UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

SISTEMAS PEDOLÓGICOS DESENVOLVIDOS SOBRE
BASALTO, NA REGIÃO DE ILHA SOLTEIRA (ESTADO DE
SÃO PAULO - BRASIL): GÊNESE E TRANSFORMAÇÕES.

Silvia Maria Costa Nicola

Orientador: Prof. Dr. Adolpho José Melfi

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

(Volume I Texto)

SÃO PAULO
1993

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

SISTEMAS PEDOLÓGICOS DESENVOLVIDOS SOBRE
BASALTO, NA REGIÃO DE ILHA SOLTEIRA (ESTADO DE
SÃO PAULO - BRASIL): GÊNESE E TRANSFORMAÇÕES.

Silvia Maria Costa Nicola

Orientador: Prof. Dr. Adolpho José Melfi

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

COMISSÃO JULGADORA

	nome	ass.
Presidente:	Dr. A.J.Melfi
Examinadores:	Dr. A.Ruellan
	Dr. J.Rueda
	Dr. C.C.Cerri
	Dr. R.G.L.Boulet

SÃO PAULO
1993

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005324

SISTEMAS PEDOLÓGICOS DESENVOLVIDOS SOBRE
BASALTO, NA REGIÃO DE ILHA SOLTEIRA (ESTADO DE
SÃO PAULO - BRASIL): GÊNESE E TRANSFORMAÇÕES.

Silvia Maria Costa Nicola

Orientador: Prof. Dr. Adolpho José Melfi

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

(Volume I Texto)

SÃO PAULO
1993

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix

PRIMEIRA PARTE - INTRODUÇÃO GERAL

CAPÍTULO I - APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS	2
CAPÍTULO II - ASPECTOS FÍSICOS DA ÁREA DE ESTUDO	
I. - LOCALIZAÇÃO	4
II. - ASPECTOS CLIMÁTICOS	4
III. - ASPECTOS DA VEGETAÇÃO	5
IV. - ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS E GEOLÓGICOS.....	5
CAPÍTULO III - ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA E PEDOGÊNESE DAS ROCHAS VULCÂNICAS BÁSICAS DA BACIA DO PARANÁ : REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
I. - ASPECTOS ESTRUTURAIS DOS PERFIS DE ALTERAÇÃO	7
II. - AS TRANSFORMAÇÕES NAS ALTERITAS E A PEDOGÊNESE	8

SEGUNDA PARTE : METODOLOGIA DE PESQUISA

CAPÍTULO IV - A EVOLUÇÃO METODOLÓGICA DA PEDOLOGIA DE CAMPO.	12
CAPÍTULO V - OS TRABALHOS DE CAMPO	
I. - CARACTERIZAÇÃO DA VERTENTE ESTUDADA.....	16
II. - A ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DA COBERTURA PEDOLÓGICA...	17
CAPÍTULO VI - A COLETA DE AMOSTRAS E OS TRABALHOS DE CAMPO...	20

TERCEIRA PARTE - O ESTUDO DA TOPOSSEQUÊNCIA "A"

CAPÍTULO VII - DADOS MACROSCÓPICOS : OS HORIZONTES PEDOLÓGICOS, SUAS CARACTERÍSTICAS E ORGANIZAÇÃO BIDIMENSIONAL

I. CARACTERÍSTICAS DOS HORIZONTES PEDOLÓGICOS	23
A. CONJUNTO DE ALTERAÇÃO.....	24
1. <i>Facies isalterita</i>	
1.1. Isalterita basáltica de cor clara, sem diferenciação ferruginosa.....	24
1.2. Isalterita basáltica com diferenciação periférica vermelha	25
1.3. Isalterita basáltica vermelha ou vermelha e preta	25
1.4. Isalterita basáltica bruna e preta	26
2 <i>Facies aloterita</i>	
2.1. Aloterita basáltica de cor clara, sem diferenciação ferruginosa.....	26
2.2. Aloterita basáltica vermelha ou vermelha e preta	26
B. CONJUNTO NODULAR.....	27
C. CONJUNTO VÉRTICO	28
D. CONJUNTO POLIÉDRICO	28
E. CONJUNTO DE SEIXOS	28
F. CONJUNTO SUPERFICIAL OU ORGANO-MINERAL	29
II. ORGANIZAÇÃO BIDIMENSIONAL DOS HORIZONTES.....	29
A. SEQUÊNCIA DE ORGANIZAÇÕES DA TRINCHEIRA A1	29
B. VARIAÇÕES A JUSANTE, ENTRE AS TRINCHEIRAS A1 E A8..	31
C. SEQUÊNCIA DE ORGANIZAÇÕES DA TRINCHEIRA A8	32
D. VARIAÇÕES A JUSANTE, ENTRE AS TRINCHEIRAS A8 E A10.	34
E. SEQUÊNCIA DE ORGANIZAÇÕES DA TRINCHEIRA A10	35
F. VARIAÇÕES A JUSANTE, DA TRINCHEIRA A10	37
III. SÍNTESE E CONCLUSÕES	
A. GEOMETRIA DOS HORIZONTES NA ESCALA DA TOPOSSEQUÊNCIA	38
B. DISTRIBUIÇÃO DOS HORIZONTES SEGUNDO A TOPOGRAFIA ..	38
C. AS PRINCIPAIS SEQUÊNCIAS VERTICAIS DE HORIZONTES...	41
D. OS SISTEMAS DE TRANSFORMAÇÃO E AS INTERPRETAÇÕES...	41

CAPÍTULO VIII - DADOS MICROSCÓPICOS E ANALÍTICOS

I. A SEQÜÊNCIA VERTICAL DE FORMAÇÃO DOS NÓDULOS COM MATRIZ POLIÉDRICA (TRINCHEIRA A3)	
A. INTRODUÇÃO	45
B. O CONJUNTO DE ALTERAÇÃO	45
1. Os fragmentos de basalto alterado	
1.1. Constituintes e organização.....	46
1.2. Diferenciações periféricas	49
1.3. Fissuração	50
2. Os fundos matriciais inter-fragmentos de basalto alterado	50
3. Cutãs e nódulos.....	52
4. Síntese da seqüência evolutiva do conjunto de alteração.....	53
C. O HORIZONTE NODULAR	
1. Introdução	55
2. Os fundos matriciais inter-nódulos	56
3. Os cutãs	58
4. Os nódulos	59
5. Síntese da seqüência evolutiva do horizonte nodular	62
D. ESQUEMA INTERPRETATIVO DA FORMAÇÃO DOS NÓDULOS COM MATRIZ POLIÉDRICA (TRINCHEIRA A3)	63
II. VARIAÇÕES LATERAIS DAS MICRO-ORGANIZAÇÕES E DA MINEROLOGIA DOS CONJUNTOS DE ALTERAÇÃO E NODULAR ...	64
III. A FORMAÇÃO DAS BOLSAS ARGILOSAS	
A. INTRODUÇÃO.....	72
B. A FORMAÇÃO DAS BOLSAS ARGILOSAS VIA DEGRADAÇÃO DO CONJUNTO NODULAR	
1. Introdução	73
2. Transformações microestruturais do conjunto nodular à bolsa argilosa vértica e vermelha (Trincheira A8)	73
3. Transformações microestruturais da bolsa argilosa de montante (trincheira A1), no contato com o horizonte nodular	77
4. Transformações microestruturais do horizonte nodular à bolsa argilosa bruna (trincheira A10). ..	79
C. A FORMAÇÃO DAS BOLSAS ARGILOSAS VIA ALTERAÇÃO ARGILOSA DO BASALTO	81
D. CONCLUSÕES E INTERPRETAÇÕES	82

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi possível graças a um programa de pesquisa mais amplo, na ocasião desenvolvido sob a coordenação geral do Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto, do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, com a colaboração da École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes e do Centre de Geomorfologie du CNRS, ambos da França. Este projeto engloba várias áreas de estudo, inclusive a região de Ilha Solteira (SP), onde desenvolvi o meu trabalho de tese.

Aproveito a oportunidade para externar os meus sinceros agradecimentos às diversas entidades e pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

A Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo - FAPESP e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, colaboraram para a realização deste trabalho, com a concessão de bolsas de pesquisa no Brasil e na França, respectivamente.

As Centrais Elétricas de São Paulo-CESP nos cedeu máquinas e apoio logístico para a realização dos trabalhos de campo, especialmente por intermédio do Sr. Antonio Luiz Rodrigues.

O Prof. Dr. Adolpho José Melfi, orientou e dedicou toda atenção possível à minha formação científica.

O Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto, colaborou em várias etapas deste trabalho e nos contatos com diversos pesquisadores e entidades, possibilitando a realização de estágios em diferentes laboratórios franceses, o que enriqueceu não só a parte analítica desta pesquisa mas também a minha formação científica.

O Prof. Dr. Alain Ruellan me despertou o interesse inicial pelo assunto, me ajudou a dar forma ao projeto de pesquisa original, reuniu-se comigo diversas vezes para examinar os trabalhos em andamento, participou e orientou os trabalhos de campo, bem como o estágio na França.

O Dr. Pierre Curmi, colaborou nos trabalhos de campo e no estudo das lâminas delgadas de solo.

Os integrantes da Missão ORSTOM (Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération) no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Drs. Jean Delvigne e Bruno Boulange, apoiaram no estudo do papel das alterações do basalto na formação dos solos estudados e no estudo das lâminas delgadas de solo, respectivamente.

O Dr. René Boulet, também integrante da ORSTOM no Instituto de Geociências da USP, grande impulsionador do desenvolvimento deste campo da ciência através de sua dedicação plena à formação e orientação de seus alunos, participou de todas as etapas deste trabalho, inclusive lendo pacientemente os manuscritos, enriquecendo-os com suas sugestões e críticas.

O Dr. Daniel Nahon tornou possível a realização do estágio na Universidade de Marseille e igualmente o Dr. Andre B. Delmas, o estágio na Escola Nacional Superior Agrônômica de Rennes.

A Prof. Dra. Maria Cristina Toledo, apoiou o desenvolvimento deste trabalho. Igualmente o Prof. Dr. Joel Barbujiani Sígolo.

Os pesquisadores e estudantes que participaram do trabalho de campo em Ilha Solteira os meus sinceros agradecimentos, em especial : Joel Pellerin, Selma de Castro, Sonia Furian Dias, Jorge Teodoro Dechen Vargas e Fernando Ximenes Salomão.

O meu agradecimento sincero aos amigos e colegas da Pós-Graduação do Instituto de Geociências da USP e dos laboratórios franceses de Rennes e de Marseille : N. R. do Nascimento, M. Azib, A. Miklos, C. Alvarenga, G. Stavroula, S. Alexis, A. V. Walter, E. L. Mosquera.

Os funcionários do Instituto de Geociências e do Instituto de Astronomia e Geofísica, ambos da USP, contribuíram com seu trabalho : Verônica Gabriel Santos, Cacilda Donizete Cruz, João Batista de Souza, Hélder Pinheiro Sampaio, Samuel Pedro Egídio, Dalton Machado da Silva, Maristela Prestes Severino, Sueli dos Santos e Rosana Astolso.

E finalmente, João Rafael Moraes Nicola e Fábio Tagliapietra, através de seus ensinamentos na área de informática.

SISTEMAS PEDOLÓGICOS DESENVOLVIDOS SOBRE BASALTO, NA REGIÃO DE ILHA SOLTEIRA, SP - BRASIL : GÊNESE E TRANSFORMAÇÕES.

Autora : Silvia Maria Costa Nicola

Orientador : Adolpho José Melfi

RESUMO

A área estudada corresponde à uma pequena parcela de uma vertente, localizada próxima à cidade de Ilha Solteira. O substrato é o basalto alterado com uma contribuição variável, porém, geralmente fraca, de arenitos intertrapianos. Há também um nível de seixos de quartzo, arenito e basalto.

O trabalho de campo caracterizou-se pela identificação e estudo dos perfis verticais dos solos em toposseqüências e, principalmente, pela pesquisa das transições laterais e do seu estudo detalhado. Ele permitiu identificar diferentes tipos de pedogênese e de horizontes, organizados em seqüências verticais ou laterais.

A cobertura pedológica estudada caracteriza-se pela presença de solos com caulinita dominante e outros com esmectitas dominantes. A relação espacial entre eles mostra que os solos cauliniticos são mais antigos e que, entre eles, se intercala, provavelmente, a colocação dos seixos. Nesse caso, sugere-se que a sucessão de solos com caulinita dominante para solos com esmectita dominante decorra de uma frente de bissialitização ascendente, transformando os solos a partir da sua base.

A cobertura pedológica com esmectitas dominantes apresenta seqüências nodulares, com nódulos litorreliquiaes vermelhos e matriz poliédrica. Em relação ao basalto alterado bege da base do perfil, os nódulos perdem parcialmente a sílica, concentram o ferro e, em menor proporção, o alumínio. No horizonte nodular, uma parte dos nódulos se transforma em plasma e o ferro liberado pode alimentar as soluções da base do perfil.

As seqüências nodulares com matriz poliédrica são transformadas a partir de sua base, por um horizonte argiloso e vértico, sem nódulos, que aparece em forma de cunha, entre o horizonte nodular e o basalto alterado. Microscopicamente, essa transformação caracteriza-se pela diminuição da coesão e fissuração dos nódulos. O determinismo dessa transformação poderia ser a modificação do regime hídrico, por concentração da água no centro das depressões, causadas pela irregularidade da frente de alteração do basalto.

Uma outra frente de transformação afeta a cobertura pedológica com esmectita dominante, cuja cor dos seus solos passam lateralmente e verticalmente do vermelho (montante e parte somital dos perfis) ao bruno (jusante e base dos perfis). Provavelmente, essa transformação relaciona-se às condições de umidade do solo a jusante. Ela corresponde à fase mais recente da evolução dessa cobertura pedológica.

ABSTRACT

The area studied is a small part of a watershed near the town of Ilha Solteira. The substratum is of basalt with a generally weak, variable contribution of intertrapped sandstone. There is also a covering layer of quartz, sandstone and basalt pebbles.

The field work is characterized by the identification and study of vertical soil profiles, in toposequences and, principally, by research and in-depth study of lateral transitions. It also permits the identification of various different types of pedogenesis and horizons, organized in vertical or lateral sequences.

The soil mantle under study was characterized by the presence of a kaolinite-dominated soil sample and another smectite-dominated one. The spatial convection between them demonstrates that the kaolinitic soil is the older, and between the two some pebbles were presumably deposited. In this case, it suggests that the succession of the kaolinite-predominant soil to the smectite-predominant soil occurs at an ascendent front of bisialitization, transforming the soil upwards from the base.

The smectite-predominant soil mantle presents vertical nodulous sequences, with red lithorelictal nodules and a polihedric matrix. In the modified beige basalt at the profile's base, the nodules partially lose silica, also concentrating iron and, to a lesser degree, aluminium. In the nodulous horizons, some nodules are transformed into plasma, and the iron liberated may enrich the solutions at the profile's base.

The nodulous sequences in the polihedric matrix are transformed, upwards from the base, by a clayey and vertic horizon, without nodules, which appears as a wedge, between the nodulous horizons and the modified basalt. Under the microscope, this transformation is characterized by a reduction in cohesion and by the fissuring of the nodules. The determinism of this transformation could be the modification of the hydric regimen, in terms of water concentration, at the centers of the depressions caused by irregularities of the basalt changes.

A different transformation front affects the smectite-predominant soil mantle, whose soil color changes laterally and vertically from red (uphill, at the summit of the profiles) to brown (downhill, at the base of the profiles). This modification is related to, the downhill soil humidity. It corresponds to the soil mantles most recent phase of evolution.

PRIMEIRA PARTE - INTRODUÇÃO GERAL

CAPÍTULO I

APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

Diversos autores (Bocquier, 1971; Boulet, 1974, 1981, 1983 ; Nahon, 1976; Chauvel, 1977; LUCAS, 1989;...), demonstraram o papel das transformações internas na evolução da cobertura superficial e, em particular, do seu modelado .

Esses resultados foram obtidos graças à análise das relações espaciais entre as organizações do solo, desde a escala das unidades de relevo até a escala microscópica. O interesse e a originalidade dessas análises bi ou tridimensionais foram registrados por Boulet et al (1982a, b e c). Aplicadas ao estudo da cobertura superficial de uma unidade de relevo, essa metodologia permite evidenciar suas transformações.

Dentro dessa linha de pesquisa, estabelecida sobre uma metodologia do tipo estruturalista, realizou-se o estudo de uma cobertura pedológica sobre basalto, próximo à cidade de Ilha Solteira (Estado de São Paulo - Brasil) . A prospecção sobre o terreno mostrou a presença de horizontes de alteração (alterita), horizontes nodulares, outros argilosos vérticos ou poliédricos e horizontes superficiais. Há, também, um nível de seixos, de composição estranha à do basalto alterado.

Na base dos perfis tem-se o basalto alterado e, acima desse, pode-se ter horizontes nodulares ou argilosos, vérticos ou poliédricos. Esses horizontes argilosos são descontínuos e podem separar os horizontes nodulares do basalto alterado, constituindo as bolsas argilosas.

Em função da geometria desses volumes e da morfologia das suas transições, levantaram-se algumas hipóteses sobre a gênese dos horizontes nodulares e das bolsas argilosas.

Os objetivos do presente trabalho são, primeiro, identificar os sistemas pedológicos desenvolvidos na área prospectada e, segundo, estudar em detalhe a gênese dos horizontes nodulares e das bolsas argilosas.

A **Primeira Parte** apresenta, no Capítulo II, os aspectos físicos da área de estudo. O Capítulo III discute alguns aspectos da alteração intempérica e da pedogênese das rochas vulcânicas básicas da Bacia do Paraná.

A **Segunda Parte** destina-se à apresentação da metodologia de pesquisa, enfatizando-se as etapas propostas por Boulet et al (1982) para a busca do conhecimento tridimensional da cobertura pedológica.

A **Terceira Parte** apresenta, no Capítulo VII, os dados macroscópicos da toposseqüência mais representativa da área estudada, identificando-se as seqüências verticais de horizontes e as relações geométricas entre elas. O Capítulo VIII trata do estudo detalhado da gênese dos horizontes nodulares e das bolsas argilosas.

A **Quarta Parte** mostra a organização da cobertura pedológica na escala da bacia. O Capítulo IX expõe a organização bidimensional das outras toposseqüências estudadas. O Capítulo X apresenta a organização tridimensional da cobertura pedológica, através da projeção no plano de algumas características ou caracteres identificados nas toposseqüências. O Capítulo XI discute o esquema interpretativo da evolução da cobertura pedológica e do modelado.

Enfim, o item **Considerações finais** destina-se a interpretação de todo o conjunto de solos estudados.

CAPÍTULO II

ASPECTOS FÍSICOS DA ÁREA DE ESTUDO

I. - LOCALIZAÇÃO

A área em estudo situa-se próxima à cidade de Ilha Solteira e corresponde à parcela de uma vertente de um córrego, afluente do rio Paraná. A cidade de Ilha Solteira situa-se a noroeste do Estado de São Paulo (Figura 1, Volume II-Anexos, página 8 - Fig.1, p.8), às margens do Rio Paraná e no prolongamento dos interflúvios dos rios Tietê-São José dos Dourados.

II. ASPECTOS CLIMÁTICOS

Os dados referentes aos elementos climáticos da região de Ilha Solteira foram extraídos do relatório do IPT (1985).

O clima da região foi classificado como tropical quente e úmido com 1 a 2 meses secos (Nimer, 1979) ou sub-úmido com pouca deficiência hídrica, megatérmica e com valores bem distribuídos durante o ano (Thorntwaite & Mather, 1955).

A Tabela 1, situada na página 47 do Volume II-Anexos (Tab.1, p.47), apresenta as médias mensais da temperatura e da precipitação pluvial. A precipitação média anual da região é de 1408.8mm, apresentando um período mais chuvoso de novembro a fevereiro. Nesse período, observa-se uma precipitação média total de 858mm, equivalente a 61% do total anual precipitado. O período mais seco do ano inicia-se no mês de junho, prolongando-se até o mês de agosto. Nele ocorre uma precipitação média de 83mm, equivalente a 5.9% do total anual precipitado.

A temperatura não apresenta grandes variações ao longo do ano. A média anual das temperaturas médias diárias é de 24°C. Os meses mais quentes do ano são janeiro, fevereiro e

março, com média mensal das temperaturas médias diárias de 26°C. Os meses mais frios do ano são junho e julho, com a média mensal das temperaturas médias diárias de 21°C e 21°C, respectivamente. Essas temperaturas apresentam uma variação média de 14% em relação à média anual das temperaturas médias diárias.

III. - ASPECTOS DA VEGETAÇÃO

A vegetação original era de Floresta Tropical semi-decídua, com sub-bosque abundante e árvores de até 20 metros de altura. A ocupação dessa área, nos últimos 50, anos transformou-a em pastagens, com algumas pequenas parcelas de culturas anuais acompanhando os vales. Na área em estudo, a cobertura vegetal é de capim colônia ou culturas anuais (milho e feijão).

IV. - ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS E GEOLÓGICOS

A região de Ilha Solteira apresenta-se inserida na vertente do vale do rio Paraná, com relevo regional caracterizado pela presença de encostas amplas, com declividade em geral abaixo de 15% e topos bastante aplainados, descendo em patamares longos em direção à calha do rio Paraná. A parte cimeira das encostas desenvolve-se sobre arenitos do Grupo Bauru e parcialmente sobre depósitos de seixos; os patamares, ou parte deles, apresentam basaltos do Grupo São Bento (IPT, 1985).

O Grupo São Bento é representado por rochas vulcânicas toleíticas da Formação Serra Geral, com idade Jurássico-Cretácea, entre os quais se intercalam, ocasionalmente, os arenitos e os siltitos. São basaltos afíricos a subafíricos, com conteúdo de fenocristais inferior a 5% do volume. Esses fenocristais (0.5-2mm) e/ou microfenocristais (0.2-0.5mm) são representados por plagioclásios cálcicos (An=86-50), piroxênios tipo augita (Wo=42-26) e pigeonita (Wo=12-6), raras olivinas, em geral, completamente alteradas (Bellieni et al, 1983). A matriz fundamental é constituída de plagioclásios ripiformes, micrólitos

de piroxênios e abundância de opacos (titânio-magnetita e ilmenita).

O Grupo Bauru apresenta litologia característica da Formação Santo Anastácio, constituída por arenitos de granulação fina a média, localmente argilosos, com seleção regular a ruim, com grãos arredondados a subarredondados, cobertos por película de óxido-hidróxido de ferro. Em sua mineralogia, predomina o quartzo, ocorrendo, secundariamente, feldspatos, calcedônias e opacos.

Ao longo do espigão, onde se situa a zona urbana de Ilha Solteira, ocorrem espessas formações superficiais, de caráter latossólico, recobertos por depósitos de seixos de até 3 metros de espessura. São seixos de quartzo, arenito, basalto e alguma calcedônia com matriz areno-argilosa. Esses depósitos apresentam-se alterados e, a seu nível topográfico, parecem associar-se a blocos de couraça ferruginosa, decamétricos e métricos que configurariam um nível de Altos Terraços do Quaternário Médio/Inferior para o Planalto Ocidental Paulista (IPT, 1981).

A meia encosta, e coincidindo com frequência a um patamar alongado em direção ao rio Paraná, ocorre um nível conglomerático com estratificação de depósito fluvial e abundante matriz areno-argilosa. Os seixos são menores, muitas vezes alterados e apresentam a mesma petrografia dos anteriores. Esses elementos repousam sobre os arenitos da Formação Santo Anastácio e podem representar uma *facies* conglomerática dessa Formação (IPT, 1981).

CAPÍTULO III

ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA E PEDOGÊNESE DAS ROCHAS VULCÂNICAS BÁSICAS DA BACIA DO PARANÁ: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

I. - ASPECTOS ESTRUTURAIS DOS PERFIS DE ALTERAÇÃO

Certos tipos de estrutura da rocha basáltica podem possibilitar a formação de alteritos e ao mesmo tempo influenciar na morfologia da alteração desses materiais. Os perfis que formam alteritos são particularmente interessantes, pois, permitem o estudo da rocha-sã e das *facies* de alteração.

Para os basaltos da *Formação Serra Geral*, encontram-se na literatura dois tipos principais de alteritos :

- . *Alteração concêntrica* (Carvalho, 1970; Gonçalves, 1987; Rocha, 1990), com fragmentos de basalto alterado de até 30cm de diâmetro, que apresentam córtex de alteração escamado, concêntricamente disposto em torno do núcleo, inicialmente não alterado. Na escala de cada fragmento de basalto alterado, nota-se que a espessura desse córtex é variável, podendo atingir até 20cm e suas camadas constituem diferentes "microperfis" de alteração, ao redor do núcleo.

- . *Alteração não concêntrica* (Menegotto & Gasparetto, 1987; Nicola e Boulet, 1987), com fragmentos de basalto alterado, menores, alongados horizontalmente e, raramente com córtex.

Menegotto & Gasparetto (1987), estudando a morfologia da alteração das rochas vulcânicas ácidas e básicas da *Formação Serra Geral*, na região de Santa Maria, RS, constataram que a alteração concêntrica desenvolveu-se, preferencialmente, nos materiais onde as fissuras separavam as rochas em grandes blocos, de forma mais ou menos prismática e, raramente, nos materiais intensamente fissurados ou vesiculares.

Em Ilha Solteira, a vertente estudada contém solos pouco espessos, sobre basaltos intensamente fissurados e com abundantes amígdalas ou não. Nas *facies isalterita*, localizadas nos perfis mais a jusante, pode ocorrer a formação de córtex, com

espessura inferior ou igual a 2cm. Nesse caso, além dos aspectos estruturais do basalto alterado (fissuração, presença de amígdalas), considerou-se como um fator determinante na formação dessa feição, a posição topográfica do perfil estudado.

Provavelmente, essas diferenças estruturais promovem uma maior ou menor homogeneização da influência da percolação das soluções que, por sua vez, influenciam no tipo de alteração. O meio de alteração torna-se mais aberto em direção à periferia dos fragmentos de basalto (principalmente na alteração concêntrica) e em direção ao topo dos horizontes de alteração (alteração concêntrica e não concêntrica).

II. - AS TRANSFORMAÇÕES NAS ALTERITAS E A PEDOGÊNESE

A paragênese simples das rochas vulcânicas básicas (plagioclásios, minerais ferro-magnesianos, opacos e vidros intersticiais) lhes confere um caráter "homogêneo". Nos processos de intemperismo, essas rochas se comportam como materiais simples (sem quartzo, somente silicatos) como revelam os estudos de diversos autores, entre eles Delvigne (1965); Sieffermann (1973), Proust (1983) e Gonçalves (1987).

Em relação às rochas básicas e ultrabásicas, observa-se que as paragêneses da alteração intempérica dos basaltos são mais simples (Ildefonse, 1987). A rápida abertura do meio e a conseqüente homogeneização das soluções devem-se à forte porosidade dessas rochas, já no início da alteração intempérica. Essa porosidade resulta da rápida dissolução dos minerais primários, em função da textura fina da rocha e de sua constituição simples e, também, pode ser decorrente da alteração hidrotermal, que afeta, normalmente, as olivinas e os vidros vulcânicos.

Em 1960, a Comissão Nacional de Solos (C.N.S) adotou para os solos derivados das rochas básicas duas unidades principais: solos com B latossólico (Terra Roxa Legítima) e solos com B textural (Terra Roxa Estruturada). Diversos trabalhos foram feitos sobre esses materiais: Paiva Neto et al (1949), Setzer (1949), Paiva Neto & Nascimento (1957), Benema et al (1959), Melfi (1967), Moniz (1967, 1973), Carvalho (1970), Melfi & Levi

(1971), Levi & Melfi (1972), Pedro et al (1976), Gonçalves (1978), Carvalho et al (1983), Oliveira & Prado (1987), Gonçalves (1987), Menegotto & Gasparetto (1987) e Rocha (1990).

Apesar desses trabalhos, são poucos os estudos das primeiras fases da alteração supérgena e da pedogênese sobre as rochas vulcânicas básicas. Pode-se destacar o trabalho de Miklos et al (1986, 1987), feito a partir de perfis verticais, estudados e coletados em pontos preferenciais da paisagem, com observações específicas sobre as transições laterais. Trata-se, portanto, de uma pesquisa em que a análise bidimensional da cobertura pedológica aparece de modo mais explícito.

O trabalho mais recente de mapeamento dos solos, que abrange a área em estudo, foi realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1985). A área desse mapeamento situa-se entre a borda do Planalto Ocidental Paulista e o leito maior do rio Paraná. O desenvolvimento pedogenético associou-se às fases de coluvionamento do arenito Bauru, notadamente àqueles relacionados à *Formação Santo Anastácio*, retrabalhados ao longo do Quaternário pelo caudal do rio. Esse retrabalhamento possibilitou a interposição de cascalheiras de espessura entre 1 e 6 metros, em profundidades variadas.

