**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**MINERALOGIA E MORFOLOGIA DE COBERTURAS
DE ALTERAÇÃO DESENVOLVIDAS EM ROCHAS
VULCÂNICAS ÁCIDAS: OS EXEMPLOS DE PALMAS E
PINHÃO, PR**

TESE DE DOUTORAMENTO

SUSANA VOLKMER

Orientador: Prof. Dr. Adilson Carvalho

Co-Orientador: Prof. Dr. René G. Boulet

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA E GEOTECTÔNICA

São Paulo

1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MINERALOGIA E MORFOLOGIA DE COBERTURAS
DE ALTERAÇÃO DESENVOLVIDAS EM ROCHAS
VULCÂNICAS ÁCIDAS: OS EXEMPLOS DE PALMAS
E PINHÃO, PR**

SUSANA VOLKMER

Orientador: Prof. Dr. Adilson Carvalho

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

Nome	Assinatura
Presidente: Prof. Dr. Adilson Carvalho
Examinadores: Prof ^a Dr ^a Maria Cristina Motta de Toledo
Prof ^a Dr ^a Marisa Terezinha G. de Oliveira
Dr. Mathieu Benoit Jean Lamotte
Prof ^a Dr ^a Nádia Regina do Nascimento

SÃO PAULO
1999

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005890

**MINERALOGIA E MORFOLOGIA DE COBERTURAS DE
ALTERAÇÃO DESENVOLVIDAS EM ROCHAS VULCÂNICAS
ÁCIDAS: OS EXEMPLOS DE PALMAS E PINHÃO, PR**

TESE DE DOUTORAMENTO

SUSANA VOLKMER

Orientador: Prof. Dr. Adilson Carvalho

Co-Orientador: Prof. Dr. René G. Boulet

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA E GEOTECTÔNICA

São Paulo

1999

Dedico esta Tese de Doutorado aos meus pais que comigo estiveram nos momentos agradáveis e nas horas difíceis, ao meu marido Edison, pelo apoio e carinho irrestritos, e sobretudo a Deus, depositário de minha confiança e fé, sem os quais não teria tido a devida perseverança.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos, neste caso em particular, representam um singelo e sincero reconhecimento pelo apoio financeiro e científico oferecido pelas instituições e profissionais envolvidos, sem os quais não teria sido possível o desenvolvimento deste trabalho. Por esta razão, estão abaixo lembradas pessoas e instituições que contribuíram para o desenvolvimento e término desta pesquisa.

Instituições:

- Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq, pela concessão de bolsas de doutorado no período de Março de 1994 a Maio de 1996;
- Conselho de Apoio a Pesquisa – CAPES, pela concessão de bolsa através do plano PICD, referente ao período de Março de 1998 a Março de 1999.

Professores responsáveis pela orientação:

- Orientador, Prof. Dr. Adilson Carvalho, cujas observações de caráter técnico-operacional e contribuições científicas possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho;

- Co-orientador, Prof. Dr. René G. Boulet, que muito contribuiu e ajudou nas atividades de campo, apontando sugestões, críticas e discussões memoráveis, que trouxeram luz à evolução e confecção deste trabalho.

Docentes:

- Prof. Ms. Edison Fortes e Prof^a. Dr^a. Maria Teresa de Nóbrega, Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos e Prof. Dr. Nelson V. L. Gasparetto, do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá - UEM;
- Profa. Dr^a Maria Cristina Toledo do Departamento de Geologia e Sedimentologia do Instituto de Geociências da USP;
- Prof. Dr. João Moreschi, professor aposentado do Departamento de Geologia Econômica do IG/USP, pelo assessoramento na utilização do Microscópio Óptico para obtenção das fotomicrografias, - aos quais são creditadas algumas das mais valiosas sugestões no decorrer desta pesquisa.

Funcionários:

- Cleide Francisco e Sueli S. Francisco do Laboratório de Geoquímica, USP;
- Flávio M. S. Carvalho, do Laboratório de Raios-X da USP;
- Verônica Gabriel Santos, responsável pelos laboratórios de Microscopia Óptica e Eletrônica e de Impregnação, do IG/USP;
- Hélder Pinheiro Sampaio, responsável e técnico dos laboratórios de preparação de amostras, MEV e Raios-X do IAG/USP, - todos de suma

importância ao longo do trabalho, considerando sua extrema dedicação e paciência nas várias análises que porventura tiveram de ser refeitas.

Pessoal da área de geoprocessamento:

- Funcionário José Luiz Carvalho, responsável pelo Setor de Geoprocessamento e aluno Marcos Ribeiro, ambos do Departamento de Geografia da UEM – pela perseverança na confecção das diversas representações gráficas solicitadas.

Secretárias:

- Ana Paula Cabanal Pentagna, da Secretaria de Pós-Graduação e Vera Lúcia Miranda da Silva Pereira, da Diretoria do IG/USP, pela amizade conquistada e sobretudo pelo auxílio na resolução de questões técnico-burocráticas relacionadas à pós-graduação deste Instituto.

Professor:

- Raul Pimenta pela revisão da linguagem escrita da tese.

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMENTOS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FOTOS.....	xi
LISTA DE FOTOMICROGRAFIAS.....	xii
LISTA DE PRANCHAS.....	xiv
 RESUMO.....	 xv
ABSTRACT.....	xvii
 CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	 1
1. OBJETIVOS.....	2
2. ESCOLHA DA ÁREA.....	3
3. SITUAÇÃO GEOGRÁFICA E ACESSO.....	3
 CAPÍTULO II – ASPECTOS GERAIS	
1. TRABALHOS ANTERIORES.....	10
Mineralogia e Processos Geoquímicos envolvidos	11
Solos	13
2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	
Geologia.....	17
Geomorfologia e Tectônica.....	20
Drenagem	25
Clima.....	26
Vegetação.....	27

Solos.....	28
Uso do Solo.....	36
3. ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	37
CAPÍTULO III – DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	
1. SUBSTRATO ROCHOSO.....	43
1.1 Área de Palmas	44
1.2 Área de Pinhão	45
2. CORTES E PERFIS DE ALTERAÇÃO.....	46
2.1 Área de Palmas	46
Corte CPa I	47
- Descrição morfológica	51
- Descrição micromorfológica.....	55
- Síntese.....	59
Corte CPa II	61
- Perfil PPa IIa.....	62
- Descrição morfológica.....	62
- Descrição micromorfológica.....	64
- Perfil PPa IIb.....	66
- Descrição morfológica	66
- Descrição micromorfológica.....	69
- Síntese.....	70
2.2 Área de Pinhão	72
Perfil PPI I.....	73
- Descrição morfológica	73
- Descrição micromorfológica.....	76
Perfil PPI II.....	77
- Descrição morfológica.....	79
- Descrição micromorfológica.....	81
Perfil PPI III.....	83
- Descrição morfológica.....	87
- Síntese.....	88

3. RESULTADOS ANALÍTICOS COMPLEMENTARES

3.1	Análise Granulométrica.....	90
	Área de Palmas	90
	Área de Pinhão	93
3.2	Análise Química.....	96
3.3	Mineralogia da Fração Argila.....	99

CAPÍTULO IV – EVOLUÇÃO MINERALÓGICA DOS CORTES E PERFIS DE ALTERAÇÃO

1.	ESTÁGIOS DE ALTERAÇÃO.....	109
1.1	Área de Palmas	110
	Estágio de Alteração I	110
	Estágio de Alteração II	114
	Estágio de Alteração III	116
	Estágio de Alteração IV	122
	Estágio de Alteração V	124
1.2	Área de Pinhão	127
	Estágio de Alteração II	128
	Estágio de Alteração III	130
	Estágio de Alteração IV	133
	Estágio de Alteração V	135
	- Síntese.....	137
2.	PROCESSO DE ALTERAÇÃO.....	138
2.1	Alteração dos Principais Minerais	141
	- PIROXÊNIO.....	141
	- PLAGIOCLÁSIO.....	143
	- MINERAIS DO GRUPO DA SÍLICA.....	147
	- MAGNETITA.....	148
2.2	Alteração de Outros Minerais.....	154

CAPÍTULO V – EVOLUÇÃO PEDOMORFOLÓGICA

1.	OS ELEMENTOS NATURAIS DA PAISAGEM DE PALMAS E DE PINHÃO - Fatores físicos determinantes na evolução pedomorfológica.....	156
2.	EVOLUÇÃO DAS COBERTURAS DE ALTERAÇÃO.....	159
	CORTE CPa I.....	159
	CORTE CPa II.....	163
	PERFIS PPI.....	165
3.	PROCESSOS DE ALTERAÇÃO IDENTIFICADOS - As transformações mineralógicas e os processos geoquímicos.....	168
4.	AS COBERTURAS PEDOLÓGICAS E AS PAISAGENS DERIVADAS	174
	CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	177
	CAPÍTULO VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	183

LISTA DE FIGURAS

TABELAS	Página
01 Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Paraná no Brasil.....	6
02 Mapa de localização das quadriculas de Palmas e de Pinhão.....	7
03 a) Mapa de localização dos cortes CPa; b) Mapa de localização dos perfis PPI.....	8
04 Distribuição dos perfis PPI ao longo da estrada Pinhão-Dois Pinheiros.. ..	9
05 Coluna lito-estratigráfica da Formação Serra Geral no Paraná ..	18
06 a) Mapa geológico simplificado da Bacia Sedimentar do Paraná; b) Mapa geológico esquemático de parte da região central da Bacia Sedimentar do Paraná	19
07 Desenho esquemático do corte CPa I	49
08 Desenho esquemático do perfil PPa Ila	64
09 Desenho esquemático do perfil PPa Iib.....	67
10 Desenho esquemático do perfil PPI I.....	75
11 Desenho esquemático do perfil PPI II.....	82
12 Desenho esquemático do perfil PPI III.....	85
13 Representação gráfica em barras da textura encontrada em Palmas e Pinhão	94
14 Classificação textural dos perfis da área.....	95
15 Difrátogramas de argilas dos horizontes B e C1 do Corte CPa I.	102
16 Difrátogramas de argilas dos horizontes C3 e C9 do Corte CPa I	103

17	Difratograma de argila do horizonte B do Perfil PPa IIa	104
18	Difratograma de argila do horizonte B do Perfil PPI I.....	104
19	Difratogramas de argilas dos horizontes B e C2 do Perfil PPI II..	105
20	Difratogramas de argilas dos horizontes B e C2 do Perfil PPI III	106
21	Evolução vertical e lateral da alteração no corte CPa I.....	162

LISTA DE QUADROS

01	Aspectos petroquímicos dos litotipos ATP e ATC.....	20
02	Unidades de relevo, pedotipos e usos do solo.....	35
03	Os horizontes dos cortes CPa e os estágios de alteração.....	110
04	Os horizontes dos perfis PPI e os estágios de alteração.....	127

LISTA DE TABELAS

01	Dados granulométricos do Corte CPa I.....	91
02	Dados granulométricos do Perfil PPa IIa.....	91
03	Dados granulométricos do Perfil PPa IIb.....	92
04	Dados granulométricos dos Perfis PPI.....	93
05	Teores dos elementos químicos analisados no corte CPa e perfil PPa lib	97
06	Teores dos elementos químicos analisados no perfil PPI III.....	97

LISTA DE FOTOS

01	Arroio próximo a PPI II em período de cheia.....	5
02	Relevo suave-ondulado da região de Pinhão.....	23
03	Relevo suave-ondulado da região de Palmas.....	23
04	Feições circulares decorrentes da alteração do contato das rochas básicas e ácidas.....	24
05	Vale de fundo aplainado na região de Palmas.....	25
06	Ravinamento na região de Palmas.....	37
07	Foto-montagem do corte CPa I.....	48
08	Plano de falha observado no corte CPa I.....	50
09	CPa I: feição em mosaico em C5.....	52
10	CPa I: formas poligonais ocre e violáceas presentes em C5.....	52
11	CPa I: estrutura bandada (bandas largas) plano-paralela em C8b	53
12	CPa I: estrutura bandada suave-côncava observada em C10.....	53
13	Vista geral do perfil PPa IIa	64
14	Vista geral do perfil PPa IIb.....	67
15	PPa IIb: detalhe da linha de geodos de sílica decimétricos.....	68
16	Perfil PPI II: Latossolo Bruno exibindo nível de plaquetas silíceas	78
17	Perfil PPI III: Cambissolo contendo nível de pedotúbulos e de concreções em C3.....	84
18	PPI III - detalhe dos pedotúbulos.....	86

LISTA DAS FOTOMICROGRAFIAS

As fotomicrografias são mencionadas no texto e abreviadas pela iniciais

FMG

FMG 01	Rocha microgranofírica bruno amarelada do corte CPa I.....	112
FMG 02	Detalhe da FMG 01: piroxênios e opacos preervados.....	112
FMG 03	PPa IIa - rocha microcristalina com abundante produto amorfo	113
FMG 04	Corte CPa II - alteroplasma com pseudomorfose de feldspato, LN	113a
FMG 05	Corte CPa II - alteroplasma com pseudomorfe de feldspato, LP.....	113a
FMG 06	PPa II - matriz bruno amarelado com produtos amorfos.....	115
FMG 07	Matriz alteroplásmica verde amarelada com oxidróxidos de Fe em CPa I.....	115
FMG 08	Alteroplasma bruno amarelo com macropórfiros em PPa IIa - C3.....	117
FMG 09	Alteroplasma ocre microgranular em CPa I - C6.....	118
FMG 10	Alteroplasma ocre microgranular em CPa I - C7.....	118
FMG 11	Macropórfiro irregular e ferruginizado (bruno escuro) em CPa I - C8b	119
FMG 12	Alteroplasma ocre-alaranjado no corte CPa I - C9.....	119
FMG 13	Alteroplasma ocre com pórfiros arredondados em CPa I - C10	120
FMG 14	Alteroplasma bruno amarelado com caolinita em PPa IIa - C4	121
FMG 15	Detalhe da FMG 14: caolinita bem desenvolvida.....	121
FMG 16	Alteroplasma bastante argilizado de cor ocre, em CPa I - C1...	123
FMG 17	Alteroplasma amarelo-ocre com pórfiros subarredondados CPa I - C2.....	123
FMG 18	Pórfiro de mineral silicoso bastante fraturado, em CPa I - C2...	124
FMG 19	Alteroplasma bruno avermelhado em CPa I B.....	125
FMG 20	Estrutura plásmica com restos orgânicos em CPa I - A.....	125

FMG 21	Pórfiro caolinizado e microfissurado em PPa IIb - B.....	126
FMG 22	Microagregação plásmica com abundante oxidróxidos de Fe...	126
FMG 23	Alteroplasma microcristalino verde-amarelado em PPI II - C5...	128
FMG 24	Macropórfiro de feldspato fissurado em PPI II.....	129
FMG 25	Alteroplasma bruno avermelhado e verde esbranquiçado em PPI II - C5.....	129
FMG 26	Alteroplasma microcristalino vermelho do nível de alteração III	131
FMG 27	Macropórfiro de feldspato em PPI II - C3, LN.....	131
FMG 28	Macropórfiro de feldspato em PPI II - C3, LP.....	132
FMG 29	Alteroplasma microcristalino em PPI II - C3.....	132
FMG 30	Gibbsitização no alteroplasma de PPI II - C4.....	133
FMG 31	Alteroplasma criptocristalino em PPI II - C2.....	134
FMG 32	Plaquetas silicosas em PPI II - C2.....	135
FMG 33	Horizonte A do perfil PPI III - plasma vermelho vivo com macropórfiros	136
FMG 34	Detalhe dos macropórfiros da FMG - 33.....	137

LISTA DE PRANCHAS

01	Argilominerais do grupo da Caolinita.....	107
02	Argilominerais de Gibbsita.....	108
03	Alteração em Feldspatos.....	146
04	Minerais do Grupo da sílica - morfologias.....	150
05	Minerais do Grupo da sílica - tipos de alteração I.....	151
06	Minerais do Grupo da sílica - tipos de alteração II.....	152
07	Óxidos de Fe e de Ti secundários.....	153

RESUMO

As rochas vulcânicas ácidas de tipo Palmas (ATP) e as de tipo Chapecó (ATC) de composição geral riolítico-riodacíticas, que ocorrem esparsamente na Bacia do Paraná, desenvolveram respectivamente nas áreas de Palmas e de Pinhão, na região centro-sul do estado homônimo, coberturas de alteração diferenciadas.

