	E1	150	0,52	13,66	70,34	15,48	85,82	areia franca
	C1Bhsg	160	9,86	4,42	80,96	4,76	85,73	areia franca
TIB2dj	C1sg	170	7,27	9,37	79,44	3,93	83,37	areia franca
	A12	11	1,67	2,57	87,15	8,62	95,77	areia
	A13E	25	0,82	21,85	69,90	7,44	77,34	franco arenoso
	E2	60	0,57	3,30	88,43	7,71	96,14	areia
	E2	95	0,37	7,27	85,63	6,74	92,37	areia
	Bh	113	1,86	8,81	82,95	6,38	89,33	areia franca
	C1Bhsg	115	8,63	5,32	82,03	4,03	86,06	areia franca
C1sg	120	7,97	6,39	79,76	5,88	85,65	areia franca	

⁽¹⁾ Agrônomo de Campinas, 1986

7.3 APÊNDICE C - RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO COMPLEXO DE TROCA ADSORVENTE

Tabela 2 - Resultados das análises químicas do complexo de troca adsorvente

Perfil	Hor.	Prof. Média (cm)	(1) P mg/dm ³	(1) K mg/dm ³	(2) Ca	(2) Mg	cmol _c /dm ³			CTC (T)	V %	m %	N _{total} g Kg ⁻¹	C g Kg ⁻¹	C/N
							(2) Al	(3) H+Al	SB						
TIB3	A11	8	4,60	0,00	0,26	0,15	2,76	15,90	0,41	16,31	2,50	87,10	2,17	55,68	26
	B1Bh	32	0,40	12,00	0,00	0,04	0,38	6,60	0,08	6,68	1,20	82,60	0,78	16,30	21
	B1Bh	54	0,00	4,00	0,00	0,02	0,10	4,20	0,03	4,23	0,70	76,90	0,42	8,93	21
	B1	70	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	3,60	0,04	3,64	1,10	71,40	0,25	4,47	18
	B2	99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,70	0,00	2,70	0,00	0,00	0,17	0,75	4
	B2	131	0,00	3,00	0,00	0,01	0,00	2,40	0,02	2,42	0,80	0,00	0,22	2,96	13
	C4	148	0,50	4,00	0,00	0,01	0,00	2,40	0,03	2,43	1,20	0,00	0,15	3,71	25
TIB1	A12	8	4,70	34,00	0,00	0,10	0,76	8,60	0,22	8,82	2,50	77,60	1,16	23,72	20
	B1Bh	30	0,80	5,00	0,00	0,02	0,10	4,40	0,06	4,46	1,30	62,50	0,58	13,34	23
	B1	57	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	3,10	0,02	3,12	0,60	0,00	0,22	2,96	13
	B1	78	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	3,00	0,04	3,04	1,30	0,00	0,21	2,96	14
	B2	97	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	2,50	0,01	2,51	0,40	0,00	0,15	1,51	10
	BgE	124	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	1,90	0,00	0,00	0,07	0,75	11
	Eg	143	0,40	0,00	0,00	0,01	0,00	1,70	0,02	1,72	1,20	0,00	0,05	0,75	15
Bhg	Bhg	155	0,20	0,00	0,00	0,00	0,48	5,70	0,03	5,73	0,50	94,10	0,16	4,47	28
	C4	174	0,10	7,00	0,00	0,01	0,38	3,80	0,05	3,85	1,30	88,40	0,21	4,47	21