Assim, a evolução pedogenética da área permitiu a ocorrência de solos com diferenciações morfológicas e analíticas significativas, estando os solos com perfis mais desenvolvidos, situados nas porções alta e média da encosta do vale, ocupadas por *latossolos* (litologia = Arenito) e *podzólicos* (litologia=arenito ou basalto), e encontrados os *litólicos* (litologia=basalto), *brunizens avermelhados* (litologia=basalto) e solos *hidromórficos* (litologia=basalto).

Os *Latossolos* ocupam mais de 40% da área mapeada, ocorrendo em setores da alta, média e baixa encosta. São solos que apresentam um horizonte B latossólico com espessura mínima de 30cm, sob um horizonte A, quando esse ainda subsiste. Identificou-se, apenas, a classe *Latossolo Vermelho-Escuro*, caracterizado por apresentar um horizonte B com cores de matiz mais vermelho que 3.5YR e valor igual ou inferior a 4, além de uma relação molecular Al_2O_3/Fe_2O_3 menor que 3.14.

Esses solos apresentavam algumas características atípicas para a classe, tais como valores de Ki relativamente elevados, relação textural próxima de 1.5 e CTC/100g de argila superior a 12emg (sem correção para carbono). Entretanto, devido à aparente ausência de cerosidade nas observações de campo, à distribuição de argila ao longo do horizonte B, bem como o fraco desenvolvimento da estrutura, foram considerados como Latossolos, intermediários para Podzólicos Vermelho-Escuros.

Os *brunizens avermelhados* compreendem os solos minerais não hidromórficos, com horizonte A chernozêmico sobrejacente a um Bt, com argila de atividade alta, e nítida diferenciação entre os horizontes, devido às características de cor, estrutura e/ou textura (Jacomine, 1979). Foram identificadas três unidades pedológicas : 1) *Brunizem Avermelhado, textura argilosa*; 2) *Brunizem Avermelhado, textura argilosa com cascalho* e 3) *Brunizem Avermelhado, moderadamente drenado, textura argilosa*.

Os solos *litólicos* apresentavam horizonte A chernozêmico, textura argilosa e caráter eutrófico. Foram estabelecidas duas classes : 1) *Litólico Eutrófico, a chernozêmico muito raso (< 20cm), substrato basalto* e 2) *Litólico Eutrófico A chernozêmico raso (<40cm), substrato cascalheira*.

À classe solos *hidromórficos*, foram incluídos os solos com horizonte "glei", a menos de 60cm de profundidade. Considerando-se o conteúdo de matéria orgânica, bem como a coloração do horizonte A, esses solos foram divididos em duas classes : 1) *Solos Gleí Húmico* e 2) *Solos Gleí Pouco Húmico*.

De acordo com o mapeamento do IPT a vertente em estudo apresenta, de montante para jusante, a sucessão dos seguintes tipos de solos : *brunizens avermelhados*, *litólicos* e solos *hidromórficos* ou *glei*.

SEGUNDA PARTE : METODOLOGIA DE PESQUISA

CAPÍTULO IV

A EVOLUÇÃO METODOLÓGICA DA PEDOLOGIA DE CAMPO

O estudo e a interpretação da diferenciação vertical do solo constituem, ainda, o objetivo principal dos pedólogos; as classificações de solos consideram como objeto o perfil vertical.

Segundo Boulet (1987), há, pelo menos, duas razões que levam os pedólogos a privilegiar a diferenciação vertical do solo:

- a de ordem histórica: a pedologia nasceu do reconhecimento da diferenciação vertical do solo e de seu significado genético. A prova disso é que as classificações baseadas no perfil são praticamente as únicas disponíveis para se fazer o inventário e a generalização do conhecimento dos solos.
- a relacionada à escala das observações de campo que permite somente a observação direta da diferenciação vertical do solo (escala métrica). A diferenciação lateral da cobertura pedológica, de escala decamétrica e muitas vezes hectométrica, precisa ser reconstituída pela síntese de observações descontínuas. Algumas vezes, os cortes de estrada, por exemplo, permitem uma primeira observação da organização lateral da cobertura pedológica.

Em função disso, consideraram-se, na formação do solo, essencialmente, as transformações verticais, isto é, da base para o topo, a rocha-mãe transforma-se, originando sucessivos horizontes. Nas cartas pedológicas, os limites que separavam domínios com perfis verticais diferentes eram localizados com a ajuda de caracteres fisiográficos (vegetação, relevo,...) ou de superfície (reflectância) e, não, de variações laterais internas da cobertura pedológica.

Entretanto, numerosos pedólogos perceberam a importância das variações laterais da cobertura pedológica, principalmente, em função da topografia. Assim, desde 1934, Milne introduziu a noção de catena. Ele considera, então, que os solos

que se sucedem em uma vertente são ligados e apresentam relações genéticas entre si. Em seguida, numerosos pedólogos e geoquímicos (por exemplo, Bushnell, 1942; Greene, 1945; Maignien, 1958 e Delvigne, 1965) estudaram e interpretaram essas variações laterais.

Entre esses pesquisadores, Delvigne (1965) teve um papel particularmente importante no estudo das coberturas ferralíticas, sendo pioneiro na demonstração da migração lateral do alumínio.

Para obter esses resultados, Delvigne trabalhou em *topossequência*, utilizando cerca de três perfis, que foram suficientes para estabelecer a distribuição dos constituintes e raciocinar sobre a geoquímica. Entretanto, Delvigne não reconstituiu a organização morfológica bidimensional da cobertura pedológica, que foi, posteriormente, valorizada no trabalho de Bocquier (1971).

RUELLAN (1970) mostra uma representação morfológica bidimensional contínua das principais coberturas pedológicas calcárias no Marrocos. Isso representa, provavelmente, a tentativa mais adiantada antes do início da análise bidimensional das coberturas pedológicas por aproximação geométrica, assim como do estudo detalhado das transições laterais e dos raciocínios genéticos que dela decorrem, introduzidos, posteriormente, por Bocquier (1972).

A fim de justificar a metodologia adotada neste trabalho, vamos precisar a contribuição de Bocquier (1971) na compreensão do significado das variações laterais do solo. Até então, os estudos em *topossequências* consistiam em abrir um certo número de trincheiras em uma vertente, estudá-las cuidadosamente, transpor esses dados sobre um corte topográfico e ligar os horizontes entre si. Em geral, o aparecimento e o término de um horizonte era representado em bisel e não se precisava geométrica, morfológica e analiticamente como se efetuavam as variações laterais.

Sumariamente, pode-se dizer que a contribuição de Bocquier foi mostrar que as transições laterais representam, muitas vezes, as zonas chaves para a compreensão da gênese e da dinâmica da cobertura pedológica. De modo mais preciso, sua contribuição situa-se em dois níveis de observação:

- Na escala macroscópica, mostrando que a reconstituição, por aproximação geométrica, da forma real dos limites dos horizontes permite raciocinar sobre a gênese e a dinâmica desses horizontes. Por exemplo, na topossequência de Kossellili (Fig. 2, p.9), a invasão remontante do meio lixiviado pelo meio argiloso, montmorilonítico, foi demonstrada pela permanência dos horizontes lixiviados entre as línguas dos horizontes de acumulação ferruginosa (Fig. 2, p.9) e pelo estudo detalhado da passagem lateral entre os domínios arenoso e argiloso (Fig. 3, p.9). Essa transição, em forma de degraus, caracterizava-se pela presença de organizações típicas do meio lixiviado no interior do meio de acumulação (onde elas não poderiam se formar) e pela continuidade lateral dessas organizações.

- Na escala microscópica, o autor relaciona inicialmente cada observação feita com a "anatomia real" da cobertura pedológica e passa do macro ao microscópico, introduzindo uma continuidade de análise entre as estruturas bidimensionais, em cada nível de observação.

Em seguida, Bocquier privilegia a técnica da análise petrográfica nos estudos das lâminas delgadas de solo, como também o fizeram Brewer (1964) ou Delvigne (1965). Aqui, mais uma vez, o autor raciocina sobre as relações geométricas, em particular, utilizando a relação de concordância e discordância, explorando de maneira mais sistemática a identificação das seqüências genéticas de organização.

Posteriormente, Boulet (1974) traz uma contribuição fundamental a esses estudos, demonstrando que existem coberturas pedológicas em desequilíbrio nas condições pedobioclimáticas vigentes e introduz a noção de *sistema de transformação*. Segundo o autor, as organizações elementares (modo de organização e de ligação das partículas que constituem um horizonte) estão sempre em transformação, pois, em uma seqüência genética de evolução, elas se formam na base do horizonte (que

caracterizam) e se destroem no topo do mesmo. Isso corresponde a um equilíbrio dinâmico, que é estável em um determinado domínio pedobioclimático; porém, se a variação dos fatores externos for suficiente para que o pedoclima saia desse domínio, a cobertura pedológica entra em desequilíbrio com as novas condições pedoclimáticas. A transformação começa na cobertura pedológica inicial, onde as condições de desequilíbrio são máximas, e progride lateralmente. Os novos horizontes cortam a seqüência de horizontes da cobertura inicial e essa discordância permite um raciocínio cronológico, informando também sobre o sentido e o modo de progressão da transformação. O conjunto formado pela cobertura inicial e os horizontes de transformação são denominados de *sistema de transformação*.

Em seguida, a noção de *sistema de transformação* foi enriquecida com o trabalho de outros autores entre os quais cita-se Turenne (1975), Nahon (1976), Chauvel (1977), Leprun (1979), FRITSCH (1984), FRITSCH et al (1986), LUCAS et al (1984), Lucas (1989). No Brasil, a síntese dos trabalhos que seguiram essa linha de pesquisa pode ser vista no artigo de Queiroz Neto (1988) mas pode-se citar os seguintes autores : Queiroz Neto et al (1981), FERNANDES BARROS (1985), Castro & Curmi (1987), Lucas et al (1984) e Nicola & Boulet (1987).

Em síntese, os trabalhos citados constituíram a base para uma evolução recente da pedologia e mostram que o perfil vertical é uma visão incompleta do solo, pois as variações laterais não são estudadas de maneira detalhada. Assim, o perfil do solo deve ser considerado como um nível de observação e não como um nível de organização. Ele não permite conhecer a anatomia real da cobertura pedológica. A descoberta dos *sistemas de transformação* foi possível devido à utilização de uma abordagem pedológica que não se preocupou em determinar os tipos de solos, mas sim reconstituir a anatomia real e a dinâmica da cobertura pedológica, na sua totalidade e em todas as escalas (DOSSO, 1991; RUELLAN et al 1989; RUELLAN e DOSSO, 1993).

CAPÍTULO V

OS TRABALHOS DE CAMPO

I. - CARACTERIZAÇÃO DA VERTENTE ESTUDADA

A região de Ilha Solteira apresenta-se inserida na vertente do vale do rio Paraná, com relevo regional caracterizado pela presença de encostas amplas e topos bastante aplainados, descendo em patamares longos em direção à calha do rio Paraná. A área em estudo (Fig. 4, p.10) situa-se em um patamar mais baixo, próximo à calha do rio Paraná. Ela corresponde a uma pequena parte de uma vertente, de baixa declividade (entre 6 e 10%) e com alterações pouco espessas, diretamente sobre os basaltos da *Formação Serra Geral*. Essas alterações apresentam, em suas partes mais elevadas, uma contribuição dos materiais arenosos da *Formação Santo Anastácio*, que ocorrem na forma de plaquetas de arenito, englobadas na massa basáltica amigdalóidal. Há, também, seixos rolados, sendo esses encontrados em toda a vertente.

O arenito é constituído, principalmente, de grãos de quartzo, com faces subangulares e/ou angulares e tamanho inferior a 50 microns. Podem ocorrer opacos, micas, feldspatos e volumes arredondados, centimétricos, que estão preenchidos com plasma cinza e argilassépico em luz polarizada. Esses volumes são semelhantes às vesículas do basalto amigdalóidal. Há, também, uma matriz pouco abundante, constituída de um plasma semelhante àquele dos volumes arredondados.

A jusante, podem ocorrer nódulos com morfologia interna semelhante ao arenito, porém, sua textura é mais grosseira, apresentando quartzos de tamanho médio entre 80 a 100 microns.

As observações petrográficas feitas em amostras de basalto pouco alterado (Prancha 1, fotos 1 a 7 - Pr.1., f.1 a 7), coletadas em uma pedreira situada a 500m da vertente estudada, revelam tratar-se de rochas basálticas afíricas a subafíricas, apresentando uma estrutura microlítica fina, com amplo predomínio da mesostase (90%) e baixo conteúdo de fenocristais (< 10%).

Os fenocristais são compostos, principalmente, de plagioclásios (cerca de 60%), de forma retangular (0.3-0.5mm de comprimento), às vezes, ripiformes. Podem estar isolados (orientação qualquer) ou agrupados (em forma de leque ou septos). Os cristais estão conservados. Há também piroxênios (cerca de 15%), titânio-magnetitas (cerca de 7%), pseudomorfoses provavelmente de olivinas (cerca de 3%), vidros vulcânicos (cerca de 1%), filossilicatos secundários de cor verde (9%) e filões de quartzo fibrorradiado e calcita macrocristalizada. Além desses, ocorrem quartzos (raros) e óxidos de ferro do tipo hematita, ao redor dos cristais de titânio-magnetita, formando uma auréola vermelha. As fotos da Prancha 1 ilustram essas diferentes fases.

Por vezes, a rocha é vesicular. Essas vesículas podem estar vazias ou apresentar filossilicatos secundários de cor verde. Esses filossilicatos aparecem também substituindo parcialmente a massa fundamental, formando organizações zonadas (Ildefonse, 1987).

II. - A ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DA COBERTURA PEDOLÓGICA

Segundo Boulet et al (1982a e b), para se buscar o conhecimento tridimensional da cobertura pedológica, é preciso escolher uma ou várias unidades de relevo (bacia hidrográfica ou parte desta) que, supõe-se, sejam representativas da região a ser estudada. Em seguida procede-se, em cada unidade escolhida, às seguintes operações (Boulet et al, 1982a e b):

- 1) Estudo de um certo número de toposseqüências, orientadas segundo a linha de maior declive. Pode-se começar o trabalho colocando-se uma trincheira no topo, outra no meio e outra a jusante da toposseqüência (Fig. 5, p.11), ou então, fazendo-se primeiro uma série de tradagens para, em seguida, plotar as trincheiras, que serão, cuidadosamente, estudadas. Adotando-se esse procedimento, foram estudadas cinco toposseqüências. Na prospecção, o uso do trado foi dificultado pela presença de seixos, nódulos endurecidos e horizontes muito argilosos; por isso, quase sempre, o trabalho foi realizado em trincheiras. Em cada trincheira, as descrições dos perfis foram feitas segundo as indicações do Manual de Trabalho de Campo (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1976): sucessão e espessura dos volumes pedológicos, limites e transições, características e feições pedológicas no interior de cada horizonte e nas transições.

A Figura 6 (Fig.6, p.11) exemplifica a reconstituição da organização morfológica bidimensional da cobertura pedológica, utilizando a parte montante de uma das toposseqüências estudadas e o procedimento da aproximação geométrica, proposto por Boulet et al (1982a e b) : na trincheira A1, situada a montante, observou-se da base para o topo do perfil, a presença dos seguintes horizontes :

- . Horizontes do conjunto de alteração do basalto;
- . Horizonte argiloso, vértico, vermelho;
- . Horizonte argiloso, poliédrico, bruno-avermelhado;
- . Horizonte nodular, rico em nódulos vermelhos. Com uma lupa, observa-se que esses nódulos conservam as estruturas litológicas do basalto ou do arenito intertrapiano. A matriz é argilosa, poliédrica e vermelha;
- . Horizonte rico em seixos;
- . Horizonte superficial.

A trincheira A2, localizada pouco mais a jusante em relação à A1, apresenta uma organização diferente: ela contém uma seqüência contínua entre o basalto alterado da base do perfil e os nódulos litorreliquiaes, incluindo todos os intermediários morfológicos entre esses dois extremos. Provavelmente, essa seqüência é genética (a ser confirmado no estudo microscópico) e foi denominada de "seqüência nodular vermelha com matriz poliédrica".

Como as trincheiras A1 e A2 são diferentes, coloca-se um outro ponto de observação (trincheira ou, se possível, tradagem) exatamente entre elas. Essa técnica é, usualmente, conhecida como técnica de observações medianas. Assim, após a observação de sucessivos pontos entre essas duas trincheiras, pode-se localizar a trincheira A8, que permite estudar a passagem entre os perfis das trincheiras A1 e A2. O estudo dessa transição mostra que o horizonte vértico, argiloso e vermelho aparece entre o basalto alterado e o horizonte nodular litorreliquial, em forma de cunha. Esse horizonte argiloso e vértico interrompe a "seqüência nodular vermelha com matriz poliédrica", transformando-a.

Então, o estudo das toposseqüências possibilita :

- o desenho do corte sobre o corte topográfico (ver o exemplo de Ilha Solteira, mais adiante, no Capítulo VII, item II);
- a localização das trincheiras a serem abertas, no caso da prospecção inicial ter sido feita com o trado (como o exemplo de Boulet et al, 1982a e b);
- o inventário dos principais tipos de horizontes e das suas características;
- a coleta de amostras para análises e confecções de lâminas delgadas. Se quisermos conhecer a estrutura espacial das características analíticas com curvas de isovalor, deve-se completar essa amostragem com

tradagens localizadas, de modo a seguir todas as variações laterais. Nesse caso, o papel da amostragem não é de caracterizar todo um horizonte, mas de estabelecer os gradientes de variação;

- freqüentemente, as toposseqüências de uma mesma vertente ou de uma mesma bacia hidrográfica são diferentes. Para compreender essas diferenças é importante estudar, segundo o plano horizontal, a repartição das relações espaciais dos diferentes horizontes ou volumes pedológicos. Para isso, identificam-se sobre os cortes verticais (toposseqüências) todas as variações laterais que possam ser localizadas sobre o plano horizontal (limites de horizontes ou de caracteres).

2) O mapeamento das curvas de isodiferenciação é normalmente feito com o trado. A técnica é simples (Fig. 7, p.12): o horizonte referido no plano pelo tracejado, graças às toposseqüências, existe em dois pontos justapostos. Para procurar um terceiro ponto onde apareça esse horizonte faz-se um corte entre os dois primeiros, onde se procura, exclusivamente, o horizonte em questão, utilizando-se a técnica das observações medianas (já vista na prospecção das toposseqüências). Se ele existe, pode-se ligar os pontos com certa aproximação; ao contrário, se ele não existe, faz-se um corte transversal partindo e chegando ao horizonte considerado. Assim, encontram-se, necessariamente, dois pontos onde ocorre o horizonte em questão, permitindo traçar dois segmentos de curva. Essas curvas são chamadas de **curvas de isodiferenciação** e não visam à identificação de uma dicotomia do espaço (Boulet et al, 1978): presença de um perfil de um lado, ausência do outro. Ao localizar, sobre o plano horizontal, a projeção dos limites do horizonte ou dos caracteres, admitem-se as variações laterais da cobertura pedológica, sem prévias interpretações. Após o estudo macro e microscópico das relações entre os horizontes e as suas organizações, fazem-se as interpretações.

O plano final dá uma imagem da estrutura horizontal da cobertura pedológica, necessariamente, acompanhada de cortes verticais, pois, a organização horizontal não pode ser interpretada sem a organização vertical.

CAPÍTULO VI

A COLETA DE AMOSTRAS E OS TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Após o estudo das toposseqüências, foram coletadas amostras para a confecção de lâminas delgadas, análises químicas e mineralógicas. A coleta de amostras para a confecção das lâminas delgadas procurou amostrar as zonas de transição e os volumes característicos. As amostragens foram feitas em trincheiras recentemente abertas ou então renovadas. Cada amostra foi orientada, numerada e colocada em caixas de papelão.

Diversas lâminas delgadas (9cm x 13cm de tamanho) foram feitas para caracterizar a organização micromorfológica dos horizontes ou das transições e estabelecer as filiações entre os constituintes ou entre as organizações do solo. Todas as amostras foram endurecidas, previamente, com resina para possibilitar a confecção das lâminas delgadas (Delaye, 1984). A terminologia utilizada nesses estudos foi a proposta por Brewer (1964).

Na caracterização das fases minerais utilizou-se a Difração de Raios-X nas amostras totais e na fração argila. Na trincheira A3, utilizaram-se, também, as análises químicas pontuais efetuadas ao Microscópio Eletrônico de Varredura com analisador ou a Microsonda Eletrônica.

O estudo microscópico mostrou que a textura do basalto está conservada no interior dos nódulos o que possibilitou a aplicação do raciocínio isovolumétrico de Millot e Bonifas (1955). As análises químicas totais foram feitas pela técnica da Fluorescência de Raios-X.

A mineralogia (Raios-X) da fração argila retirada do basalto alterado e dos nódulos litorreliquiaais apresentou poucas variações, por isso, utilizaram-se os dados químicos e a cristalinidade das argilas (esmectitas e caulinitas) para mostrar a evolução desses materiais:

- A cristalinidade das caulinitas foi estimada após o tratamento com hidrazina. Range et al (1969) mostraram que a intensidade dos picos a 7.15A e 10.4A cresce, quando a cristalinidade diminui.

- A cristalinidade das esmectitas foi determinada pelo índice de Biscaye (1965), que consiste na medida da altura da reflexão a 17A (P), após tratamento com etileno glicol e na altura do vale desse mesmo pico (V). Uma esmectita perfeitamente cristalizada tem uma relação V/P próxima da unidade e aquelas de baixa cristalinidade têm um valor mais baixo (Fig. 8, p.12).

TERCEIRA PARTE - O ESTUDO DA TOPOSSEQUÊNCIA "A"

CAPÍTULO VII

DADOS MACROSCÓPICOS

I. CARACTERÍSTICAS DOS HORIZONTES PEDOLÓGICOS

Para facilitar a exposição, reagrupamos os horizontes semelhantes em **conjuntos de horizontes**. Na vertente estudada, foram identificados sete conjuntos de horizontes, que foram numerados de montante para jusante e da base para o topo dos perfis, seguindo-se a ordem de apresentação das toposseqüências. Assim, mesmo em diferentes toposseqüências, os horizontes semelhantes entre si receberão a mesma denominação. Os conjuntos de horizontes são :

- Conjunto de alteração:
 - . facies isalterita.
 - . facies aloterita.
- Conjunto vértico.
- Conjunto poliédrico.
- Conjunto nodular.
- Conjunto de seixos.
- Conjunto superficial ou órgão-mineral.

A descrição detalhada dos horizontes encontra-se anexa. A seguir, apresenta-se um resumo das organizações macroscópicas de cada conjunto, enfatizando-se as mais importantes na distinção dos horizontes da toposseqüência "A". Aproveita-se a oportunidade para apresentar a numeração de cada horizonte, utilizada no corte dessa toposseqüência (Fig. 9, p. 13). As fotos das Pranchas 2 e 3 ilustram parte dos horizontes encontrados.

A. CONJUNTO DE ALTERAÇÃO

Os horizontes do conjunto de alteração apresentam dois tipos de materiais :

- . Basalto alterado em fragmentos, e
- . Matriz argilosa, localizada entre os fragmentos de basalto alterado.

Na escala métrica, há duas *facies* de basalto alterado :

. **facies isalterita**, definida por Chatelin & MARTIN (1972) pela conservação da estrutura original da rocha. Nesse caso, os fragmentos de basalto alterado, de forma alongada horizontalmente, estão assentados, em sua maior dimensão, e são paralelos entre si.

. **facies aloterita** (Chatelin & MARTIN, 1972), onde a estrutura da rocha pode ser encontrada apenas localmente. Os fragmentos de basalto alterado estão dispersos na matriz argilosa, normalmente mais abundante do que na *facies isalterítica*.

Os diferentes tipos de horizontes de alteração se distinguem pelas organizações do *basalto alterado* (principalmente a cor) e da *matriz* (cor, estrutura e abundância).

1. *Facies isalterita* (horizontes 1)

1.1. *Isalterita basáltica de cor clara, sem diferenciação ferruginosa*

Pertencem a esse grupo os horizontes de basalto alterado de cores cinza-róseas (7,5YR7/2) ou bruno-amarelado-claras (10YR6/4) ou cinza-claras (10YR7/1) ou cinza-escuras (10YR4/1). Nesses basaltos não há diferenciações importantes que possam ser interpretadas como decorrentes da ferruginização.

Os horizontes de basalto alterado claro se distinguem pela cor da matriz, que pode ser bruno-avermelhado-escuro ou bruno. Fez-se uma distinção para os basaltos que apresentam abundantes amígdalas que são volumes irregulares,

milimétricos, preenchidos por minerais brancos, verdes ou avermelhados. Pertencem a esse grupo os horizontes :

Horizonte 1 - isalterita basáltica clara, sem diferenciação ferruginosa, com matriz argilosa pouco abundante, bruno-avermelhado-escuro

Horizonte 1b - semelhante ao precedente, porém, com matriz argilosa bruno-avermelhado-escuro e bruna.

Horizonte 1a - isalterita basáltica sem diferenciação ferruginosa, rica em amígdalas. Matriz argilosa, vermelha.

1.2. Isalterita basáltica com diferenciação periférica vermelha

Surge nos fragmentos de basalto alterado claro, uma diferenciação periférica vermelha ou vermelho-amarelada. Ela é descontínua e de espessura inferior ao centímetro.

Esses horizontes se distinguem pelo tipo de matriz, que pode ser vermelha e bruna ou, unicamente, bruna. Pertencem a esse grupo os seguintes horizontes :

Horizonte 1c - isalterita basáltica com diferenciação periférica vermelha. A matriz argilosa é vermelha e bruna.

Horizonte 1d - horizonte semelhante ao precedente, porém, a matriz argilosa é, somente, bruno-escuro.

1.3. Isalterita basáltica vermelha ou vermelha e preta

O basalto alterado apresenta cor vermelho-amarelada (5YR5/8), ou vermelha (2,5YR4/8) ou preta. No detalhe de cada fragmento de basalto alterado pode-se encontrar uma diferenciação periférica vermelha, mais escura do que o núcleo desses elementos.

A distinção desses horizontes baseia-se na cor da matriz (vermelha e/ou bruna) e na abundância de amígdalas. Pertencem a esse grupo os seguintes horizontes :

Horizonte 1e - isalterita basáltica vermelha e preta, com matriz argilosa vermelha.

Horizonte 1f - horizonte semelhante ao precedente, porém, com matriz argilosa bruno-escuro.

1.4. Isalterita basáltica bruna e preta

Basalto alterado de cor marrom-clara (7,5YR5/6) ou bruno-forte (7,5YR5/8) com abundantes manchas pretas (2-3mm), que podem ocupar todo o centro dos fragmentos de basalto alterado. A matriz é bruno-amarelada. Pertence a esse grupo o horizonte 1g.

2. Facies aloterita (horizontes 2)

Nesses horizontes, a matriz argilosa é mais abundante do que nos precedentes, representando cerca de 30 a 70% do volume total.

Na distinção desses horizontes foram utilizados os mesmos critérios da facies isalterita, porém, desaparecem os basaltos alterados beges com diferenciação periférica vermelha, pois, a cor vermelha se desenvolve, também, no interior dos fragmentos. Na matriz argilosa, surge a estrutura poliédrica.

O basalto alterado é menos coerente e os fragmentos são menores, tendendo a arredondados.

2.1. Aloterita basáltica de cor clara, sem diferenciação ferruginosa

Esses horizontes se distinguem pela cor da matriz que pode ser vermelha ou vermelha e bruna. São eles :

Horizonte 2 - alterorrelíquias de cor clara, sem diferenciação ferruginosa, com matriz argilosa bruno-avermelhado-escuro e poliédrica.

Horizonte 2b - horizonte semelhante ao precedente, porém, surge na matriz argilosa uma fase bruna.

2.2. Aloterita basáltica vermelha ou vermelha e preta

A distinção desses horizontes aloteríticos se faz pela abundância da cor preta nas alterorrelíquias e pela cor da matriz. Pertencem a esse grupo os seguintes horizontes :

Horizonte 2a - aloterita vermelha, com matriz argilosa vermelha e bruna. A estrutura é poliédrica.

Horizonte 2c - alterorrelíquia vermelha, com matriz argilosa vermelha e bruna. A estrutura é poliédrica.

B. CONJUNTO NODULAR

Os horizontes nodulares apresentam dois tipos de materiais :

- . Nódulos, que representam cerca de 70-80% do volume total, e
- . Matriz argilosa, pouco abundante.