No presente trabalho foi feito um estudo bidimensional das coberturas pedológicas em determinados cortes de estrada e perfis de alteração nas referidas áreas de estudo. Através de caracterizações morfológicas, micromorfológicas e mineralógicas objetivou-se analisar a gênese e evolução destes materiais, verificar os tipos de solos encontrados e os processos geoquímicos envolvidos.

Os cortes de estrada analisados em Palmas - CPa I e CPa II - ocorrem associados a um relevo suavemente ondulado, em colina de topo amplo e aplainado e vertentes mais curtas do que em Pinhão, cujos perfis de alteração - PPI I, PPI II e PPI III - encontram-se em um relevo suave a moderadamente ondulado e situam-se no topo e na média vertente.

A análise mineralógica da fração argila revelou a presença de caolinita, goethita e hematita em Palmas, e de caolinita, gibbsita e hematita em Pinhão. Em Palmas foram encontradas coberturas Litossólicas (CPa I) e coberturas brunas associadas a Cambissolos (CPa II), de meio subtropical de altitude; os perfis de

Pinhão apresentam cores um pouco mais avermelhadas, presentes em solos de tipo Latossolo Bruno (PPi II), Cambissolo (PPi III) e Terra Bruna (PPi I).

Na região dos campos de Palmas, verificam-se solos rasos e pedregosos ao longo dos topos de vertentes; no setor planáltico de Pinhão os solos relativamente mais profundos, encontram-se nos topos e no terço superior de vertentes mais alongadas. Nesses perfis observa-se uma menor proporção de minerais primários alteráveis, a formação de caolinita associada a gibbsita e um aumento significativo do teor de argila.

A hidrólise foi o processo geoquímico atuante e sua evolução foi ditada pela hidrodinâmica que, favorecida pela presença de discontinuidades como estruturas bandadas plano-paralelas e planos de falha e de fraturas, provocou perdas absolutas em todos os elementos, em proporções variadas. Acúmulos relativos de Al, Si e Fe se fizeram notar particularmente através da ocorrência de nódulos e pedotúbulos silicoferruginosos com incrustações aluminoferruginosas (em PPi III), de gibbsita (perfis PPi), e de plaquetas de sílica (nos cortes CPa e nos perfis PPi I e PPi II).

ABSTRACT

Palmas (ATP) and Chapecó (ATC) type acid volcanic rocks of riolitic and riodacitic general composition sparsely found in Paraná Basin developed respectively in the area of Palmas and Pinhão, center-southern region of the state of Parana, differentiated alteration covers.

A bidimensional investigation of pedological covers in some alteration cuts and profiles in the aforementioned areas was carried out in this thesis. The aim of this study was to analyze the origin and evolution of these materials and verify the types of soils and the geochemical processes through mineralogical, morphological and micromorphological characterization.

The CPa I and CPa II road cuts analyzed in Palmas occur associated with slightly undulated soil relief in hills with wide flat tops and slopes shorter than those of Pinhão, whose profiles - PPI I, PPI II and PPI III - occur in a slightly to moderate undulated soil relief on the hill tops and in the middle slopes.

The clay fraction mineralogical analysis revealed the presence of kaolinite, goethite and hematite in Palmas and of kaolinite, gibbsite and hematite in Pinhão. In the first case, preferably brown-yellowish covers associated to Litossol (CPa I) and Cambissol (CPa II), from subtropical highlands, were found. The Pinhão profiles present more reddish colors associated to Cambissol (PPI III), Brown Soil (PPI I) and Brown Latossol (PPI II).

In the Palmas region, plain fields and rocky soils distributed on the top of the slopes, were verified; in the planaltic region of Pinhão the soils are relatively deeper, founded generally on the top of the long slopes. In these profiles decrease of lithoremaines (less alterable primary minerals), caolinite and gibbsite association and clay fraction increase, were observed.

Hidrolisis is the geochemical process acting and its evolution was dictated by hydrodynamics which favored by discontinuities such as parallel-flat-band and fissure-fracture-flat structures that caused absolute losses in all elements of varied rates. Relative Al, Si and Fe accumulations were observed through the occurrence of silicon-iron nodules and pedotubules with aluminum-iron crusts (in PPI III profile) and silica plaques (in CPa cuts and PPI I and PPI II profiles).

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Nos trabalhos realizados até o momento sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, em particular nos referentes à Formação Serra Geral, verifica-se uma vasta literatura pertinente às rochas vulcânicas básicas, não ocorrendo o mesmo com os equivalentes ácidos.

A estratigrafia da Formação Serra Geral é composta por derrames básicos intercalados por rochas ácidas do tipo riolitos, riodacitos e quartzo-latitos, derivados da contaminação subcrustal daquelas basálticas, sendo todos de idade Juro-Cretácica. Os derrames ácidos ocorrem esparsamente na Bacia do Paraná, desde a região centro-oeste do Estado do Rio Grande do Sul até o sudeste do Estado de São Paulo, com ocorrências isoladas em Santa Catarina e Paraná.

A bibliografia até agora disponível sobre as rochas vulcânicas ácidas tem-se restringido aos estudos petrológicos e geoquímicos, e trabalhos dessa natureza realizados na década de 70 enfocaram preferencialmente as ocorrências dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A partir da década de 80, alguns estudos foram realizados no Paraná e em São Paulo, sob o enfoque petroquímico e tectono-estratigráfico. No início dos anos 90, estudos ambientais e dos recursos minerais foram realizados no Estado do Paraná, mas muito pouco surgiu sobre a alteração dessas rochas.

No que se refere aos trabalhos pedológicos, a grande maioria aborda a pedogênese e alteração desenvolvida em rochas basálticas ou tratam das rochas da Formação Serra Geral como um todo; neste último caso, tem havido um maior número de publicações voltadas para as ocorrências sul-riograndenses.

Partindo destas constatações, o presente trabalho tem o intuito de abordar a gênese e a evolução das coberturas pedológicas desenvolvidas sobre as rochas vulcânicas ácidas mesozóicas da região centro-sul do Estado do Paraná. Este trabalho é parte integrante de um outro maior, que visa estudar as coberturas de alteração das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná, e que ainda está sendo desenvolvido por pesquisadores do IG/USP.

Os estudos que envolvem a distribuição e a evolução dos materiais de alteração foram realizados nas cercanias de Palmas (cortes CPa I e CPa II, tendo sido esse subdividido nos perfis PPa IIa e PPa IIb) e Pinhão (perfis PPi I, PPi II e PPi III). As litologias-fonte são denominadas respectivamente de ácidas tipo Palmas (ATP) e ácidas tipo Chapecó (ATC), de composição geral riolito-riodacítica, conforme citações de BELLIERE *et al.* (1984a, b e 1986a, b).

Objetivos

Este trabalho propõe uma caracterização morfológica, micromorfológica e mineralógica dos produtos de alteração das rochas vulcânicas ácidas das regiões de Palmas e Pinhão, no Estado do Paraná, a fim de estabelecer:

- a paragênese mineral da fração argila nos cortes e perfis estudados, com o propósito de explicar diferenciações da gênese e evolução dos materiais de ambas as localidades;

- os tipos de solos encontrados e os processos de alteração geoquímica envolvidos;
- a importância do processo geoquímico na configuração e distribuição dos horizontes de alteração.

Escolha da Área

As regiões de Palmas e Pinhão foram escolhidas em função de: a) apresentarem rochas vulcânicas ácidas mesozóicas, praticamente inexploradas; b) estarem inseridas no contexto pedogeológico das coberturas lateríticas da Bacia do Paraná, cujos estudos vêm despertando maior dedicação por parte dos profissionais das áreas do conhecimento da Geologia, Geografia e Agronomia, com particular interesse por parte da EMBRAPA, de União da Vitória, PR; c) apresentarem condições favoráveis de acesso; d) constituírem áreas de interesse para a expansão urbana e principalmente para o uso agrícola local.

Situação Geográfica e Acesso

A área em questão encontra-se na parte central da Bacia Sedimentar do Paraná (Figura 01), na região S-SW do estado homônimo (Figura 02), estando limitada pelas coordenadas geográficas: 25°30' a 26°30' de latitude sul e 51°30' a 52°30' de longitude oeste de Greenwich. Dos pontos de estudo e amostragem localizam-se três em Palmas e três em Pinhão.

Os materiais de Palmas (Figura 03a) situam-se ao longo da estrada Palmas-Clevelândia (PR 449); o corte CPa I localiza-se exatamente no km 41, e o corte CPa II (que contém os perfis PPa IIa e PPa IIb), situa-se a 600m de CPa I, no sentido Palmas-Clevelândia. A altitude média entre os cortes CPa I e CPa II (separados apenas de 600m na mesma estrada) é de

1060m. O corte CPa I encontra-se cerca de 500m da foz do rio da Dama, que é afluente do rio Chopim (o principal curso d'água do extremo sul do Estado do Paraná). A principal via de acesso é feita pela rodovia BR-280 que acompanha o limite estadual entre os Estados do Paraná e Santa Catarina.

Os perfis PPI I, PPI II e PPI III (Figura 03b) foram descritos ao longo da estrada Pinhão-Dois Pinheiros (vide Figura 04), encontrando-se em barrancos de estrada menores que constituem na verdade perfis de alteração com altitude média em torno de 1030m. O perfil PPI II é o que está mais próximo de um curso d'água (cerca de 600m), um arroio afluente do rio Butiá (Foto 01), que corta a estrada Pinhão-Dois Pinheiros. O acesso principal é feito pela rodovia PR-12, que liga o norte ao leste do Estado do Paraná.

Foto 01 – Arroio afluente do rio Butiá (perpendicular a estrada Pinhão - Dois Pinheiros) em período de cheia (chuvas de abril/1998), onde se observa um processo erosivo mais intenso das margens, que preservam resquícios da mata ciliar.

Figura 01: Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Paraná no Brasil
(Fonte: NARDY, 1995).

Figura 02: Mapa de localização das quadriculas de Palmas e Pinhão, PR

Figura 04 - Perfil topográfico: Localização de PPI-I, PPI-II e PPI-III na estrada Pinhão-Dois Pinheiros.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GERAIS

1. TRABALHOS ANTERIORES

A bibliografia contendo estudos sobre a alteração de rochas vulcânicas ácidas da Bacia do Paraná é razoavelmente escassa, e em particular sobre as ocorrências dessas rochas no Estado do Paraná.

As rochas vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná fazem parte de uma das maiores expressões de rochas efusivas ocorridas na superfície terrestre, perfazendo cerca de 75% da área de exposição desta bacia. De acordo com BELLIERE *et al.*, (1986a, b) este vasto derrame vulcânico é composto pelos seguintes litotipos: 90% em volume de rochas basálticas, 7% em volume de rochas intermediárias e 3% em volume de rochas ácidas.

Os estudos da petrografia e geoquímica que NARDY *et al.*, (1986/87, 1988) e NARDY (1993, 1995) têm realizado nas rochas vulcânicas da Bacia do Paraná são importantes referenciais geológicos para o entendimento dos processos e formas de alteração ocorridos na área. Um importante aspecto salientado por NARDY (1995) é a presença de um “acamamento ígneo de atitude horizontal persistente e que mais se sobressai” nas rochas vulcânicas ácidas, da região central da Bacia Sedimentar do Paraná, possivelmente associado à viscosidade, distribuição superficial e estruturas gerais de fluxo destas rochas. Esta

feição foi melhor observada no corte CPa I, em relação aos demais perfis estudados. No presente trabalho tal feição foi denominada de estrutura bandada plano-paralela.

Os principais trabalhos enfocando a intemperização (processos geoquímicos, evolução mineral e formação de solos) em rochas vulcânicas ácidas da Bacia do Paraná, e que são pertinentes ao propósito desta pesquisa foram citados a seguir.

Mineralogia e processos geoquímicos envolvidos

MENEGOTTO & GASPARETTO (1987) e posteriormente GASPARETTO (1990) realizaram estudos sobre a alteração de rochas vulcânicas ácidas na região central do Rio Grande do Sul (proximidades de Santa Maria), enfocando as formas de alteração, a mineralogia e os processos geoquímicos correlatos. A alteração teria se processado de forma concêntrica (em blocos) e em perfis verticais (onde a rocha encontra-se diaclasada e/ou com vesículas). Entre a paragênese mineral (primária e secundária) possível de ser encontrada, este último autor afirmou ter observado as seguintes transformações:

- piroxênios, vidro, plagioclásios → esmectitas + produtos amorfos + (goethita);
- feldspato alcalino → caolinita + illita + produtos amorfos;
- magnetita → produtos amorfos, goethita.

De acordo com GASPARETTO (*op. cit.*), a mineralogia secundária, associada à drenagem deficiente naquela região, levou ao domínio do processo de bissialitização.

A tese de doutoramento de CLEMENTE (1988) constitui um raro registro do material de alteração desenvolvido sobre as rochas vulcânicas

ácidas do Paraná (na região de Pinhão, PR), o qual para o autor teria uma evolução *in situ*, similar ao das rochas básicas. O autor observou que os macrocristais de plagioclásio (fenocristais) alteram-se diretamente para gibbsita, e os microgrãos para amorfos + caolinita + gibbsita. Os piroxênios invariavelmente formam estruturas do tipo *box-works*, de composição Fe-aluminosa (goethita, com gibbsita cristalizada ao longo das clivagens e microfraturas). Segundo o autor a conjugação de fatores climáticos e mineralógicos, aliados ao caráter predominantemente álico dos solos, levou à predominância do processo de alitização.

Recentemente COSTA (1996) investigou os efeitos dos fatores formadores de solos na gênese e distribuição de óxidos de Fe e argilominerais, derivados da intemperização de rochas vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná, em particular as ocorrências do oeste-noroeste paranaense. Foi constatado que as rochas ácidas-intermediárias (quartzo-latitos, riodacitos, dacitos e lati-andesitos) apresentaram em geral teores de SiO_2 maiores do que 53%, estando preferencialmente situadas nas altitudes maiores (como é o caso das ocorrências dos litotipos ATP verificados em Palmas). Caolinita foi o argilo-mineral dominante, associada a quantidades variáveis de vermiculita e/ou esmectitas. A goethita foi o principal óxido de Fe, mas teores de hematita aumentaram com a intensificação da alteração. A substituição de Al por Fe (mais baixa nas rochas ácidas/intermediárias) foi explicada pela presença de gibbsita e pela diminuição do pH do solo.