(1) P - K - extrator Mehlich - 1

(2) Ca - Mg - Al - Extrator KCl - 1 mol/L

(3) H+Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0

Tabela 2 - Resultados das análises químicas do complexo de troca adsorvente

Perfil	Hor.	Media (cm)	(1) P mg/dm ³	(1) K mg/dm ³	(2) Ca	(2) Mg	cmol _c /dm ³			CTC (T)	V %	m	(continuação)		
							(2) Al	(3) H+Al	SB				N _{total} g Kg ⁻¹	C g Kg ⁻¹	C/N
	Bhs	15	3,00	23,00	0,00	0,05	0,95	10,10	0,13	10,23	1,30	88,00	1,14	28,19	25
	Bhs	28	3,30	12,00	0,00	0,03	0,38	7,40	0,12	7,52	1,60	76,00	0,86	22,27	26
	B1Bhs	40	1,10	2,00	0,00	0,01	0,10	5,20	0,09	5,29	1,70	52,60	0,53	11,89	22
	BgE	120	0,60	0,00	0,00	0,01	0,00	3,50	0,04	3,54	1,10	0,00	0,16	2,20	14
TIB2A	C1g	130	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	4,20	0,01	4,21	0,20	0,00	0,18	5,22	29
	C2g	165	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	3,00	0,02	3,02	0,70	0,00	0,14	2,96	21
	C3g	190	0,10	0,00	0,00	0,01	0,29	2,80	0,02	2,82	0,70	93,50	0,09	1,51	17
	C4	217	0,00	1,00	0,00	0,02	0,38	3,50	0,02	3,52	0,60	95,00	0,19	3,71	20
	C5	248	0,00	4,00	0,00	0,02	0,10	3,10	0,05	3,15	1,60	66,70	0,16	2,20	14
	A12E	10	3,10	20,00	0,00	0,05	0,38	3,3	0,1	3,4	2,90	79,20	0,37	5,92	16
	Bhs	22	2,50	11,00	0,00	0,03	0,95	10,7	0,09	10,79	0,80	91,30	0,92	25,23	27
	B1Bhs	75	1,30	0,00	0,00	0,02	0,67	10,7	0,07	10,77	0,60	90,50	0,65	26,74	41
	BgBh	95	0,50	0,00	0,00	0,02	0,38	7,5	0,05	7,55	0,70	88,40	0,43	13,34	31
TIB2dm	Bhs	98	0,80	3,00	0,00	0,02	2,86	22,5	0,1	22,6	0,40	96,60	1,42	47,51	33
	Bhs	110	0,40	0,00	0,00	0,01	3,62	19,6	0,02	19,62	0,10	99,50	0,43	25,23	59
	Bh	145	0,80	0,00	0,00	0,01	2,57	13	0,01	13,01	0,10	99,60	0,39	17,05	44
	C1Bhsg	160	0,70	0,00	0,00	0,01	1,33	14,5	0,01	14,51	0,10	99,30	0,35	17,81	51
	C1sg	170	0,00	4,00	0,00	0	0,38	8,2	0,01	8,21	0,10	97,40	0,23	10,38	45

(1) P - K - extrator Mehlich - 1

(2) Ca - Mg - Al - Extrator KCl - 1 mol/L

(3) H+Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0

Tabela 2 - Resultados das análises químicas do complexo de troca adsorvente

Perfil	Hor.	Media (cm)	(conclusão)												
			(1) P mg/dm ³	(1) K	(2) Ca	(2) Mg	(2) Al	(3) H+Al	SB	CTC (T)	V	m	N _{total} g Kg ⁻¹	C	C/N
TIB2dj	A12E	11	3,00	16,00	0,00	0,04	0,29	3,90	0,08	3,98	2,00	78,40	0,46	8,93	19
	A13E	25	0,70	2,00	0,00	0,02	0,00	2,70	0,03	2,73	1,10	0,00	0,18	3,71	21
	E1	45	1,90	1,00	0,00	0,01	0,10	6,10	0,04	6,14	0,70	71,40	0,47	14,85	32
	E2	95	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,70	0,03	1,73	1,70	0,00	0,07	0,75	11
	Bh	113	1,90	13,00	0,00	0,03	3,71	26,20	0,09	26,29	0,30	97,60	1,35	44,55	33
	C1Bhsg	115	1,10	0,00	0,00	0,00	3,71	25,50	0,00	25,50	0,00	100,00	0,49	31,90	65
	C1sgh	120	0,10	0,00	0,00	0,00	1,24	13,40	0,01	13,41	0,10	99,20	0,39	19,32	50