Três facies de nódulos foram identificadas, em função da petrografia : *facies basalto*, *facies arenito fino* e *facies arenito grosseiro*. Em todos eles predomina a cor vermelha ou vermelho-amarelada, entretanto, pode ocorrer uma fase preta, normalmente no núcleo dos nódulos. Outra variação é a ocorrência da diferenciação periférica amarela ou vermelho-escura, quase preta.

Todas essas características serão assinaladas na descrição e no corte da topossequência "A". Entretanto, para definir os tipos de horizontes consideram-se as seguintes características :

- . Para os nódulos, utiliza-se a cor da fase predominante;
- . Para a matriz argilosa, consideram-se a cor e a estrutura. A estrutura é poliédrica em todos os horizontes nodulares da topossequência que será apresentada em detalhe (topossequência "A"), mas, veremos mais adiante, que ela pode ser microagregada.

Foram identificados os seguintes horizontes nodulares :

Horizonte 5 - abundantes nódulos vermelhos, com matriz bruno-avermelhado-escura, poliédrica.

Horizonte 5a - horizonte semelhante ao precedente, porém, surge na matriz uma fase bruna.

Horizonte 5b - abundantes nódulos vermelhos e pretos, com matriz bruno-avermelhado-escura e bruna, poliédrica.

Horizonte 5c - horizonte semelhante ao precedente, porém, com matriz poliédrica, mosqueada, predominando a cor bruna.

C. CONJUNTO VÉRTICO

Os horizontes vérticos são muito argilosos, de cor bruno-avermelhado-escuro e bruno (**horizonte 3**) ou bruno (**horizonte 3b**). Ocasionalmente, contêm abundantes nódulos vermelhos e friáveis (**horizonte 3a**).

D. CONJUNTO POLIÉDRICO

Os horizontes poliédricos são argilosos e apresentam diversos tipos de feições pedológicas tais como manchas brunas ou pretas, volumes pretos de impregnação do plasma vermelho, nódulos e revestimentos.

A diferenciação desses horizontes teve como critério a estrutura, a cor e a presença de nódulos vermelhos e pretos :

Horizonte 4 - horizonte poliédrico, de cor vermelha.

Horizonte 4a - horizonte poliédrico, de cor cinza-bruno-clara, com freqüentes nódulos vermelhos.

Horizonte 4b - horizonte poliédrico, de cor bruno-amarelado-escuro.

E. CONJUNTO DE SEIXOS

Nesse conjunto, os seixos são abundantes e essa característica foi utilizada para distinguir os horizontes de seixos daqueles que contêm seixos. Os seixos são de quartzo, arenito e basalto. Têm forma arredondada, com faces quebradas e tamanho entre 5mm-10cm.

A matriz dos seixos é pouco abundante, argilosa, bruno-avermelhado-escuro e poliédrica (**horizonte 6**). Às vezes, os seixos são menos numerosos, ocorrendo de modo disperso em outros horizontes (horizonte nodular, de superfície, etc..).

F. CONJUNTO SUPERFICIAL OU ORGANO-MINERAL

Os horizontes superficiais ou organo-minerais são argilosos e apresentam agregados angulares e granulares. Suas cores podem ser bruno-avermelhado-escuro (2,5YR ou 5YR) ou bruno (7,5YR ou 10YR). Observou-se que a cor bruna tornava-se cada vez mais importante em direção a jusante; dessa forma, para registrar essa variação de cor, propusemos a seguinte codificação:

Horizonte 7 - horizontes superficiais de cor bruno-avermelhado-escuro, com matiz 2.5YR.

Horizonte 7a - horizontes superficiais de cor bruno-avermelhado-escuro, com matiz 5YR.

Horizonte 7b - horizontes superficiais de cor bruna, com matiz 7.5YR ou 10YR.

II. ORGANIZAÇÃO BIDIMENSIONAL DOS ORIZONTES

A topossequência "A" (ver localização na Fig. 4, p.10) será descrita de montante para jusante e da base para o topo dos perfis. Cada horizonte descrito poderá ser identificado no corte da topossequência "A" (Fig. 9, p.13) pelo número colocado em parêntese. Em anexo, segue a descrição detalhada de cada volume da topossequência "A".

A. SEQUÊNCIA DE ORGANIZAÇÕES DA TRINCHEIRA A1

Isalterita basáltica de cor clara, sem diferenciação ferruginosa
(horizonte 1 nas Figuras 9 e 10, p.13 e 15, respectivamente)

Na base, a face oeste da trincheira A1 apresenta o horizonte de basalto alterado em fragmentos com estrutura petrográfica conservada. O basalto é coerente, de cor bege e granulação fina (<1mm), mas a textura é perceptível (lupa). Nota-se a presença de freqüentes minerais verde-claros, de seção poligonal e tamanho milimétrico e de vesículas de diâmetro próximo a 5mm, preenchidas de minerais verde-claros ou brancos. Sobre os fragmentos de basalto alterado, há cutãs de cor vermelha (2,5YR4/6) e preta, de espessura inferior ao milímetro. Entre os fragmentos, há uma matriz argilosa vermelha, poliédrica (1-2cm) e pouco espessa (<2cm de espessura). Ocasionalmente, essa matriz é mais abundante, constituindo bolsas argilosas, de dimensões centimétricas. O limite superior é difuso, com interpenetrações do horizonte superior.

Aloterita basáltica de cor clara, sem diferenciação ferruginosa (horizonte 2 nas Figuras 9 e 10, p.13 e 15, respectivamente)

Acima, há numerosas altero-reliíquias de basalto alterado bege, friáveis, milimétricas ou centimétricas, dispersas em uma matriz argilosa bruno- avermelhada (2,5YR3/4 ou 5YR4/3) e poliédrica. Os agregados apresentam superfícies lisas, brilhantes e, às vezes, essas superfícies estão microestriadas e inclinadas, em relação ao prumo do perfil (slickensides). O limite superior é difuso, irregular e com penetrações do horizonte superior. Na transição, as litorreliíquias desaparecem.

Conjunto vértico (horizonte 3 das Figuras 9 e 10, p.13 e 15, respectivamente)

A seguir, o horizonte é argiloso, bruno-avermelhado a vermelho (2,5YR3/4 a 3/6) no interior dos agregados e cinza-avermelhado-escuro (5YR4/2) ou cinza (7,5YR5/0) na superfície dos mesmos. A estrutura é angular, com agregados em cunha (5x3cm), apresentando superfícies lisas, microestriadas (lupa) e inclinadas, em relação ao prumo dos perfis (slickensides).

Conjunto poliédrico (horizonte 4 das Figuras 9 e 10, p. 13 e 15, respectivamente)

Para cima, a cor cinza-avermelhado-escuro (5YR4/2) generaliza-se, há uma estrutura prismática (largura 8-10cm) com subestrutura poliédrica (2-5cm). As superfícies dos agregados permanecem lisas, porém, sem estriamento e inclinação. O limite superior é brusco.

Conjunto nodular (horizonte 5 das Figuras 9 e 10, p.13 e 15, respectivamente)

O horizonte sobrejacente é rico em nódulos vermelhos a vermelho-escuros (10R5/6 a 3/6), duros, de forma placóide ou subangular e tamanho inferior a 2cm (predominam 5-8mm). A morfologia interna dos nódulos assemelha-se ao basalto alterado ou ao arenito (lupa): reconhecem-se as vesículas, os quartzos finos ou as microlitagens do arenito. A matriz é pouco abundante (cerca de 20% do volume total), argilosa, bruno- avermelhado- escura (2,5YR3/4) e com estrutura poliédrica muito fina (5-7mm). Há alguns seixos, semelhantes àqueles do horizonte sotoposto. O limite superior é ondulado, nítido e brusco.

Conjunto de seixos (horizonte 6 das Figuras 9 e 10, p.13 e 15, respectivamente)

Acima, o horizonte é rico em seixos de quartzo, arenito e basalto. A matriz é argilosa, bruno-avermelhado-escuro (2,5YR3/4 ou 3,75YR5/3) e poliédrica.

Conjunto superficial ou organo-mineral (horizonte 7 das Figuras 9 e 10, p.13 e 15, respectivamente)

O horizonte superficial é argiloso, bruno-avermelhado-escuro (2,5YR2,5/4), com estrutura poliédrica e granular fina (na superfície).

Uma variação dessa seqüência foi observada na face sul dessa trincheira, onde, acima do basalto alterado bege (**horizonte 1**) aparece um volume de basalto cinza a cinza-escuro (10YR5/1 a 4/1), rico em amígdalas (**horizonte 1a**). No topo do basalto amigdalóidal, aparecem englobadas, na massa basáltica, diversas plaquetas de arenito vermelho-claro, duro, de textura fina e com acamamento paralelo ao seu eixo maior.

RESUMINDO:

O conjunto de alteração, o horizonte vértico e o horizonte poliédrico são coerentes com a hipótese da diferenciação vertical das organizações, segundo a qual, cada horizonte deriva do precedente. No campo, a relação entre o horizonte argiloso e vértico e o basalto alterado é demonstrada pelo limite difuso entre o basalto alterado e os bolsões de argila, e pela presença do horizonte de transição (horizonte 2). Essa superposição vertical de horizontes foi denominada de "seqüência vértica vermelha com altero-relíquias beges".

Entretanto, a presença do horizonte nodular, provavelmente litorreliquescente, acima de outro argiloso e sem nódulos mostra uma descontinuidade nessa seqüência vertical, pois, os nódulos litorreliquescentes não poderiam se formar a partir da argila. Além disso, a existência de um nível de seixos, de composição estranha à do basalto ou à do arenito, mostraria outra descontinuidade vertical. Nessa trincheira, não podemos explicar a origem dessas descontinuidades, apenas as registramos.

B. VARIAÇÕES A JUSANTE, ENTRE AS TRINCHEIRAS A1 E A8

Numa distância de aproximadamente 21 metros, a seqüência de organizações encontradas na trincheira A1 se mantém, com variações na matriz dos nódulos, que torna-se mais argilosa a, aproximadamente, 10 metros a jusante da mesma trincheira.

Logo a seguir, o horizonte argiloso desaparece e o horizonte nodular situa-se diretamente sobre o basalto alterado, caracterizando uma nova seqüência de organizações que será descrita na trincheira A8.

C. SEQUÊNCIA DE ORGANIZAÇÕES DA TRINCHEIRA A8

A porção a montante da trincheira A8 é semelhante a A1, porém, no topo do horizonte de alteração (**horizonte 2**) ocorrem abundantes nódulos vermelhos e friáveis. A jusante, mas ainda na trincheira A8, surge uma nova sequência de horizontes, que será descrita a seguir (Fig. 11, p.16):

Isalterita basáltica de cor clara, sem diferenciação ferruginosa (horizonte 1 das Figuras 9 e 11, p. 13 e 16, respectivamente)

Na base, observa-se a mesma isalterita basáltica da trincheira A1, apenas com alguns cutãs bruno-amarelados (10YR5/6) ao lado dos vermelhos, sobre os fragmentos de basalto alterado, com igual matriz.

Aloterita basáltica vermelha (horizonte 2a das Figuras 9 e 11, p. 13 e 16, respectivamente)

O horizonte sobrejacente à isalterita é um horizonte novo, que não existe na trincheira A1. Ele contém abundantes altero-relíquias de basalto alterado bege-avermelhado a vermelho-claro, centimétricas, com matriz bicolor (2.5YR4/7 e 10YR5.5/3).

Conjunto nodular (horizonte 5a das Figuras 9 e 11, p. 13 e 16, respectivamente)

O horizonte seguinte é rico em nódulos, como o horizonte nodular da trincheira A1, porém com gradiente vertical: na base, os nódulos são centimétricos (1-2cm), de cor vermelha (10R4/3), friáveis e de forma angular ou alongada; o tamanho dos nódulos diminui em direção ao topo do volume nodular, onde eles são milimétricos, de cor vermelho-escuro (10R3/6), duros, quase arredondados e freqüentemente com córtex amarelo. Com a lupa, observa-se que esses nódulos contêm frequentes amígdalas ou apresentam a textura petrográfica do arenito.

A matriz dos nódulos também apresenta variações da base para o topo do volume nodular. Na base, a matriz é pouco abundante (cerca de 30% do volume total), argilosa, bruno-avermelhado-escuro (2,5YR3/4) no interior dos agregados e cinza-avermelhado-escuro (5YR4/2) ou bruno-escuro (10YR4/3) nas faces estruturais. A estrutura é poliédrica (1-2cm), e se desfaz em poliédros menores (5mm). A superfície dos agregados é lisa, brilhante. Sobre os agregados, há cutãs escuros, quase pretos. No topo do volume, a matriz é menos abundante ainda, de cor vermelha (2,5YR3/6) e com estrutura poliédrica muito fina (2-5mm).

Com a lupa, pode-se reconhecer algumas estruturas petrográficas, como as amígdalas, que são herdadas do basalto ou os quartzos e o acamamento das camadas do arenito. Entretanto, a natureza litorrelíquial dos nódulos deverá ser confirmada no estudo microscópico das lâminas delgadas. Macroscopicamente, observa-se, no entanto, uma seqüência contínua que vai dos volumes centimétricos de basalto alterado vermelho, aos nódulos. Isso leva a crer que essa seqüência é genética e que os nódulos estão "in situ". Foi denominada de **"seqüência nodular vermelha com matriz poliédrica"**.

Em direção a montante, mas ainda na trincheira A8, essa seqüência vertical de horizontes é interrompida pelo horizonte argiloso e vértico observado a montante, que aparece em forma de cunha, entre o horizonte de alteração e o nodular (Fig. 11, p. 16). A continuidade do horizonte nodular da trincheira A1 e A8 mostra que a *seqüência nodular vermelha com matriz poliédrica* existiu onde hoje existe o horizonte argiloso e vértico. Com efeito, a observação macroscópica dessa seqüência nodular vertical vista na parte jusante da trincheira A8 permite supor que ela é genética, isto é, os nódulos se formam a partir do basalto, conservando a textura petrográfica. Assim, os nódulos situados acima da cunha argilosa vértica pertencem a essa seqüência genética e eles não poderiam se formar a partir da argila, onde as estruturas do basalto foram destruídas. Eles são herdados, então, de uma época onde o horizonte vértico não existia. Esse raciocínio é válido para o conjunto do horizonte nodular suspenso acima do horizonte vértico. Pode-se deduzir que a seqüência nodular ocupou toda a vertente e, em seguida, desenvolveu-se a partir de sua base e de montante, um volume argiloso em forma de bolsa, que transforma os nódulos em material vértico.

O desaparecimento para montante do horizonte de basalto alterado vermelho (**horizonte 2a**), que constitui a base da seqüência nodular precedente, mostra que a argila vértica progride igualmente em direção à base do perfil, contribuindo para o desaparecimento a montante da trincheira A8, da maior parte das organizações da seqüência nodular, exceto aquelas da parte somital, que persistem até a montante (trincheira A1). Uma nova seqüência evolutiva aparece, mostrando uma passagem contínua do basalto alterado à argila vértica, por intermédio de um

horizonte com altero-relíquias beges (**horizonte 2**).

D. VARIAÇÕES A JUSANTE, ENTRE AS TRINCHEIRAS A8 E A10

A **seqüência nodular vermelha com matriz poliédrica**, observada na parte jusante da trincheira A8, se mantém até a face montante da trincheira A2, porém, no conjunto nodular, observa-se que os nódulos de arenito são raros e, localmente, o córtex amarelo dos nódulos são mais frequentes.

Entre as trincheiras A2 e A9, observam-se outras bolsas argilosas vérticas, análogas àquela de montante, porém, elas são menos desenvolvidas e contêm freqüentes nódulos vermelhos e friáveis (**horizonte 3a**). Seus limites com o horizonte nodular são progressivos e nas transições, de alguns centímetros de espessura, os nódulos são friáveis, milimétricos e abundantes. Essas bolsas argilosas vérticas podem sobrepor-se à mesma isalterita basáltica da trincheira A1 ou a uma aloterita de basalto alterado claro, sem diferenciação ferruginosa, semelhante àquela de montante, porém, com matriz argilosa bruna, ao lado da vermelha.

Ao longo da toposseqüência constata-se que a **seqüência nodular vermelha com matriz poliédrica** apresenta variações e que ela é mais ou menos desenvolvida verticalmente. Assim, pode-se observar a passagem direta do basalto alterado bege ao horizonte nodular ou, ao contrário, como na trincheira A3, ver-se intercalar na seqüência nodular, um horizonte de basalto alterado bege cujos fragmentos apresentam uma diferenciação periférica vermelha, de espessura milimétrica (**horizonte 1c**), que não existe na trincheira A8.

Entre as trincheiras A4 e A5, observam-se, no conjunto de alteração e no nodular, as seguintes modificações:

- A diferenciação periférica vermelha ao redor dos fragmentos de basalto alterado, vista na trincheira A3, generaliza-se e esses fragmentos muitas vezes apresentam o núcleo preto. Da mesma maneira, os cutãs pretos situados sobre a superfície dos mesmos fragmentos de basalto alterado são mais freqüentes do que a montante.

- Nos horizontes nodulares, aparecem nódulos vermelhos com o núcleo preto (**horizonte 5b**). Ao mesmo tempo, a matriz argilosa dos nódulos torna-se bruno-avermelhada (5YR4/3), com domínios mais brunos. Entre as trincheiras A5 e A10, essa matriz torna-se mosqueada, predominando a cor bruna.

O horizonte de seixos presente a montante permanece em continuidade até a trincheira A3, desaparecendo imediatamente a jusante. A partir daí, os seixos são menos frequentes e estão dispersos em outros horizontes.

Acima do conjunto de seixos, aparecem horizontes argilosos, que são vérticos ou poliédricos (**horizontes 3 e 4** da Fig. 9 - p.13, respectivamente). Eles ocorrem entre as trincheiras A2 e A5 e contêm seixos, a partir da trincheira A3.

E. SEQUÊNCIA DE ORGANIZAÇÕES DA TRINCHEIRA A10

Isalterita basáltica bruna e preta (horizonte 1g das Figuras 9 e 12, p.13 e 17, respectivamente)

O perfil montante da trincheira A10 apresenta, na base, um horizonte de basalto alterado marrom-claro (7,5YR5/6) com abundantes manchas pretas e milimétricas. Os fragmentos de basalto alterado têm forma alongada horizontalmente (3-4 cm de altura) e estão assentados na sua maior dimensão. A matriz argilosa é pouco abundante (espessura <1cm), bruno-amarelada (10YR5/4) e apresenta superfícies lisas e brilhantes. O limite superior é abrupto. Esse horizonte difere das isalteritas de montante pela presença das manchas pretas no basalto alterado marrom-claro e pela generalização da fase argilosa bruna entre os fragmentos de basalto alterado.

Aloterita basáltica vermelha e preta (horizonte 2c das Figuras 9 e 12, p. 13 e 17, respectivamente)

Acima, o horizonte é rico em altero-relíquias vermelho-amareladas, muitas vezes com o centro preto, forma alongada e tamanho centimétrico. A matriz é muito argilosa, de cor cinza-bruno-claro (2,5Y6/2), com abundantes manchas amarelo-olivas (5Y6-7/6) ou bruno-fortes (7,5YR5/6 ou 5/8), que diminuem de número e tamanho em direção ao topo do volume. Há nódulos vermelhos, friáveis, de tamanho entre 0,5-1cm. A estrutura é poliédrica, de angular a cúbica (3-5cm), subestrutura em cunha (<0,5cm), com superfícies lisas, brilhantes e, muitas vezes, microestriadas (slickensides). A transição superior é clara: aumentam, progressivamente, o número e a consistência dos nódulos vermelhos (mais duros), as manchas tornam-se avermelhadas e aparecem seixos.

Conjunto poliédrico (horizonte 4a das Figuras 9 e 12, p. 13 e 17, respectivamente)

O próximo horizonte é argiloso, cinza-bruno-claro (2,5Y6/2) com abundantes manchas vermelho-amareladas (5YR5/6-8), de forma irregular e tamanho inferior a 5cm. A estrutura é poliédrica média a cúbica, com agregados de superfícies lisas, brilhantes e localmente microestriadas (na base do volume). Presença de nódulos friáveis (tamanho inferior a 5cm), cor vermelha a bruno-avermelhado-escuro (10R4/6-8), às vezes com o núcleo preto. Há freqüentes seixos (tamanho inferior ao centímetro) de quartzo e arenito vermelho, com auréola pulverulenta branca. Em direção ao topo do volume e a jusante, as manchas tornam-se mais claras e amarelas; os nódulos diminuem de tamanho (0,5cm) e número, apresentando ocasionalmente a periferia amarela, dura. O limite superior é abrupto.

Conjunto nodular (horizonte 5c das Figuras 9 e 12, p. 13 e 17 respectivamente)

O horizonte que segue é rico em nódulos e seixos de quartzo, arenito e basalto. Na base do volume, os nódulos são bruno-avermelhado-escuros, quase pretos, de tamanho inferior a 2cm e forma mamelonar a arredondada (os menores). Os seixos são abundantes e de tamanho inferior a 7cm. A matriz é argilosa com grãos de quartzo limpos, cor cinza (2,5Y6/0) com manchas milimétricas, vermelho-amareladas (5YR4/6), bruno-amareladas (10YR5/4) e pretas. A estrutura é poliédrica, de média a pequena. Na parte somital do volume, observa-se uma diminuição do número e do tamanho dos nódulos e seixos e as manchas pretas são mais abundantes. O limite superior é claro e na transição há interpenetrações e pequenas bolsas do volume superior, desaparecendo os nódulos, os seixos, os tons cinzas ou vermelhos.

Conjunto poliédrico (horizonte 4b das Figuras 9 e 12, p. 13 e 17, respectivamente)

Acima, o horizonte é argiloso, com grãos de quartzo limpos, cor bruno-amarelado-escuro (10YR3,5/4) e estrutura poliédrica subangular (<3cm). Para jusante, a cor é cada vez mais bruna. O limite superior é abrupto e parece corresponder ao limite da aração feita pelo agricultor.

Conjunto superficial ou organo-mineral (horizonte 7a das Figuras 9 e 12, p. 13 e 17, respectivamente)

O horizonte superficial é argiloso, com abundantes grãos de quartzo limpos e cor bruno-avermelhado-escuro (5YR3/3). A estrutura é poliédrica subangular, na base do volume e granular no topo.

Imediatamente a jusante da trincheira A10, o basalto alterado sobe e subaflora, cortando a seqüência de organizações precedentes. Aqui, a variação mais importante relaciona-se ao desenvolvimento da cor vermelha nos fragmentos de basalto alterado com estrutura petrográfica conservada (**horizonte 1e**).

RESUMINDO:

Nas trincheiras precedentes, a seqüência nodular comporta, na sua base, um basalto alterado vermelho ou vermelho e preto que evoluiu aos nódulos vermelhos e pretos, análogos àqueles da trincheira A10. Essas seqüências nodulares se formaram e evoluíram em uma matriz argilosa vermelha. Aqui, na trincheira A10, a mesma seqüência nodular encontra-se em uma matriz argilosa bruna, o que sugere que a seqüência nodular não está no seu meio de formação e que a brunificação da matriz lhe é posterior.

O aparecimento do basalto alterado bruno e preto, na base da trincheira A10, parece corresponder a uma diferenciação do basalto em presença de um meio hidromórfico.

F. VARIAÇÕES A JUSANTE DA TRINCHEIRA A10

O basalto subaflorante permanece numa extensão de cerca de 10-15 metros. Aqui a variação mais importante relaciona-se ao desenvolvimento da cor vermelha na isalterita basáltica (**horizonte 1e**).

O horizonte superficial torna-se bruno muito escuro (10YR2/2) e, mais a jusante ainda, o basalto alterado aprofunda-se e surgem os horizontes brunos e vérticos, espessando-se para jusante (**horizonte 3b**). Os solos brunos e vérticos não foram estudados nesta toposseqüência, mas sim na toposseqüência "B" e serão tratados no Capítulo IX.

III. SÍNTESE E CONCLUSÕES

A. GEOMETRIA DOS HORIZONTES NA ESCALA DA TOPOSSEQÜÊNCIA

Na escala da toposseqüência os horizontes dos conjuntos vérticos ou poliédricos são descontínuos e evidenciam a forma de bolsas entre os horizontes de alteração e os horizontes nodulares litorreliquiaais. A montante, a bolsa argilosa é mais espessa e contínua, com espessura de até 1m; em direção a jusante, ocorrem várias bolsas menores, de espessura média entre 20 e 30cm.

O nível de seixos é pouco espesso (espessura entre 10-30cm) e suas ondulações seguem aquelas do horizonte nodular, que está logo abaixo. A montante, o horizonte de seixos situa-se a uma profundidade inferior a 30cm. Em direção a jusante, esse mesmo horizonte situa-se entre 30-60cm de profundidade, mas, a jusante da trincheira A3, os seixos são menos numerosos e estão dispersos nos horizontes nodulares, poliédricos ou de superfície. Na trincheira A10 ocorre uma particularidade: os seixos são abundantes e ocorrem na bolsa argilosa e no horizonte nodular.

Os conjuntos vérticos ou poliédricos podem também constituir bolsas argilosas acima do nível de seixos (quando ele existir) ou do horizonte nodular (nesse caso, os seixos estão dispersos). Acima do nível de seixos as características vérticas são pouco freqüentes, ocorrendo somente entre as trincheiras A8 e A2. Estudar-se-a essa questão da dinâmica dos seixos na toposseqüência "B" (Capítulo IX).

No conjunto vértico, os horizontes bruno-acinzentados ocorrem a jusante, alguns metros após o subafloramento do basalto alterado.

B. DISTRIBUIÇÃO DOS HORIZONTES SEGUNDO A TOPOGRAFIA

De montante para jusante da toposseqüência "A" observam-se, em cada conjunto de horizontes, as seguintes

variações (Fig. 9, p.13) :

CONJUNTO DE ALTERAÇÃO - A montante, na trincheira A1, o basalto alterado é bege ou cinza, sem diferenciação ferruginosa e segue em continuidade até a trincheira A5: são os horizontes 1, 1a, 1b 2 e 2b. Entretanto, em direção a jusante, surgem outras *facies* isalteríticas ou aloteríticas: entre as trincheiras A8 e A4 aparece, ao redor dos fragmentos de basalto alterado, uma diferenciação periférica vermelha (horizontes 1c e 1d) e surge o basalto alterado vermelho (horizonte 2a). A jusante da trincheira A5, a cor vermelha do basalto alterado é mais escurecida e aparece uma fase preta; são os horizontes de basalto alterado vermelho e preto (horizontes 1e, 1f e 2c). Finalmente, na trincheira A10, aparece o basalto alterado marrom-claro e preto, que não existe nas trincheiras precedentes (horizonte 1g).

Na matriz argilosa, observa-se uma variação de cor: a montante, na trincheira A1, a cor é vermelha (horizontes 1, 1a e 2), adquirindo uma fase bruna a partir da trincheira A8, que segue, em continuidade, até a trincheira A5 (horizontes 1b, 1c, 2a e 2b). Entretanto, mais a jusante, a fase bruna generaliza-se (horizontes 1d, 1f, 1g e 2c).

CONJUNTO NODULAR - Nos nódulos, a cor vermelha predomina, porém, a jusante da trincheira A4, eles adquirem uma fase preta, que normalmente ocupa todo o núcleo. O córtex amarelo é encontrado em todo o conjunto nodular, porém, é mais freqüente nos nódulos das trincheiras A2, A9 e A10.

A montante, na trincheira A1, a matriz dos nódulos é vermelha (horizonte 5). Para jusante, entre as trincheiras A8 e A5, a matriz é vermelha e bruna (horizontes 5a e 5b). A textura é sempre argilosa, mas, observa-se uma variação textural a alguns metros a jusante da trincheira A1, tornando-se a matriz mais argilosa do que a montante. Finalmente, na trincheira A10, a cor predominante da matriz é bruna (horizonte 5c), apresentando numerosos grãos de quartzo, limpos.

CONJUNTO VÉRTICO - Os horizontes argilosos e vérticos são vermelhos, porém, apresentam uma fase bruna, sistematicamente localizada na superfície dos agregados e na porosidade tubular. Essa fase bruna é mais abundante para jusante.

Na porção mais a jusante da topossequência e, após o subafloramento do basalto alterado, os horizontes vérticos são brunos.

CONJUNTO POLIÉDRICO - A montante (trincheira A1), o conjunto poliédrico aparece abaixo dos seixos. Em seguida, entre as trincheiras A2 e A3, esse conjunto situa-se acima dos seixos, que descem alguns decímetros no perfil. A jusante da trincheira A3, o conjunto poliédrico contém freqüentes seixos e situa-se sobre o horizonte nodular.

A cor dos horizontes poliédricos é vermelha (horizonte 4), porém, a jusante (trincheira A10), a cor é bruna (horizonte 4a e 4b).