ROSOLEN (1996) organizou um banco de dados, inventariando informações sobre mineralogia, dados físicos, químicos e morfológicos das rochas vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná (BSP), visando confeccionar cartas pedogeoquímicas, para analisar a distribuição dos solos derivados de derrames básicos e ácidos e os processos de alteração hidrolítica correlatos. A autora concluiu que a hidrólise verificada na Bacia do Paraná foi variada: em ambiente laterítico, na parte norte, caracteriza-se por processo monossialítico e alítico, e na parte sul

é bissialítico (verdadeiro e aparente). Foram definidos três domínios de alteração quanto ao grau de saturação: saturado (região SW do Estado do Rio Grande do Sul), dessaturado (região do Alto Paraná) e aluminizado (planaltos sulinos: região oeste dos estados de Santa Catarina e Paraná).

Solos

CURI *et al.* (1984) observaram a distribuição de solos derivados de vulcânicas ácidas e básicas nas encostas da região nordeste do Rio Grande do Sul, e concluíram que os solos do primeiro grupo encontram-se nas encostas superiores, apresentando matizes mais amareladas, caráter ácido e caolinita, argilominerais cloritizados e goethita com alta substituição de Al (21mol%). Os solos derivados dos derrames básicos concentram-se nas encostas inferiores, têm matizes mais avermelhadas e saturação de bases mais elevadas; contêm caolinita, argilominerais menos cloritizados, hematita (6 mol%) e goethita (13 mol%).

KAMPF & DICK (1984) estudaram a presença de óxidos de Fe em solos brunos (os mais comuns dos derrames ácidos), também na região nordeste do Rio Grande do Sul. Especificamente sobre Cambissolos, verificaram a dominância de goethita, nos horizontes B, ferropans (placas de solos endurecidas por óxidos de Fe) e nas crostas (grânulos, concreções ou nódulos de óxidos de Fe); a substituição de Al por Fe neste mineral é maior nos horizontes B incipientes. Lepidocrocita por vezes ocorre em certos ferropans. A formação de goethita em crostas e ferropans é condicionada a ambiente hidromórfico onde há migração lateral de Fe, que precipita por oxidação, havendo baixa substituição de Al.

Até o presente momento, o que há de mais recente sobre classificação pedológica do Estado do Paraná é a publicação da EMBRAPA/IAPAR (1984), que observou para a área de abrangência de

Palmas e Pinhão, os seguintes tipos de solos: Latossolo Vermelho Escuro, Latossolo Roxo, Latossolo Bruno, Terra Roxa estruturada, Terra Bruna estruturada, Podzólico Vermelho Amarelo, Brunizem avermelhado, Cambissolo, Solos Hidromórficos Gleizados, Solos Orgânicos e Solos Litólicos. Esta área é limitada ao norte pelo paralelo 25°00' de latitude sul, ao sul com o Estado de Santa Catarina, e com os meridianos 51°00' e 52°30'; apresenta superfície de 25.280km², que corresponde a cerca de 13% do território paranaense.

As unidades pedológicas mais representativas, caracterizadas pela EMBRAPA/IAPAR (1984) para a região centro-sul do Estado do Paraná, encontram-se abaixo resumidas.

Latossolo Vermelho Escuro: A proeminente (40 a 60 cm espessura), textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia e relevo suave ondulado. Ocorre normalmente em perfis pouco profundos com certa cerosidade no horizonte B e em perfis com horizonte A menos espessos e menos escuros. São solos ácidos, com pequena quantidade de nutrientes; apresentam alto teor de matéria orgânica (6%) e são bem supridos de água. Foram identificados em duas manchas pequenas situadas na parte NE da área considerada.

Latossolo Roxo: A proeminente (40 cm espessura), textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia e relevo suave ondulado. Estes solos têm alta saturação com Al trocável, mas são normalmente utilizados para agricultura com cultivos rotativos anuais, apesar da baixa fertilidade natural, com elevada deficiência em P. Ocorrem em pequenas manchas na parte norte e oeste da área.

Latossolo Bruno: A proeminente (30 a 60 cm espessura), textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia e relevo suave ondulado; apresenta estrutura granular fortemente desenvolvida, com transição

gradual e plana para o horizonte B (que tem espessura variando de 150 a 180 cm). Estes solos têm baixa fertilidade natural, sendo ácidos e com alta teor de Al trocável. Encontram-se nas partes mais elevadas e planas da paisagem, na forma de manchas isoladas, distribuídas em uma faixa que passa de Entrerrios a Pinhão.

Terra Bruna estruturada: A proeminente (40 cm espessura), textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado com vertentes curtas. Tem alta saturação de Al trocável nos horizontes A e B, sendo que a transição entre ambos é clara. Em B a textura é muito argilosa com cerosidade fraca a moderada. Apresenta fertilidade natural baixa, com elevados teores de Al trocável. Estes solos ocupam uma área significativa da região centro-sul, nas proximidades de General Carneiro, Pinhão e Colônia Vitória, na parte leste da área considerada.

Podzólico Vermelho Amarelo: A moderado, textura argilosa ou média e textura argilosa em B, fase floresta perenifólia em relevo ondulado. A transição de A para B é clara e abrupta. Ocorre em duas manchas pequenas junto ao limite nordeste da área.

Brunizem avermelhado: Solo raso, textura argilosa, fase pedregosa floresta tropical subperenifólia, em relevo fortemente ondulado a montanhoso. Formou-se a partir de rochas vulcânicas básicas, que forneceram cores vermelho-escuro acinzentadas. São porosos, bem drenados e muito férteis.

Cambissolo: A proeminente (50 cm espessura), textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia e relevo ondulado (substrato rochoso do derrame basáltico). O horizonte superficial é cinzento muito escuro, tem baixa saturação de bases e estrutura granular fortemente desenvolvida; o horizonte B (30 a 50 cm espessura) é bruno amarelado escuro, com estrutura em blocos subangulares fracamente desenvolvida,

sendo comum a presença de minerais primários como calcedônia, também encontrada em C. Tem baixa fertilidade natural em solos pouco profundos, sem deficiência d'água. Sua ocorrência é generalizada mas com concentrações particulares nos quadrantes SW e NE, nos limites do Terceiro Planalto.

Solos Hidromórficos: Textura argilosa, fase campo a floresta de várzea, relevo plano, com melhor drenagem em alguns poucos locais. São solos não homogêneos que apresentam diversos graus de saturação de bases. Em geral distribuem-se em áreas mal drenadas, ocupando as várzeas de rios, como o Iguaçu.

Solos Orgânicos: Fase campo tropical de várzea, em áreas abaciadas de relevo plano; são solos ácidos, de baixa fertilidade natural, apresentando alta saturação com Al trocável. O excesso d'água constitui a principal limitação à agricultura. São provenientes principalmente de sedimentos orgânicos vegetais de deposição quaternária.

Solos Litólicos: A proeminente (20 a 40 cm espessura), preto ou bruno muito escuro, textura argilosa, fase floresta subtropical subperenifólia, relevo suave ondulado de vertentes curtas. Este horizonte apresenta estrutura granular moderada a fortemente desenvolvida, estando assentado sobre substrato rochoso de derrame basáltico ou camada de horizonte B incipiente.

Os cortes e perfis estudados, respectivamente nas áreas de Palmas e de Pinhão, revelaram a ocorrência dos seguintes tipos de solos: Litossolo no corte CPa I, Cambissolo nos perfis PPa IIa e PPa IIb, Terra Bruna no perfil PPi I, Latossolo Bruno no perfil PPi II e Cambissolo no perfil PPi III. A descrição dos referidos solos encontra-se no próximo item.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

GEOLOGIA

O estudo geológico da região de Palmas e Pinhão revela a presença de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, da Bacia do Paraná, conforme cita NARDY (1995). Estas rochas correspondem a uma associação de derrames básicos e intermediários com derrames ácidos do tipo Palmas - ATP e Chapecó - ATC, conforme mostra a Figura 05.

A distribuição das ocorrências litológicas, do Paleozóico inferior ao Mesozóico superior, bem como as feições tectônicas correlatas, presentes no segmento sul da Bacia do Paraná encontram-se ilustradas na Figura 06a. Com mais detalhe, o mapa geológico esquemático da Figura 06b exhibe preferencialmente as ocorrências vulcânicas situadas na região centro-sul do Estado do Paraná, foco central deste estudo.

As litologias ácidas do tipo ATP e ATC foram classificadas por BELLIERE et al., (1984a, b, 1986a, b), como sendo respectivamente riolito/riodacitos de cor cinza clara, e riolito/riodacitos e quartzo latitos com cores variando do cinza amarelado ao esverdeado. Suas características petrológicas e mineralógicas estão compiladas no Quadro 01.

Figura 05: Coluna litoestratigráfica da Formação Serra Geral (Fonte: NARDY, 1995)

Figura 06 A - Mapa geológico simplificado da Bacia Sedimentar do Paraná: 1 - Embasamento Cristalino pré-Ordoviciano; 2 - sedimentos pré-vulcânicos predominantemente Paleozóicos; 3 - Rochas vulcânicas básicas-intermediárias (Formação Serra Geral); 4 - rochas vulcânicas ácidas (Formação Serra Geral): 4a - ácidas tipo Palmas - ATP e 4b - ácidas tipo Chapecó - ATC; 5 - Sedimentos pós-vulcânicos do Cretáceo superior (Grupo Bauru); 6 - estrutura de arco: arcos de Ponta Grossa e Rio Grande; 7 - estrutura em sinclinal (sinclinal de Torres); 8 - Alinhamentos tectônicos (fonte: NARDY, 1995, modificado).

B - Mapa geológico esquemático da região centro-sul do Estado do Paraná:
 1 - spK: sedimentos pré-vulcânicos; 2 - JKSGb: unidade básica inferior;
 3 - JKSGc: unidade ácida constituída predominantemente por rochas vulcânicas
 tipo ATP; 4 - JKSGcII: unidade ácida constituída predominantemente por
 por rochas vulcânicas tipo ATC. (FONTE: NARDY et al. 1986/87).

Quadro 01 – Quadro-resumo dos aspectos petro-geoquímicos dos litotipos ATP e ATC (conforme compilação feita a partir de NARDY *et al.* 1986/87 e NARDY, 1995).

	ATP	ATC
Espessura máxima do derrame	Aflora a partir da cota 800m até 1100m na região centro-sul da BSP (KULLER, 1984), podendo atingir uma espessura máxima de 300m.	Aflora a partir da cota 650m até 1100m na região centro-sul da BSP (KULLER, 1984), com espessuras irregulares, que podem atingir 250m.
Cor e Textura	A cor original cinza-claro a médio, quando alterada, muda para tons róseos com pintas esbranquiçadas, assumindo assim uma textura "sal e pimenta" Quando são, a textura é vitrofírica (textura de resfriamento rápido) e granofírica, apresentando esta micro e meso-fenocristais de 0,1-2,0mm, que ocupam até 5% do volume total.	A cor, originalmente cinza-claro esbranquiçado a esverdeado, torna-se arroxeadada a castanha (influência de óxidos de Fe). Os macrofenocristais (>2mm) que caracterizam a textura granofírica são em geral zonados, com núcleo mais cálcico. A textura de resfriamento rápido está associada à matriz afanítica.
Mineralogia	<u>fenocristais:</u> plagioclásio (andesita e labradorita), augita, pigeonita, opacos, apatita, (hipersteno). <u>matriz:</u> quartzo e feldspato alcalino em intercrescimento micrográfico, plagioclásio, piroxênio, Ti-magnetita, ilmenita, (apatita).	<u>fenocristais:</u> plagioclásio, augita, pigeonita e Ti- magnetita. <u>matriz:</u> quartzo e feldspato alcalino em intercrescimento micrográfico, plagioclásio, piroxênio, Ti-magnetita, ilmenita, apatita.
Petroquímica	-T°C de cristalização das principais fases minerais: > 1000°C -mais toleítico -baixo TiO ₂ (< 2% em peso); -baixo Ba, La, Ce, Sr, Zr; (pobres em elem. incompatíveis) -% SiO ₂ = 65,8-72,0 (69,2-70,7); -ricos em Rb, Y; -associados com basaltos de baixo TiO ₂ (BBT). - BBT→fase andesítica→ATP	-T°C de cristalização das principais fases minerais: > 1000°C -medianamente alcalino; -alto TiO ₂ (>= 2% em peso) -alto Ba, La, Ce, Sr, Zr; (ricos em elem. incompatíveis) -% SiO ₂ = 63,6-65,3; -pobres em Rb, Y; -associados com basaltos de alto TiO ₂ (BAT). BAT→ATC
Estrutura do derrame	bandas plano-paralelas, indicativas do fluxo de lava, levemente contorcidas.	bandas onduladas com inúmeras linhas de fluxo, com no máximo 2cm de espessura e grande continuidade lateral.

GEOMORFOLOGIA E TECTÔNICA

A partir da classificação dos grandes tratos geomorfológicos e geológicos do sul do Brasil, as áreas de Palmas e Pinhão fazem parte dos platôs internos arenobasálticos (VOLKOFF *et al.*, 1979), que estão inseridos no reverso da serra da Esperança, denominação regional da Serra Geral no

Estado do Paraná. Em uma escala maior de aproximação a referida área encontra-se na região geográfica do Terceiro Planalto ou Planalto de *Trapp* do Paraná. A região de Pinhão está inserida no planalto de Guarapuava e a de Palmas, nas vertentes do planalto de Palmas, estando delimitados respectivamente pelas bacias dos rios Piquiri e Iguaçu (EMBRAPA/IAPAR, 1984).

As altitudes variam de 1000 a 1200m., e as formas onduladas são resposta aos altos e baixos estruturais regionais, apresentando mergulho das camadas para NW e SW e fraturamentos NW-SE, coincidentes com a distribuição das rochas vulcânicas ácidas.

O planalto de Palmas, com maior altitude, encontra-se mais dissecado, com vertentes curtas, solos rasos e chão pedregoso, enquanto que o planalto de Guarapuava apresenta superfícies de cimeira mais conservadas; ambos apresentam um sensível rebaixamento topográfico na direção oeste (RIBEIRO, 1989).

Toda a região encontra-se no domínio de um eixo de arqueamento negativo mergulhante de direção NW (PAIVA F^o *et al.*, 1982), ocorrendo um intenso fraturamento de direção preferencial NE de alto ângulo (AMARAL & CRÓSTA, 1983). Em Pinhão, dois domínios geomorfológicos foram identificados: a) suavemente ondulado (Foto 02) com drenagem finamente entalhada e solos espessos; b) medianamente ondulado por ação de basculamento tectônico, com solos pouco espessos. Segundo KULLER (1984), as rochas vulcânicas ácidas de tipo ATC costumam ocupar regiões de relevo plano a levemente ondulado, com drenagens pouco encaixadas, vales abertos e horizontes largos. A rocha, quando aflorante, ocorre na forma de matacões que apresentam superfície encaroçada, em virtude de macrocristais de feldspatos que se sobressaem na matriz afanítica. As direções estruturais por vezes coincidem com as linhas de fluxo da rocha ainda preservada, como as verificadas na região de Palmas (direção NW) ou as encontradas em Pinhão (bem menos preservadas), mas de direção NE.

Em Palmas o relevo suave-ondulado a ondulado (Foto 03) é condicionado por feições tectônicas (fraturamento subvertical intenso com deslocamento em lages delgadas e blocos facetados) e por rochas de maior resistência intempérica, como os minerais do grupo da sílica (calcedônia e quartzo). As rochas ATP, que ocorrem principalmente na parte sul do rio Iguaçu, em geral sotopostas às de tipo ATC, de acordo com KULLER (1984), costumam exibir no contato com as rochas basálticas amigdaloidais, níveis centimétricos a decimétricos de vidro vulcânico. Tais níveis, quando em processo de alteração, produzem no terreno formas circulares com linhas irregulares multicoloridas, que aparentam estratificações subverticalizadas (Foto 04), e conforme observado em alguns pontos, nos cortes de estrada ao longo da PR-449.