(1) P - K - extrator Mehlich - 1

(2) Ca - Mg - Al - Extrator KCl - 1 mol/L

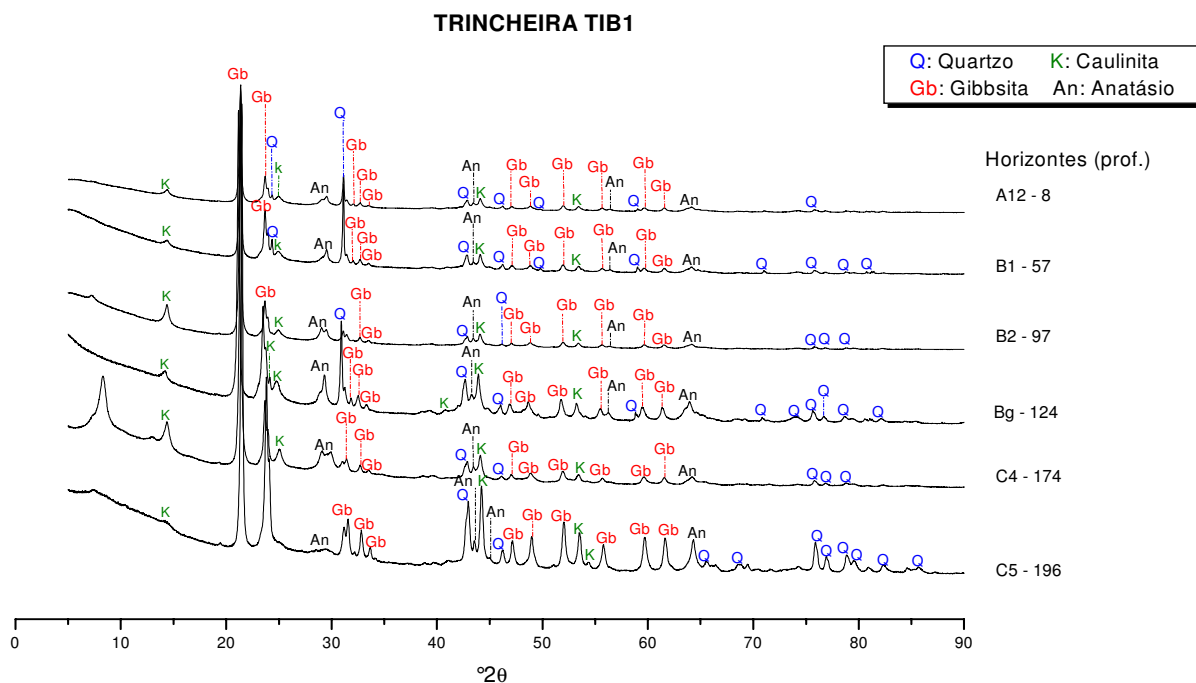
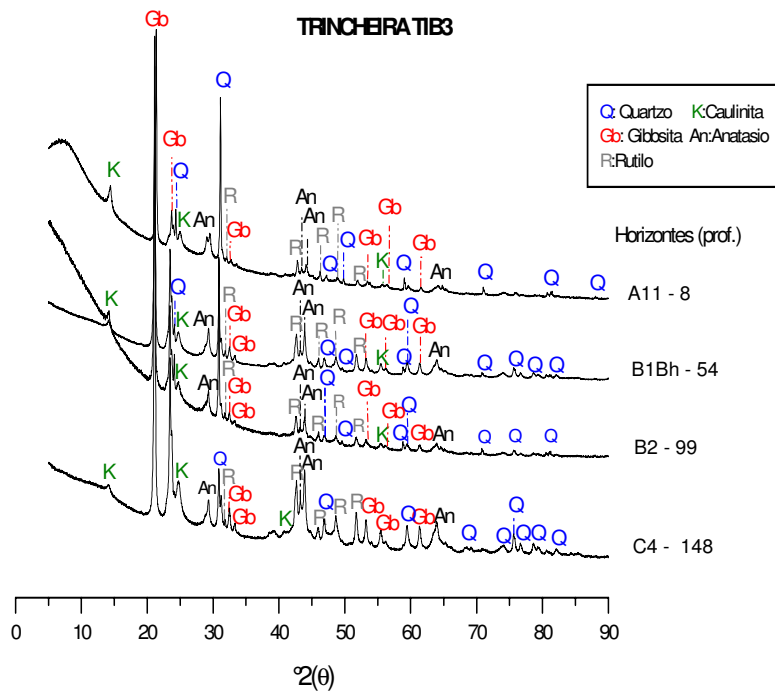
(3) H+Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0