CONJUNTO DE SEIXOS - A montante, os seixos são abundantes e apresentam uma matriz argilosa, poliédrica. Esse horizonte permanece em continuidade até a face montante da trincheira A3, com variações na sua profundidade. Em seguida, os seixos são menos numerosos, dispersando-se em outros horizontes até a trincheira A5. Na trincheira A10, os seixos são novamente abundantes e se misturam aos nódulos.

CONJUNTO SUPERFICIAL OU ORGANO-MINERAL - Da trincheira A1 a A4, a cor desses horizontes é bruno-avermelhado-escuro, com matiz 2.5YR. A jusante da trincheira A4, a matiz passa a 5YR e finalmente, mais a jusante ainda, a cor é bruna ou mais amarelada, com matizes 7.5YR ou 10YR, respectivamente.

RESUMINDO :

Na topossequência "A", as cores da matriz argilosa, do basalto alterado e dos nódulos obedecem a uma distribuição de montante para jusante.

De maneira geral, a cor da matriz torna-se mais bruna e cinza em direção à base dos perfis e a jusante da topossequência.

Para o basalto alterado e os nódulos, ainda não se pode concluir sobre o significado das cores vermelha e preta, mas constata-se que elas se desenvolvem cada vez mais em direção a jusante.

C. AS PRINCIPAIS SEQUÊNCIAS VERTICAIS DE HORIZONTES

Na topossequência "A" existem dois tipos de sequências verticais de horizontes :

. **Sequências nodulares**, por exemplo, nas trincheiras A8 ou A3 - são caracterizadas pela presença de nódulos vermelhos ou vermelhos e pretos, com matriz argilosa, vermelha e/ou bruna. A estrutura é poliédrica fina, com agregados de faces lisas e brilhantes.

. **Sequências argilosas e vérticas**, por exemplo, nas trincheiras A1, A8 e A4 - a cor da fase argilosa pode ser vermelha, vermelha e bruna, ou bruna. A superfície dos agregados angulares são lisas, brilhantes e microestriadas (slickensides).

D. OS SISTEMAS DE TRANSFORMAÇÃO E AS INTERPRETAÇÕES

A topossequência "A", a montante, especificamente no perfil da trincheira A1, caracteriza-se pela presença de um horizonte nodular situado abaixo do conjunto de seixos. Com a lupa, observa-se a estrutura litorreliquial dos nódulos, cuja morfologia interna é semelhante àquela do basalto alterado ou do arenito intertrapiano da base do perfil. Entretanto, esse horizonte nodular, com caracteres litorreliquiais, está separado do material de alteração por um espesso horizonte vértico, sem nódulos. Alguns metros a jusante, a trincheira A8 mostra uma sequência de organizações morfológicas, contínua, indo do basalto alterado aos nódulos litorreliquiais. O estudo microscópico

(Capítulo VIII, item I) mostrará que essa seqüência é genética. No item II deste capítulo, essa seqüência foi denominada de *seqüência nodular vermelha com matriz poliédrica*.

Entre o perfil da trincheira A1 e aquele da parte jusante da trincheira A8, observa-se o aparecimento do horizonte argiloso e vértico, sem nódulos, em forma de cunha, entre o horizonte nodular e o basalto alterado. O limite superior do horizonte argiloso e vértico sobe, isolando o horizonte nodular do basalto alterado. Portanto, o horizonte argiloso e vértico, interrompe e transforma a seqüência genética de formação dos nódulos litorreliquiaes e é, portanto, posterior.

Essas observações mostram que as **seqüências nodulares vermelhas com matriz poliédrica** representam a cobertura pedológica mais antiga. Ela se transforma, dando uma outra cobertura **argilosa, vermelha e vértica**. O limite oblíquo entre o conjunto nodular e o horizonte vértico corresponde, então, a uma frente de transformação que progride lateralmente. Essa transformação dá origem a uma nova seqüência de diferenciação a partir do basalto alterado, onde os nódulos são raros ou ausentes.

A jusante, a toposseqüência "A" apresenta solos brunos e vérticos, mostrando que a pedogênese se processa em condições de drenagem mais limitada que a montante. Essa pedogênese desenvolve-se a partir do basalto alterado. A passagem dos solos brunos e vérticos para os solos vermelhos não foi estudada, pois, entre essas duas coberturas há o subafloramento do basalto alterado. Mais adiante (Capítulo X), mostra-se o mapa das curvas de isodiferenciação que permite localizar uma toposseqüência onde o subafloramento do basalto alterado não ocorre, permitindo o estudo da passagem dos solos vermelhos para os brunos e vérticos.

Entretanto, de montante, e, até o subafloramento do basalto alterado, há uma variação de cor nos solos, caracterizada pelos seguintes aspectos :

. A montante, na trincheira A1, o solo é vermelho, porém, localmente, ocorrem variações de cor que podem ser interpretadas como decorrentes de uma ligeira hidromorfia. Assim, no horizonte vértico, a superfície dos agregados e a matriz ao redor da porosidade tubular são mais brunas do que o interior dos agregados. O limite entre as fases vermelha e bruna é difuso. Outra variação de cor foi observada no topo do horizonte poliédrico, sobrejacente ao vértico, que apresenta-se mais bruno do que a base. Portanto, a montante, a cor vermelha dos solos mostra que eles são bem drenados, porém, ocorrem manifestações localizadas de hidromorfia, provavelmente, relacionadas à morfologia vértica (no caso do horizonte vértico) ou à variação brusca de estrutura (parte somital do horizonte argiloso, no contato desse com o horizonte nodular).

. Para jusante, entre as trincheiras A8 e A4, os solos também são vermelhos e a fase bruna ou cinza está presente nos horizontes vérticos, como a montante, mas também, no conjunto de alteração, nos horizontes nodulares, e muito localmente, no conjunto de seixos (caso da trincheira A2). Isso significa, que as manifestações de hidromorfia são mais generalizadas do que a montante e, normalmente, ela se manifesta nos horizontes abaixo dos seixos.

. Na trincheira A4, o perfil a jusante mostra que a fase bruna predomina sobre a vermelha. Então, pode-se dizer que a partir dessa trincheira e para jusante, começa o domínio dos solos brunos. Essa brunificação atinge, até a trincheira A4, somente os horizontes nodulares e aqueles subjacentes a esses.

. Mais a jusante, entre as trincheiras A5 e A10, a fase bruna generaliza-se e, pela primeira vez, o horizonte superficial muda de cor, passando de um matiz 2.5YR para 5YR. Nos horizontes subjacentes ao conjunto superficial as cores são mais amareladas, com matizes 10YR, 2,5Y ou 5Y. Em todos esses volumes, há domínios vermelhos, normalmente no interior dos agregados. O limite entre a fase vermelha e a bruna é difuso. Finalmente, na trincheira A6, a cor do horizonte superficial torna-se bruna, com matiz 10YR. Essa geometria da fase bruna mostra que, na escala do perfil, a brunificação se desenvolve da base para o topo.

Em síntese, constata-se que, a jusante, os horizontes nodulares apresentam matriz bruna e nódulos vermelhos e pretos ou, somente vermelhos. A morfologia interna desses nódulos é semelhante àquela dos nódulos da seqüência nodular vermelha com matriz poliédrica de montante. A hipótese mais provável é que a seqüência nodular com matriz vermelha é mais antiga e que a matriz bruna se diferencia a partir da matriz vermelha, em consequência da diminuição da drenagem.

A diferenciação bruna, periférica aos agregados, desenvolve-se na parte somital da bolsa argilosa vértica, vermelha, de montante. Provavelmente, ela se deve à diminuição da drenagem subsuperficial, em consequência da presença do horizonte vértico, vermelho, que substitui o horizonte nodular, mais poroso.

A diferenciação bruna, de jusante, invade, sucessivamente, todos os horizontes do perfil. A distribuição das fases vermelha e bruna, na escala dos perfis e da toposseqüência, sugere que a brunificação dos solos decorre da transformação de um material anterior, rubificado, cujas relíquias seriam constituídas pelos nódulos vermelhos ou pela fase argilosa vermelha. Essa transformação avança de jusante para montante e da base para o topo dos perfis.

CAPÍTULO VIII

DADOS MICROSCÓPICOS E ANALÍTICOS

I. - A SEQUÊNCIA VERTICAL DE FORMAÇÃO DOS NÓDULOS COM MATRIZ POLIÉDRICA (TRINCHEIRA A3)

A. INTRODUÇÃO

O estudo detalhado da *seqüência nodular vermelha com matriz poliédrica* foi feito na trincheira A3, que contém a seqüência de horizontes mais completa entre o basalto alterado e os nódulos vermelhos.

Entretanto, as variações laterais dos horizontes do conjunto de alteração e o nodular sugerem a existência de outras seqüências nodulares, sempre com nódulos vermelhos e matriz poliédrica. Essas questões serão tratadas posteriormente no item II deste capítulo "Variações laterais das micro-organizações e da mineralogia dos conjuntos de alteração e nodular".

A apresentação dos dados microscópicos e analíticos da trincheira A3 será feita da base para o topo do perfil, seguindo as filiações entre as organizações. A localização das lâminas delgadas e as principais organizações dessa trincheira podem ser vistas na Figura 13 (Fig. 13, p.18).

B. O CONJUNTO DE ALTERAÇÃO

Os horizontes de alteração caracterizam-se pela presença das seguintes organizações:

- . Fragmentos de basalto alterado;
- . Matriz argilosa que representa, na escala microscópica, os fundos matriciais interfragmentos de basalto alterado, e
- . Revestimentos e nódulos (feições pedológicas).

1. Os fragmentos de basalto alterado

1.1. Constituintes e organização

No horizonte de basalto alterado, bege, com diferenciação periférica vermelha (lâmina delgada 1 - ver localização na Fig. 13, p.18), observa-se, ao microscópio óptico, que os minerais primários estão quase todos alterados, restando, desses, apenas as titânio-magnetitas. A textura petrográfica está conservada e os minerais primários alterados guardam a sua forma original (alteração pseudomórfica).

No núcleo dos fragmentos de basalto alterado, onde a cor do fundo matricial é bege, foram identificados os seguintes constituintes e organização (Pr.5., f.1 e 2) :

Pseudomorfoses de plagioclásios (cerca de 60% da superfície da lâmina delgada) - têm forma retangular e contêm um alteroplasma bege-claro em luz normal (LN) e cinza-escuro, argilassépico, em luz polarizada (LP). Os vazios são abundantes e há domínios onde as cavidades pseudomórficas representam a totalidade da porosidade.

Pseudomorfoses de piroxênios (cerca de 15% da superfície da lâmina delgada) - sem forma definida, apresentam um alteroplasma bege-claro em LN e branco ou amarelo-claro em LP. Os vazios são comuns.

Pseudomorfoses de olivina (cerca de 2% da superfície da lâmina delgada) - apresentam um alteroplasma bege-claro em LN, branco a cinza em LP. Nas fissuras, há um plasma vermelho-escuro, quase preto, em LN e entre esse e o precedente, pode ocorrer um alteroplasma vermelho-vivo em LN, birrefringente.

Titânio-magnetitas (cerca de 5% da superfície da lâmina delgada) - encontram-se dois tipos de cristais de titânio-magnetitas:

. Cristais menores (70-160 microns), de forma angular a sub-angular e cor preta a vermelho-escuro. Ocorrem, dispersos, no fundo matricial da rocha.

. Cristais maiores (200-300 microns), de forma irregular e cor preta a vermelho-escuro. Ocorrem agrupados em dois ou três indivíduos.

Vesículas (cerca de 2% da superfície da lâmina delgada) - são volumes de forma arredondada, com diâmetro milimétrico a

centimétrico. No seu interior, o plasma é bege-claro em LN, argilassépico e cinza-escuro em LP. Às vezes, o núcleo das vesículas é constituído de quartzo. Na periferia das vesículas ocorre uma camada micrométrica constituída de um plasma bege-claro em LN, branco em LP. Sua extinção é perpendicular à parede externa da vesícula, dando um aspecto fibro-radial.

No basalto cinza-escuro (descrito no Capítulo II, item I), as vesículas apresentam vários tipos de preenchimento: quartzo, calcita, vidros vulcânicos ou filossilicatos secundários de cor verde. Na trincheira A3, às vezes, encontram-se os filossilicatos verdes nas vesículas do basalto alterado ou naquelas do interior dos nódulos.

Organizações zonadas (denominação utilizada por Ildefonse, 1987) - representam cerca de 15% da superfície da lâmina delgada. São volumes policôncavos ou raramente policonvexos, apresentando um núcleo com plasma bege-claro em LN, e argilassépico, cinza-escuro e com aspecto granulado em LP. Na periferia, as organizações zonadas apresentam a mesma camada micrométrica descrita nas vesículas.

As organizações zonadas diferem das vesículas quanto à forma (vesículas são arredondadas e as organizações zonadas são policôncavas e policonvexas) e, às vezes, quanto ao preenchimento (as vesículas podem ter quartzo e não se viu quartzo nas organizações zonadas).

Veios de calcita alterada - No basalto pouco alterado (descrito no Capítulo V, item I), observou-se a presença de veios de espessura milimétrica, preenchidos de calcita. No basalto alterado da trincheira A3 encontram-se veios de mesma forma, contendo um plasma laranja em LN e em LP, com assembléia plásmica argilassépica. Esses veios apresentam uma camada periférica incolor em LN e branca em LP, semelhante àquela das vesículas ou das organizações zonadas.

Óxidos de ferro - de cor vermelha a vermelho-escuro, muitas vezes constituídos de microgrãos, cujo tamanho é inferior ao microm. Eles formam uma coroa ferruginosa ao redor dos núcleos de titânio-magnetita e podem tingir os alteroplasmas e/ou preencher a porosidade dos minerais adjacentes a essas titânio-magnetitas (Pr.5, f.1 e 2).

No basalto alterado vermelho-claro (lâmina delgada 2, Fig.13, p.18), os núcleos de titânio-magnetita são menores e os óxidos de ferro ocupam uma maior superfície. Veremos mais adiante, que essa ferruginização é fraca quando comparada à dos nódulos, porém, é semelhante àquela das alterorrelíquias presentes na base do horizonte nodular.

Os resultados da difração de Raios-X da fração argila e também do pó total dos fragmentos de basalto alterado mostraram as seguintes fases :

. traços de um mineral a 9-11A, não expansível, provavelmente, uma argila micácea. Essa fase foi encontrada no preenchimento das vesículas e das amígdalas;

. mineral predominante a 15-16A, expansível, que apresenta comportamento de uma esmectita, com fechamento a 10A após o aquecimento a 490°C (Tab.2, p.48). A raia 060 ocorre a 1,49A, caracterizando a presença de folhetos dioctaédricos. A medida do índice de Biscaye (Fig. 14, p.19) para esses minerais mostra que as esmectitas da isalterita basáltica bege e da isalterita com diferenciação periférica vermelha têm boa cristalinidade (relação V/P elevada), porém, na aloterita basáltica vermelha, a relação V/P diminui, caracterizando uma esmectita de cristalinidade intermediária.

. mineral a 7,1A, não expansível, com comportamento de uma caulinita, com destruição após o aquecimento a 490°C (Tab.2, p. 48). A relação entre a intensidade dos picos a 15A e 7A é largamente superior a unidade. Isso sugere que nos argilo-minerais, a esmectita predomina sobre a caulinita;

. traços de hematita,

. quartzo.

As micro-análises químicas semiquantitativas de algumas fases descritas para o basalto alterado no estudo microscópico foram efetuadas ao Microscópio Eletrônico de Varredura com analisador e podem ser vistas na Tabela 3 (Tab. 3, p. 49) :

. Os alteroplasmas dos plagioclásios contêm elementos estranhos a esses minerais (ferro e titânio), indicando a importância dos mecanismos de transferência na alteração desses materiais.

. O plasma granuloso do núcleo das organizações zonadas pode ser muito silicoso

. As titânio-magnetitas apresentam teores elevados de titânio.

. Os microgrãos vermelhos são constituídos predominantemente de ferro.

1.2. Diferenciações periféricas

O basalto alterado bege apresenta, freqüentemente, uma coloração mais avermelhada na periferia dos fragmentos. Essa diferenciação é descontínua, de espessura milimétrica e foi denominada diferenciação periférica vermelha.

No microscópio óptico, a diferenciação periférica vermelha corresponde a uma impregnação das fases secundárias e da porosidade pelos óxidos de ferro (Pr.5.,f.3 e 4). Essa impregnação é diferencial, segundo o mineral, e, crescente em direção aos vazios interfragmentos. Inicialmente, o alteroplasma bege em LN dos piroxênios torna-se laranja-avermelhado e a porosidade intra e intermineral apresenta-se preenchida de óxidos de ferro de cor vermelho- escura. Em seguida, mais próximo do vazio, todo o fundo matricial da rocha pode estar colorido de vermelho.

Em um mesmo fragmento de basalto alterado ou em fragmentos diferentes, pode ocorrer o contrário, isto é, a periferia desses elementos é branca e foi denominada diferenciação periférica branca. Nesse caso, o fundo matricial claro corta as diferenciações ferruginosas do fundo matricial mais vermelho; portanto, elas são posteriores e correspondem a uma deferruginização.

No horizonte de basalto alterado vermelho (lâmina delgada 3 - Fig.13, p.18) a diferenciação periférica vermelha é mais forte e mais contínua na escala dos fragmentos. A diferenciação periférica branca é pouco freqüente.

1.3. Fissuração

A observação das lâminas delgadas 1 e 2 (ver localização das lâminas na Fig. 13, p.18), com uma lupa, permite a representação da geometria e da abundância da macroporosidade.

No horizonte de basalto alterado com diferenciação periférica vermelha (Fig. 15, p.20), os fragmentos de basalto alterado são alongados e centimétricos. Entre eles, o fundo matricial é pouco abundante. Localmente, os vazios planares são abundantes, delimitando volumes milimétricos de basalto alterado (Pr.7.,f.7 e 8).

No horizonte de basalto alterado vermelho-claro (Fig. 16, p.20), os fragmentos de basalto alterado são subangulares e menores do que os precedentes.

2. Os fundos matriciais interfragmentos de basalto alterado

Entre os fragmentos de basalto alterado, há dois tipos de fundos matriciais (Pr.6.,f.1 a 4) :

+1862
 . Fundo matricial com *plasma vermelho-claro a escuro* em LN, contendo microgrãos vermelho-escuros, de tamanho inferior ao microm e cuja abundância determina as variações de cor. A assembléia plásmica é esquel-vo-bimassépica, com separações plásmicas mais freqüentes no plasma vermelho mais claro. Há abundantes altero-relíquias do basalto alterado que foram chamadas de *ilhas de plasmas de alteração*. O esqueleto é pouco abundante e constituído de titânio-magnetitas e quartzos, distribuídos irregularmente. A distribuição relativa do plasma e do esqueleto é porfirosquéllica. Na porosidade ocorrem estruturas cutânicas bem formadas, microestriadas, de cor vermelha ou vermelho-alaranjado.

. Fundo matricial com *plasma bege a marrom-avermelhado* em LN, com assembléia plásmica semelhante a do plasma vermelho, porém, as separações plásmicas são mais visíveis. As *ilhas de plasmas de alteração* são numerosas. O esqueleto também é constituído de titânio-magnetitas e quartzos. Na porosidade, as estruturas cutânicas são fragmentadas e de cor bege.

A distribuição dos plasmas vermelho e bege é variável :

. Horizonte de basalto alterado com diferenciação periférica (lâmina delgada 1 - ver localização na Fig.13, p.18) - Na base da lâmina delgada estudada, o plasma bege constitui o fundo matricial e, o vermelho, as feições pedológicas do tipo glêbulas ou nódulos (Brewer, 1964). As glêbulas têm um limite difuso com o plasma bege; os nódulos têm um limite nítido e o plasma bege está orientado ao seu redor, constituindo um *stress cutã* (Brewer, 1964).

Na parte somital da mesma lâmina delgada, o fundo matricial apresenta um plasma vermelho mais escuro do que na base e, muitas vezes, na borda dos vazios, o plasma vermelho se descolore.

. Horizonte de basalto alterado vermelho-claro (lâmina delgada 2 - ver localização na Fig.13, p.18) - O fundo matricial contém um plasma vermelho menos ferruginizado do que abaixo e, próximo aos vazios, também é freqüente o descolorimento do plasma vermelho.

Normalmente, o limite entre o plasma vermelho e o basalto alterado é abrupto, mas, a presença de relíquias do basalto alterado no plasma vermelho mostra que, o segundo deriva do primeiro, sem qualquer transferência mecânica (pedoturbação). Entretanto, localmente, os vazios planares são mais abundantes, delimitando volumes milimétricos de basalto alterado bege, com transições progressivas para o plasma vermelho (Pr.7.,f.7).

A presença de ilhas do plasma vermelho no interior do plasma bege e o limite difuso entre esses dois plasmas sugerem uma transformação do plasma vermelho para o bege (Pr.6.,f.1 e 2), mas é o estudo das feições pedológicas, particularmente dos cutãs, que permitirá essa demonstração.

A composição mineralógica da fração argila da matriz interfragmentos de basalto alterado é semelhante àquela dos fragmentos de basalto alterado (traços de argilas micáceas, esmectitas predominantes, caulinita como segundo mineral, hematita e quartzo); porém, há traços de goethita, que não foi encontrada nos fragmentos de basalto alterado.

3. Cutãs e nódulos

As feições pedológicas são constituídas de cutãs e nódulos :

. OS CUTÃS - São abundantes e apresentam uma cronologia:

- *Laranja a preto em LN, fortemente zonado e pouco birrefringente em LP.* São fragmentados e constituem as pápulas dos fundos matriciais interfragmentos de basalto alterado ou ocorrem diretamente sobre esses fragmentos (Pr.7.,f.1 e 2).

- *Vermelho a amarelo-claro em LN, com ou sem zonação, mas com forte birrefringência em LP.* Esses cutãs são os mais freqüentes, estão conformes com a porosidade atual e apresentam extinção contínua, causada pela forte orientação das partículas argilosas que os constituem. As análises químicas semiquantitativas efetuadas ao Microscópio Eletrônico de Varredura com analisador (Tab. 4, p. 49) mostram a presença do silício e do alumínio na composição desses minerais. Trata-se, portanto, de argilãs na definição de Brewer (1964).

Sobre os fragmentos de basalto alterado, os argilãs vermelho a amarelo-claros ocorrem diretamente sobre o basalto alterado, apresentando forte descontinuidade de contato com o seu suporte. Localmente, eles são encontrados nas fissuras intrafragmentos de basalto alterado e, a partir daí, preenchem parcialmente a porosidade intramineral (Pr.7.,f.5 e 6).

Na matriz argilosa, os argilãs vermelhos a laranja-claros são abundantes nos fundos matriciais vermelhos.

- *Preto em LN, com passagens progressivas para o fundo matricial da rocha (Pr.7.,f.2 e 3).* Localmente, os cutãs pretos contêm ilhas vermelhas a laranja, idênticas ao material cutânico vermelho. Isso pode indicar que os argilãs vermelhos a laranja-claros foram irregularmente coloridos pelo material preto e, portanto, eles são anteriores aos cutãs pretos. Os cutãs pretos, também, ocorrem diretamente sobre os fragmentos de basalto alterado, principalmente nas fissuras intrafragmentos de basalto alterado. As análises químicas semiquantitativas efetuadas ao Microscópio Eletrônico de Varredura com analisador (Fig. 17, p.21) confirmam a presença do manganês e do ferro na composição dos cutãs pretos.

- *Bege-claro em LN e branco em LP.* Os cutãs beges cortam as organizações dos vermelhos e dos pretos, sendo, portanto, posteriores aos mesmos (Pr.7.,f.1 e 2). As análises químicas semiquantitativas efetuadas ao Microscópio Eletrônico de Varredura com analisador (Tab. 4, p.49) mostram a presença do silício e do alumínio na composição desses minerais. Tratam-se, portanto, de argilãs (Brewer, 1964).

No fundo matricial bege os argilãs beges constituem a maior parte dos cutãs. Nesse fundo matricial, pode-se observar a passagem lateral dos argilãs vermelhos a amarelo-claros aos argilãs beges (Pr.8.,f.1 a 4) : os argilãs vermelhos a amarelo-claros estão bem orientados e os argilãs beges, que os prolongam, apresentam uma transformação por pedoturbação, que destrói sua orientação.

. OS NÓDULOS - No conjunto de alteração, a presença de nódulos é pouco expressiva. Eles têm cor vermelho-escuro quase preta, tamanho milimétrico e textura petrográfica conservada do basalto ou do arenito. Ao redor dessas organizações há cutãs laranjas e/ou beges.

4. Síntese da seqüência evolutiva do conjunto de alteração

. **FRAGMENTOS DE BASALTO ALTERADO** - A alteroplasmação é completa, exceto para as titânio-magnetitas. Os produtos secundários são constituídos de diferentes tipos de plasmas argilosos que pseudomorfizam os minerais primários, assegurando a textura petrográfica inicial. Na fração argila os minerais predominantes são as esmectitas e, logo em seguida, em proporção bem menor, as caulinitas.

A diferenciação periférica vermelha corresponde à impregnação dos alteroplasmas e ao preenchimento parcial da porosidade pelos óxidos de ferro. A diferenciação periférica branca corta essas estruturas ferruginizadas e, portanto, é posterior, correspondendo a uma deferruginização.

. **OS PLASMAS ARGILOSOS DA MATRIZ** - Há dois tipos de plasmas:

- *plasma vermelho-claro a vermelho-escuro*, cuja orientação cresce com o aclaramento, e
- *plasma bege a marrom-claro*, muito orientado.

Duas interpretações são possíveis para o decréscimo da orientação do plasma com o aumento do teor em ferro:

. O ferro mascara a orientação do plasma, que se revela quando o teor de ferro diminui;

. O plasma ferruginizado é rígido, mas é suscetível de se reorganizar quando a concentração de ferro diminui (Chauvel, 1976). Modificando-se o arranjo textural dos cristalitos, eles adquirem novas orientações plásmicas (Flach et al, 1968; Boulet, 1974; Eswaran et al., 1979 e Muller et al, 1981).

A segunda hipótese é a mais provável, pois, o plasma original é um alteroplasma não orientado.

O plasma vermelho se forma a partir do basalto alterado e de seus alteroplasmas, por ferruginização e pedoturbação. O plasma bege se diferencia a partir do vermelho, por deferruginização e reorganização plásmica.

. **OS ÓXIDOS DE FERRO** - O ferro se individualiza de diversas maneiras:

* *Nos alteroplasmas*

- No basalto alterado bege, as pseudomorfoses dos piroxênios não apresentam óxidos de ferro. Isso significa que o ferro, se presente, encontra-se nas argilas. Em direção à periferia dos fragmentos de basalto alterado e ao topo do perfil, a ferruginização do fundo matricial de textura petrográfica conservada se generaliza e o ferro presente nos alteroplasmas das pseudomorfoses desses minerais, provavelmente, é liberado, podendo precipitar na forma de hematita. O mesmo raciocínio é válido para as olivinas.

- As titânio- magnetitas se alteram nas bordas, liberando o ferro no interior dos alteroplasmas adjacentes, sob a forma de hematita.

- Ao redor dos vazios e no interior dos alteroplasmas das diferenciações periféricas vermelhas, por aporte em solução. Essa acumulação ferruginosa, sob a forma de hematita, dá início à nodulação, já no interior da alterita.

* *No plasma vermelho*, que ele colore uniformemente. Nesse caso, o ferro pode vir das titânio-magnetitas, mas, deve-se supor um aporte por solução.

A cristalização do ferro na forma de hematita pode ser explicada pelo tipo de porosidade do fundo matricial de textura petrográfica conservada. Trata-se de uma microporosidade, que resulta da abundância de plasmas e da redução da porosidade inicial, pelo preenchimento progressivo dos poros, pelo ferro importado (Tardy, 1993).

. **OS NÓDULOS** - Eles são pouco numerosos e litorreliquiais. No conjunto de alteração, a formação desses nódulos não é clara, pois, não se vêem intermediários morfológicos entre esses e o basalto alterado.

. **OS CUTÃS** - Os argilãs laranjas a pretos e os vermelhos a amarelo-claros apresentam forte descontinuidade de contato com o seu suporte. Eles representam, provavelmente, acumulações absolutas de matéria, resultantes do transporte de partículas argilosas, em suspensão, no interior das soluções. Os argilãs beges resultam da transformação dos argilãs vermelhos a amarelo-claros, por deferruginização e pedoturbação.

Em síntese, tem-se uma seqüência evolutiva que constitui a raiz desse solo. Ela pode ser resumida pelo seguinte esquema:

C. O HORIZONTE NODULAR

1. Introdução

A Figura 13 (Fig. 13, p.18) apresenta as macro-organizações do horizonte nodular e mostra que o seu limite com os horizontes do conjunto de alteração é irregular.