O relevo planáltico da região de Palmas apresenta colinas baixas com elevações de altitudes relativas da ordem de 50 a 100m, respectivamente com declives compreendidos entre 3 e 8%. Estas colinas apresentam em geral vertentes convexizadas, às vezes separadas por vales estreitos de fundo plano, onde invariavelmente aflora o lençol freático (Foto 05). Nos cortes de estrada destas colinas é comum aflorar material rochoso proveniente das rochas vulcânicas ácidas e básicas, bem como solos rasos do tipo litossolos e cambissolos.

Na região planáltica de Pinhão o relevo, que varia de suave a moderadamente ondulado, apresenta declividades que variam de 5 a 12%, em cujos terrenos ainda é possível o uso de tratores e colheitadeiras. O relevo é pouco movimentado e é formado por um conjunto de colinas com vertentes suave-convexizadas.

Foto 02 – Relevo suavemente ondulado dos campos de Pinhão, tomado rumo SW.

Foto 03 – Relevo suave ondulado da região de Palmas, exibindo *dale*.

Foto 04 – Feições circulares e semi-circulares decorrentes da alteração do contato das rochas basálticas com ácidas, verificadas na PR-449, na região de Palmas.

Em ambas as regiões, KULLER (1984) identificou a presença de *dales* ou lagos intermitentes, também identificados na PR 449, nas proximidades de Palmas (Fotos 03 e 05). Estas áreas alagadas, comuns nos platôs da região, comumente encontram-se adjacentes a lineamentos estruturais, sugerindo assim uma possível evidência do controle estrutural na evolução das feições geomórficas.

Foto 05 – Vale de fundo aplainado e ligeiramente rebaixado observado na margem esquerda da PR - 449 (sentido Palmas – BR-280), circundado por formas suavemente convexizadas.

DRENAGEM

Os planaltos da região são delimitados pelos divisores Piqueri-Iguaçu e Iguaçu-Uruguaí (CLEMENTE, 1988). Nas cercanias de Palmas encontram-se várias pequenas sub-bacias hidrográficas (Taipinha, Santa Bárbara, Visja, dos Portelas e da Dama) que convergem justamente para o ponto onde localizam-se os cortes CPa I e CPa II. A drenagem em geral apresenta direção NS e NW, alta densidade e padrão preferencialmente dendrítico e paralelo (Figura 03a). Segundo KULLER (1984), a maior densidade de drenagem encontra-se nos trechos médio e superior de alguns afluentes do rio Chopim (rios Estrela e Iratim), encaixados em rochas ácidas tipo Palmas.

As sub-bacias rio Capivara, rio da Caroba/Pinhãozinho e rio Tapera constituem as principais malhas hidrográficas da região de Pinhão, e abrangem a área contendo os perfis estudados. Estes rios são característicos de uma média

densidade de drenagem e padrão ortogonal a subortogonal (como já mostrara a Figura 03b), e todos desembocam no rio Pinhão (cerca de 13km ao norte da cidade homônima), que por sua vez deságua no rio Jordão, o principal curso d'água da região centro-sul do Estado do Paraná.

CLIMA

A caracterização climática da região de estudo é necessária para o entendimento das características da vegetação e dos solos, além de auxiliar na compreensão da dinâmica hidrológica e da produção agrícola, bem como dar luz ao conhecimento dos processos intempéricos atuais, quando possível.

Segundo a classificação de KOEPEN (In: EMBRAPA/IAPAR, 1984) verifica-se que há ligeiras mudanças climáticas na região de Palmas em relação à de Pinhão. No primeiro caso o clima é do tipo Cfb mesotérmico, subtropical úmido sem estação seca, sendo a média térmica anual de 15,6°C e a pluviosidade média anual de 1735mm. Em Pinhão, o clima é do tipo Cfa, ligeiramente mais quente e menos úmido, com temperatura média anual de 16,5°C e pluviosidade anual de 1517mm. Segundo KOEPPEN (In CLEMENTE, 1988), a temperatura média anual do mês mais quente, para o clima Cfb é < 22°C e para o mês mais frio é < 18°C; para o clima Cfa é respectivamente >22°C e <18°C.

Comparando-se os dados acima com os de RIBEIRO (1989) verifica-se uma pequena discrepância em relação aos dados pluviométricos de cada região. Para o autor a região dos campos de Palmas apresenta uma precipitação total média anual de 1950mm, ao passo que nos campos de Pinhão a precipitação total média anual seria de 1900mm. Segundo este autor são comuns ocorrências de elevadas pluviosidades no outono e na primavera e que, ligados ao seu lento deslocamento e à vigorosos anticiclones polares permitem uma acentuada queda na temperatura.

Conforme IAPAR (1978, *In* RIBEIRO, *op. cit.*), há uma relação direta entre as áreas de maior precipitação e os interflúvios Piqueri-Iguaçu (bloco planáltico de Guarapuava) e Iguaçu-Paraguai (bloco de Palmas), sendo maior neste último. Em um período de 10 anos (1976 a 1985) foram observados um período muito chuvoso no ano de 1983, com valores de precipitação que oscilaram entre 2500 e 3600mm, e um período seco no ano de 1985, quando se verificaram valores entre 800 e 1200mm.

Dados obtidos por RIBEIRO (1989) para o balanço hídrico indicam que na região de Guarapuava e Pinhão há deficiências hídricas mais acentuadas do que aquelas observadas em Palmas, considerando-se que os totais pluviométricos menores e as temperaturas mais elevadas aumentam a evapotranspiração potencial. Em Palmas, ao contrário, o número de meses com excedente hídrico resulta da própria condição mais chuvosa do planalto palmense.

VEGETAÇÃO

Segundo RIBEIRO (*op. cit.*), o estudo da vegetação natural de uma paisagem é bastante significativo, se considerarmos que a fitofisionomia influencia no potencial ecológico dos solos e da ação antrópica.

De acordo com AB'SABER (1970) os campos paranaenses estão incluídos no "domínio dos planaltos subtropicais recobertos por Araucárias e pradarias de altitude"; estas paisagens vegetais estariam condicionadas aos fatores litoestruturais e às associações paleoclimáticas Pós-Pliocênicas.

Em Palmas e em Pinhão a vegetação é composta por gramíneas baixas, pequenos bosques e capões e árvores e arbustos próximo à drenagem. Conforme MAACK (1968 *In* EMBRAPA/IAPAR, 1984), os campos de Pinhão são menos diversificados do que os de Palmas, que apresentam um grande número de espécies de gramíneas, capim-limão, barba-de-bode e vegetação arbustiva. A paisagem é portanto bastante monótona por vários quilômetros de extensão,

localizadamente interrompida por uma vegetação arbustiva e de maior porte, como as árvores nativas e araucárias que compõem a mata ciliar. A *araucaria angustifolia* ou pinheiro-do-Paraná geralmente situa-se nos terrenos mais dissecados mas também podem ocorrer nas superfícies de cimeira conservadas.

Esta mudança no panorama vegetal deve-se à proximidade com a drenagem, à associação com o relevo medianamente ondulado e por vezes ao afloramento do nível freático, nos baixios e nas quebras do relevo. RIBEIRO (*op. cit.*) afirma que o atual limite entre os campos e as matas de araucária é de difícil identificação, principalmente por causa da difusão da agricultura mecanizada, que promoveu uma homogeneização da paisagem regional.

A vegetação campestre no Estado do Paraná associada a solos provenientes de rochas vulcânicas ocorre somente na área do Terceiro Planalto, que abrange desde os campos de Guarapuava até os de Palmas. De acordo com RIBEIRO (1989), esta vegetação ocorre nas superfícies conservadas e dissecadas, sendo rara nas proximidades da escarpa da cuesta. Esse autor registra que no fundo de vales achatados e nos *dales* parcialmente colmatados, desenvolvem-se ervas e arbustos adaptados a ambiente brejoso ("banhados"), encravados nos campos abertos. As plantas arbóreas concentram-se no contato entre uma vertente côncava e o fundo plano de uma várzea ou em áreas pantanosas, podendo expandir-se para o interflúvio, ao longo dos cursos d'água ou nas matas-de-galeria.

SOLOS

Os solos (assim como a vegetação) constituem elementos da exploração da paisagem através da mobilização de fatores geológicos, climáticos e geomorfológicos que, juntamente com a atuação antrópica, permitem o entendimento de sua gênese e evolução, que constitui um dos propósitos deste trabalho. Para tal, é importante a compreensão de suas características morfológicas e de sua distribuição espacial, que serão melhor exploradas em capítulos seguintes.

As informações básicas sobre os solos encontrados nas áreas de Palmas e de Pinhão, foram obtidas do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA/IAPAR, 1984). Uma descrição sumarizada das principais características físicas dos solos estudados nesta região encontra-se abaixo registrada.

Litossolo

Está associado às áreas de relevo mais dissecado pela rede de drenagem. Embora não estejam associados às declividades altas (ao contrário, ocorrem em declividades de até 8%), estes solos apresentam restrição de uso agrícola em decorrência da elevada pedregosidade. Para a pedregosidade total deste tipo de solo foram levados em conta os fragmentos de rocha alterada no interior do corte (horizontes C3, C4), e os fragmentos de minerais silicosos (quartzo e/ou calcedônia) observados nos horizontes superiores (Horizontes B e C1), em CPa I. De acordo com RIBEIRO (1989), este tipo de solo é bastante ácido e tem alta saturação de alumínio trocável, além da alta pedregosidade e da pequena profundidade efetiva que prejudica o armazenamento hídrico. As pastagens nativas constituem, desta forma, a principal forma de exploração.

- Corte CPa I:

Este solo apresenta a cor bruno, muito escuro a negro em A e bruno muito escuro a escuro em B, possivelmente por causa da associação de matéria orgânica com óxidos de Fe. O corte revela no seu conjunto uma cor predominantemente amarela, sugerindo a presença de óxidos de Fe razoavelmente hidratados (goethita). O horizonte B apresenta espessura em torno de 20cm e tem porosidade média e transição inter-horizontes difusa.

As cores pardo-avermelhadas e amarelas e as manchas cinzentas encontradas dispersas neste corte possivelmente estão associadas às condições de

oxidação-redução dos óxidos de Fe. As cores cinzento-claras e esbranquiçadas decorrem da presença de quartzo (e/ou de seus polimorfos), dos pórfiros de feldspatos em processo de alteração e da caolinita, cuja gênese possivelmente está associada à alteração destes feldspatos.

Cambissolo

Este solo apresenta A proeminente, textura argilosa e está associado a um relevo suave a moderadamente ondulado (no caso das ocorrências de Pinhão). De acordo com RIBEIRO (1989), os solos deste grupo, encontrados na região de Palmas e de Pinhão, correspondem à fase floresta subtropical perenifólia. Estes solos são destinados principalmente à exploração de matas nativas (para obtenção de lenha, erva-mate e pinhão). Na área de Palmas a elevada pluviosidade e a limitada profundidade dos solos têm dificultado a exploração agrícola; na área de Pinhão, por sua vez, verifica-se a expansão antrópica, de núcleos urbanos e de atividade agropecuária, nas proximidades do rio Pinhão.

- Corte CPa II (Perfis PPa IIa e PPa IIb) – Cambissolo húmico:

No corte CPa II, observou-se fragmentos grosseiros de calcedônia (com até 20cm de diâmetro) observados principalmente no perfil PPa IIb, no horizonte C1 e que constituem uma baixa restrição de uso quanto à pedregosidade.

A espessura do horizonte B em ambos os perfis é respectivamente de 30 e 10cm, ou seja, bastante rasa. Quanto às demais características pedológicas, os dois perfis apresentam feições similares, como estrutura prismática, cor 10YR 3/3, porosidade tubular pouco desenvolvida e presença de fragmentos de geodos de sílica (milimétricos e subcentimétricos) brancos e em estágio de caolinização.

O horizonte B do perfil PPa IIb apresenta porosidade tubular desenvolvida e exhibe fragmentos de geodos de sílica duros e quebradiços. Em PPa IIa verificam-se ainda fendas (fraturas abertas) de 1cm de espessura.

As manchas cinzentas claras e escuras encontradas nos perfis PPa IIa e em PPa IIb (ambos argilosos) estão provavelmente associadas à presença de minerais do grupo da sílica + feldspatos, ambos em alteração.

- Perfil PPI III – Cambissolo álico:

O horizonte B é pouco profundo, apresentando no máximo 15 cm de espessura, mas verificam-se: estrutura poliédrica, subestrutura microagregada e porosidade tubular desenvolvida. A variação de cores, do topo para a base, é pouco perceptível, variando elas de bruno avermelhado escuro (5YR 3/4) a vermelho amarelado (5YR 4/6); o perfil como um todo pode ser classificado como argiloso a muito argiloso.

São encontrados nódulos e concreções de material silicoso e aluminoferruginoso, abaixo do horizonte B até a base do perfil; eles apresentam-se em agregados irregulares e encontram-se associados a pedotúbulos, dispersos irregular e verticalmente na base do perfil. Nesta base, o material é argiloso e com forte porosidade microagregada, exibindo ainda uma faixa de 5cm de espessura com volumes de material compactos.

O nível contendo pedotúbulos + nódulos é irregular e descontínuo, estando concentrados no horizonte C3. Nódulos e pedotúbulos ocorrem em formas respectivamente botrióides e alongadas, estando ambos externamente corrugados. O processo responsável por estas concreções endurecidas certamente está associado com mobilização, transporte e concentração de compostos de ferro, após sucessivos e repetidos períodos de umedecimento e secagem, de modo a torná-los irreversivelmente duros. A origem deste ferro muito provavelmente está vinculada ao material parental e/ou horizontes subjacentes. As manchas milimétricas e

subcentimétricas de cor rosada ou vermelha branda que se encontram dispersos nos horizontes C1 e C2, possivelmente constituem feições mosqueadas. Estes mosqueamentos são decorrentes da segregação do ferro sob condições de boa umidade à época em que se formaram, e não foram drasticamente modificadas.

Embora compostas predominantemente por ferro, estas concreções exibem concentrações de material silicoso e aluminoso, conforme observações feitas ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

A formação de um horizonte muito argiloso e compacto presente na parte superior do horizonte C3 (acima do nível que contém os pedotúbulos e nódulos), pode ter sido o fator limitante da circulação hídrica na parte basal do perfil PPI III.

O perfil da área de estudo ocorre no terço superior da vertente (razoavelmente pequena em relação às vertentes de Palmas) de uma colina de topo amplo, caracterizando um relevo moderadamente ondulado com altitude de 1030m.

Latossolo Bruno álico

Este tipo de solo ocorre associado a relevo suave ondulado e distribui-se nas áreas de expansão agrícola moderna, principalmente nos campos da região de Pinhão; são profundos, porosos e com boa drenagem. O horizonte A não é tão proeminente mas a textura é muito argilosa. De acordo com RIBEIRO (1989) estes solos apresentam alta saturação com alumínio trocável e elevado teor de carbono orgânico e baixa fertilidade natural. A aplicação de corretivos e adubos permite uma razoável produtividade de soja, milho, arroz e trigo. Conforme o autor, trata-se de um latossolo bruno de fase floresta subtropical perenifólia.