Tabela 3 - Resultados de pH em H₂O e KCl

Perfil	Hor.	Prof. Media (cm)	pH	
			⁽¹⁾ pH H ₂ O	⁽¹⁾ pH KCl
TIB3	A11	8	3,4	3,1
	A12	15	4,9	3,8
	B1Bh	32	5,5	4,4
	B1Bh	54	5,4	4,7
	B1	70	5,1	4,8
	B2	99	5,2	4,9
	B2	131	5,4	5
	C4	148	5,3	5,3
TIB1	A11	2	3,4	3,1
	A12	8	5	4,1
	B1Bh	30	5,6	4,8
	B1	57	5,4	4,8
	B1	78	5,4	4,9
	B2	97	5,2	5
	BgE	124	5,6	5
	Eg	143	6	4,8
	Bhg	155	5,2	4,3
	C4	174	5	4,2
C5	196	5	4,2	
TIB2A	Bhs	15	5,3	4
	Bhs	28	5,6	4,5
	B1Bhs	40	5,2	4,9
	B1	80	5,3	4,9
	BgE	120	5,4	4,9
	C1g	140	5,5	5
	C2g	165	5,4	4,9
	C3g	190	5,1	4,2
	C4	217	4,9	4,2
	C5	248	5,1	4,3
TIB2dm	A12E	10	4,8	3,5
	Bhs	22	5,2	4,1
	B1Bhs	75	5,3	4,4
	BgBh	96	5,1	4,4
	Bhs	98	4,4	3,9
	Bhs	110	3,9	3,2
	Bh	145	4,2	3,4
	E1	150	4,4	3,8
	C1Bhsg	160	4,8	4
	C1sgh	170	5	4,4
TIB2dj	A12E	11	5,2	3,2
	A13E	25	4,4	3,3
	E1	458	5,3	4,7
	E2	60	5,2	4,1
	E2	95	5	4,3
	Bh	113	3,9	3,3
	C1Bhsg	115	4,2	3,6
C1sgh	120	4,8	4,1	