O horizonte nodular é constituído de dois tipos de materiais:

- . *Matriz argilosa e poliédrica*, pouco abundante, representando os fundos matriciais internódulos, na escala microscópica ;
- . *Feições pedológicas*, representadas pelos nódulos e pelos cutãs. Os nódulos representam cerca de 60-70% da superfície da lâmina delgada.

Em função do grau de ferruginização dos fundos matriciais e das feições pedológicas, nota-se que o horizonte nodular apresenta zonas vermelhas, mais ou menos escurecidas, e outras beges (Fig. 18, p. 21). Na base desse horizonte (lâmina delgada 3 - Fig.13, p.18), a cor vermelha, predominante, é mais clara do que na parte somital do mesmo volume (lâmina delgada 4 - Fig.13, p.18). Isso significa que a ferruginização é crescente da base para o topo do volume nodular. As fotos da Prancha 9 ilustram a organização do horizonte nodular.

2. Os fundos matriciais internódulos

Na base do horizonte nodular, há uma estrutura poliédrica fina (7mm-1cm) e uma subestrutura muito fina (1-5mm), delimitada por fissuras com seção policôncava. O esqueleto é pouco abundante, representando cerca de 2-4% da superfície da lâmina delgada. A assembléia é porfirosquéllica.

Na parte somital do mesmo horizonte, a estrutura é poliédrica, muito fina (1-5mm). O esqueleto é pouco mais abundante, representando cerca de 5-6% da superfície da lâmina delgada.

Há dois tipos de fundos matriciais internódulos :

. *Fundo matricial com plasma vermelho-claro a escuro em LN* (Pr.10.,f.1), esquel-vo-bimassépico ou isótico em LP. As separações plásmicas têm cor laranja e são mais abundantes quanto mais claro o fundo matricial. Há numerosas ilhas de plasmas de alteração e o esqueleto é constituído de titânio-magnetitas e quartzos, distribuídos irregularmente. Nos vazios, há argilãs vermelhos a laranja-claros que podem se descolorir e formar um argilã bege, em contato com o vazio.

. *Fundo matricial com plasma bege em LN* (Pr.10.,f.2). A assembléia plásmica é semelhante a do plasma vermelho, porém, as separações plásmicas são mais abundantes e de cor amarelo-claras ou brancas. As ilhas de plasmas de alteração são abundantes. Nos vazios ocorrem argilãs beges.

Sob forte aumento no microscópio óptico observa-se que os plasmas vermelhos e beges são heterogêneos, apresentando diferentes domínios :

. No plasma vermelho (Pr.10.,f.3 e 4) :

- domínios vermelhos, com ilhas difusas opacas (letra **a** nas fotos 3 e 4);
- domínios com abundantes microgrãos vermelhos, mas persiste um fundo laranja (letra **b** nas fotos 3 e 4);
- domínios de plasma laranja-claro dominante, comportando microgrãos vermelhos (letra **c** nas fotos 3 e 4);
- domínios de plasma laranja-claro, quase desprovidos de microgrãos vermelhos (letra **d** na foto 3). Esses domínios são mais abundantes quanto menos ferruginizado o plasma vermelho.

. No plasma bege (Pr.10.,f.5) :

- domínios bege-claros a bege-avermelhados em LN, com microgrãos vermelhos dispersos (letra **a** na foto 5);
- domínios difusos de plasma vermelho em LP, com abundantes microgrãos vermelhos (letra **b** na foto 5).

As organizações dos plasmas vermelhos e beges sugerem a existência de um plasma argiloso homogêneo e de um pigmento ferruginoso vermelho, cuja distribuição é muito heterogênea, podendo, até, opacificar esse plasma.

A mineralogia da fração argila da matriz dos nódulos é semelhante àquela da matriz dos fragmentos de basalto alterado, mas a relação entre a intensidade dos picos a 15A e 7A diminui. Isso sugere um aumento da caulinita da base para o topo do perfil. Foram identificadas as seguintes fases :

- . traços de um mineral a 10A, pouco expansível, provavelmente uma argila micácea
- . mineral a 7,2A, com comportamento de uma caulinita, destruindo-se após o aquecimento a 490°C (Fig.19, p.22)
- . mineral predominante a 14-16A, expansível, com comportamento de uma esmectita, com fechamento a 10A, após tratamento com etileno glicol (Fig.19, p 22). Após troca com lítio e glicolagem, as esmectitas dão um pico a 14 A, indicando a presença de beidelitas.
- . hematita
- . traços de goethita

As composições químicas obtidas à Microsonda Eletrônica para os plasmas vermelhos e beges podem ser vistas nas Tabelas 5 e 6 (Tab. 5 e 6, p.50 e 51, respectivamente). Os valores médios mostram que esses plasmas apresentam uma variação nos teores de ferro: plasma vermelho cerca de 20% de Fe_2O_3 e, plasma bege, aproximadamente, 10% de Fe_2O_3 .

3. Os cutãs

Os cutãs são abundantes, ocorrendo na superfície dos agregados ou dos nódulos e nos vazios intra-agregados. Aparecem vários tipos de cutãs:

. CUTÃS COM PLASMA VERMELHO A AMARELO em LN, birrefringente, seja com organização cutânica nítida (zonação) ou com manifestações de pedoturbação (letra **b** da foto 1, Prancha 10). Muitas vezes, o plasma vermelho se descolore em direção aos vazios, onde o plasma é amarelo em LN.

As fotos 5 e 6 da Prancha 13 mostram que o plasma dos cutãs vermelhos a amarelos cortam as organizações ferruginizadas dos nódulos. Isso mostra que esses cutãs são posteriores à diferenciação dos nódulos.

Os cutãs vermelhos a amarelos ocorrem na superfície dos agregados, na porosidade intra-agregados e ao redor dos nódulos. Localmente, o plasma vermelho a amarelo, semelhante àquele dos cutãs, é abundante, com stress cutã ao redor dos nódulos (Pr.13.,f.7 e 8). Isso significa que o plasma vermelho a amarelo funciona mecanicamente.

Os resultados das micro-análises químicas (Microsonda Eletrônica) dos cutãs vermelhos a amarelos podem ser vistos na Tabela 7 (Tab.7, p.52). Eles são constituídos, predominantemente, de silício e alumínio e foram chamados de argilãs (Brewer, 1965). A porcentagem média de Fe_2O_3 para os dados da Tabela 7 é de 13.9%.

. CUTÃS COM PLASMA BEGE em LN, birrefringente em LP, normalmente pedoturbados. A passagem dos argilãs vermelhos a amarelos para os beges é progressiva quanto ao desaparecimento da cor vermelha. Os cutãs beges são pouco freqüentes e ocorrem sempre no contato com o vazio.

Os resultados das micro-análises químicas (Microsonda Eletrônica) dos cutãs beges podem ser vistos na Tabela 8 (Tab.8, p.53): eles são constituídos, basicamente, de silício e alumínio e foram denominados de argilãs (BREWER, 1964). A porcentagem média de Fe_2O_3 na composição dessas feições é de 9.7%.

. CUTÃS VERMELHO-ESCUROS QUASE PRETOS, de espessura inferior a 30 microns, descontínuos e presentes no contato com o vazio ou em posição subcutânica no plasma amarelo (Pr.13.,f.1,2,5 e 6). As micro-análises químicas (Microsonda Eletrônica) mostram que esses cutãs apresentam 25.4% de SiO_2 , 13.9% de Al_2O_3 e 17.8% de Fe_2O_3 .

4. Os nódulos

Da base para o topo do horizonte nodular, observa-se uma seqüência de organizações, contínua, entre o basalto alterado vermelho-claro e os nódulos ferruginosos, conservando a textura petrográfica.

No estudo microscópico foi possível distinguir as etapas dessa evolução (Pr.9.,f.1 a 4) :

- 1) *Volumes de basalto alterado vermelho-claro, semelhante àquele do horizonte precedente.* Eles são freqüentes na base do volume nodular (lâmina delgada 3 - Fig.13, p.18), principalmente na zona vermelho-clara, mas desaparecem no topo do mesmo horizonte (lâmina delgada 4 - Fig.13, p.18). Têm tamanho centimétrico e forma subangular.
- 2) *Volumes de basalto alterado de cor vermelha mais escura que a precedente, constituindo feições do tipo nódulo* (Brewer, 1964). Esses nódulos são litorreliquiaais e as diferenciações observadas no fundo matricial de textura petrográfica conservada correspondem à generalização e acentuação das transformações vistas na periferia dos fragmentos de basalto alterado. Nos nódulos podem-se reconhecer as pseudomorfoses dos plagioclásios, com plasma bege-claro em LN, separadas por um plasma de cor heterogênea, indo do opaco ao laranja-vivo em LN, com aumento das cores mais escuras em direção à periferia do nódulo (Pr.11.,f.1 a 4). Sob forte aumento, observa-se que esse plasma apresenta um aspecto granulado e contém microgrãos opacos, de tamanho inferior ao microm, cuja abundância determina as variações de cor. Muitas vezes, os domínios opacos são constituídos de titânio-magnetitas ainda identificáveis. Os domínios laranja-vivos correspondem às pseudomorfoses dos piroxênios. Frequentemente, as vesículas estão ferruginizadas, mas, mesmo assim, contém domínios de plasma verde ou bege-claro em LN, como no basalto alterado. Os quartzos vesiculares são fraturados e separados por uma película de óxidos de ferro.
- 3) *Nódulos com ferruginização crescente, adquirindo cor vermelho-escura e, algumas vezes, quase preta.* Os nódulos mais ferruginizados são milimétricos, de forma quase arredondada. Os nódulos vermelhos muito escuros, foram encontrados na zona vermelho-clara, porém, são mais freqüentes nas zonas vermelho-escuras.

A permanência da textura petrográfica do basalto nos nódulos permite o raciocínio isovolume de Millot & Bonifas (1955). Os resultados das análises químicas globais mostram que os nódulos litorreliquiaes derivam do basalto alterado por densificação, concentração do ferro e perda de silício (Tab. 9, p. 54). Globalmente, o alumínio aumenta, ligeiramente.

A composição mineralógica da fração argila retirada dos nódulos mostram a presença das seguintes fases:

- . traços de um mineral a 10A, não expansível, provavelmente uma argila micácea,
- . mineral a 15A, expansível, que mostra um comportamento de uma esmectita, com fechamento a 10A, após o aquecimento. A medida do índice de Biscaye (1965) mostra que a relação V/P é igual a 0.47 para os nódulos da base do volume nodular e 0.45 para aqueles da parte somital, caracterizando uma cristalinidade de média a baixa, respectivamente (Fig. 20, p.22). Isso mostra que a cristalinidade das esmectitas diminui dos fragmentos de basalto alterado aos nódulos litorreliquiaes.
- . caulinita de baixa cristalinidade ($I/K = 2.68$). A relação entre a intensidade dos picos a 15A e 7A é aproximadamente igual a 1. Isso significa que a caulinita aumenta, dos fragmentos de basalto alterado aos nódulos.
- . hematita, e
- . traços de goethita.

As micro-análises químicas (Microsonda Eletrônica) mostram que os pontos do interior do nódulo apresentam uma relação SiO_2/Al_2O_3 variável (Tab. 10, p.55). Os valores mais altos ocorrem no plasma das vesículas e os menores no plasma opaco, localizado entre as pseudomorfoses dos plagioclásios.

A partir do nódulo litorreliquial ferruginizado observam-se diversas seqüências de diferenciações, que, em última análise, levam à degradação do nódulo :

. Diferenciações periféricas e córtex goethítico

- *Diferenciação periférica*: é uma organização periférica ao nódulo, cuja textura petrográfica está conservada. Todo o fundo matricial de textura petrográfica conservada tem cor amarela. A diferenciação periférica amarela é descontínua e de espessura inferior ao milímetro (Pr.12.,f.3 e 4). A transição entre a diferenciação periférica amarela e o plasma vermelho do interior do nódulo é muito irregular, com ilhas do plasma vermelho no amarelo. A morfologia desse limite é de frente de transformação do plasma vermelho em amarelo.

- *Córtex goethítico* : é uma organização periférica ao nódulo, onde desaparece a textura petrográfica do basalto. O limite do córtex goethítico com o plasma vermelho-escuro do interior do nódulo é abrupto. O córtex goethítico tem espessura inferior a 300 microns e é constituído de um plasma amarelo-alaranjado em LN, birrefringente em LP, disposto de modo paralelo à superfície externa do nódulo (Pr.12.,f.5). Na transição, entre o plasma amarelo da diferenciação periférica e o plasma amarelo-alaranjado do córtex goethítico, ocorre a interpenetração dos dois plasmas, desaparecendo a textura petrográfica.

. Passagem progressiva aos fundos matriciais internódulos

- (Pr.13.,f.1 a 6) A passagem entre os alteroplasmas do nódulo (sem córtex) e o fundo matricial adjacente (10-20 microns de espessura) é irregular e caracteriza-se pelo desaparecimento da textura petrográfica e pela presença de um plasma opaco a laranja em LN, rico em microgrãos vermelho-escuros, de tamanho inferior ao micron, que diminuem em direção ao plasma vermelho, mais claro, do fundo matricial internódulos. A Figura 21 mostra que a transição do plasma vermelho, muito escuro, do interior do nódulo para o plasma vermelho, mais claro, do fundo matricial internódulos caracteriza-se pela saída do ferro. Entretanto, na transição do alteroplasma de um plagioclásio do interior do nódulo para o plasma vermelho do fundo matricial internódulos, o ferro aumenta ligeiramente (Fig. 21, p.23). Pode-se concluir que a composição dos nódulos é heterogênea, com fases mais ou menos ricas em sílica e em ferro. Assim, a plasmação dos nódulos caracteriza-se pela saída de uma parte do ferro e, provavelmente, pela reorganização dos plasmas existentes.

- As passagens dos nódulos litorreliquiaais ao plasma bege são abruptas, quando se considera a parte mais ferruginizada do nódulo (plasma opaco), porém, é difusa, passando pela cor laranja, quando o plasma do interior do nódulo estiver pouco ferruginizado. A Figura 22 (Fig.22, p.23) apresenta os pontos microsondados na transição dos nódulos litorreliquiaais para o plasma bege: a passagem do nódulo para o plasma bege parece se fazer sem modificações mineralógicas das argilas e somente por uma diminuição dos teores de ferro. Entretanto, nota-se que o plasma das vesículas são, nitidamente, mais ricos em sílica (provavelmente, em esmectitas) e, assim, sua transformação em plasma bege seria caracterizada por uma desilicificação.

5. Síntese da seqüência evolutiva do horizonte nodular

. **OS NÓDULOS** - Os nódulos são litorreliquiaais do basalto e, mineralogicamente, são constituídos de esmectita, caulinita e hematita.

A partir do nódulo ferruginizado, duas seqüências de diferenciações podem ocorrer :

. Formação do córtex goethítico, de evolução centrípeta, por dissolução da hematita e recristalização da goethita. Os nódulos com córtex são mais freqüentes na parte somital do volume nodular.

. Plasmação dos nódulos, por fissuração e pedoturbação, dando origem ao fundo matricial internódulos. A plasmação é mais freqüente na base do volume nodular.

. **OS PLASMAS ARGILOSOS DA MATRIZ** - São dois tipos de plasmas:

. plasma vermelho-claro a vermelho-escuro, cuja orientação cresce com o aclaramento.

. plasma bege a bege-avermelhado, muito orientado.

O decréscimo da orientação do plasma com o aumento do teor de ferro, também, foi observado nos plasmas do conjunto de alteração. Provavelmente, o plasma ferruginizado é rígido, mas é suscetível de se reorganizar, quando a concentração de ferro diminui (Chauvel, 1977).

O plasma vermelho se forma, pelo menos em parte, a partir da plasmação dos nódulos litorreliquiaais. Essa plasmação não foi observada nos nódulos com córtex goethítico.

O plasma bege é semelhante `aquele da alterita e deriva do plasma vermelho, por deferruginização.

. **OS CUTÃS** - Foram identificados dois tipos de cutãs :

1) Argilãs vermelhos a amarelos - Esses argilãs podem ter duas origens :

- iluviação, em consequência de uma lessivagem dos horizontes superiores;
- diferenciação no local, por deferruginação do plasma vermelho do fundo matricial.

A organização dos argilãs vermelhos a amarelos e a geometria não permitem concluir entre uma ou outra hipótese. Esses argilãs cortam as organizações ferruginizadas dos nódulos. Isso significa que eles são posteriores à diferenciação dos nódulos.

2) Argilãs beges, que derivam dos vermelhos por deferruginação e pedoturbação.

D. ESQUEMA INTERPRETATIVO DA FORMAÇÃO DOS NÓDULOS COM MATRIZ POLIÉDRICA (TRINHEIRA A3)

A Figura 23 (Fig.23, p. 24) apresenta um esquema sintético da seqüência nodular e da gênese dos plasmas do fundo matricial internódulos e dos cutãs.

A textura petrográfica está conservada, do basalto alterado bege até os nódulos. A ferruginização do basalto alterado inicia-se na alterita, onde o ferro se individualiza através da alteração das olivinas, dos piroxênios, das titânio-magnetitas e, principalmente, pelo aporte, via soluções.

Nos estádios seguintes (Tab.9, p. 54), o raciocínio isovolume mostra que os nódulos perdem sílica (17,8%), continuam a se enriquecer em ferro (184%) e, em menor proporção, em alumínio (13%). Mostrou-se que uma parte dos nódulos transforma-se em plasma vermelho, por deferruginação. Esse plasma vermelho pode se transformar em plasma bege, por deferruginação. O ferro liberado nessas sucessivas deferruginizações pode migrar e enriquecer as soluções da base do perfil.

A evolução, do basalto alterado aos nódulos, evidencia a diminuição da cristalinidade das esmectitas. A caulinita é sempre de baixa cristalinidade.

As observações microscópicas não permitem confirmar se os argilões vermelhos a amarelos são iluviais ou, se eles resultam da transformação do plasma vermelho.

II. - VARIAÇÕES LATERAIS DAS MICRO-ORGANIZAÇÕES E DA MINERALOGIA DOS CONJUNTOS DE ALTERAÇÃO E NODULAR

Para o estudo detalhado de uma *seqüência nodular vermelha, com matriz poliédrica*, escolheu-se a trincheira A3. Os resultados desse estudo foram relatados no item precedente.

Entretanto, na apresentação da toposseqüência "A" foram registradas diversas variações nas organizações dos basaltos alterados, dos nódulos e da matriz argilosa. O estudo microscópico e mineralógico dessas organizações acrescenta dados para a compreensão da evolução e da dinâmica dessa cobertura pedológica e, por isso, nesse item, faremos a síntese e, se possível, a interpretação desses resultados. Para tanto, considera-se o estudo detalhado da seqüência nodular da trincheira A3 como referência.

A apresentação será feita de montante para jusante da toposseqüência "A" (Fig. 9, p.13):

* TRINCHEIRA A1

A trincheira A1 apresenta na base do perfil, os horizontes do conjunto de alteração; acima os horizontes argilosos (vértico na base e poliédrico na parte somital), que são seguidos de um horizonte nodular. No conjunto de alteração ocorrem duas *facies* de basalto alterado e uma de arenito :

. Na base do perfil, tem-se o *basalto alterado em fragmentos beges*, semelhante `aquele da trincheira A3, inclusive com cutões vermelhos a amarelo-claros, birrefringentes, ou não, e outros pretos. Entretanto, os cutões beges estão ausentes. Sabe-se, do estudo da seqüência nodular da trincheira A3, que os cutões beges

derivam da deferruginização dos vermelhos; então, a ausência dessas feições no conjunto de alteração da trincheira A1 mostra que o meio é mais oxidado.

. Acima do precedente, pode-se ter o *basalto alterado cinza, rico em amígdalas* (Pr.14.,f.5). Na parte somital do basalto amigdalóidal há *plaquetas de arenito vermelho-claro*, misturadas a massa basáltica. O arenito é constituído de abundantes grãos de quartzo, de tamanho inferior a 50 microns, magnetitas e micas (poucas). Não se vêem os cutãs pretos, mas os cutãs vermelhos estão presentes, inclusive, sobre as plaquetas de arenito.

Nessa mesma trincheira, as micro-organizações do horizonte nodular, sobrejacentes ao horizonte poliédrico, são as seguintes (Pr.14.,f.1 e 2):

. *Nódulos* - são litorreliquiais do basalto ou do arenito, de cor vermelha, muito escura e, normalmente, com córtex vermelho-escuro. Os nódulos de basalto apresentam abundantes amígdalas, que contêm um plasma vermelho-escuro, muito semelhante àquele da matriz. O limite dos nódulos com córtex e o fundo matricial é nítido. Em relação aos nódulos da seqüência nodular vista na trincheira A3, registram-se as seguintes diferenças: na trincheira A1, os nódulos de arenito são muito mais abundantes; os nódulos de basalto contêm maior número de amígdalas; a maior parte dos nódulos basálticos ou areníticos apresentam um córtex vermelho-escuro e, não, amarelo como na trincheira A3 e, finalmente, a ferruginização dos nódulos é mais desenvolvida.

. *Fundo matricial internódulos* - é pouco abundante, com micro-agregados poliédricos (tamanho entre 0,5 a 2mm) de paredes irregulares e pouco acordantes. Localmente, a estrutura é microgranulada. O plasma vermelho é escuro e opaco, podendo ocorrer domínios amarelos, principalmente na base do volume. O esqueleto é constituído de quartzos muito pequenos (cerca de 30-50 microns) e raras micas, como aquelas do arenito. Na porosidade não há cutãs. Há freqüentes pedaços de nódulos litorreliquiais, sem córtex, com passagens progressivas para o plasma vermelho. Em relação à matriz dos nódulos da trincheira A3, observa-se que a matriz dos nódulos da trincheira E1 é mais escura e homogênea quanto à cor; os agregados são menores e com paredes mais irregulares; na porosidade não há argilãs, que são abundantes na trincheira A3 e o esqueleto quartzoso é mais abundante, provavelmente, devido ao maior número de nódulos de arenito.

As composições mineralógicas da fração argila retirada dos nódulos e da matriz dos nódulos, são as seguintes :

- . Nódulos de basalto - quartzo, hematita e caulinita, esta última, nem sempre presente.
- . Nódulos de arenito - quartzo, hematita e traços de mica e caulinita.
- . Matriz dos nódulos - caulinita e esmectita (Fig.24, p.25); também hematita, traços de argila micácea e goethita . Esses resultados são semelhantes àqueles da matriz dos nódulos da trincheira A3.

Em síntese, na trincheira A1, os nódulos litorreliquiaais estão separados do basalto alterado pelos horizontes argilosos vértico e poliédrico. Entretanto, a textura petrográfica dos nódulos litorreliquiaais é semelhante àquela do basalto e do arenito intertrapiano da base do perfil.

Os dados mineralógicos mostram que os nódulos não contêm argilas 2:1 e apenas traços de caulinita. Entretanto, a matriz dos nódulos contém esses minerais em quantidades importantes.

Os argilãs vermelhos a amarelos foram encontrados sobre os fragmentos de basalto alterado bege ou amigdalóidal e também sobre os fragmentos de arenito, mas estão ausentes no horizonte nodular. Na descrição macroscópica da topossequência "A" registrou-se uma variação textural na matriz dos nódulos, entre as trincheiras A1 e A8. Provavelmente, a presença ou a ausência desses argilãs expliquem, pelo menos em parte, essa variação textural.

* TRINCHEIRA A8

Para jusante, na trincheira A8, a textura petrográfica dos nódulos de basalto e de arenito são semelhantes àquelas da trincheira A1, porém, os nódulos são menos ferruginizados (Pr.14.,f.3) e podem apresentar córtex amarelo. O limite dos nódulos com o fundo matricial é brusco quando há córtex amarelo, mas pode ser progressivo nos nódulos sem essa feição. No fundo matricial internódulos há um plasma vermelho, menos ferruginizado do que a montante e surge um plasma bege, em relação à porosidade, principalmente a biológica. Ao redor dos agregados poliédricos e também na porosidade (principalmente tipo cavidades irregulares), há abundantes argilãs laranjas ou beges, que não existem na trincheira precedente (Pr.14.,f.4).

Mineralogicamente, identificam-se as seguintes fases:

. Nódulos de basalto - esmectitas (traços), argilas micáceas (traços), caulinita (dos argilo-minerais, é o mineral mais importante), quartzo, hematita e goethita.

. Matriz argilosa - esmectita, caulinita, traços de argilas micáceas, hematita e goethita. Essa mineralogia é semelhante àquela da matriz dos nódulos das trincheiras A3 e A1. A relação entre a intensidade dos picos a 15A e 7A é ligeiramente superior a 1. Isso sugere que nos argilominerais, as esmectitas predominam sobre as caulinitas.

Em síntese, as texturas petrográficas dos nódulos da trincheira A8 são semelhantes àsquelas dos nódulos da trincheira A1. Apesar disso, há diferenças entre esses dois horizontes nodulares :

. Nos nódulos da trincheira A8, observa-se que a ferruginização é menos forte e a cortificação é menos freqüente, constituída de um plasma amarelo e não vermelho-escuro como a montante. Mineralogicamente, observam-se duas diferenças entre esses nódulos: os nódulos da trincheira A8 contêm, entre outros minerais, a esmectita e a goethita, que não existem nos nódulos da trincheira A1.

. Na matriz argilosa da trincheira A8 surge o plasma bege, em relação à porosidade.

. Ao redor dos agregados poliédricos encontram-se os argilãs vermelhos ou beges, que não existem a montante.

Em referência ao estudo da seqüência nodular da trincheira A3, sabe-se que o plasma bege e os argilãs beges derivam da deferruginização dos plasmas vermelhos e dos argilãs vermelhos, respectivamente. A ausência do plasma bege e dos argilãs beges no horizonte nodular da trincheira A1, mostra que a montante, as condições são mais oxidantes.

* VARIAÇÕES ENTRE AS TRINCHEIRAS A8 E A4

A jusante da trincheira A8 e até a A4 desaparecem o basalto amigdalóidal e o arenito. Em continuidade com a trincheira A1, permanece o basalto alterado em fragmentos beges que adquirem uma diferenciação periférica avermelhada. Sabe-se, do estudo detalhado da seqüência nodular da trincheira A3, que essa diferenciação periférica aos fragmentos de basalto alterado bege corresponde à ferruginização das fases secundárias pela

hematita, que tem sua origem na oxidação dos piroxênios, das olivinas, das titânio-magnetitas e, provavelmente, no aporte via soluções. Essas soluções, provavelmente, são alimentadas pelas degradações observadas no horizonte sobreposto, que é nodular.

As micro-organizações do horizonte nodular da trincheira A8 permanecem até a trincheira A4, porém, a jusante da trincheira A8, os nódulos de basalto contêm poucas amígdalas e os nódulos de arenito são raros. A diferenciação do córtex amarelo é, nitidamente, mais freqüente nos nódulos das trincheiras A2 e A9.

* TRINCHEIRA A5

Para jusante, na trincheira A5, o basalto alterado da base do perfil é, novamente, rico em amígdalas e apresenta características novas até então :

. Na base do perfil, há o basalto alterado bege com diferenciação periférica vermelha, mais escurecida e mais espessa do que nas trincheiras precedentes. Ao microscópio (Pr.15.,f.4 a 7), observa-se que a fissuração intrafragmentos de basalto alterado é abundante e delimita volumes milimétricos, quase arredondados. Nesses vazios, há cutãs vermelho-escuros a amarelos.

. Acima do precedente, há o basalto alterado vermelho, freqüentemente com o núcleo preto. Ao microscópio (Pr.15.,f.3), observa-se que a cor vermelha e preta correspondem à generalização da impregnação do fundo matricial da rocha alterada pelo ferro.

As micro-organizações do horizonte nodular, sobreposto ao basalto alterado, são as seguintes (Pr.15,f.1 e 2):

. Os nódulos

- A textura petrográfica dos nódulos de basalto alterado é semelhante àquela do basalto alterado da base do perfil. Muitas vezes esses nódulos apresentam um núcleo mais escuro, quase preto.

- Surgem nódulos de arenito com abundantes grãos de quartzo inferiores a 250 microns e, portanto, significativamente, bem maiores do que os quartzos do arenito da trincheira A1 (*facies arenito grosseiro*).

. A matriz

- O fundo matricial contém um plasma predominante bege-amarelado em LN com abundantes pedorrelíquias de fundo matricial vermelho, com limites difusos para o plasma bege-amarelado. O esqueleto é, essencialmente, constituído de grãos de quartzo, semelhantes àqueles dos nódulos de arenito.

- O limite dos nódulos muito ferruginizados ou dos nódulos com córtex amarelo e o fundo matricial adjacente é nítido; esse mesmo limite pode ser progressivo quando os nódulos são mais claros e sem córtex.