- Perfil PPI II:

Este solo exhibe um espesso horizonte B (0,85m), estrutura poliédrica < 2cm, subestrutura microagregada desenvolvida e forte porosidade intermicroagregada. A cor deste perfil é vermelha (10R 4/6), e as diferentes tonalidades são provavelmente atribuídas ao estado de oxidação dos óxidos de Fe hidratados ou não hidratados (hematita).

O material terroso de cor preta verificado por entre as bandas plano-paralelas dos horizontes inferiores, provavelmente corresponde a óxidos de Mn, que invariavelmente acompanham os óxidos de Fe no perfil; ambos podem também estar associados à circulação hídrica favorecida por estas estruturas bandadas.

Este Latossolo situa-se no topo da vertente, em colinas suave-onduladas e com boa drenagem.

Terra Bruna álica

Estes solos encontram-se associados à vegetação de capoeira e de pastagens. Conforme RIBEIRO (*op. cit.*), este solo tem baixa fertilidade natural e elevados teores de alumínio trocável, que constituem os principais impedimentos à atividade agrícola. Com o auxílio de adubagem e da baixa limitação motomecânica (pela profundidade razoável) a atividade agrícola torna-se favorável.

- Perfil PPI I

A presença de um bolsão argiloso no horizonte C1, de formato suave-côncavo, pode estar associada à estruturação bandada plano-paralela, que no referido perfil se encontra ondulada. Neste horizonte encontra-se o mais alto teor de argila (78%), caracterizando assim um volume de máxima concentração de argila e de óxidos de Fe. As manchas bruno-acinzentadas e amarelas, bem como o nível de plaquetas silicosas de cor vermelha (2,5YR 5/8), possivelmente são decorrentes da

alternância das condições de oxidação e redução associadas à oscilação do lençol freático, a exemplo do que se observa em CPa I.

Os pequenos núcleos da rocha cinza-esverdeada clara, encontrados na base do bolsão, apresentam-se ora mais duros ora mais moles, mantendo-se em geral razoavelmente preservados.

Verifica-se um decréscimo relativo, da base para o topo, da concentração de manchas amarelas e brancas, significando dizer que estes matizes se misturam ao material argiloso dos horizontes superiores, onde a alteração é mais intensa, e portanto, as feições litorrelíquias encontram-se bem menos preservadas. A concentração de manchas amarelo-ocre (goethita) na base do perfil pode estar associada às estruturas bandadas plano-paralelas, que serviriam de vias de circulação hídrica e seriam responsáveis pelas condições oxidantes do meio; estas por sua vez favoreceriam a precipitação da goethita.

Os latossolos brunos e as terras brunas encontrados na região de Pinhão, em relação à pedregosidade, apresentam limitação ausente ou ligeira (conforme classificação proposta por RIBEIRO (1989), com colaboração de outros autores). Quanto à profundidade efetiva destes solos a mecanização praticamente não apresenta limitações.

KULLER (1984), a partir de uma compilação feita de dados obtidos da COPEL (1987c), estabeleceu unidades de relevo para uma área situada entre os municípios de Guarapuava e Palmas, e correlacionou-as às suas respectivas morfometrias com tipos e usos de solos, como mostra o Quadro 02.

Quadro 02: Unidades de relevo: morfometrias e tipos de solos com seus respectivos usos:

Unidades	Morfologia	Dimensão interfluvial	Grau de entalhamento médio dos canais de drenagem	Declividade média das vertentes	Solos	Cobertura vegetal/Uso do solo
I	Superfície tabular, interflúvios de topos amplos e planos, com fraco entalhamento dos canais de drenagem	500 a 1500m	50m	5%	Latossolo e Cambissolo	Agricultura e Pastagem
II	topos convexos, secundariamente tabulares, interflúvios com topos convexos ou planos, com canais medianamente entalhados	500 a 1000m	50 a 100m	10%	Cambissolo	Floresta e Pastagem
III	topos convexos, vertentes côncavas e vales medianamente entalhados	250 a 1000m	50 a 100m	15%	Cambissolo e Solos litólicos	Agricultura, Pastagem e Floresta
IV	topos convexos e tabulares, interflúvios alongados, vertentes retilíneas ou convexas e forte entalhamento dos canais de drenagem.	500 a 750m	150 a 200m	20%	Cambissolo e Solos litólicos	Floresta e Agricultura
V	topos convexos e tabulares, interflúvios alongados, vertentes côncavas e vales fortemente entalhados	750 a 1000m	150 a 200m	30%	Cambissolo e Solos litólicos	Floresta
VI	topos convexos, vertentes côncavas e vales muito fortemente entalhados	500 a 1500m	250 a 350m	50%	Cambissolo e Solos litólicos	Agricultura e Pastagem

A Terra Bruna identificada no perfil PPI I e o Latossolo Bruno verificado no perfil PPI II, corresponderiam à descrição da unidade I, o Litossolo do corte CPa I corresponderia às características obtidas para a unidade III e os Cambissolos encontrados em CPa II (perfis PPa IIa e PPa IIb) e em PPI III, equivaleriam aos solos da unidade II.

Os solos em geral situam-se no topo de colinas suavemente convexas e planares; em Pinhão as vertentes são mais alongadas e os solos são um pouco mais espessos, e em Palmas os solos são mais rasos, apresentam maior pedregosidade, e os horizontes superficiais são mais húmicos.

USO DO SOLO

Os campos de Palmas têm sido usados para criação de gado em pastagem nativa desde 1840, conforme RIBEIRO (1989). A ocupação do solo atual desta região, está também e principalmente voltada ao cultivo de soja (predominante), milho e maçã, principalmente associados aos solos provenientes das rochas basálticas.

Conforme RIBEIRO (1989), nos campos de Pinhão a criação de gado em pasto nativo perdurou de 1820 a 1960, quando ocorreu a expansão da agricultura mecanizada em grandes e médias propriedades. Devido à proximidade com um centro urbano dinâmico, como o de Guarapuava, a atividade agrícola nesta região sempre foi mais diversificada: trigo, milho, cevada, centeio, arroz, soja e batata-inglesa, intercalando-se áreas para a pecuária e para reflorestamento comercial.

Observa-se na área que, nas encostas de declividade mais baixas, os cursos d'água e as freqüentes chuvas da região (com média pluviométrica anual entre Palmas e Pinhão de 1626mm) percorrem os terrenos que já se encontram em certo estágio de alteração e desagregação, ocorrendo aí o início do ravinamento, conforme mostra a Foto 06.

Foto 06 – Ravinamento na margem direita da PR-449 (sentido Palmas→BR 280).

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

A metodologia de trabalho utilizada é baseada naquela descrita em BOULET, (1988) e BOULET *et al.*, (1982, 1984, 1985 e 1989), e constitui uma forma de análise estrutural das coberturas pedológicas.

Nesta proposta de trabalho os autores afirmaram, com base em suas observações de campo, que os horizontes se sucedem verticalmente em uma ou mais seqüências de organizações elementares, derivando umas das outras, com uma orientação vertical. As variações laterais seriam normalmente pouco acentuadas e gradativas, e os horizontes mais ou menos concordantes com as superfícies que ocupam. As organizações laterais formam-se e renovam-se, conduzindo a um sistema em equilíbrio dinâmico com o meio, cujas modificações espaço-temporais permitem que as condições pedobioclimáticas escapem ao domínio de equilíbrio das organizações elementares. Com estas transformações

aparecem novas seqüências de organizações elementares, que interrompem, a um nível variável, aquelas da cobertura inicial. No trabalho limitamo-nos, no entanto, ao estudo dos materiais de alteração das localidades de Palmas e Pinhão, PR, observados ao longo dos cortes de estrada morfologicamente mais representativos. Desta forma, pudemos obter uma visão tridimensional das coberturas de alteração estudadas, sob o enfoque dos processos geoquímicos ocorridos lateral e verticalmente.

Na região de Palmas foram descritos os cortes CPa I e CPa II, respectivamente com 124m. e 115m. de extensão, que apresentaram variações quanto à textura, à estrutura e ao grau de alteração dos horizontes intemperizados das rochas vulcânicas ácidas tipo Palmas.

Em Pinhão foram descritos 3 pequenos cortes de no máximo 2,5 m. de largura, contendo o material de alteração derivado do litotipo Ácida tipo Chapecó.

A descrição morfopedológica obedeceu aos critérios de campo apresentados em LEMOS & SANTOS (1984), tendo sido detalhadas estruturas específicas como níveis de seixos, plaquetas silicificadas e os de nódulos e pedotúbulos. A coleta de amostras foi realizada de acordo com as variações tipológica e do grau de alteração, das quais foram feitas análises via microscopia óptica (mineralogia e micromorfologia) e difração de raios-x, análises granulométricas e microscopia eletrônica de varredura (MEV) e caracterização da química total de alguns elementos selecionados.

Esta análise foi possível mediante impregnação prévia das amostras dos diferentes materiais de alteração, utilizando-se uma mistura de resina-diluente-catalisador. A resina utilizada foi a do tipo Resapol - T208, o diluente, um Monômero de estireno, e o catalisador (Peroxol - G10) constitui um peróxido metil-etil-cetona, usado como agente endurecedor. Este procedimento é comumente adotado pelo Laboratório de impregnação do Instituto de Geociências da USP.

Para a análise micromorfológica foi feita:

a coleta de amostras, desde a rocha fresca ou pouco alterada até os horizontes superiores;

- a identificação dos constituintes minerais primários, das associações minerais secundárias e em alteração, e dos processos responsáveis pela alteração, apontando-se as fases intemperizadas e suas respectivas seqüências minerais.

Para tal propósito considerou-se:

- a organização e evolução da porosidade e do sistema fissural;
- a classificação das características de ordem primária (herdadas da rocha-fonte), secundária (herdadas do material de alteração) e pedológicas (microestruturas desenvolvidas na pedogênese);
- a formação, concentração e/ou migração dos componentes do material em alteração, tais como argilominerais, concentração argilosa, material ferruginizado e presença de opacos.
- a descrição qualitativa das microfeições encontradas.

Em todos os critérios de descrição micromorfológica supracitados, buscou-se detalhar quaisquer feições que justificassem sua distribuição, gênese e evolução, e que pudessem auxiliar na compreensão do processo intempérico atuante.

As obras de BREWER (1976), DELVIGNE (1965, 1986), BULLOCK *et al.* (1985) e CHATELIN (1974), serviram de bibliografia base para as descrições micromorfológicas realizadas para as áreas de Palmas e Pinhão.

Os processos e transformações minerais foram registrados em fotomicrografias tomadas em aparelho fotográfico acoplado em microscópio óptico, de marca Axioplan - ZEISS, modelo MC 100 - 220V. Estas fotomicrografias foram designadas no texto pela sigla FMG, tendo sido utilizadas as objetivas 2,5X e 10X, cujas distâncias focais correspondem respectivamente a 5,3mm e 1,39m, e a escala em micras (μ) é:

$$2,5X \rightarrow 0,6\text{cm} = 200\mu$$

$$10X \rightarrow 0,6\text{cm} = 50\mu$$

A análise por Difração de raios-x foi efetuada em amostras totais da fração argila, previamente selecionadas de modo que se pudesse obter informações de todos os horizontes e feições específicas, como as plaquetas silicosas alteradas, e assim caracterizar os diferentes níveis de alteração.

As amostras de argila foram previamente separadas em laboratório com utilização de pirofosfato de sódio e saturadas com $MgCl_2$, não tendo sido feito tratamento para a retirada de Fe. Posteriormente, elas foram colocadas em suporte de alumínio para irradiação.

Algumas destas amostras foram tratadas com etileno glicol, visando-se averiguar a expansão da estrutura de possíveis argilominerais expansivos. Em outros casos, foi feito aquecimento a uma temperatura de $550^{\circ}C$ para a confirmação da presença de caolinita, que mediante esta temperatura teria seu pico destruído.

Para a obtenção destes resultados foram utilizados dois aparelhos de dispersão e raios-x. O modelo Phillips W3710 Based, equipado com tubo de Cu e operando com tensão 40kV e corrente de 40mA, com *scan* do tipo *step* e uso de monocromador, foi utilizado no laboratório do Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL) do IAG-IGc/USP. As amostras usadas neste aparelho foram irradiadas no intervalo de 3 a 80° (ângulo 2θ).

O modelo Philipps D 5000 do Laboratório de Raios-X do IG/USP e também equipado com tubo de Cu, operou a uma tensão de 40kV e 40mA para amostras naturais e sem o uso de monocromador; com o uso de monocromador, o aparelho operou a uma tensão de 20kV, corrente de 5mA e ângulo 2θ que variou entre 3 - 65° . Amostras glicoladas e aquecidas utilizaram um ângulo 2θ entre 3 - 20° e *step time* de 0,5s.

A análise granulométrica obedeceu ao Método da Pipetagem de Robinson, obtido a partir de VERGER (1976) para a análise quantitativa das frações totais de areia, silte e argila, para a qual foi utilizado pirofosfato de Na como agente dispersante. Neste processo foi necessário um tratamento prévio para a extração de

matéria orgânica, a partir da adição de H_2O_2 , através de cálculos envolvendo tempo de agitação (em agitador mecânico) e de sedimentação.

Os ensaios químicos foram realizados no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, RS, com o intuito de obter os teores totais de K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na e Al. Para tal, foram selecionadas amostras correspondentes aos cortes CPa I (horizontes A, B, C1, C2, C4 e C5) e CPa II (horizontes B, C1, C2, C4a, C4b e C5 do perfil PPa IIb)) e PPI III (horizontes A, B, C2 e C3). Os horizontes foram selecionados, visando-se a sua distribuição vertical nos respectivos cortes e perfil, de forma a avaliar possíveis perdas e ganhos do topo para a base.

O procedimento laboratorial para obtenção dos elementos acima citados foi realizado a partir de TEDESCO *et al.*, (1995), sendo que a técnica para a obtenção do Al também foi extraída de SALET & ANGHINONI (1998).

Para a obtenção de K, Ca e Mg foi feito ataque com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e água oxigenada (H_2O_2), como mistura para digestão, tendo sido àqueles elementos recuperados por digestão nítrico-perclórica, conforme JOHNSON & ULRICH (1959, *In* TEDESCO *et al.*, 1995). A homogeneização da mistura foi feita com ar comprimido; após decantação de 6 a 12 horas, são retiradas alíquotas do extrato para as várias determinações, sem necessidade de filtração.

Para a identificação de Fe, Mn e Na foi feita a digestão em HNO_3 - HClO_4 , cujas quantidades foram reduzidas ao máximo para agilizar a digestão e manter a concentração de HClO_4 em 0,5M. Para a identificação do elemento desejado foi utilizado fotômetro de absorção.

Na determinação do Al foi pesado 1g de amostra em cadinho de porcelana que foi aquecido à 550°C por 1 hora e esfriado; posteriormente foram adicionados 10 ml de HCl 0,1M. A identificação do elemento foi feita por absorção atômica com chama de Acetileno - N_2O .

O uso do MEV-EDS, realizado no laboratório do NUPEGEL do IAG-IGc/USP, teve por objetivo a análise morfológica e química qualitativa do material alterado ou não (geodos de sílica inalterados), visando esclarecer problemas específicos de identificação do elemento. O material selecionado foi colado em lâminas de vidro, metalizado com carbono e levado ao aparelho *Scanning Microscope* GEOL JSM - T 330 A e EDS *Noran Instruments*, utilizando-se detector Si-Li, à 15 kV e amperagem variável com o tipo de amostra.