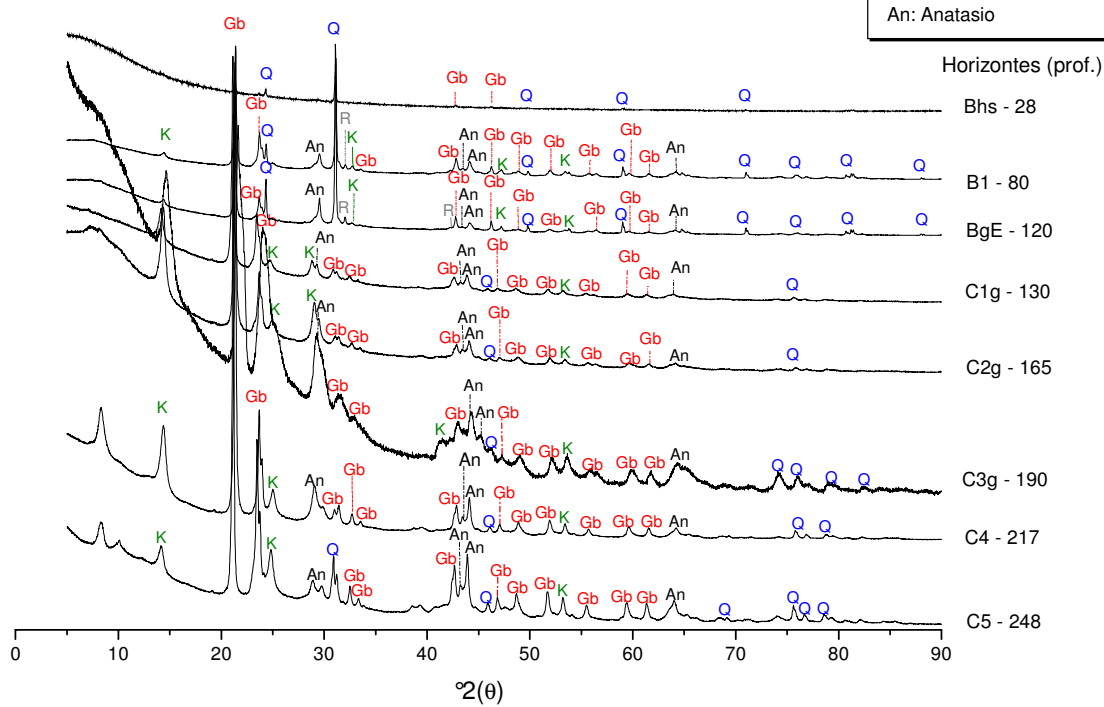
⁽¹⁾ pH em H₂O e KCl - Relação 1:2,5

7.4 APÊNDICE D - RESULTADOS DAS ANÁLISES MINERALÓGICAS POR MEIO DE DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X



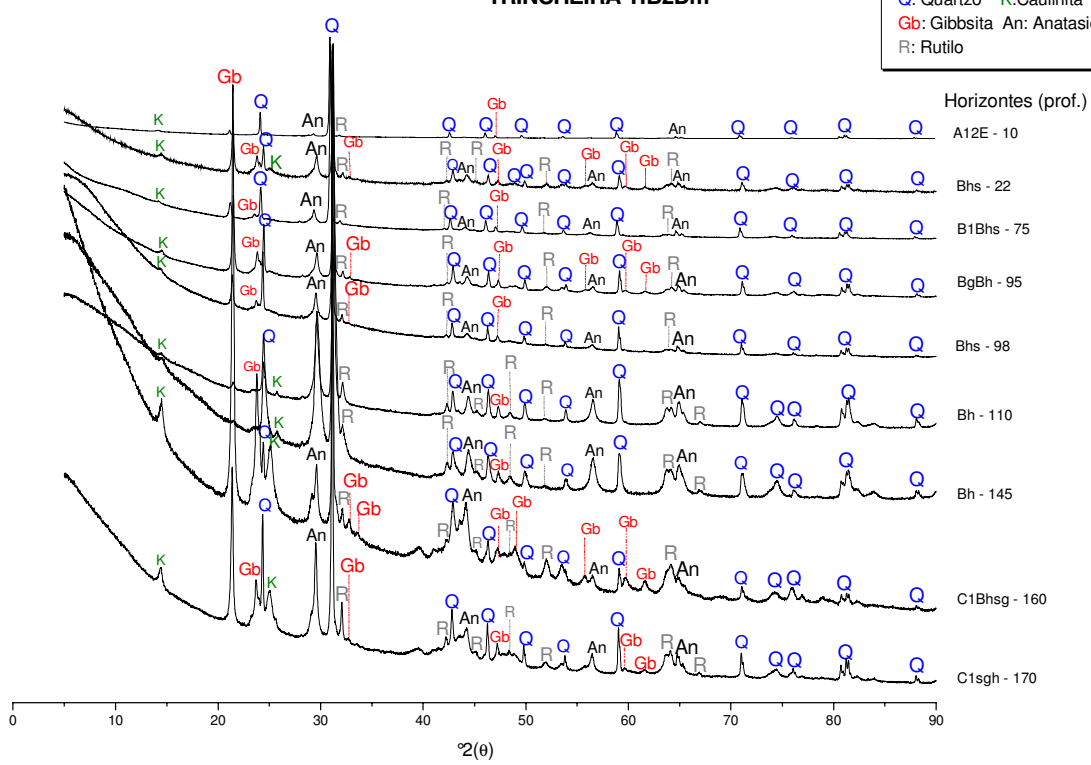
TRINCHEIRA TIB2A

Q: Quartzo K: Caulinita
 Gb: Gibbsita R: Rutilo
 An: Anatasio



TRINCHEIRA TIB2Dm

Q: Quartzo K: Caulinita
 Gb: Gibbsita An: Anatasio
 R: Rutilo



TRINCHEIRA TIB2Dj