Em resumo, a trincheira A5 é mais um exemplo da estreita relação entre a morfologia interna dos nódulos e aquela do basalto alterado da base do perfil.

A deferruginização dos nódulos e do plasma vermelho da matriz dos nódulos é mais generalizada do que nos perfis precedentes; ao contrário, no basalto alterado da base do perfil, a ferruginização do fundo matricial da rocha é mais forte. Isso sugere que o ferro, oriundo das degradações do horizonte nodular, alimenta as soluções da base do perfil, ferruginizando o basalto alterado.

* TRINCHEIRA A10

A jusante, na trincheira A10, observa-se na base do perfil, em continuidade com a trincheira precedente, o basalto alterado vermelho e preto. Entre os fragmentos de basalto alterado, há uma matriz bruno-clara que apresenta limites difusos para o basalto alterado vermelho (Pr.16., f.7 e 8). Isso significa que, a jusante, a alteração do basalto alterado dá uma argila bruna e, não vermelha, como a montante. Essa argila é constituída, predominantemente, de esmectitas.

Na matriz bruna, situada entre os fragmentos de basalto alterado e, também, na base do horizonte sobreposto (bolsa argilosa bruna) há nódulos vermelho-escuros, muitas vezes com o núcleo quase preto, de textura petrográfica conservada do basalto ou do arenito (*facies arenito grosseiro*). Os nódulos de arenito são mais freqüentes e contêm abundantes quartzos de tamanho variável, podendo atingir 1-2mm. Esses quartzos podem ser comuns ao plasma bruno-claro, indicando que esse plasma também deriva da deferruginização dos nódulos vermelhos.

O horizonte nodular da trincheira A10 é semelhante àquele da trincheira A5, entretanto, o plasma bruno é mais abundante na trincheira A5. O esqueleto quartzoso aumenta. Os nódulos de basalto alterado são raros, predominando os nódulos de arenito vermelho-escuro, quase preto, que contêm abundantes grãos de quartzo de tamanho inferior ou igual a 2mm. Muitas vezes, os quartzos são comuns ao nódulo de arenito e ao plasma bruno-escuro, comprovando a relação genética entre eles. Nos nódulos, é freqüente a presença do córtex amarelo, que, às vezes, espessa-se, caracterizando feições semelhantes às concreções de Brewer (1964).

A difração de Raios-X, da fração argila da matriz dos nódulos, permite identificar a presença de quartzo, hematita, goethita, caulinita, argila micácea e esmectita. A relação entre a intensidade dos picos a 15A e 7A é largamente inferior a unidade. Isso sugere que a caulinita predomina sobre a esmectita.

Em resumo, a trincheira A10 apresenta, em continuidade com a trincheira precedente, o basalto alterado vermelho e preto e os nódulos vermelhos e pretos. Essas organizações são semelhantes àquelas da seqüência nodular vermelha e poliédrica da trincheira A3. Entretanto, na base do perfil da trincheira A10 e, também, no horizonte nodular, observa-se que as fases vermelhas (basalto alterado e nódulos, respectivamente) se transformam, por deferruginização, em argila bruna. Isso significa que essas organizações estão fora do seu meio de formação, constituindo reliquias de uma alteração vermelha em um meio mais hidromórfico.

* CONCLUSÕES E INTERPRETAÇÕES

O conjunto nodular da topossequência "A" é litorreliquial do basalto e do arenito intertrapiano. Nas trincheiras estudadas observa-se que a petrografia dos nódulos é semelhante àquela do basalto alterado ou do arenito da base do perfil.

A textura petrográfica dos nódulos de basalto alterado apresenta variações, principalmente quanto à abundância de amígdalas e vesículas. A frequência dos nódulos de arenito é variável, sendo abundantes a montante (trincheiras A1 a A8) e a jusante (trincheira A10), mas raros nas demais trincheiras. A montante, o arenito é constituído de quartzos finos, de tamanho em torno de 45 microns, mas, a jusante, eles são maiores, atingindo, de 2 a 3 milímetros.

Os nódulos são hematíticos, com presença localizada do córtex goethítico. Além da hematita, os nódulos contêm caulinita, esmectita e argila micácea.

Na matriz dos nódulos, a morfologia dos grãos de quartzo, assim como a sua abundância, relacionam-se, estreitamente, com a morfologia e a frequência dos nódulos de arenito.

A variação de cor, da matriz dos nódulos, é nítida nas lâminas delgadas: a montante, o plasma é vermelho-escuro e, para jusante, surge uma fase bege, que se desenvolve cada vez mais para jusante.

O plasma bege deriva, pelo menos em parte, da deferruginização do plasma vermelho. A distribuição das cores do fundo matricial internódulos, na topossequência "A", mostra que essa morfologia é de frente de transformação, que avança de jusante para montante e da base para o topo dos perfis. Essa frente de transformação foi observada diretamente no horizonte nodular da trincheira A4, onde registrou-se, no campo, um maior desenvolvimento da cor bruna do que a montante.

No basalto alterado, a cor vermelha é cada vez mais forte e generalizada para jusante. Sabe-se, do estudo microscópico, que a cor vermelha do basalto alterado reflete uma impregnação do fundo matricial da rocha alterada pelo ferro, que tem sua origem na alteração das titânio-magnetitas e, provavelmente, no aporte via soluções. Essa segunda hipótese parece bastante viável, pois, o desenvolvimento do córtex vermelho nos fragmentos de basalto alterado é mais acentuado na trincheira A4 e para jusante, onde, também, se observa uma maior brunificação da matriz dos nódulos.

III. - A FORMAÇÃO DAS BOLSAS ARGILOSAS

A. INTRODUÇÃO

Na apresentação da toposseqüência "A", descreveu-se a trincheira A8, que constitui o ponto de partida para o estudo da formação das bolsas argilosas, que será feito neste item. As principais características dessa trincheira estão esquematizadas na Figura 25 (Fig.25, p.26), onde se observa no perfil, a jusante, uma seqüência de organizações verticais, que vai do basalto alterado até o horizonte nodular. Graças ao estudo microscópico e analítico, sabe-se que essa seqüência de organizações é genética, isto é, pode-se seguir a evolução do basalto alterado ao nódulo litorreliquial e, ao mesmo tempo, a transformação do nódulo em fundo matricial móvel. Isso significa que a seqüência nodular engloba a formação e a degradação dos nódulos litorreliquiais, essas duas vias concorrendo mutuamente, em benefício da primeira.

Em direção a montante, mas ainda na trincheira A8, aparece, em cunha, no contato do basalto alterado, um horizonte vértico e sem nódulos, que espessa-se em direção a montante, isolando o topo do horizonte nodular precedente, de sua base. Isso mostra, como já foi dito no estudo morfológico da toposseqüência "A", que o horizonte vértico transforma o horizonte nodular a partir de sua base, formando uma bolsa argilosa que invade o topo da toposseqüência. Outras bolsas argilosas se sucedem na vertente - elas são menores e apresentam diferenças morfológicas em relação à primeira.

Entretanto, uma vez instalado, o horizonte vértico se desenvolve, também, a partir do basalto alterado subjacente. Nesse item, estudar-se-ão essas duas vias de formação das bolsas argilosas, na escala microscópica.

B. A FORMAÇÃO DAS BOLSAS ARGILOSAS VIA DEGRADAÇÃO DO CONJUNTO NODULAR

1. Introdução

Até o momento, a degradação dos nódulos hematíticos foi descrita, predominantemente, em meio caulinítico. Ela se produz pela formação de um córtex goethítico, muito compacto, geralmente zonado e com limite abrupto para o interior do nódulo.

Esse córtex goethítico evolui de modo centrípeto, por dissolução da hematita e da caulinita do nódulo e, cristalização da goethita aluminosa (Lacroix, 1914; Du Preez, 1954; Alexander & Cady, 1962; Nahon & Demoulin, 1971; Nahon, 1970, 1976; Muller, 1979; Boulange, 1983). Na periferia do nódulo, a goethita aluminosa também se dissolve; assim, a espessura do córtex permanece constante ou aumenta menos em relação à diminuição do núcleo do nódulo. Finalmente, tem-se uma diminuição do tamanho do nódulo, que pode até desaparecer.

Neste trabalho, os nódulos hematíticos são diferentes daqueles da seqüência de degradação em meio caulinítico. Eles se formam e evoluem em um meio ainda rico em esmectitas, o que, certamente, acarreta diferenças do ponto de vista da dinâmica da água e da geoquímica.

2. Transformações microestruturais do conjunto nodular à bolsa argilosa vértica e vermelha (trincheira A8)

As micro-organizações do horizonte nodular da trincheira A8, a partir das quais se processam as transformações em bolsas argilosas, podem ser resumidas como segue (Pr.17.,f.1):

- . os nódulos são litorreliquiaais do basalto ou do arenito, representando cerca de 70-80% do volume total;
- . os fundos matriciais internódulos são constituídos de um plasma vermelho a vermelho-escuro, predominante, e outro bege, normalmente, na porosidade tubular, que deriva do precedente, por deferruginização.
- . os cutãs são abundantes, sendo os mais freqüentes, constituídos de um plasma amarelo, presente ao redor dos agregados poliédricos, e, também, na porosidade intra-agregados.

A partir do nódulo ferruginizado observa-se, nesse horizonte nodular, duas vias de evolução:

- . a degradação dos nódulos pela formação do córtex amarelo, de progressão centrípeta, e
- . a plasmação dos nódulos, por deferruginização e fissuração, formando os fundos matriciais internódulos (Pr.18.,f.1 a 5).

Na escala da lâmina delgada, observa-se que essas duas vias de evolução dos nódulos litorreliquiaais ocorrem, simultaneamente. O córtex amarelo é mais freqüente na parte somital do horizonte nodular e a transformação dos nódulos em fundo matricial móvel é máxima, na base desse mesmo horizonte. Não se observou a degradação de nódulos com córtex em fundo matricial móvel. Isso sugere que o córtex goethítico, mais duro que o interior do nódulo, protege os nódulos da transformação via fissuração e pedoturbação.

Em direção à bolsa argilosa, mas ainda no horizonte nodular da trincheira A8, observa-se que os nódulos litorreliquiaais tornam-se menos abundantes (Pr.17.,f.2 e 3) e apresentam, freqüentemente, limites difusos e irregulares com o fundo matricial adjacente (Pr.18.,f.1 a 5). Na transição, entre esses nódulos com limites difusos e o fundo matricial adjacente, o plasma é vermelho com abundantes microgrãos vermelhos, de tamanho inferior ao microm.

Os vazios planares aumentam e, muitas vezes, cortam os nódulos litorreliquiaais (Pr.17.,f.2 e 3). Isso significa que esses nódulos estão pouco endurecidos pelo ferro.

Observa-se, com a diminuição do número de nódulos, que o fundo matricial internódulos torna-se mais abundante, mais claro e homogêneo, adquirindo abundantes orientações plásmicas esquel-vo-massépicas.

Assim, com uma lupa, observa-se que a passagem do horizonte nodular (já com menos nódulos e um fundo matricial mais claro e homogêneo), para o horizonte vértico e argiloso, caracteriza-se pelos seguintes aspectos (Pr.17.,f.2 e 3):

. o limite entre os dois volumes é nítido, pois, no horizonte nodular há nódulos litorreliquiais vermelhos, de tamanho centimétrico e, no horizonte vértico e argiloso, não se vêem esses nódulos; entretanto,

. o fundo matricial internódulos é muito semelhante ao fundo matricial do horizonte vértico e argiloso.

Ao microscópio, observa-se que o horizonte vértico contém freqüentes nódulos vermelhos, litorreliquiais do basalto ou do arenito (poucos) e de tamanho inferior ao centímetro. Os vazios planares são abundantes e cortam esses nódulos, mostrando que eles estão pouco endurecidos pelo ferro (Pr.19.,f.1 e 2). O limite dos nódulos com o fundo matricial é difuso.

No horizonte vértico, o plasma predominante é vermelho, com abundantes separações plásmicas, organizadas em uma assembléia esquel-vo-bimassépica. Há freqüentes ilhas de plasmas de alteração que, nesse nível, só existem no interior dos nódulos.

Semelhante à matriz dos nódulos, o horizonte vértico apresenta um plasma bege a bege-amarelado, ao redor dos agregados ou na porosidade tubular (Pr.19.,f.3 e 4). A distribuição relativa do plasma e do esqueleto é porfirosquéllica.

Os argilãs amarelos são abundantes no horizonte nodular e desaparecem no horizonte vértico, provavelmente, por integração ao fundo matricial, pois, surgem freqüentes pápulas amarelas. Isso significa que, provavelmente, os argilãs amarelos desapareçam no horizonte vértico, por integração ao fundo matricial, em consequência da dinâmica vértica.

Mineralogicamente, o horizonte vértico é constituído de esmectita, caulinita, hematita e traços de argilas micáceas e goethita. A relação entre a intensidade dos picos a 15A e 7A é superior a 1, sugerindo que as bolsas argilosas são predominantemente esmectíticas.

Em síntese, a transição do horizonte nodular para o vértico e argiloso caracteriza-se pela generalização da degradação dos nódulos, por fissuração e deferruginização. Isso confirma a hipótese feita na apresentação da topossequência "A", isto é, as bolsas argilosas derivam da transformação do conjunto nodular, assim como de outros processos que serão descritos mais adiante.

A distribuição dos argilões amarelos nos diversos conjuntos de horizontes da trincheira A8 é um dado importante na discussão da origem dessas feições: eles estão ausentes na bolsa argilosa vértica, mas, ocorrem no conjunto de alteração subjacente à bolsa argilosa vértica (Terceira Parte, Capítulo VIII, item II), assim como, na parte somital do horizonte nodular, que persiste acima do horizonte vértico.

No estudo da *sequência nodular vermelha com matriz poliédrica* da trincheira A3 colocaram-se duas hipóteses para a origem desses argilões (Capítulo VIII) :

- a) Os argilões amarelos são iluviais e resultam de uma lessivagem dos horizontes superiores.
- b) Os argilões amarelos correspondem à diferenciação no local do plasma vermelho do fundo matricial internódulos, por deferruginização e reorganização ou por neoformação, a partir do aporte em solução (Nahon, 1976).

Admitindo-se a primeira hipótese, é difícil entender porque haveria lessivagem e iluviação no horizonte nodular e no conjunto de alteração, mas não na bolsa argilosa vértica.

Admitindo-se a segunda hipótese, deve-se explicar porque a transformação do plasma vermelho em argilões amarelos ocorre somente no horizonte nodular e não na bolsa argilosa vértica.

Nos dois casos, a presença de pápulas na bolsa argilosa vértica sugere que o desaparecimento dos argilões amarelos resultam da sua integração ao plasma, em consequência da intensa pedoturbação que se produz no horizonte vértico (Brewer, 1965).

3. *Transformações microestruturais da bolsa argilosa de montante (trincheira A1), no contato com o horizonte nodular*

Na trincheira A1, situada na parte montante da topossequência "A" (Fig. 9 e Fig. 10 - p. 13 e 15 respectivamente), a parte inferior da bolsa argilosa é vértica e bruno-avermelhada ; entretanto, a parte somital é poliédrica e de cor mais bruna.

O estudo microscópico mostra que o horizonte vértico da trincheira A1 é semelhante àquele da trincheira A8, descrito no item precedente. Ele é constituído de um plasma vermelho, esquel-vo-bimassépico, com freqüentes ilhas de plasmas de alteração e nódulos litorreliquiais vermelhos, milimétricos, com limites difusos. Ao redor dos agregados, ou na porosidade tubular, pode ocorrer o plasma bege.

No horizonte poliédrico, observa-se a generalização do plasma bege a bege-amarelado, muito claro em LN, apresentando freqüentes domínios avermelhados (Pr.20.,f. 1 e 2). Em LP, o plasma amarelo apresenta abundantes separações plásmicas, organizadas em uma assembléia esquel-vo-bimassépica.

Os canais e as cavidades aumentam e, muitas vezes, contêm no seu interior, tecidos vegetais ou um material escurecido, muito semelhante ao horizonte sobreposto, que é nodular. Isso significa que, nesse nível, as ações biológicas são importantes, tanto na redistribuição de matéria, como nas tranformações estruturais (lembre-se que, a deferruginização do plasma vermelho ocorre, predominantemente, ao redor da porosidade biológica).

No horizonte poliédrico, as feições pedológicas são abundantes:

- **Volumes de fundo matricial vermelho**, de tamanho inferior ao centímetro e forma quase arredondada. As fotos 5 e 6 da Prancha 20 mostram que esses volumes podem apresentar grãos de quartzo em comum com o plasma amarelo, o que demonstra a relação genética entre eles. Eles podem conter *ilhas de plasmas de alteração* que, nesse nível do perfil, só existem no interior dos nódulos litorreliquiais. Essas mesmas ilhas desaparecem no plasma amarelo. Nossa hipótese é, a de que os volumes de fundo matricial vermelho resultam da plasmação completa dos nódulos litorreliquiais e constituem pedorreliquias do horizonte vértico.

- **Nódulos litorreliquiais do basalto ou do arenito** (muito mais freqüentes). Eles são vermelhos, milimétricos ou centimétricos.

O limite dos volumes de fundo matricial vermelho ou, dos nódulos litorreliquiais com o plasma amarelo, pode ser difuso (Pr.20.,f. 3 e 4) ou brusco (Pr.20.,f.5 e 6). Quando o limite é difuso, observa-se, na transição dos nódulos litorreliquiais com o plasma amarelo, a presença de um plasma vermelho, com freqüentes ilhas de plasmas de alteração, que desaparecem em direção ao plasma amarelo. Quando o limite é brusco, há uma forte orientação do plasma amarelo ao redor dos volumes vermelhos, muito ferruginizados, caracterizando o *stress cutã* de Brewer (1964). Isso significa que, nesse caso, o nódulo é mais duro que o fundo matricial ao seu redor.

Com uma lupa, observa-se que os nódulos litorreliquiais vermelhos aumentam em direção ao topo do horizonte poliédrico, apresentando limites muito difusos com o plasma amarelo. A passagem do horizonte poliédrico para o horizonte nodular sobreposto, apresenta as seguintes características (Pr.20.,f.7) :

. O limite é irregular e nítido, pois, no horizonte nodular os nódulos são abundantes e maiores do que aqueles presentes no horizonte poliédrico. O contraste entre os dois horizontes é forte em termos de estrutura, pois, os agregados poliédricos da bolsa argilosa são maiores e apresentam faces acordantes; no horizonte nodular, os agregados são poliédricos, com faces irregulares e pouco acordantes.

. No horizonte nodular, o fundo matricial internódulos, que é vermelho muito escuro no topo desse horizonte, torna-se, em direção à base do volume, mais claro e com abundantes domínios amarelos. O limite do plasma amarelo com os nódulos litorreliquiais com córtex é brusco e, esse mesmo limite é difuso quando os nódulos não apresentam córtex. Isso significa que o plasma amarelo, uma vez instalado, transforma o horizonte nodular, a partir da sua base. Assim, a transição do horizonte nodular da trincheira A1 com o horizonte poliédrico corresponde, também, a uma frente de transformação dos nódulos litorreliquiais mas, aqui, pelo plasma amarelo.

Em síntese, o horizonte poliédrico deriva do vértico, por deferruginização.

Uma vez instalado, o plasma amarelo do horizonte poliédrico transforma o horizonte nodular, a partir da sua base. Essa transformação não foi observada quando os nódulos apresentam córtex.

A hidromorfia se desenvolve no contato da bolsa argilosa com o horizonte nodular e pode ser explicada pela forte variação estrutural entre esses dois volumes, dificultando a circulação da água no perfil, assim como, a penetração das raízes.

4. *Transformações microestruturais do horizonte nodular à bolsa argilosa bruna (trincheira A10)*

Na topossequência "A", a bolsa argilosa mais a jusante foi observada na trincheira A10. Ela é de cor bruna e, não, vermelha como a montante e a estrutura do material que a constitui é poliédrica e não vértica. Essa bolsa argilosa bruna é constituída de esmectita (traços), caulinita (predominante), goethita e hematita.

O estudo microscópico mostra que, na base, a bolsa argilosa é constituída de um plasma predominante bruno-amarelado em LN, com domínios mais escuros, ricos em pontuações escuras, e outros claros, sem pontuações. A assembléia plásmica é esquel-vo-bimassépica, com abundantes separações plásmicas. O esqueleto é, essencialmente, constituído de quartzos.

Nota-se a presença de freqüentes nódulos litorreliquiais do arenito, de tamanho inferior ou igual a 5cm, com abundantes quartzos de tamanho variável, atingindo de 2 a 3 milímetros (Pr.16.,f.5 e 6). Os nódulos maiores estão fraturados e apresentam cor vermelho-alaranjada, com domínios escuros, quase pretos; os nódulos menores têm forma subangular a arredondada e são muito escuros.

O limite entre os nódulos litorreliquiais de arenito e o plasma bruno-amarelado pode ser :

- **irregular e progressivo** quanto ao desaparecimento da cor vermelha; nesse caso, a transição se caracteriza pela presença de um plasma vermelho-alaranjado, rico em microgrãos vermelhos de tamanho inferior ao microm (Pr.16.,f 3 e 4). Nessa transição, há abundantes grãos de quartzo e volumes milimétricos de arenito vermelho, muito escuro. Isso significa, que o plasma bruno-amarelado deriva, pelo menos em parte, da degradação dos nódulos de arenito, por deferruginização.

- **brusco**, mas, freqüentemente, com quartzo em comum com o plasma bruno-amarelado, confirmando a relação genética entre eles. Quando o limite é brusco, o nódulo é escuro, normalmente, de menor tamanho, e mais arredondado. Ao seu redor há uma forte orientação do plasma bege, caracterizando o *stress cutã* de Brewer (1964). Isso mostra que o plasma bruno-amarelado, quando submetido a alternâncias de humectação e dessecação, apresenta expansões e contrações, que são a origem desses *stress cutã*.

Na parte somital da bolsa argilosa, observa-se que os nódulos de arenito diminuem de tamanho, escurecem e adquirem um córtex amarelado, pouco espesso (50-100 microns de espessura). No fundo matricial, o esqueleto aumenta e é, essencialmente, constituído de grãos de quartzos, semelhantes àqueles dos nódulos de arenito. Essas variações mostram que a partir dos nódulos de arenito da base da bolsa argilosa bruna, duas vias de evolução são possíveis para essas organizações: a primeira, leva à degradação dos nódulos, formando um plasma bruno-amarelado e enriquecendo o fundo matricial em quartzo; o segundo, é a degradação da periferia do nódulo, pela cortificação.

Em resumo, na trincheira A10, a bolsa argilosa é bruna e, não vermelha, como a montante. Entretanto, como as bolsas de montante, ela se forma, pelo menos em parte, pela degradação dos nódulos litorreliquiaais, por deferruginização.

Os nódulos são, principalmente, litorreliquiaais do arenito, que contêm abundantes quartzos. Isso explica a abundância dos grãos de quartzo no fundo matricial do horizonte bruno e poliédrico.

C. A FORMAÇÃO DAS BOLSAS ARGILOSAS VIA ALTERAÇÃO ARGILOSA DO BASALTO

A transformação do basalto alterado, diretamente em argila, foi observada em diversos pontos da topossequência "A". A sequência de alteração mais completa foi descrita na trincheira A1 (Fig. 10, p. 15), que apresenta um horizonte de transição entre o basalto alterado isalterítico e o horizonte argiloso e vértico (Pr.21.,f.1 a 6).

Na trincheira A1, o estudo microscópico do basalto alterado bege ou do basalto amigdalóidal mostra que, como na base da sequência nodular, a alteroplasmação é completa, restando apenas as titânio-magnetitas. A fração argilosa do basalto alterado amigdalóidal é constituída, predominantemente, de esmectitas (Fig.27.,p.27), mas também de quartzo, argilas micáceas, caulinita e hematita.

A passagem do basalto alterado bege para o horizonte de transição é progressiva quanto ao desaparecimento da textura petrográfica e o desenvolvimento da cor vermelha (Pr.21.,f. 5 e 6).

O horizonte de transição caracteriza-se pela presença de um plasma vermelho, rico em microgrãos vermelhos de tamanho inferior ao microm. Há abundantes *ilhas de plasmas de alteração* (Pr.21.,f.1 a 4). A assembléia plásmica é esquel-vo-massépica. Esse horizonte contém numerosos volumes milimétricos de basalto alterado bege e alguns nódulos litorreliquiaais do basalto ou do arenito. Na escala microscópica, o plasma vermelho do horizonte de transição é muito semelhante àquele da matriz dos nódulos.

Para cima, em direção ao horizonte argiloso e vértico, desaparecem as altero-reliíquias do basalto alterado bege, diminuem as *ilhas de plasmas de alteração*, e o plasma vermelho apresenta abundantes separações plásmicas, organizadas em uma assembléia esquel-vo-bimassépica. Próximo aos vazios, surge localmente o descolorimento do plasma vermelho, que torna-se bege. Também estão presentes freqüentes nódulos litorreliquiaais do basalto ou do arenito, muitas vezes com

limites difusos para o plasma vermelho. Como já foi dito (Parte III, Capítulo VIII, item III), a esmectita é o argilo-mineral predominante nas bolsas argilosas.

Em resumo, a transformação do basalto alterado diretamente em argila vermelha e vértica se dá pelo desaparecimento da textura petrográfica e ferruginização dos alteroplasmas. No basalto alterado, a esmectita é largamente predominante sobre a caulinita. Entretanto, a evolução basalto alterado ---> bolsa argilosa é caracterizada pela diminuição da relação entre a intensidade dos picos a 15A e 7A, sugerindo um aumento da caulinita. Isso significa que a alteração do basalto se dá no campo da bissialitização, mas a evolução desse material tende ao pólo caulinítico.

A presença de nódulos litorreliquiais vermelhos mostra que essa nova seqüência genética, que vai do basalto alterado ao horizonte vértico e bruno-avermelhado difere, essencialmente, da seqüência nodular, por uma nodulação muito menos importante.

D. CONCLUSÕES E INTERPRETAÇÕES

As bolsas argilosas da toposseqüência "A" têm duas origens:

- . A partir da transformação dos nódulos litorreliquiais, por deferruginização e, provavelmente, por reorganização dos plasmas existentes.
- . A partir da transformação do basalto alterado bege, por ferruginização e reorganização dos alteroplasmas.

No microscópio, não é possível distinguir o plasma vermelho oriundo da degradação dos nódulos litorreliquiais e aquele oriundo diretamente da alteração do basalto bege. Como a esmectita é largamente dominante na fração argila do basalto alterado e diminui com a evolução desses materiais, supoe-se que o plasma vermelho, formado diretamente a partir do basalto alterado, seja mais rico em esmectitas.

A montante, no contato da bolsa argilosa com o horizonte nodular, instala-se uma hidromorfia, que leva à transformação do plasma vermelho em amarelo. Uma vez instalado, o plasma amarelo, também, transforma o horizonte nodular, que está sobreposto à bolsa argilosa.

A bolsa argilosa mais a jusante da topossequência "A" apresenta cor bruna e, pelo menos em parte, resulta da degradação dos nódulos vermelhos, como as bolsas vermelhas e vérticas de montante. Entretanto, como os nódulos são litorreliquiaais do arenito, essas bolsas são ricas em quartzo e caulinita. Aqui, o plasma vermelho é transitório, ele existe somente na transição dos nódulos com o plasma bruno.

QUARTA PARTE : A ORGANIZAÇÃO NA ESCALA DA BACIA

INTRODUÇÃO

Na terceira parte deste trabalho estudou-se a toposseqüência "A" enfatizando-se, principalmente, a diferenciação do basalto alterado em um solo nodular com argilas expansivas e a transformação dos horizontes nodulares em bolsas argilosas vérticas, sem nódulos. Não foi abordado o estudo dos solos brunos, localizados a jusante, porque outras toposseqüências forneceriam informações mais completas a esse respeito. Elas serão igualmente necessárias para compreender a organização da cobertura pedológica, na escala da vertente.

Neste item, especificamente no Capítulo IX, far-se-á uma descrição sintética das outras toposseqüências estudadas, insistindo-se nos aspectos que complementam as informações apresentadas no estudo da toposseqüência "A". A Figura 4 (Fig.4, p.10) mostra a localização de todas essas toposseqüências.

Em seguida, no Capítulo X, apresentar-se-á a organização tridimensional da cobertura pedológica estudada, buscando-se a extensão lateral de alguns horizontes ou caracteres identificados nas análises bidimensionais.

Finalmente, o Capítulo XI relata as observações feitas na vertente oposta àquela estudada em detalhe e propõe um esquema evolutivo para a cobertura pedológica e o modelado da bacia.