CAPÍTULO III

DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

1. SUBSTRATO ROCHOSO

Houve uma dificuldade em se caracterizar o substrato rochoso na área em estudo, considerando-se a intensidade da alteração verificada nas amostras analisadas. As rochas riolítico-riodacíticas encontradas em Palmas e em Pinhão já apresentavam um início de alteração, de modo que amostras completamente sãs não foram identificadas.

Em Palmas verificaram-se amostras roladas nas imediações do corte CPa I, e em Pinhão, foram encontrados fragmentos de rocha alterada em pontos mais distantes, como os coletados na pedreira, situada cerca de 1000m de PPI I, no sentido Dois Pinheiros-Pinhão.

No corte CPa I foi possível a identificação de amostras de rocha sensivelmente menos alteradas das que foram encontradas no corte CPa II. Os perfis PPI, por sua vez, apresentaram características morfológicas e micromorfológicas correspondentes a estágios de alteração relativamente mais desenvolvidos do que os encontrados em Palmas.

As características petrográficas mais detalhadas das rochas sãs ou pouco alteradas encontradas em cada uma das regiões estudadas estão citadas abaixo.

1.1 Área de Palmas

As amostras de rocha encontradas nos arredores de Palmas apresentaram: textura vitrofírica porfiroclástica em alteração; cor cinza verde-amarelada com tonalidades bruno alaranjadas a avermelhadas por oxidação do Fe; microssistema fissural intragrãos bastante disseminado e em geral preenchido por óxidos de Fe e início de caolinização; abundantes grãos de piroxênios (em deferruginização) e de feldspatos, respectivamente com hábitos ripiformes e prismáticos, ainda preservados; grãos de quartzo isolados; plagioclásios em fase inicial de alteração, com identificação de maclas polissintéticas (eventualmente sericitizados); associação feldspato K + amorfo de SiO_2 + óxido de Fe, envolvendo cristais prismáticos de piroxênios com características ópticas de enstatita, augita e de plagioclásios (labradorita e albita) dominantes, ortoclásio, magnetita, ilmenita e apatita.

Os contatos intergranulares foram verificados entre: plagioclásio alterado e quartzo, difuso; plagioclásio são e feldspato K, difuso a nítido, e entre feldspato K e augita, sendo nítido e irregular com início de bordos de reação.

Das texturas petrográficas relictuais encontrou-se a do tipo mirmequítica (intercrescimento de plagioclásio com quartzo vermicular em formas globulares), micrográfica (microintercrescimento de quartzo e feldspato alcalino); simpletítica (microintercrescimento vermicular de augita + óxido de Fe sobre plagioclásio) e micropertítica (plagioclásio associado com microclínio). O processo de sericitização foi observado em microfissuras contendo quartzo microgranulado.

As amostras do corte CPa II revelaram tratar-se de uma rocha com textura porfirítica, que apresenta micropórfiros irregulares, por vezes argilizados e ferruginizados e com pseudomorfos de piroxênios; em alguns destes, a cor verde-azulada é indicativa da uralita. Os minerais mais abundantes são os feldspatos (principalmente plagioclásios) e piroxênios

(augita, aegirina-augita); secundariamente observam-se quartzo, opacos (magnetita, hematita, ilmenita, rutilo) e traços de apatita.

Foram identificadas ainda: a) texturas micropertítica com o feldspato criptocristalino em conformação concêntrica; b) textura esferulítica (intercrescimento de plagioclásio e quartzo criptocristalinos em formas radiais); c) cavidades por corrosão de alguns pórfiros e d) agregados por fragmentação em geral, associando opacos com feldspatos e quartzo (ou cristobalita).

1.2 Área de Pinhão

A rocha riolito-riodacítica encontrada em Pinhão apresenta matriz de cor bruno-avermelhada com matizes esverdeadas, textura microgranofírica com macropórfiros subedrais, compostos predominantemente por feldspatos alcalinos e piroxênios, que não puderam ser especificados devido ao estágio avançado da alteração. Secundariamente, os macropórfiros (maiores do que aqueles observados nos cortes de Palmas) são compostos por opacos (magnetita quadrangular) e por apatita acicular.

De acordo com CLEMENTE (1988), a matriz semivítrea das rochas estudadas na área de Pinhão apresenta quartzo + feldspato alcalino, muitas vezes com intercrescimento micrográfico, além de piroxênios e opacos. Segundo o autor, os macropiroxênios corresponderiam principalmente a augita e pigeonita.

Devido à presença de uma textura micro a criptogranofírica nas amostras de Pinhão, feições petrográficas como as identificadas nas amostras referentes a Palmas não puderam ser descritas.

2. CORTES E PERFIS DE ALTERAÇÃO

2.1 Área de Palmas

Foram descritos e analisados dois cortes: CPa I e CPa II, sendo que este último foi subdividido nos perfis PPa IIa e PPa IIb; ambos apresentam características morfológicas gerais muito similares, mas com algumas particularidades morfológicas e estruturais que serão estudadas nos próximos itens.

Estes cortes de alteração apresentam espessura máxima de 8,0m em CPa I e 5,0m, em PPa IIa e b. Da rocha sã ao solo foram descritos 13 horizontes (A, B e C1 a C11) em CPa I. Em PPa IIa e PPa IIb foram encontrados respectivamente 6 e 8 horizontes.

Em CPa I, a distribuição dos horizontes é mais complexa, considerando-se que a alteração diferenciada distribuiu-se em um espaço maior.

Os materiais descritos em PPa IIa e b exibem uma certa homogeneidade na cor (são mais avermelhados, no todo) e na coesão (pouco coesos, mesmo nos horizontes mais inferiores).

O nível de geodos de sílica, notadamente mais expressivo (em tamanho dos geodos e continuidade do nível) em PPa IIb, marca em seu horizonte de ocorrência (C1) uma suave concavidade, que por sua vez delimita um nível contendo material relictual.

CORTE CPa I:

- **Caracterização geral:** Corte de estrada com 125m de extensão x 7m de altura (Foto 07 e Figura 07), predominantemente argiloso. Apresenta uma complexa distribuição de seus horizontes, exibindo uma variação de formas e cores. O corte é atravessado por uma falha subvertical de direção N-NE, observada em C6 (Foto 08), predominantemente da cor amarelo ocre.
- **Localização:** Km 41 da estrada Palmas-BR 280
- **Material de origem:** riolito/riodacito vitrofílico, cinza, com estrutura bandada plano-paralela
- **Relevo:** tabuliforme suave ondulado com vertentes curtas
- **Erosão:** laminar ligeira
- **Drenagem:** bem drenado
- **Uso atual:** capoeira, com plantio de maçã e soja nas vizinhanças.

Foto 07: Foto-montagem do Corte CPa I

CORTE CPa I

Figura 07: Desenho esquemático do corte CPa I a partir de foto-montagem

Foto 08 – CPa I: plano de falha que corta principalmente os horizontes C5 e C6 (melhor observados no desenho esquemático, à esquerda) em material amarelo ocre.

Descrição morfológica

- A** 0-20 Horizonte orgânico, cor preta (10YR 2/1), grumoso, estrutura fracamente desenvolvida, poroso, muito argiloso
- B** 20-40 Horizonte de coloração bruno-acinzentada muito escura (10YR 3/2), estrutura prismática fracamente desenvolvida, pouco poroso (porosidade tubular), muito argiloso.
- C1** 40-70 Horizonte de coloração bruno-escura (7,5YR 4/4), poliédrico, com porosidade tubular média, argiloso.
- C2** 70-120 Nível de plaquetas de material silicoso, ferruginizado, bruno-escuro (7,5YR 4/6). No contato com C1 ocorre quartzo hialino subangular (com diâmetro entre 2 e 5mm).
- C3** 120-190 Núcleos relictuais da rocha franco-argilosos, com coloração bruno-avermelhada clara (2,5YR 6/4), que preservam a estrutura bandada; formam uma bancada convexizada e fraturada (os planos de fratura são revestidos por material amarelo claro a alaranjado, em geral friáveis), que exibe tonalidades variadas: cinza pardo (10YR 7/2), amarelo acinzentado (10YR 7/4), bruno-rosado (2,5YR 6/4) a bruno-avermelhado claro (5YR 6/4). Plaquetas interbandas de material silicoso esbranquiçado, alterado.
- C4** 190-400 Estruturas bandadas planares com textura franco-argilo-arenosa, preenchidas por material silicoso e mergulhantes para W e subparalelas entre si, e que exibem cor cinza avermelhada (10R 6/1). Apresentam fraturamento subortogonal que individualizam blocos decimétricos a métricos. As fraturas mais alargadas, estão preenchidas por material de alteração amarelo, e formam feições tipo *box work*.
- C5** 400-540 Material com textura franca, vermelho pálido (10R 6/2) e com tonalidades violáceas e amarelo-claras; apresenta estrutura maciça e porosidade fina e pouco desenvolvida, com estrutura planar (tênue) mergulhante p/ W. Contém fraturas largas (2cm de larg.) mergulhantes para NE, preenchidas por material branco amarelado silicoso alterado, dentro do qual encontram-se formas poligonais centimétricas a subcentimétricas (Foto 09); o sistema de fraturas forma uma feição tipo "brecha" (Foto 10).
- C6** Material franco-argilo-siltoso, com cores que gradam do bruno muito pálido (10YR 7/4) ao amarelo (10YR 7/6), exibe manchas vermelho-rosado-pálidas (10R 6/2), vermelho-acinzentadas-claras (2,5YR 6/2) e vermelho-acinzentadas (2,5YR 6/4), argiloso, com estrutura poliédrica (1-2cm), porosidade tubular bem desenvolvida e coesão média, fraca; domínios milimétricos, brancos e ocre, formam uma fina trama ortogonal.
- C7** Material franco-argiloso, vermelho-fraco (2,5YR 5/2), contém manchas vermelho-acinzentadas (2,5YR 6/2 e 2,5YR 6/4), duras. Apresenta nítido bandamento sub-horizontalizado, cujas bandas têm entre 8 e 15 cm de espessura, e encontram-se preenchidas por material silicoso cinza-branco-amarelado na base, e ocre no topo.
- C8** Material franco-argilo-arenoso fortemente bandado sub-horizontalmente, que apresenta dois domínios: C8a (base) - branco (10YR 8/1) a bruno amarelado claro (10YR 6/4); C8b - cinza-avermelhado (5YR 5/2) a cinza-rosado (5YR 6/2). Na base é mais duro, as bandas são mais espessas (Foto 11), e há manchas pretas (óxido de Mn). Apresenta fraturas (espessura entre 0,2 e 2,0cm) perpendiculares e oblíquas às bandas (espessuras entre 0,5 e 1,5 cm). Os planos de fraturas contêm material silicoso duro e formam figuras poligonais; eles apresentam tonalidades ocre, avermelhadas e acastanhadas.
- C9** É menos duro do que C8, friável e franco-argiloso, exibe cor bruna muito pálida (10YR 7/4). No contato com C1, apresenta nível de plaquetas brancas endurecidas de material silicoso, onde se encontra associado ao material rosado de C8b. Plaquetas de sílica caolinizadas encontram-se nas superfícies interbandas. Os planos de fraturas, oblíquos ao bandamento, estão preenchidos por material silicoso avermelhado.
- C10** Material de textura franca, amarelo (10YR 7/6), forma uma pequena depressão em forma de U aberto (Foto 12); os planos de bandamento são mais finos do que em C9 (espessura de 0,3 a 3,0 cm). Planos de fraturas subverticais preenchidos por material silicoso branco (10YR 8/1), muito alterado. Do terço médio à base do corte, verifica-se um material vermelho acinzentado (10R 6/2) argilo-siltoso.
- C11** Material franco argiloso, amarelo brunado (10YR 6/6), com tênue e fino bandamento (nos 20cms superiores), em cujos planos há preenchimento de material silicoso esbranquiçado. Apresentam abundantes fraturas subverticais e oblíquas ao bandamento, revestidas por uma película de cor vermelho-brunado-escura (10R 5/8).

Foto 09 – CPa I: feição em mosaico onde as finas fraturas irregulares estão preenchidas por material de alteração branco a amarelado, de composição caolinítico-ferruginosa, presente em C5, próximo à C6.

Foto 10 – CPa I: material goethitizado (10YR 7/8) de aspecto brechado, exibindo feições poligonais de cor violácea, em C5, no contato com C6.

~ - CONTATO NÍTIDO

PR - 449

/// - MATERIAL DE ALTERAÇÃO ENCOBERTO

km - 41

Desenho esquemático da estrutura bandada suavemente côncava observada em C10

Foto 11 – CPa I: estrutura bandada plano-paralela em C8a (que contém as bandas mais largas do corte), representando as linhas de fluxo relictuais da rocha-fonte, mergulhantes para NW.

Foto 12 – Estrutura bandada em ampla forma côncava presente em C10.

O corte CPa I encontra-se a uma altitude de 1270m e está situado em um topo amplo e aplainado de uma vertente longa e pouco inclinada. Pedologicamente foi classificado como Litossolo, que apresenta, além dos horizontes A e B, mais onze horizontes C. Aqueles primeiros horizontes encontram-se pouco espessos e com estruturas prismáticas pouco proeminentes. O horizonte C1, que apresenta 30cm de espessura, tem estrutura poliédrica e porosidade tubular média; de C2 a C11 encontram-se evidências de graus de alteração diversos, tais como núcleos relictuais da rocha em diferentes estádios de intemperização, estruturas bandadas mais e menos preservadas e placas de material silicoso, interbandas, de dureza variável.

As fraturas identificadas na maioria dos horizontes (C5 a C11) constituem indícios em meso-escala de um falhamento subvertical de direção geral NS-NE verificado em C6, e que se encontra discordante dos planos bandados.

Formas côncavas encontradas em C5, C7 e C10 e a presença de cores amareladas, ocre, cinzentas e mosqueadas refletem condições de maior umidade ou hidratação mediante baixa circulação hídrica, que podem ter favorecido a precipitação de goethita, que tingiu de amarelo ocre os horizontes C6, C7 e C9.

As manchas avermelhadas, juntamente com os pigmentos pretos, que ocorrem em vários planos de fratura do corte, representam respectivamente a fase oxidada do Fe e do Mn, possivelmente associada às mudanças das condições hídricas.

Descrição micromorfológica

Horizonte A: cor bruno-escura e cinza-verde-brunada, estruturação do fundo matricial dos tipos insépico e esquelssépico, com estruturação plásmica (pedalidade) fraca a moderadamente desenvolvida. Apresenta 5% de pseudomorfos, sendo os de feldspatos bastante alterados, 5% de poros e microfissuras abundantes, distribuídas irregularmente e pouco conectadas. O teor de opacos atinge 10%, sendo eles subarredondados e com bordo alterado na cor bruna. Verifica-se uma abundante quantidade de caolinita e produtos amorfos, dispersos no fundo matricial e uma razoável quantidade de raízes.

Horizonte B: cor bruno escuro, estruturação do fundo matricial dos tipos esquelssépico e vossépico, com estruturação plásmica (pedalidade) fracamente desenvolvida. Apresenta entre 10-15% de pseudomorfos, 10% de poros alongados e irregulares, pouco conectados. O teor de opacos varia de 5-8% sendo estes em maioria pequenos ($5-10\mu$) e angulares ($20-40\mu$), normalmente em processo de goethitização e hematitização. Observam-se fragmentos de magnetita quadrangular, além de grãos de hematita, goethita, caolinita bem desenvolvida e abundantes produtos amorfos. Neste horizonte há pouca quantidade de raízes.

Horizonte C1: cor bruno-verde-acinzentada a bruno-amarelo-alaranjada, em fundo alteroplásmico com aglomerados de pórfiros. Verificam-se resquícios da textura porfirítica da rocha, havendo abundantes grãos de piroxênios e de feldspatos bem alterados. São raros os poros e microfissuras maiores; geralmente estão descontínuos e argilizados. Os opacos - 5% - são subangulosos e pardacentos no domínio bruno-acinzentado mais escuro; no domínio mais amarelado, a quantidade de opacos diminui (1-2%), sendo eles menores e mais angulosos. Observa-se uma grande quantidade de produto amorfo (mancha pardacenta dispersa no fundo alteroplásmico), juntamente com caolinita. A partir deste horizonte não se encontram vestígios de matéria orgânica.

Horizonte C2: cor bruno-amarelada, com estruturação do alteroplasma de tipo porfirosquélíco. Verificam-se resquícios da textura porfirítica, havendo pseudomorfos com forma prismática melhor preservada do que nos horizontes anteriores. São raros os poros, as microfissuras são muito finas, igualmente raras, e ambos são identificados preferencialmente no material bruno mais claro. Os opacos perfazem cerca de 2% do total dos pórfiros, sendo pequenos e irregulares e em processo de deferruginização; encontram-se na cor pardacenta, devida também à associação com produtos amorfos sílicoferugininosos. Ocorrem ainda restos de plagioclásios e piroxênios pseudomorfizados e alguns poucos grãos de ilmenita.

Horizonte C3: cor bruno-amarelada com estruturação alteroplásmica de tipo porfirosquélíco. Os pseudomorfos são abundantes, de formas irregulares e com bordos ondulados, apresentando tamanhos grandes em torno de 7000μ ; os pórfiros pseudomorfizados prismáticos são em geral maiores do que os arredondados ($50-100\mu$). As microfissuras são mais abundantes do que os poros, estando elas normalmente conectadas e caolinizadas; os poros têm formas irregulares e também parecem interconectados. Verifica-se 1% de opacos de tamanhos muito pequenos ($20-30\mu$), havendo desta forma uma incipiente oxidação de Fe. Das feições relictuais da rocha observadas, ressaltam-se a preservação dos planos de clivagem dos feldspatos e a presença de quartzo e magnetita, que normalmente aparecem em grãos subédricos.

Horizonte C4: cor bruna, amarelada a cinzenta, com domínios cinza esverdeados, e estruturação alteroplásmica de tipo porfirosquélíca, havendo domínios com agregação dos pórfiros. Há menos pórfiros pseudomorfizados do que o horizonte C3, sendo eles prismáticos pequenos ($50-80\mu$) e subarredondados maiores ($300-1000\mu$). As microfissuras podem ocorrer: em rede, (pequena quantidade) e dendríticas, e as macrofissuras isoladas ($25-50\mu$ de largura) são mais abundantes; os poucos poros existentes (cerca de

1%) estão interconectados e são subarredondados. Verifica-se cerca de 1% de opacos no material bruno, em tamanhos que variam de 20-50 μ de diâmetro, e entre 20-30% no material cinza amarelo-esverdeado em tamanhos entre 80-100 μ de diâmetro. Há abundantes manchas bruno-avermelhadas decorrentes da presença de oxidróxidos de Fe. Observam-se plasmificação, microagregados, restos de cútã, ferro-argilã e quartzo com estrias. Pórfiros de plagioclásio e piroxênios atingem até 1800 μ de diâmetro, e os de quartzo são bem menores; micropertita pouco preservada foi identificada no material cinza-amarelo-esverdeado. Na matriz alteroplásmica identificaram-se magnetita angulosa, goethita, ilmenita prismática e caolinita.

Horizonte C5: cor bruno-acinzentada muito escura, com estruturação alteroplásmica de tipo porfirosquélica. Feldspatos pseudomorfizados encontram-se subarredondados, e os piroxênios pseudomorfizados, prismáticos, encontrando-se estes bastante deferruginizados. As fraturas são abundantes: a macrofratura atinge 0,5mm de espessura e as microfissuras, em geral caolinizadas, encontram-se orientadas. Os óxidos de Fe estão disseminados em domínios argilosos de cor bruna. Verificam-se ainda cútãs nos bordos ondulados de grão de quartzo, havendo plasma argílico com tênue orientação. Observam-se pórfiros de piroxênios e de quartzo razoavelmente preservados.

Horizonte C6: cor bruno-amarelo-clara, com estrutura do alteroplasma criptocristalino de tipo porfirosquélica. Os pseudomorfos de feldspatos encontram-se arredondados e os de piroxênios, prismáticos. Presença de microfissuras ortogonais (em rede) e microfissuras (mais raras) dendríticas e não conectadas. Ocorre cerca de 6% de opacos, responsáveis por uma intensa liberação de Fe no alteroplasma, que forma uma trama ferro-argilizada que envolve os feldspatos. Os piroxênios encontram-se parcialmente preservados, de modo que foi possível identificar aegirina-augita e augita. Na matriz alteroplásmica encontram-se ainda pórfiros de quartzo arredondados, goethita e caolinita.

Horizonte C7: cor bruno-escura a alaranjada com estrutura do alteroplasma criptocristalino de tipo porfirosquélica. Verificam-se abundantes pseudomorfoses de piroxênios, e a presença de macrofratura (1cm de largura) preenchida por caolinita que contém manchas de oxidróxidos de Fe, também verificados ao longo dos planos de clivagens. Há cerca de 8% de opacos com formas quadrangulares nítidas. Resquícios da textura porfirítica revelam a presença de aegirina e augita, quartzo, plagioclásio e ilmenita (rara) como fenocristais razoavelmente preservados.

Horizonte C8: cor bruno-avermelhada, com estrutura do alteroplasma de tipo porfirosquélica, havendo também pórfiros aglomerados. Os pseudomorfos prismáticos de piroxênios são dominantes, apresentando tamanhos que variam de 20 a 60 μ e uma tênue orientação. Microfissuras de comprimento centimétrico estão normalmente preenchidas por material silicoso e os poros, irregulares e alongados, encontram-se interconectados e formam uma rede ortogonal. O elevado (20%) teor de opacos (com diâmetros que variam de 20 a 40 μ) tingiu o alteroplasma de manchas bruno-avermelhadas. Encontram-se restos de cútãs associados aos bordos ondulados de poucos grãos de quartzo. No fundo alteroplásmico foram identificados gibbsita, apatita, hematita e carbonato.

Horizonte C9: cor bruno-amarelada a escura com estrutura alteroplásmica de tipo porfirosquélica, rico em pseudomorfoses de piroxênios prismáticos (com tamanhos em torno de 300 μ), cujas fissuras intragrãos formam redes ortogonais. As fissuras do alteroplasma dividem o material bruno-amarelado do bruno-escuro e os poros ocorrem predominantemente no domínio bruno amarelado. Observam-se cerca de 5% de opacos, de modo que os maiores (150 a 200 μ) são poligonais, e os menores (60-80 μ) são subangulares. Resquícios da textura porfirítica melhor preservada revelaram a presença de piroxênios, ortoclásio e plagioclásio em avançado estágio de alteração, além de goethita e caolinita associadas às microfissuras dos grãos feldspáticos.

Horizonte C10: cor bruno-escuro a amarelado com alteroplasma exibindo agregados de pórfiros, dos quais verificam-se abundantes pseudomorfoses em piroxênios. As microfissuras são raras, e quando ocorrem formam filetes alinhados; as macrofissuras (até 4000 μ de largura) são mais arredondadas, estando normalmente preenchidas por material caolinítico entrelaçado ao material silicoferruginoso. Ocorrem cerca de 5% de opacos, sendo que os menores (50-60 μ) bordejam os grãos dos pseudomorfos, e os maiores (80-150 μ), subangulares, formam uma estrutura tipo *box-work*. No alteroplasma encontram-se grãos de ortoclásio maclado e de quartzo anguloso, ocorrendo em suas microfissuras gibbsita e caolinita.

Horizonte C11: cor bruno-acinzentado a amarelado com fundo alteroplásmico porfirósquético, estando os pórfiros por vezes, aglomerados. Os pórfiros grandes (200 μ de diâmetro) e os pequenos (50-70 μ) correspondem predominantemente aos grãos de piroxênios que encontram-se deferruginizados. As fissuras e fraturas apresentam-se orientadas no alteroplasma, contendo localizadamente gibbsita e goethita como material de preenchimento. Os poros são abundantes mas pouco conectados. Os opacos perfazem cerca de 5%, sendo em geral pequenos (com 20-40 μ de diâmetro), mas responsáveis pela disseminação de oxidróxidos de Fe no alteroplasma. A textura porfirítica original encontra-se muito alterada, mas permite o reconhecimento de pórfiros de piroxênios e de feldspatos; no alteroplasma encontram-se ainda carbonato, gibbsita, alanita e hematita.

Síntese

Os horizontes do corte CPa I distribuem-se de forma razoavelmente complexa, revelando que a intemperização da rocha foi progressiva e irregular (vertical e horizontalmente). De A para C5 verifica-se uma evolução vertical natural do perfil de alteração, com aumento do teor de argila rumo ao topo; os horizontes C6 a C11 distribuem-se lateralmente a partir de C4, ao longo do corte no sentido NW (rumo Palmas).

A cor bruno-amarelada é dominante neste corte e os domínios verde-acinzentados correspondem localizadamente ao material de alteração da rocha, melhor preservado. A tonalidade amarelo-ocre ocorre principalmente nos horizontes C6, C9 e C10, onde se verifica uma abundância de pseudomorfos maiores do que 80μ e onde há uma maior concentração de goethita.

Em relação à textura porfirítica original verifica-se que da base para o topo há a evolução para um fundo matricial tipicamente porfiroscúlico, sendo também comum a aglomeração dos pórfiros, principalmente em A e B. Nesses horizontes a argilização intensa revela uma extinção em subdomínios, devida a separação plásmica associada aos pórfiros e/ou poros. Do horizonte C1 ao C5, observam-se resquícios desta textura preservada, onde o teor de pseudomorfos é bastante variado. A partir de C2 rumo à base os poros desaparecem, sendo que o máximo percentual dos mesmos ocorre em B (cerca de 10%), estando geralmente irregulares, mas ainda pouco conectados.

A presença de opacos em todo o corte tem percentual médio de 7%, mas concentra-se nos domínios amarelados. São poucos os grãos de magnetita ou (Ti-magnetita) bem preservados, com bordo nítido e liso e forma quadrangular habitual; em geral encontram-se em processo de goethitização e/ou hematitização, mais evidente em B e C1. A oxidação de Fe, responsável pela cor bruno-amarelo-alaranjada do alteroplasma, ocorre em todos os horizontes em intensidades variáveis.

O hábito prismático, bem como os planos de clivagem e de maclas, são observados desde C3 até C11, caracterizando uma associação mineral composta por: feldspatos (em geral plagioclásios), piroxênios bastante alterados (do tipo aegirina-augita, Fe-augita e enstatita), magnetita fragmentada, mas preservada, e ilmenita e goethita, como produtos secundários.

Em quase todos os horizontes estudados são abundantes os produtos amorfos de provável composição sílico-ferruginosa. A caolinita bem cristalizada foi somente identificada em C4.

O fraturamento observado em mesoescala é também verificado em microescala, nas lâminas dos horizontes C7, C8 e C11; as fraturas encontram-se invariavelmente preenchidas por material caolinítico (material branco cintilante) e oxidróxidos de Fe, que tingem os horizontes de tons amarelo-alaranjados. Neste caso, os opacos encontram-se normalmente fragmentados, com formas mais angulares do que nos demais horizontes.

De C6 a C11 a caracterização dos horizontes de alteração está mais intensamente influenciada pela circulação hídrica via planos bandados, visto que o mergulho dos mesmos está voltado para NW, ou seja, rumo a Palmas. A presença de *box-work* em C10, o maior arredondamento dos grãos de opacos em C9 e a concentração de oxidróxidos de Fe verificada em C6 e em C9, tingindo-os na cor amarelo-ocre, constituem um dos principais indícios de que localizadamente no corte CPa I, observam-se condições hidrogeoquímicas favoráveis à alteração mais intensa.

CORTE CPa II:

- **Caracterização geral:** O corte apresenta 115m de extensão e 5m de altura, tendo sido selecionados dois perfis: PPa IIa e PPa IIb, separados por aproximadamente 15m.
- **Localização:** à 600m de CPa I, sentido União da Vitória-Palmas, no município de Palmas
- **Material de origem:** riolito granofírico, macroporfírico
- **Relevo:** tabuliforme, suave ondulado, com vertentes longas
- **Erosão:** laminar ligeira a moderada
- **Drenagem:** bem drenado
- **Uso atual:** capoeira com plantio de soja e maçã.

A caracterização morfológica dos dois perfis do corte CPa II - PPa IIa e PPa IIb – encontra-se abaixo compilada, e as feições mais evidentes e importantes, estão registradas nas Fotos 13, 14 e 15.

Perfil PPa IIa

Descrição morfológica

A	0-20	muito argiloso, preto (10YR 2/1), grumoso (inferior a 2mm), extremamente poroso e muito rico em raízes; coesão fraca.
B	20-50	muito argiloso, bruno escuro (10YR 3/3), estrutura prismática (3 a 5cm), com subestrutura poliédrica angulosa (1 a 3cm), coesão muito forte, porosidade tubular muito fraca, porosidade fissural forte (entre os prismas, e fendas de até 1cm). Numerosos fragmentos de geodos alterados milimétricos, brancos e duros.
C1	50-65	muito argiloso, bruno (7,5YR 5/4), contraste forte, transição progressiva, estrutura prismática mais larga (10 cm), subestrutura poliédrica, menos nítida e mais larga (até 4cm); coesão muito forte, porosidade tubular, muito fraca, porosidade fissural menos desenvolvida. Fragmentos de geodos, brancos e friáveis, com até 2cm de diâmetro.
C2	65-265	argiloso, bruno-avermelhado (5YR 5/3) a vermelho-amarelado (5YR 4/6), estrutura poliédrica (2-3cm), coesão muito forte, porosidade tubular fraca. Apresenta um nível de geodos silicosos branco-acinzentado-claros (c/ até 10cm de diâmetro) e seus fragmentos; com alteração do tipo exfoliação esferoidal.
C3	265-355	franco-argiloso, vermelho-amarelado (5YR 5/6), com porosidade tubular pouco mais desenvolvida do que em C2, estrutura poliédrica (+/- 5cm), e coesão média. Fragmentos de rocha alterada branca, mais raramente cinza e plaquetas brancas e cinzentas, duras, facilmente quebráveis, parcialmente revestidas por película de cor negra, devida ao óxido de Mn.
C4	355-400	franco-argiloso, bruno avermelhado claro (5YR 6/3), estrutura maciça, coesão fraca, com inúmeras pontuações brancas (microfenocristais alterados) e horizontes pretos achatados (óxidos de Mn). Presença de bandas subhorizontais brancas de material silicoso duro e pulverulento, com manchas vermelhas e poros revestidos por material vermelho-vivo. Outras feições observadas:
- filões subverticais duros, de material cinza-azulado com pequenas manchas esverdeadas e bordos vermelhos;
- numerosas pontuações brancas (micro-fenocristais arredondados e alterados de feldspatos da rocha-fonte);
- numerosas manchas pretas (óxidos de Mn) nas bandas brancas e nos horizontes de alteração bruno-avermelhados.