CAPÍTULO IX

AS OUTRAS TOPOSSEQUÊNCIAS

I. - TOPOSSEQUÊNCIA "B"

Na topossequência "B" (Fig. 28, p.28), a montante (trincheira B1-Fig. 29, p.30), observa-se da base para o topo, o basalto alterado em fragmentos beges, isalterítico, passando com uma transição de aproximadamente 30cm de espessura, a um horizonte nodular, com matriz argilosa, vermelha, fortemente microagregada (horizonte 5d). Os nódulos são centimétricos, vermelhos, muitas vezes com o núcleo preto; sua forma é mamelonada e apresentam córtex amarelo, duro. Esses nódulos não apresentam estrutura litorreliquial visível a olho nu ou com a lupa, mas, no horizonte de transição com o basalto alterado, observa-se uma seqüência contínua entre um basalto alterado (vermelho e preto) e esses nódulos. Acima do horizonte nodular tem-se um nível de seixos de quartzo arredondados e, em seguida, o horizonte de superfície, argiloso, poliédrico e bruno-avermelhado (horizonte 7a). A origem alóctone dos horizontes acima dos nódulos é sugerida pela presença dos seixos, que não ocorrem no basalto alterado.

Como na trincheira A3, pode-se seguir macro e microscopicamente a formação dos nódulos a partir do basalto alterado e verificar seu caráter litorreliquial. Entretanto, a matriz dos nódulos é diferente, pois apresenta estrutura microagregada, muito porosa. No corte da Figura 28 (Fig.28.,p.28) constata-se que o horizonte nodular com matriz microagregada não é contínuo, localizando-se no interior das depressões do material de alteração do basalto.

A matriz argilosa microagregada é constituída de esmectita, caulinita, hematita, goethita e traços de argilas micáceas. Nos argilominerais, a caulinita é largamente dominante (Fig.30, p. 31).

Em direção a jusante, rapidamente, o material da alteração do basalto sobe e passa-se a solos com matriz bruna, inicialmente, com nódulos vermelhos e pretos (horizonte 5c) e, em seguida, com nódulos bruno-amarelados e pretos (horizonte 5e). A espessura desses solos é inferior a 50cm; eles se apresentam em forma de bolsas no interior do basalto alterado. Nesses solos e, a partir do mesmo basalto alterado da trincheira A1, a trincheira A2 mostra a formação de uma matriz argilosa bruna, com agregados poliédricos de faces lisas e de uma seqüência nodular litorreliquial com nódulos centimétricos, de núcleo preto e periferia bruno-amarelada. A morfologia dessa seqüência mostra que esse solo é muito diferente daquele da trincheira B1. Qualquer que seja a natureza do solo, está presente o conjunto alóctone superior, com seixos arredondados.

Observa-se, no corte da toposseqüência "B", o limite da fase argilosa bruna, em tracejado, que invade a base dos perfis da seqüência nodular.

Alguns metros a jusante da trincheira B2, o basalto alterado aflora e os seixos estão dispersos na superfície. Logo a seguir, o basalto alterado mergulha rapidamente, aparecendo solos brunos e vérticos, que foram estudados na trincheira B3 (Fig. 31, p.32). Observa-se nessa trincheira, que a frente de alteração do basalto apresenta-se escalonada e, os degraus correspondem a sucessivas *facies* do basalto, ou às ondulações das camadas de plaquetas. A jusante dessa trincheira, o basalto alterado, em fragmentos coerentes, aprofunda-se, rapidamente, no perfil, atingindo pouco mais de 3 metros de profundidade.

O solo bruno espessa-se para jusante, adquirindo uma estrutura vértica, prismática (largura de 5cm), com agregados de faces oblíquas, brilhantes e micro-estriadas (*slickensides*). A autoctonia desse material vértico e espesso é demonstrada pela presença de uma camada decimétrica de basalto alterado (horizonte 2e), constituindo uma *facies* particular, que permanece até a parte superior do solo.

A trincheira B3 também traz informações sobre o comportamento dos seixos em meio vértico, os quais penetram nas fendas do vertisolo, que são muito espessas, a jusante dessa trincheira. Como os seixos são, freqüentemente achatados, os maiores apresentam uma orientação vertical. Eles atravessam o horizonte 2e, que mostra a autoctonia do material vértico, atingindo até 3.35 metros de profundidade ou o contato do horizonte de basalto alterado coerente, que bloqueia a descida dos seixos. Lembre-se que, nas trincheiras da topossequência "B", os seixos localizam-se, estritamente, na parte superior do solo que, em decorrência desse fato, foi interpretada como de origem alóctone.

A difração de Raios-X da fração argila do horizonte vértico e bruno (**horizonte 3b**), mostram a presença de três fases:

- . mineral a 16A (Fig.32, p.33), com expansão a 18A após o tratamento com glicol e um fechamento a 10A após o aquecimento (490°C). Esse comportamento é de uma esmectita. Essa fase é dominante sobre as demais,
- . caulinita (Fig.32, p.33), e
- . goethita.

A trincheira B5 situa-se a uns 15 metros após o topo do espigão, na vertente oposta à das trincheiras precedentes. Ela será apresentada a seguir, porque permite o estudo das relações geométricas entre a *sequência nodular com matriz microagregada* e a fase argilosa bruna. Começar-se-á sua descrição pela face a montante (Fig. 33, p. 34). Após cada descrição, colocar-se-á, em parêntese, o número correspondente do horizonte identificado com aqueles das topossequências "A" e "B" (Fig. 9 e Fig. 28, respectivamente) :

- 0-25cm** - Conjunto superficial. Horizonte superficial, bruno-escuro (7.5YR3/2), argiloso e de estrutura poliédrica (na base do volume) e granular nos primeiros 5cm (horizonte 7b).
- 25-40cm** - Conjunto poliédrico. Horizonte argiloso e bruno-avermelhado-escuro (2.5YR3/4). A estrutura é poliédrica, com arranjo prismático (horizonte 4).
- 40-45cm** - Conjunto de seixos. Horizonte de seixos de quartzo com matriz argilosa, bruno-avermelhada e microagregada (horizonte 6a).
- 45-48cm** - Conjunto nodular. Horizonte rico em nódulos vermelhos e pretos. A matriz é argilosa, bruno-avermelhada e microagregada (horizonte 5d).
- 48-60cm** - Conjunto de alteração. Isalterita basáltica bege com diferenciação periférica bruno-avermelhada. Entre os fragmentos de basalto alterado, a matriz é bruno-avermelhada e pouco abundante (horizonte 1 h).
- 60-85cm** - Conjunto de alteração. Isalterita basáltica bege e, entre os fragmentos de basalto alterado, matriz bruno-avermelhada, pouco abundante (horizonte 1).
- 85cm +** - Conjunto de alteração. Isalterita basáltica semelhante à precedente, porém, a matriz entre os fragmentos de basalto alterado é bruna, com cassura lisa e brilhante, às vezes microestriada (horizonte 1i).

Portanto, a parte montante da trincheira B5 apresenta, abaixo do conjunto de seixos e até o aparecimento da fase argilosa bruna, entre os fragmentos de basalto alterado, uma seqüência de organizações do tipo nodular com matriz microagregada. Essa seqüência é semelhante àquela da trincheira B1, porém, a espessura do horizonte nodular é bem menor. Em direção a jusante dessa trincheira, pode-se seguir o limite entre a argila interfragmentos de basalto alterado bruna e a bruno-avermelhada (em tracejado na Fig. 33, p.34): observa-se que esse limite sobe no perfil, cortando sucessivamente os conjuntos de alteração, o nodular e o de seixos. Entre os fragmentos de basalto alterado, a matriz argilosa bruno-avermelhada e microagregada torna-se bruna, com cassura lisa e brilhante. No conjunto poliédrico (horizonte 4), localizado acima dos seixos, a modificação da matriz argilosa bruno-avermelhado-escuro é mais discreta e corresponde ao aparecimento de domínios milimétricos de cor mais bruna, de seção lisa e compacta.

Por analogia às caracterizações mineralógicas feitas anteriormente, admite-se que a argila interfragmentos de basalto alterado bruna, com cassura lisa, apresenta predominância de esmectita, enquanto aquela de cor bruno-avermelhada e microagregada é, predominantemente, caulinítica. Assim, o limite entre essas duas fases corresponde a um limite mineralógico. A organização da trincheira B5 mostra que esse limite é discordante sobre a diferenciação da *seqüência nodular vermelha com matriz microagregada*. Então, ele pode ser interpretado como uma frente de bissialitização que invade, da base para o topo, a *seqüência nodular vermelha com matriz microagregada* e sua alterita.

Em resumo, a toposseqüência "B" é complexa e associa duas vias de alteração do basalto e três tipos de solo, cada qual caracterizado por uma seqüência de organizações particulares:

- A montante, uma seqüência nodular com nódulos vermelhos e pretos e uma matriz argilosa vermelha e microagregada, muito porosa.

- Sucedem-se em direção a jusante :

- . Uma seqüência nodular com nódulos amarelos e pretos, imersos em uma matriz argilosa bruna, compacta.

- . Uma seqüência argilosa vértica, bruna, sem nódulos.

A partir daí, a questão que se coloca é a relação cronológica entre essas seqüências. Apesar da falta de dados rigorosos como aqueles obtidos na toposseqüência "A", onde foi possível estabelecer a cronologia entre a seqüência nodular e as bolsas argilosas, é possível estabelecer uma cronologia.

Assim, o horizonte nodular com matriz microagregada aparece no corte da toposseqüência "B" (Fig. 28, p. 28) como uma relíquia de uma cobertura pedológica, que persistiu nos locais onde ela foi mais espessa. Seus limites laterais correspondem, efetivamente, às subidas do material de alteração, que se diferencia, então, em solos nodulares com matriz bruna. Essa última diferenciação é concordante com o afloramento do basalto alterado e seria, portanto, posterior ao truncamento da cobertura nodular vermelha e microagregada.

A cobertura vértica apresenta um tipo de alteração bem próxima da nodular com matriz bruna e é difícil explicar o seu desenvolvimento abrupto. A trincheira B3, mostra que a estrutura do basalto joga um papel importante no aprofundamento da alteração vértica. Na vertente oposta, fez-se um estudo rápido, em toposseqüência, que será apresentado no Capítulo XI, complementando as informações a esse respeito.

O mais evidente, do ponto de vista cronológico, é que o horizonte de seixos corta todas as diferenciações precedentes, correspondendo a uma erosão, seguida de um depósito, que não influenciou nas diferenciações precedentes, pois, ele não impede a circulação da água.

A análise das relações geométricas entre a seqüência nodular com matriz microagregada e a fase argilosa bruna mostra que essa avança de baixo para cima no perfil. A fase argilosa bruna, com características morfológicas de uma alteração esmectítica (faces lisas e microestriadas) corresponderia, portanto, a uma frente de bissialitização.

II. - TOPOSSEQÜÊNCIA "C"

A toposseqüência "C" (Fig. 34, p. 35) apresenta, a montante (trincheira C1), uma seqüência nodular, pouco espessa, que vai do basalto alterado bege até os nódulos vermelhos, com matriz argilosa bruno-avermelhada, poliédrica. Acima do horizonte nodular ocorrem, sucessivamente, o horizonte de seixos, o poliédrico e o superficial.

Essa organização permanece até a trincheira C2, mas logo a jusante, o horizonte nodular desaparece, restando da seqüência nodular, pequenas bolsas do horizonte de basalto alterado vermelho (horizonte 2f).

Em direção a jusante, observa-se um subafloramento do basalto alterado, que se localiza a 50 cm de profundidade. Imediatamente após esse subafloramento do basalto alterado, observa-se o desenvolvimento de um solo vermelho e vértico, que espessa-se para jusante, atingindo aproximadamente 1 metro de espessura na trincheira C5. A mineralogia da fração argila desse horizonte vértico e vermelho é semelhante àquela da trincheira A1, apresentando esmectita, caulinita, hematita e traços de goethita. A relação entre a intensidade dos picos a 15A e 7A é superior a 1.

É importante salientar que na toposseqüência "A", os horizontes vermelhos e vérticos ocorrem, predominantemente, abaixo dos seixos, entre os horizontes nodulares e o basalto alterado e têm sua origem a partir da degradação dos nódulos, e também, a partir da transformação do basalto alterado. Por isso, os horizontes vermelhos e vérticos foram considerados autóctones.

Nessa topossequência, a geometria dos horizontes vermelho e vértico, do basalto alterado e dos seixos traz informações importantes, que à primeira vista, se contradizem com a autoctonia dos horizontes vérticos e vermelhos.

Na trincheira C4 (Fig. 35, p. 37), a montante, o nível de seixos situa-se diretamente sobre o horizonte de alteração do basalto (**horizonte 2**) e, em direção à parte central dessa trincheira, aparece em bisel, o horizonte vértico vermelho (**horizonte 3**), que contém freqüentes alterorrelíquias do basalto alterado bege, sugerindo que sua origem relaciona-se à transformação do basalto alterado bege da base do perfil. Constata-se, igualmente, a pequena espessura do nível de seixos, que desce no perfil, seguindo o limite superior do horizonte de alteração do basalto (**horizonte 2**). Entretanto, nos domínios mais argilosos do horizonte de alteração (**horizonte 2**) e, também, no horizonte vértico (**horizonte 3**), ocorrem alguns seixos achatados, sempre orientados verticalmente, entre as fendas dos agregados vérticos. Isso sugere que os seixos podem migrar no interior do horizonte vértico, como observado anteriormente na trincheira B3.

Para jusante, observa-se que o basalto alterado sotoposto ao horizonte vértico é vermelho e preto, como nas seqüências nodulares. Isso sugere que o horizonte vértico e vermelho da topossequência "C" deriva, pelo menos em parte, da transformação da seqüência nodular, pertencendo à mesma cobertura vermelha e vértica da topossequência "A". Na trincheira C6, mais a jusante, as evidências são mais fortes ainda, pois, como na trincheira A8, o horizonte vértico desaparece em cunha, entre o basalto alterado vermelho e o horizonte nodular com matriz poliédrica, que encontra-se suspenso, acima do horizonte vértico.

Na trincheira C7 e para jusante, ocorre uma seqüência nodular pouco espessa, com nódulos vermelhos e pretos, como nas trincheiras de montante, porém, a matriz argilosa é bruna e, não, vermelha. Na trincheira C8, aparece, novamente, um horizonte vértico e argiloso, entre o basalto alterado e o horizonte nodular, só que sua cor é bruna oliva (**horizonte 3b**) e não vermelha como a montante. Esse horizonte vértico é bruno-

escuro contém alguns nódulos, não vermelhos, como aqueles do horizonte nodular sobreposto, mas, sim, preto no núcleo e amarelo na periferia. Essa morfologia dos nódulos sugere uma transformação da fase vermelha em amarela, em presença da argila bruna.

A jusante, imediatamente após a trincheira C9, o basalto alterado aflora e em seguida, como nas toposseqüências A e B, desenvolve-se o solo bruno e vértico.

Em síntese, a toposseqüência "C" apresenta diferentes seqüências de organização, que são semelhantes às aquelas identificadas na toposseqüência "A" :

- A montante :

. Uma seqüência nodular pouco espessa, com matriz poliédrica e nódulos vermelhos e pretos.

. Uma seqüência vértica e vermelha.

- Sucedem-se para jusante :

. Uma seqüência nodular com nódulos vermelhos e pretos e matriz poliédrica bruna.

. Uma seqüência vértica e bruna.

A relação cronológica entre a seqüência nodular com matriz poliédrica e a seqüência vértica vermelha foi confirmada no estudo detalhado da toposseqüência "A". Entretanto, naquela toposseqüência, os horizontes vérticos situam-se abaixo do nível de seixos e não acima, como nas trincheiras C4 e C5. As observações feitas na toposseqüência "C" sugerem que o horizonte vértico vermelho, acima dos seixos, também deriva da transformação da seqüência nodular com matriz poliédrica ou diretamente do basalto alterado bege.

Nesses horizontes, a dinâmica vértica parece contribuir para a descida dos seixos entre os agregados vérticos, até atingir o material de alteração mais coerente. Isso explica a presença de um nível de seixos, quase monogranular, abaixo do horizonte vértico e vermelho e no contato com o material de alteração. Também explica a presença de alguns seixos dispersos no horizonte vértico, geralmente com orientação vertical.

Como nas demais toposseqüências, o solo bruno e vértico se generaliza a jusante, imediatamente após a subida do basalto alterado. Entretanto, a fase argilosa bruna parece transformar, a partir da base do perfil, as seqüências nodulares e a vértica vermelha.

Na topossequência "C", a distribuição das diferentes seqüências nodulares ou vérticas revela que :

. As seqüências nodulares são pouco espessas e se desenvolvem tanto a montante como a jusante, porém, sempre se localizam nas zonas mais altas da alteração do basalto. A montante, a matriz dos nódulos vermelhos e pretos é bruno-avermelhada e a jusante, torna-se bruna.

. As seqüências vérticas ocorrem nas depressões ou abaciamentos, relacionados à irregularidade da frente de transformação do basalto alterado. A montante, o horizonte vértico é vermelho e a jusante, torna-se bruno.

III. - TOPOSSEQUÊNCIA "E"

A topossequência "E" (Fig. 36, p.38) foi feita para se tentar esclarecer a relação genética e cronológica entre a cobertura nodular microagregada, com dominância da caulinita e observada na parte montante da topossequência "B", e a cobertura nodular poliédrica, com dominância de esmectitas e observada nas topossequências "A" e "C". A montante, a topossequência "E" apresenta um solo que contém, abaixo do conjunto superficial, um horizonte poliédrico bruno-avermelhado-escuro, com domínios bruno-acinzentados, compactos, que não existem nos horizontes poliédricos da topossequência "A". Esse novo horizonte poliédrico (horizonte 4c) está acima do conjunto de seixos, que é sinuoso, descontínuo a montante e, mais espesso em direção a jusante. O conjunto de seixos se sobrepõe a um horizonte aloterítico (horizonte 2g), que é argiloso, vermelho, com abundantes domínios bruno-acinzentado-escuros. A estrutura é angular, com tendência vértica. Esse horizonte contém abundantes altero-relíquias de basalto alterado vermelho e preto e alguns nódulos. Quando comparada aos horizontes da topossequência "A", observa-se que essa aloterita vermelha e preta apresenta características próprias das seqüências argilosas e vérticas e também das seqüências nodulares :

. a matriz argilosa é abundante e apresenta tendência a estrutura vértica. Essa organização assemelha-se àquela do horizonte de alteração, situado na base das bolsas argilosas vérticas.

. as altero-relíquias de basalto alterado são vermelhas e pretas. Essa organização é semelhante àquela do horizonte de alteração das seqüências nodulares.

Os dois pequenos volumes nodulares (horizonte 5b) situados imediatamente abaixo do conjunto de seixos, podem ser considerados como reliquias não transformadas de uma *seqüência nodular vermelha com matriz poliédrica*, que um dia existiu nesse ponto da vertente.

Em direção a jusante, entre as trincheiras 9 e 2 (Fig. 36, p.38), o horizonte poliédrico bruno-avermelhado-escuro desaparece em bisel, em consequência da rápida subida do basalto alterado e do conjunto de seixos, que adquirem uma forma plana, acompanhando a superfície topográfica. Os seixos sobrepõem-se a um estreito (0-5cm de espessura) horizonte nodular, com matriz bruno-avermelhado-escuro, argilosa, com estrutura fina, caracterizada por uma fase microagregada que é crescente em direção a jusante. Esse horizonte nodular passa, em sua base, com uma transição rápida, à isalterita basáltica bege.

A jusante da toposseqüência "E", o estreito horizonte nodular, subjacente ao conjunto de seixos, espessa-se bruscamente, atingindo 25cm de espessura. A matriz é argilosa, bruno-avermelhado-escuro e muito microagregada. Esse horizonte é semelhante ao horizonte nodular microagregado da toposseqüência "B" (trincheira B1).

Para compreender essa estranha organização toposseqüencial, associando solos com esmectitas dominantes a montante e solos com caulinita dominante a jusante, tentou-se reconstituir a história desse fragmento de vertente com a ajuda de uma seqüência evolutiva (Fig. 37, p. 40). Para isso, foi necessário admitir as seguintes hipóteses :

. A presença do horizonte nodular microagregado, abaixo do conjunto de seixos, permite supor que a base do solo correspondente não foi ou foi pouco modificada após o período de deposição dos seixos. Pode-se, portanto, utilizá-la para reconstituir a forma da cobertura nodular microagregada inicial (Estádio I), prolongando-se regularmente esse limite, em direção a montante. A espessura atribuída a essa cobertura é, evidentemente, arbitrária.

. O conjunto de seixos corta em bisel muito fechado o horizonte nodular microagregado; por isso, supõe-se que a erosão, que precedeu a deposição dos seixos, cortou a cobertura nodular microagregada, restando dessa uma estreita camada a jusante, e cortou o material de alteração do basalto a montante (Estádio II).

. Desde então, admite-se que o perfil com esmectita dominante, situado a montante, desenvolve-se abaixo do conjunto de seixos (Estádio III e IV) e os seixos descem, acompanhando, mais ou menos, a base do horizonte poliédrico. Assim, a montante, o conjunto de seixos adquire uma forma irregular, contrastante com sua retilinearidade a jusante.

Para explicar a descida dos seixos podem-se considerar três mecanismos. O primeiro, refere-se à atividade biológica e, em particular, aos térmitas, as formigas, as minhocas, etc, que podem remontar o material abaixo dos seixos e recobri-los, progressivamente. O segundo, corresponde à migração dos seixos sob efeito das alternâncias de expansão e contração dos materiais, comportando uma forte proporção de argilas expansivas. A descida dos seixos nos materiais vérticos foi demonstrada na trincheira B3, onde os horizontes argilosos são mais vérticos do que aqueles da toposseqüência "E". Enfim, o terceiro mecanismo refere-se ao recobrimento dos seixos pelo aporte de materiais, oriundos de montante (coluvionamento, por exemplo).

Na área estudada, o primeiro e o terceiro mecanismos são os mais prováveis. Eles explicam o fato de o conjunto de seixos aflorar somente quando o basalto alterado também aflora. O terceiro mecanismo, é pouco provável, visto que, a espessura dos horizontes móveis, que se sobrepõem ao conjunto de seixos, é relativamente constante, inclusive sobre a linha

divisória de água. Portanto, é difícil imaginar qual seria a fonte dos aportes superficiais. O segundo mecanismo só explica a descida dos seixos nos materiais expansíveis, cujas velocidades são variáveis, ocasionando a forma irregular do conjunto de seixos.

Todavia, há um ponto frágil nessa reconstituição, pois, é difícil imaginar qual mecanismo explicaria a chegada de uma camada de seixos sobre um modelado ondulado. O mais provável é que os seixos sejam oriundos de uma espessa cascalheira, observada em alguns pontos altos, e que descem, mais ou menos verticalmente, acompanhando a evolução do modelado. A reconstituição dessa história necessita de um estudo geomorfológico regional, que não foi feito nesse trabalho.

Entretanto, a questão mais importante é explicar porque nos solos a montante predomina a esmectita e, a jusante, a caulinita. Se a cobertura microagregada, do tipo latossólica, se formou em um clima diferente do atual, não se compreende porque, em seguida, a alteração esmectítica se processa a montante e não a jusante, sobre a cobertura microagregada. Enfim, a variação climática levaria à formação generalizada da cobertura esmectítica, que não é o caso, pois, o domínio onde se observa esse cobertura é limitado e, na região, os latossolos se desenvolvem sobre os basaltos.

O corte da topossequência "E" (Fig. 36, p. 38) mostra a passagem lateral dos solos esmectíticos aos solos cauliníticos, sem que haja qualquer variação petrográfica perceptível no basalto alterado subjacente. Essa observação afasta a hipótese de que os basaltos subjacentes às coberturas esmectíticas sejam diferentes daqueles subjacentes aos latossolos.

Enfatizar-se-á, portanto, a interpretação feita a partir do estudo da topossequência "B", particularmente, aquele da trincheira B5. Nessa trincheira mostrou-se, morfológicamente, a existência de uma frente de bissialitização ascendente, recortando a estrutura em plaquetas sub-horizontais do basalto e

a base da cobertura nodular microagregada. Essa frente foi localizada no corte da topossequência "E", através da observação da morfologia da argila interfragmentos de basalto alterado. Nos fragmentos de basalto alterado dos solos esmectíticos e cauliníticos, os minerais primários estão quase todos alterados, restando, desses, apenas as titânio-magnetitas. Assim, a bissialitização só pode ser atribuída a um aporte via solução, resultante de um confinamento das soluções no material de alteração do basalto, por bloqueio de drenagem em profundidade. A pesquisa do determinismo desse confinamento pode ser feita somente através do estudo da geometria da frente de bissialitização e da base da zona, supostamente impermeabilizada, utilizando-se sondagens profundas, indo até o basalto sã.

CAPÍTULO X

A ORGANIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA COBERTURA PEDOLÓGICA

As análises bidimensionais possibilitaram a realização de um inventário dos tipos de horizontes e das principais seqüências verticais das organizações. Essas análises mostram que, além disso, as toposseqüências estudadas apresentam semelhanças, e também diferenças.

Nas toposseqüências "A" e "C", por exemplo, as trincheiras situadas a montante são diferentes: a trincheira A1 contém um horizonte argiloso e sem nódulos entre o basalto alterado e o horizonte nodular - na escala da toposseqüência esse horizonte argiloso constitui uma bolsa argilosa, abaixo dos seixos; a trincheira C1, semelhante à A3, apresenta uma seqüência nodular com nódulos vermelhos e matriz poliédrica, porém, pouco espessa e descontínua. No topo do espigão foram feitas outras trincheiras (D1 a D5) para verificar-se a passagem lateral entre as seqüências verticais de horizontes da trincheira A1 e C1.

A Figura 38 (Fig. 38, p. 41) mostra que o horizonte argiloso e vértico, observado na trincheira A1, onde se constitui a bolsa argilosa mais espessa daquela toposseqüência, segue em continuidade em direção à trincheira D1 e também à D5, e desaparece em forma de cunha, entre o basalto alterado e o horizonte nodular. Essa geometria é semelhante àquela da trincheira A8 e mostra a repetição da instalação da bolsa argilosa vértica, entre o basalto alterado e o horizonte nodular, com nódulos vermelhos e matriz poliédrica. O horizonte nodular, sobreposto à bolsa argilosa, é descontínuo, mostrando que a transformação da seqüência nodular em argila nem sempre deixou relíquias desse horizonte.

Outra maneira de compreender o que se passa entre as toposseqüências é buscar as projeções, no plano, dos horizontes e/ou dos caracteres nelas identificados. Essas projeções foram definidas por Boulet et al (1982b) como **curvas de isodiferenciação**.

O mapeamento das curvas de isodiferenciação foi essencialmente limitado pela dificuldade de atravessar certos horizontes com o trado: horizonte de seixos, horizonte nodular, horizontes vérticos. Na realidade, utilizaram-se pequenas trincheiras e, o mapeamento, apesar de sumário, mostra alguns aspectos interessantes (Fig. 39, p.42) :

- A pequena extensão do horizonte nodular com matriz argilosa microagregada, delimitado pela curva 3.
- A curva 5 delimita o aparecimento da bolsa argilosa bruno-avermelhada, sem nódulos. Essa curva de isodiferenciação é particularmente importante porque ela traz, em si, um significado genético que é a transformação dos nódulos litorreliquiaes em argila. A Figura 38 (Fig. 38, p.41) mostra a representação tridimensional dessa bolsa argilosa, que situa-se a montante.
- A localização, igualmente a montante, do conjunto sotoposto aos seixos e mais espesso que 30cm (curva 4). Esse conjunto é discordante sobre a curva 5, mostrando que sua origem é independente da evolução dos horizontes abaixo dos seixos;
- A localização, no terço inferior da vertente, do sub-afloramento do basalto alterado coerente (curva 2). Essa curva segue, aproximadamente, a curva de nível e mostra apenas uma zona onde seria possível estudar a passagem dos solos vermelhos para os solos brunos e vérticos.
- A generalização dos solos brunos e vérticos, a jusante (curva 1).

Durante o estudo das toposseqüências, não conseguimos encontrar a passagem direta da cobertura nodular microagregada para a vermelha e vértica. Entretanto, o mapa das curvas de isodiferenciação permitiu localizar a toposseqüência "E", onde essa passagem ocorre. A localização de pontos favoráveis ao estudo de relações espaciais particulares constitui uma das vantagens da representação tridimensional da cobertura pedológica.

Em síntese, a vertente estudada apresenta uma grande variedade de tipos de solos. As principais seqüências identificadas foram :

. *Seqüências nodulares vermelhas com matriz microagregada*, onde predomina a caulinita. É a mais antiga e, por isso, foi denominada *cobertura inicial*. Ela representa uma pequena superfície da área estudada, situando-se na porção a montante da toposseqüência "B".

. *Seqüências nodulares vermelhas com matriz poliédrica*, ricas em esmectitas.

. *Seqüências argilosas vérticas e vermelhas*, que correspondem ao aparecimento de novas organizações elementares que interrompem, em diversos pontos da vertente estudada, as organizações elementares da cobertura nodular com matriz poliédrica. Essas novas organizações são discordantes sobre a cobertura nodular e se propagam lateralmente, às custas dessa última. Formam-se, portanto, conjuntos organizados, denominados por Boulet et al (1984) de *sistemas de transformação*, que correspondem à transformação de uma cobertura em outra, com organização e dinâmica, normalmente, diferentes.

. *Seqüências vérticas brunas* : a diferenciação vermelho-amarelada ao longo da vertente é freqüente, tanto nos materiais caulíníticos como nos materiais esmectíticos. Entretanto, registrou-se na toposseqüência "A", que a brunificação dos plasmas invade a seqüência nodular com matriz poliédrica vermelha e progride de jusante para montante e da base para o topo dos perfis. Essa brunificação pode corresponder a uma diminuição da declividade que acompanharia a evolução pedológica.

Na cobertura nodular com matriz argilosa poliédrica, a frente de transformação do basalto é muito irregular, devido à presença de diferentes *facies* do basalto alterado que se alteram a velocidades diferentes. A cobertura nodular desenvolve-se primeiro e espessa-se até o aparecimento das depressões na frente de pedogenização do basalto alterado. A frente de transformação da seqüência nodular com matriz poliédrica, que dá origem às bolsas argilosas, tem seu ponto de partida, provavelmente, no centro dessas depressões.

CAPÍTULO XI

O ESQUEMA INTERPRETATIVO DA EVOLUÇÃO DA COBERTURA PEDOLÓGICA E DO MODELADO

A observação de 10 trincheiras situadas na vertente oposta mostra a seguinte organização da cobertura pedológica (Fig. 40, p. 44): a montante, há uma cobertura latossólica espessa, areno-argilosa, apresentando um nível de seixos a 1,5 metros de profundidade. Essa cobertura latossólica não foi observada na vertente estudada em detalhe, mas ela é extensa na região.

Em direção a jusante, essa cobertura estreita-se e passa a um solo nodular com matriz microagregada, subjacente ao conjunto de seixos e sobrejacente ao conjunto de alteração do basalto alterado. Tem-se, portanto, o mesmo solo da parte montante da toposseqüência "B".

Em seguida, após a subida do basalto alterado (como na toposseqüência "B"), surge um solo bruno, vértico, comportando um horizonte nodular, acima da alteração do basalto. Esse horizonte nodular desaparece em direção a jusante, onde se observa um solo vértico bruno-amarelado, contendo seixos dispersos.

Essas observações, juntamente com aquelas da vertente estudada em detalhe, permite propor um esquema da evolução da bacia (Fig. 41, p. 45). No Estádio I, havia uma cobertura nodular com matriz microagregada. Os declives de suas reliquias mostram que o eixo de drenagem da bacia estava, sensivelmente, à vertical do seu lugar atual. No Estádio II, ocorreu uma erosão, que trancou parcialmente a cobertura nodular microagregada e cortou o material de alteração a jusante. A deposição dos seixos teria acontecido naquele momento. Todavia os processos de deposição dos seixos são pouco conhecidos, como já se assinalou no estudo da toposseqüência "E". No estágio vigente, a distribuição dos solos depende da permanência dos restos da cobertura nodular microagregada e da posição da frente de bissialitização ascendente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cobertura pedológica estudada, próxima à cidade de Ilha Solteira, apresenta a originalidade de comportar solos com esmectita dominante, enquanto que, de modo geral, os basaltos do Estado de São Paulo e, mesmo os do Paraná, apresentam latossolos com caulinita, ou caulinita e gibbsita. Esse fato, por si, justifica o estudo dessa cobertura pedológica.

Abordou-se o estudo da cobertura pedológica com esmectita dominante na topossequência "A", cuja organização da trincheira a montante, permite colocar uma questão, à primeira vista, difícil de ser resolvida: abaixo do conjunto de seixos, quase sempre presente na região, há um horizonte rico em nódulos, com morfologia interna semelhante àquela do basalto ou do arenito intertrapiano situados na base do perfil (observação feita com a lupa). Ora, esse horizonte nodular, provavelmente litorreliquial, está separado do basalto alterado e do arenito intertrapiano da base do perfil, por intermédio de um espesso horizonte vértico, praticamente sem nódulos. Assim, a hipótese da formação dos nódulos, a partir do basalto alterado e do arenito intertrapiano, é difícil de ser considerada nessa trincheira. Da mesma maneira, a hipótese da origem coluvial dos nódulos não poderia ser sustentada, pois, essa trincheira se localiza no topo do interflúvio.

A trincheira seguinte foi aberta a 25 metros da precedente e apresenta, abaixo do conjunto de seixos, uma sequência de organizações morfológicas contínua, indo do basalto alterado aos nódulos litorreliquiais. Diversas trincheiras intermediárias colocadas entre as precedentes, permitiram localizar a transição lateral entre esses dois tipos de perfis e mostraram, macroscopicamente, a transformação do horizonte nodular em material vértico. Essa transformação parte da base do horizonte nodular, isolando-o de sua fonte, e avança em direção ao topo do volume, deixando intacta somente a sua parte somital.

Portanto, o trabalho de campo caracterizou-se, não somente pela identificação e estudo cuidadoso dos perfis verticais, mas, sobretudo, pela pesquisa permanente das transições laterais e do seu estudo detalhado. Foi essa metodologia de trabalho ou essa análise estrutural que reuniu os argumentos mais consistentes sobre a gênese e as transformações da cobertura pedológica da vertente estudada.

O estudo microscópico e as microanálises foram realizados na topossequência "A". Esses evidenciaram as principais transformações quando se passa do basalto alterado aos nódulos litorreliquiaais e, em seguida, dos nódulos litorreliquiaais ao material vértico das bolsas argilosas, que interrompem o horizonte nodular.

Nos primeiros estádios, os nódulos litorreliquiaais se formam, sobretudo, pelo aporte de ferro, visto que a alteração das titânio-magnetitas contribui pouco. Nos estádios seguintes, o raciocínio isovolumétrico mostra que os nódulos concentram o ferro (184%) e o alumínio (13%) e perdem sílica (17%). Coloca-se, então, o problema da origem desse ferro. Na realidade, também mostra-se a transformação de uma parte dos nódulos em plasma vermelho, correspondendo à deferruginização do material nodular. Esse plasma vermelho pode se descolorir, perdendo ferro. Essas liberações de ferro podem alimentar a formação dos nódulos nos horizontes subjacentes, por migração desse elemento em direção à base do perfil. Portanto, tem-se uma espécie de *turnover* do ferro, acompanhando a descida do solo nodular na alterita.

A transformação do horizonte nodular em bolsas argilosas exprime-se, morfológicamente, pela diminuição da coesão dos nódulos, pela fissuração e, freqüentemente, pela plasmação dos mesmos. Os mecanismos e o determinismo dessa transformação não são conhecidos. Entretanto, supõe-se que a causa dessa transformação seja a modificação do regime hídrico, por concentração de água no centro de depressões, que se desenvolvem no limite entre o solo e o material de alteração, devido à irregularidade na frente de alteração das *facies* basálticas.

Em direção a jusante da toposseqüência "A", as bolsas argilosas vérticas são menores do que aquelas a montante e constata-se uma mudança na cor dos solos, que passa de vermelha a bruna. O estudo detalhado mostra que essa mudança de cor exprime, morfológicamente, uma frente de transformação que invade a cobertura pedológica vermelha, de jusante para montante e da base para o topo dos perfis. Provavelmente, essa transformação relaciona-se às condições de umidade do solo a jusante.

Entretanto, a porção oeste da vertente estudada, comporta uma cobertura pedológica diferente daquela identificada na toposseqüência "A". Ela é pouco espessa, igualmente nodular e vermelha, porém, a matriz dos nódulos é microagregada, com caulinita, largamente dominante sobre a esmectita. A toposseqüência "B" mostra, de montante para jusante, a passagem da cobertura pedológica com caulinita dominante para uma outra, vértica e bruna, nitidamente esmectítica.

Uma nova questão deve ser colocada - trata-se da relação espacial e cronológica entre a cobertura com dominância de caulinita e aquela com dominância de esmectita. O estudo dessa passagem (toposseqüência "E") mostra que a cobertura vermelha e caulinitica é a mais antiga e foi, provisoriamente, qualificada como "latossólica eutrófica". Entre essa fase pedogenética e aquela esmectítica intercala-se, provavelmente, a deposição dos seixos. Entretanto, como já foi assinalado (Capítulo XI), a deposição dos seixos é mais complexa do que aquela proposta neste trabalho, e necessita, para ser esclarecida, de estudos em escalas maiores, podendo, para tanto, serem aproveitados os estudos aqui realizados.

Diversas hipóteses poderiam explicar a sucessão dos solos com caulinita dominante para solos com esmectita dominante:

. A primeira, refere-se à possibilidade de uma mudança climática, partindo-se de um clima úmido em direção a um clima seco. Essa hipótese não pode ser sustentada, pois, os solos da região, onde está inserida a área de estudo, são predominantemente latossólicos.

. A segunda, considera que determinadas facies de basalto favoreceriam a formação de esmectita e, outras, a formação de caulinita. Essa hipótese de uma variação petrográfica do basalto é igualmente falsa, visto que, em uma das toposseqüências estudadas (toposseqüência "E"), passa-se da cobertura esmectítica à latossólica, sem que haja variação petrográfica no basalto alterado.

. A terceira, seria a presença de um sistema de transformação análogo àquele estudado na África por Bocquier (1971) e Boulet (1974), onde a cobertura caulinitica se transforma em outra esmectítica, por exportação do material de montante e acumulação a jusante. Porém, a organização da toposseqüência "E" derruba essa hipótese, pois, ela mostra que a cobertura latossólica situa-se, nesse caso, a jusante da esmectítica. Por outro lado, observou-se entre essas duas coberturas, quase sempre, o subafloramento do basalto alterado.

. Resta, portanto, a quarta hipótese que resulta do estudo da trincheira B5, onde se observou uma frente de bissialitização ascendente, transformando, a partir da base do perfil, a matriz dos fragmentos de basalto alterado e, em seguida, os horizontes sobrejacentes à alterita. O estudo do determinismo dessa invasão esmectítica ascendente (não confundi-la com a bissialitização remontante de Bocquier, 1971) necessitaria de sondagens profundas e está, portanto, fora do nosso alcance.

Assim, pode-se dizer que essa tese coloca uma nova hipótese para explicar a sucessão de solos com caulinita dominante para solos com esmectita dominante, sobre basalto. Essa hipótese está parcialmente verificada e somente com trabalhos específicos poderá ser confirmada ou não.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, L.T. & CADY, J.G. - 1962 - Genesis and hardening of laterites in soils. **Technical Bulletin. United States Department of Agriculture**, (1282) : 1-90.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARKES, L.S.; MELFI, A.J.; PICCIRILO, E.M.; NARDY, A.J.R. ; ROISENBERG, A. - 1983 -. High and low TiO₂ flood basalts from the Paraná plateau (Brazil) : petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. **Nenes Jahrbuch fur Mineralogie. Abhandlungen**, 150 : 273-306.
- BENEMA, J.; LEMOS, R.C. ; VETTORI, L. - 1959 -. Latosols in Brazil. In : CONFERENCE INTERAFRICAINNE DE SOLS, 3., Dalaba, 1959. V.1, p. 273-281.
- BISCAYE, P.E. - 1965 -. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. **Bulletin of the Geological Society of America**, 76 : 803-832.
- BOCQUIER, G. - 1971 - . **Genese et évolution de deux toposséquences de sols tropicaux de Tchad** : Intérpretation Biogéodynamique. Strasbourg, 350 p. (Thèse Doctorat Science - Iniversité Louis Pasteur).
- BOCQUIER, G. ; MULLER J.P. ; BOULANGE B. - 1984 -. Les latérites. Connaissances et perspectives actuelles sur leur différenciation. **Livre jubilaire du Cinquantenaire de l'AFES**. Paris, Association Française L'etude du Sol. p.123-138.
- BOULANGE, B. - 1983 - **Les formations bauxitique latéritique de Côte d'Ivoire** : les facies, leur transformation, leur distribution et l'evolution du modelé. Paris, 342p. (Thèse Doctorat Science - Université Paris VII).

- BOULET, R. - 1974 - **Toposséquences de sols tropicaux en Haute-Volta** : équilibre et déséquilibre pédobioclimatique. Strasbourg, 272 p. (Thèse Doctoral Science - Université Louis Pasteur).
- BOULET, R. - 1981 -. Etude pédologique des bassins versants Ecerec. Bilan de la cartographie. Orstom, Cayenne. **Le Projet Ecerec**, 4. p. 4-22.
- BOULET, R. - 1983 -. Organisations des couvertures pédologiques des bassins versants ecerec : hypotheses sur leur dynamique. Orstom, Museu National D'histoire Naturelle. **Le Projet Ecerec**. p.23-52.
- BOULET, R. - 1987 - **A análise estrutural da cobertura pedológica e sua contribuição aos estudos da dinâmica da água, as experimentações agronomicas e à cartografia**. Palestra realizada no IPT em abril de 1987.
- BOULET, R.; FRITSCH E.; HUMBEL F. - 1978 - Méthode d'étude et représentation des couvertures pédologiques de Guyane Française. Centre Orstom de Cayenne, relatório.p.177, 1978.
- BOULET, R.; CHAUVEL A. ; LUCAS Y. - 1984 -. Les systèmes de transformation en pédologie. **Livre jubilaire du cinquantenaire AFES**. France, Association Française por L'étude du Sol p.167-179.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.X. ; LUCAS, Y. - 1982a - Analyse structurale et cartographie en pédologie. I - Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposséquence et leurs principaux apports a la connaissance des sols. **Cahier Orstom, Serie.Pedologie, 19** (4): 309-321.
- BOULET, R.; HUMBEL, F.X. ; LUCAS, Y. - 1982b -. Analyse structurale et cartographie en pédologie. II - Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cahiers Orstom. Serie Pedologie, 19** (4): 323-339.

- BOULET, R.; HUMBEL, F.X. & LUCAS, Y. 1982c. Analyse structurale et cartographie en pédologie. III - Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. **Cahiers Orstom. Serie Pedologie**, 19 (4): 341-351.
- BREWER, R. - 1964 - **Fabric and mineral analysis of soils**. New York, John Wiley and Sons. 470p.
- BUSHNELL, T.M. - 1942 - Some aspects of the soil catena concept. **Proc.Soil.Sci.Soc.Am.**, 7 : 446-476.
- CANTINOLLE P.; DIDIER.P.; MEUNIER J.D.; PARRON C.; GUENDON J.L.; BOCQUIER G. ; NAHON, D. - 1984 - Kaolinites ferrifères et oxyhydroxydes de fer et d'alumine dans les bauxites des canonnettes (SE de la France). **Clay Minerals**, 19 : 125-135.
- CARVALHO, A. - 1970 - **Study of "Terra Roxa Estruturada" and "Latossolo Roxo" on a topographic sequence in São Paulo State, Brasil**. 93 p. (Thesis Master of Science - University Newcastle Upon Tyne, 93p.
- CARVALHO, A.; CHAUVEL, A. ; GONÇALVES, N.M.M. - 1983 - Altération of basalt and formation of kaolinitic and gibbsitic material in the region of Ribeirão Preto (SP), Brazil. In :
- CASTRO, S.S. & CURMI,P. - 1987 - Bandas onduladas em solos Podzolizados - variação Marília : estruturas de transformação pedológica. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1988. **Programa e Resumos**. Campinas, SBCS, Instituto Agronomico de Campinas. 82p.
- CHATELIN Y. & MARTIN D. - 1972 - Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferralitiques. **Cahiers Orstom. Serie Pedologie**, 10 (1) : 25-43.
- CHAUVEL, A. - 1977 - Recherches sur la transformation des sols ferralitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Strasbourg. 532 p. (Thèse Doctorat Science - Université Louis Pasteur).

- COMISSÃO NACIONAL DE SOLOS. - 1960 - **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo. Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronomicas, 12 : 1 - 634.**
- DElayer, R. - 1984 - Notes techniques su la preapration des lames minces dans les materiaux meubles. **Bulletin de L'Institut de Geologie du Bassin D'Aquitane, 35 : 135-158.**
- DELVIGNE, J. - 1965 - Pédogenese en zone tropical. La formation des minéraux secondaires en milieu ferralitique. **Mémoires Orstom, 13: 1 - 117.**
- DIDIER P.; PERRET D.; TARDY Y. ; NAHON, D. - 1985 - Equilibres entre kaolinites ferrifères, goethites alumineuses et hématites alumineuses dans les systèmes cuirassés. Rôle de l'ativité de l'eau et de la taille des pores. **Sciences Géologiques Bulletin., 38 (4) : 387-397.**
- DOSSO, M. - 1991 - **Mise en relation de l'organisation tridimensionnelle des formations superficielles et de différentes données de télédétection correspondantes : exemples pris en zone tropicale et en zone tempérée.** Paris, 308p. (Thèse Doctorat Science - Université Paris VII)
- Du Preez, J.W. - 1954 - Notes on the occurrence of oolites and pisolites in Nigerian laterites. In : INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRÉS, 19., Alger, 1954. Tomo 21, p. 163-169.
- ESWARAN H.; WAMBEKE A. ; BEINROTH F.H. - 1979 - A study of some highly weathered soils of Puerto Rico : Microphological Properties. Pedologie, XXIX (2) : 139-162.
- FERNANDES BARROS, O.N. - 1985 - **Análise estrutural e cartografia detalhada de solos em Marília, Estado de São Paulo : ensaio metodológico.** São Paulo, 146p. (Dissertação de Mestrado - FFCH/USP).
- FLACH K. W.; CADY J.G. ; NETTLETON W.D. - 1968 - Pedogenic alteration of highly weathered parent materials. In : INTERNATIONAL CONGRÉS SOIL SCIENCE, 9., Adelaide. Tomo 4, p. 343-351.

- FRITSCH E. - 1984 - **Les transformations d'une couverture ferrallitique en Guyane Française.** Paris , 190p. (These Doctorat Science - Iniversité Paris VII).
- FRITSCH E.; BOULET R. ; BOCQUIER G.; DOSSO M. ; HUMBEL F. X. - 1986 - Les systèmes transformants d'une formation supergène de Guyane Française et leurs modes de représentation. **Cahiers Orstom. Serie Pedologie**, 22 (4) : 361-395.
- GONÇALVES, N.M.M. - 1978 - **Estudo dos Materiais superficiais da Região de Ribeirão Preto-SP e suas relações com elementos morfológicos da paisagem.** São Paulo, 177p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências / USP).
- GONÇALVES, N.M.M. - 1987 - **Transformações mineralógicas e estruturais relacionadas à alteração hidrotermal e intempérica de rochas vulcânicas básicas da Bacia do Paraná Setentrional** - (região de Ribeirão Preto - S.P.,Brasil). São Paulo, 212p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências / USP).
- GREENE, H. - 1945 - Classification and use of tropical soils. **Proc.Soil Sci.Soc.Am.**, 10 : 392-396.
- ILDEFONSE, P. - 1987 - **Analyse pétrologique des altérations prémétéorique et météorique de deux roches basaltiques (Basalte alcalin de Belbex, Cantal et Hawaiiite de M'Bouda, Cameroun).** Paris, 317p. (Thèse Doctorat Science - Université Paris VII).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT)
- 1981 - **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, IPT. 2V.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT)
- 1985 - **Projeto Cinturão Verde de Ilha Solteira-SP.** São Paulo, IPT. 2V. (Relatório IPT, 20752).

- JACOMINE P.T. - 1979 - Conceituação sumária de classes de solos abrangidas na legenda preliminar e identificação dos solos do Estado do Rio de Janeiro. In : REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E INTEGRAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA DE SOLOS, 1, Rio de Janeiro, 1979. Rio de Janeiro, Embrapa, 276p.
- LACROIX, A. - 1914 - Les latérites de la Guinée et les produits d'altération qui leur sont associé. **Nouvelles Archives du Museum D'Histoire Naturelle**. Serie 5 : 255 - 356.
- LEPRUN, J.C. - 1979 - **Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de L'Afrique occidentale sèche** : Genése, Transformation, Dégradation. Strasbourg, p. (Thèse Doctorat Science - Université Louis Pasteur).
- LEVI, F. & MELFI, A.J. - 1972 - Geochemical and mineralogical study on the first stage of weathering of basic and related rocks. Part 2. Geochemical Study. **Revista Brasileira de Geociências**, 2 (1): 1-7.
- LUCAS, Y. - 1989 - **Systemes pedologiques en Amazonie Bresilienne. Equilibres, desequilibres et transformations**. Poitiers, 161p. (Thèse Doctorat Science - Université Poitiers).
- LUCAS, Y.; CHAUVEL, A.; BOULET, R.; RANZANI, G. ; SCATONILI, F. - 1984 - Transição Latossolos-Podzóis sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8: 325-335.
- MAIGNIEN R. - 1958 - Le cuirassement des sols en Guinée, Afrique occidentale. **Memoires du Service de La Carte geologique D'Alsace et de Lorraine**, 16, 1- 239.
- MELFI, A.J. & CARVALHO, A. (eds). **Lateritization processes; proceedings os the II International Seminar on Laterisation process held in São Paulo**. São Paulo, IAG. p. 447-489.
- MELFI, A.J. & LEVI, F. - 1971 - Geochemical and mineralogical study on the firts stage of weathering of basic and related rocks. Part 1. Mineralogical Study. **Revista Brasileira de Geociências**, 1 (1): 22-28.

- MELFI, A.J. - 1967 - **Intemperismo de granitos e diabásios no Município de Campinas e arredores, Estado de São Paulo.** São Paulo, 166p. (Tese de Doutorado - FFCL / USP).
- MENEGOTTO, E & GASPARETTO, N.V.L. - 1987 - Intemperização de rochas vulcânicas básicas e ácidas na região de Santa Maria, RS. In : Congresso Brasileiro de Geoquímica, 1., Porto Alegre, 1987. Anais. Porto Alegre, SBGq. v.2, p.69-83.
- MIKLOS, A.A.W. - 1986 - **Rélation entre l'altération et la pédogenese dans un profil vertical sur basalte de la région de Botucatu (Brésil).** Poitiers, 46p. (D.E.A de Géochimie de la Surface - U.F.R. Sciences / Université de Poitiers, 46p).
- MIKLOS, A.A.W.; BOULET, R.; ESPINDOLA, C.R. ; QUEIROZ NETO, J.P. - 1987 - Evolução e diferenciação vertical de horizonte B textural, na Terra Roxa Estruturada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, SBCS, Instituto Agronomico. p.83.
- MILLOT, G. & BONIFAS, M. - 1955 - Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de latéritisation et bauxitisation. **Bulletin Service de la Carte Geologique d'Alsace et de Lorraine, 8 : 3-20.**
- MONIZ, A.C. - 1967 - **Quantitative Mineralogical Analysis of Brazilian soils developed from basic rocks and slate.** Wisconsin, 75p. (Thesis Master's / USA).
- MONIZ, A.C., NASCIMENTO, A.C. ; PAIVA-NETTO, J.E. - 1973 - Mobilidade dos constituintes de rochas básicas de São Paulo durante o intemperismo. **Revista Brasileira de Geociências, 3: 201-213.**
- MULLER D., BOCQUIER G., NAHON D. ; PAQUET H. - 1981 - Analyse des différenciations minéralogiques et structurales d'un sol ferralitique à horizon nodulaire du Congo. **Memoires Orstom, 18: 87-109.**

- MULLER J.P. & BOCQUIER, G. - 1986 - Dissolution of kaolinites and accumulation of iron oxides in lateritic ferruginous nodules: mineralogical and microstructural transformations. **Geoderma**, 37., p.113-136.
- MULLER, D. - 1979 - **Contribution à l'étude de la différenciation des horizon nodulaires des sols ferralitique congolais sur granito-gneiss**. Paris, 118p. (These 3eme cycle - Université Paris VII).
- NAHON, D. & DÉMOULIN, D. - 1971 - Contribution à l'étude des formations cuirassées du Sénégal occidental (Pétrographie, morphologie et stratigraphie relative). **Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique**, 13 (1) : 35-54.
- NAHON, D. - 1970 - Nouvelles observations sur les facies d'alterations anciennes au Sénégal et en Mauritanie. **Travaux Lab des Laboratoires de La Science de La Terre**, A (2) : 1-50.
- NAHON, D. - 1976 - **Cuirasses ferrugineuses et encroutements calcaires au Sénégal Occidental et en Mauritanie : systeme évolutifs**. Structures, relais et coexistence. Strasbourg, 232p (Thèse Doctorat Science - Université Louis Pasteur).
- NICOLA, S.M.C. & BOULET, R. - 1987 - Análise tridimensional da cobertura pedológica de uma vertente, na região de Ilha Solteira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 21., Campinas, 19. **Resumos**. Campinas, SBCS, Instituto Agronomico de Campinas. p. 84.
- NIMER, E. - 1979 - **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE, 421p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente, 4).
- OLIVEIRA, J.B & PRADO, H. - 1987 - Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo : Quadrícula de Ribeirão Preto. II. Memorial Descritivo. **Boletim Cientifico Instituto Agronomico**, 7 : 1 - 133.

- PAIVA-NETO, J.E. & NASCIMENTO, A.C. - 1957 - Diabásios e seus produtos de decomposição. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 11., Salvador, 1957. **Anais**. Salvador, SBG.
- PAIVA-NETO, J.E., KUPER, A ; CATANI, R.A. - 1949 - Estudo pedológico da estação experimental de Ribeirão Preto. In : REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., Campinas, 1949. **Anais**. Campinas, SBCS. p. 341 - 443.
- PEDRO, G.; CHAUVEL, A. ; MELFI, A. J. - 1976 - Recherches sur la constitution et la gnese des "terra roxa estruturada" du Brsil. Introduction a une tude de la pdognese ferrallitique. **Annales Agronomiques**, 27 (3) : 265-294.
- PROUST, D. - 1983 - **Mcanismes de l'altration supergene des roches basique** : etude des arnes d'orthoamphibolite du Limousin et de glaucophanite de l'ile de Groix (Morbihan). Poitiers, 197p. (Thse Doctoral Science - Universite Poitiers).
- QUEIROZ NETO, J.P.; CASTRO, S.S.; FERNANDES BARROS, O.N.; MANFREDINI, S.; PELLERIN, J., RUELLAN, A. ; TOLEDO, G.S. - 1981 - Um estudo de dinmica de solos : formao e transformao de perfis com horizonte B textural. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE CINCIA DO SOLO, 1981. **Resumos**. Campinas, SBCS.
- QUEIROZ NETO, J.P.de. - 1988 - Anlise estrutural da cobertura pedolgica no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Cincia do Solo, 21., Campinas, 1988. Campinas, SBCS, Instituto Agronomico de Campinas. p. 415-429.
- RANGE K.J., RANGE A. ; WEISS A. - 1969 - Fire clay type kaolinite or fire clay minerals ? Experimental classification of kaolinite-halloysite minerals. In : INTERNATIONAL CLAY CONFERENCE, 3., Tokio. **Proceedings**. p. 3-13.
- ROCHA, G.C. - 1990 - **Caractersticas e dinmica de coberturas pedolgicas sobre rochas bsicas na regio norte e sul do Brasil**. Piracicaba, 246p. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / USP).

- RUELLAN A. - 1970 - Le sol à profil calcaire différencie des plaines de la Basse Moulouya (Maroc oriental). Strasbourg. 302p. (These Doutorat Science - Université Louis Pasteur).
- RUELLAN A. & DOSSO, M - 1993 - Regards sur le sol. Paris, Édition Foucher. 192p.
- RUELLAN A. ; DOSSO, M ; FRITSCH E. - 1989 - L'analyse structural de la couverture pédologique. *Science du Sol*, 27 (4) : 319-334.
- SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS. - 1980 - *Sistema Brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, Embrapa. 73p.
- SETZER, J. - 1949 - *O solos do Estado de São Paulo*. Rio de Janeiro, IBGE. 387p.
- SIEFFERMANN, G. - 1973 - Les sols de quelques régions volcanique du Caméroun : variations pédologique et mineralogique du milieu équatorial au milieu tropical. *Mémoires Orstom*, 66 : 1 - 183.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. - 1976 - *Manual de método de trabalho de campo*. Campinas, SBSCS, Instituto Agrônômico de Campinas. 36p.
- TARDY Y. - 1993 - Dynamique du paysage tropical (In press).
- THORNTON C. W. & MATHER J. R. - 1955 - *The water balance*. New Jersey, Laboratory of climatology.
- TURENNE, J. F. - 1975 - Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. *Mémoires Orstom*, 84 : 1 - 173.