Este perfil de solo corresponde a um Cambissolo húmico de coloração geral bruno-avermelhado-claro, que está situado a uma altitude de 1260m, no terço superior de uma vertente de topo amplo e aplainado. Apresenta cerca de 6,0m de extensão e seu horizonte superior é nitidamente húmico, com coloração bruna muito escura a preta, sendo notavelmente poroso. O horizonte B, é pouco espesso (30 cm), igualmente argiloso, e apresenta subestrutura poliédrica pouco desenvolvida, porosidade tubular fraca (verificada até o horizonte C3) e fissural forte. A estrutura poliédrica desenvolve-se em tamanho, desde B até C3. O perfil PPa IIa encontra-se melhor representado na Foto 13 e na Figura 08.

Resquícios dos geodos de sílica provenientes da rocha-fonte, observados desde o horizonte B até C4, encontram-se bastante fragmentados.

Evidências do material de alteração encontrado na base do perfil (C3 e C4), estão associadas aos pontos brancos que constituem microfenocristais de feldspatos friáveis (em processo de caolinização), indicando avançado estágio de alteração. Manchas de tonalidades avermelhadas e películas negras representam respectivamente as fases oxidadas do Fe e Mn, verificadas preferencialmente nos planos inter-bandas.

Perfil PPa IIa

SE

NW

The diagram shows a cross-section from SE to NW. At the top are layers labeled A and B. Below them are layers C1, C2, C3, and C4. Sample locations are indicated by small circles with numbers: 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 7. Layer C4 contains areas marked with 'x' representing covered horizons. Various symbols represent geological features as defined in the legend.

LEGENDA

- Contato nítido
- // Veios de quartzo (espessura centimétrica à subcentimétrica)
- - - Geodos de sílica (sub-centimétricos)
- = PR 449
- Amostra p/ lâmina com estrutura conservada,
Difração de Raios-X e Análise Granulométrica
- x x x Horizonte C4 encoberto

ESCALA APROXIMADA

1,0 m
0 1,2 m

Organização e Confecção: Susana Volkmer - 1998

Figura 08: Desenho esquemático do Perfil PPa IIa

ESCALA APROXIMADA

- Contato nítido
- ▨ Veios de quartzo (espessura centimétrica à subcentimétrica)
- Geodos de sílica (sub-centimétricos)
- == PR 449
- ✱ Amostra p/ lâmina com estrutura conservada,
Difração de Raios-X e Análise Granulométrica
- × × × Horizonte C4 encoberto

Organização e Confeccção: Susana Volkmer - 1998

Figura 08: Desenho esquemático do Perfil PPa IIa

Foto 13 – Ppa IIa: material de alteração predominantemente vermelho, em avançado estágio de alteração, com limites inter-horizontes pouco nítidos.

Descrição micromorfológica

Horizonte A: bruno muito escuro com fundo matricial do tipo argilassépico. Existem poucos pseudomorfos e poros, subdendríticos a dendríticos finos. Ocorrem cerca de 2% de opacos arredondados (com até 750μ de diâmetro) que tingem de vermelho e castanho principalmente os pórfiros maiores, dentre os quais verificam-se feldspatos com clivagem parcialmente preservada e quartzo arredondado. Gibbsita e caolinita também aparecem no fundo matricial, além de matéria orgânica em formas recurvadas e espiraladas.

Horizonte B: bruno-amarelado-escuro, com fundo matricial de tipo silassépico. O número de pseudomorfos é pequeno e verifica-se um microfissuramento que forma uma rede distorcida, além da presença de

macroporos arredondados (dominantes) e dendríticos. Encontram-se cerca de 2% de opacos com tamanhos em torno de 500 μ de diâmetro. Quartzo e caolinita são os minerais mais evidentes dispersos no fundo matricial, sendo que o primeiro ocorre também como pórfiro.

Horizonte C1: bruno escuro, este horizonte exibe resquícios de um fundo matricial silassépico, mas também características de alteroplasma porfirosquélco. Os pórfiros de feldspatos encontram-se arredondados a subangulares e normalmente caolinizados. Há menos microfissuras do que o horizonte B, assim como os microporos são menores. Os opacos ocorrem em percentagem em torno de 1%, sendo subarredondados e subangulares. Quartzo e caolinita são minerais reconhecidamente dominantes, verificando-se ainda resquícios de matéria orgânica em formas fibrosas e recurvadas, de cor bruno-pardacenta.

Horizonte C2: bruno-avermelhado, com estrutura alteroplásmica porfirosquélca. Os pseudomorfos subarredondados, mas menores do que aqueles de C1, ocorrem preferencialmente em domínios amarelados. Os poros, a partir deste horizonte aumentam consideravelmente, encontrando-se neste nível com cerca de 10-12%. Os opacos, por sua vez, continuam com teores em torno de 1-2%. Além do quartzo e da caolinita foram também identificadas no fundo alteroplásmico, clorita e goethita.

Horizonte C3: bruno, com fundo alteroplásmico porfirosquélco; os pseudomorfos tornam-se abundantes e os poros ocorrem em percentuais em torno de 10%. Cerca de 1% de opacos é responsável por uma fraca a moderada concentração de oxidróxidos de Fe no alteroplasma. Observam-se filetes contendo material silicoso; dos pórfiros observados, quartzo e feldspatos são mais evidentes.

Horizonte C4: bruno-amarelado claro a esverdeado, com estrutura alteroplásmica exibindo agregados de pórfiros. Há resquícios da textura porfirítica original, mais alterada, na qual se observam aproximadamente

5% de poros e 1% de opacos subangulares a angulares. A presença de oxidróxidos de Fe em manchas decorre da alteração dos piroxênios e das magnetitas. Identificados pórfiros de quartzo, plagioclásio, piroxênio, esfeno, uralita, magnetita, hematita, clorita e raro epidoto.

Perfil PPa IIb

Descrição morfológica

- A** 0-20 muito argiloso, cinza muito escuro (10Yr 3/1), orgânico, grumoso, poroso, rico em raízes e coesão fraca.
- B** 20-45 muito argiloso, bruno escuro (10YR 3/3) nos primeiros 10 cm, e grada para bruno pálido (10YR 6/3); estrutura prismática (4-5 cm), subestrutura poliédrica angulosa (2cm), coesão forte, porosidade tubular fraca e fissural forte. Fragmentos subcentimétricos a milimétricos de geodos brancos alterados.
- C1** 45-60 muito argiloso, bruno-avermelhado (2,5YR 5/4), estrutura poliédrica (1-3cm), coesão forte e porosidade tubular fraca no material cinza e mais desenvolvida no material bruno-avermelhado. Manchas cinza-claras (dominantes) e rosa-acinzentadas (5YR 7/2) com pigmentos vermelhos são compactas e mais coesas.
- C2** 60-85 muito argiloso, amarelo (10YR 7/6) com matizes brancos, cinza-esverdeados claros e escuros, estrutura poliédrica (1-2cm), coesão média e porosidade tubular forte. Nível de geodos brancos com exfoliação esferoidal (c/ até 20 cm de diâmetro), quebrados e de composição silicosa.
- C3** 85-100 franco-argiloso, bruno escuro a bruno (7,5YR 4,4), extremamente poroso (porosidade tubular fina intersticial desenvolvida), estrutura tipo "pão de mel"; estrutura poliédrica (1cm) forte, coesão média e bandamento subvertical. As bandas têm 10-20cm de espessura, e entre elas há plaquetas ferruginizadas avermelhadas, violáceas e pretas. Plaquetas menores amarelo-claras são pulverulentas, argilosas.
- C4** 100-230 - (C4a): argiloso, vermelho (10R 4/6) com manchas esbranquiçadas e acinzentadas. Porosidade tubular desenvolvida, estrutura poliédrica (1-2cm), coesão média, fraca. Os domínios bruno-acinzentados claros têm porosidade tubular pouco menos desenvolvida. Geodos arredondados (com diâmetros em torno de 0,5cm), totalmente alterados, nas cores vermelho forte, branco avermelhado a branco, sendo friáveis e quebradiços. Apresentam porosidade tubular e intersticial forte, estrutura maciça rumo a base e coesão fraca.
- (C4b): argilo-siltoso, vermelho-claro (10R 5/3), maciço, coesão fraca, porosidade tubular fina e intersticial medianamente desenvolvida, com tonalidades violáceas. Bandas plano-paralelas preenchidas por material branco-amarelado a ocre com pontuações negras, estão entrecortadas p/ finos veios (0,5-0,6cm espes.) preenchidos por material silicoso branco (quebradiço, por vezes lenticular) e avermelhado.
- C5** 20 cm espes. material relictual da rocha granofírica, com textura franco-argilosa e cor bruno-avermelhado-claro (5YR 6/3), maciço e porosidade tubular bem desenvolvida. Apresenta manchas milimétricas vermelhas que bordejam os poros. No topo apresenta-se argilo-siltoso e bruno-esverdeado a cinzento.

Este perfil, da mesma forma que PPa IIa, apresenta a classificação de Cambissolo húmico, e encontra-se a uma altitude aproximada de 1260m, no terço superior de uma vertente de topo amplo e aplainado. Apresenta-se,

porém, ligeiramente mais amarelado, tem cerca de 4,5m de extensão, e é um pouco menos argiloso do que o perfil anterior. O detalhe deste perfil pode ser observado na Figura 09 e na Foto 14.

Foto 14 – PPa IIb: nível de geodos de sílica esbranquiçados no horizonte C2.

As cores amareladas estão normalmente associadas às suaves depressões, demarcadas pela presença do nível rebaixado de geodos de sílica, e onde também se verifica uma inflexão no mergulho das estruturas planares bandadas.

Nos planos interbandas verifica-se o preenchimento de material silicoso, que atualmente se encontra em avançado estágio de alteração, visto que este material desagrega-se facilmente, encontrando-se por vezes mole.

O horizonte A, a exemplo do perfil e corte anteriores, é rico em raízes,

apresentando igualmente cores muito escuras. A estrutura prismática que aparece em B passa para a de tipo poliédrica a partir de C1 até C4.

A cor dominante do perfil é bruno-vermelho-amarelada. Verifica-se um nível contínuo (20-30cm de espessura) de geodos decimétricos de material sílico esbranquiçado (Foto 15), com exfoliação esferoidal e tamanhos que variam de 2 a 20 cm de diâmetro, e que estão concentrados ao longo do contato C1-C2 (conforme mostra a Figura 09).

Foto 15 – Detalhe da linha de geodos de sílica decimétricos, em material exibindo domínios vermelho-acinzentados e amarelo-ocres.

A porosidade tubular fraca verificada em B e C1 torna-se fortemente desenvolvida a partir de C2 até a base do perfil. O horizonte B3 do perfil PPa IIb mantém resquícios da coloração escura na sua parte superior, por influência do nível húmico. O horizonte C4, por apresentar variações morfológicas distinguíveis, foi subdividido em dois domínios: C4a, mais ao topo, apresenta tonalidades branco-cinza-avermelhadas, com porosidade tubular pouco menos desenvolvida, e C4b, (próximo a base do perfil), com tonalidades branco-cinza-violáceas, porosidade tubular intersticial melhor desenvolvida e estruturas bandadas preservadas.

Películas e manchas de cores vermelha e preta, que representam respectivamente a presença de óxidos de Fe e Mn, tingem os planos bandados preferencialmente na base do perfil (C3 e C4). Nos dois horizontes inferiores observam-se também: feições litorreliquiaes como os resquícios da textura microgranofírica (microfenocristais de feldspatos caolinizados), microfraturas (discordantes das estruturas bandadas plano-paralelas) preenchidas por material silicoso e filões subverticalizados preenchidos por material cinza-azulado e verde, pouco duro.

Descrição Micromorfológica

Considerando-se que PPa IIb dista apenas 15m de PPa IIa, estando ambos os perfis no mesmo corte, as características micromorfológicas dos horizontes A, B, C1 e C2 são similares nos dois casos, havendo algumas diferenciações morfológico-estruturais encontradas nos horizontes C3, C4 (a e b) e C5.

Horizontes C3: bruno-amarelado com estrutura do alteroplasma de tipo porfiroscúlica. As pseudomorfoses ocorrem em escala menor do que no perfil anterior; as microfissuras verificadas no fundo matricial são dendríticas e os poros, alongados e interconectados. Praticamente não há opacos mas a presença de oxidróxidos de Fe é moderada, ocorrendo na

forma de manchas e pontos castanho-alaranjados. Caolinita, goethita e gibbsita são argilominerais dominantes na matriz.

Horizonte C4: amarelo-alaranjado a cinza-brunado (C4a) e bruno-escuro a cinza-esbranquiçado (C4b). Em ambos a estruturação do fundo alteroplásmico é esquelssépica, com macropórfiros bastante dispersos. Há menos pórfiros alterados do que em C3; são subangulares a angulares e mais alterados em C4a e arredondados e prismático, em C4b. Verificam-se macrofissuras irregularmente dispersas no alteroplasma, principalmente no material cinza-brunado, e microfissuras em rede ortogonal, também encontradas nos pseudomorfos; no horizonte C4b há uma larga fratura preenchida por material silicoso brechado. Os opacos perfazem cerca de 2-3% do total, e são responsáveis por uma razoável concentração de oxidróxidos de Fe no alteroplasma, especialmente envolvendo os pórfiros, compostos por quartzo, feldspatos, piroxênios, rara apatita e caolinita.

Horizonte C5: amarelo bruno-avermelhado com estruturação matricial de tipo massépica. Os pórfiros de feldspatos e piroxênios são abundantes estando os do segundo grupo bastante deferruginizados. As microfissuras são irregulares, ocorrendo também fratura fina e retilínea. A moderada ocorrência de oxidróxidos de Fe está associada à um teor de opacos maior do que no horizonte anterior. Verificam-se caolinita e goethita na matriz alteroplásmica.

Síntese

No corte CPa II verificam-se características micromorfológicas, tais como:

- a) um fundo matricial predominantemente argilassépico e silassépico, ou seja, não há separação plásmica e os pórfiros ocorrem como pseudomorfos em avançado estágio de alteração, de modo a formar domínios cintilantes e não orientados entre si;

- b) uma transição plasma-alteroplasma observada nos horizontes C1 e C2;
- c) há um menor teor de pseudomorfos, que normalmente são pouco menores do que os do corte CPa I;
- d) há um relativo aumento de poros em relação ao teor de microfissuras, se compararmos com o corte CPa I;
- e) o teor médio de opacos nos diferentes horizontes, não ultrapassa 2-3% (em CPa I esta média é de 7%), significando que os oxidróxidos de Fe ocorrem em menor quantidade nos cortes CPa II e/ou que a maioria destes opacos já se encontra deferruginizada (ocorrendo apenas como manchas decorrentes da oxidação do Fe no alteroplasma).

No perfil PPa IIb, em especial, o horizonte C4 apresenta particularidades morfológico-estruturais, que permitem subdividi-lo em dois domínios:

- predominantemente cintilante e branco-amarelado, silassépico, com subdomínios castanho-avermelhado escuros, globular (cristaliplasma), com pseudomorfos muito mal preservados. Apresenta fraturas visíveis a olho nu preenchidas por material caolinítico (igualmente cintilante) e por óxidos de Fe que tonalizam algumas destas fraturas com a cor bruno-avermelhada.
- predominantemente bruno-avermelhado, argilassépico, com subdomínios branco-amarelados e cintilantes e com pseudomorfos melhor preservados. Onde domina a argilização cintilante esbranquiçada os pórfiros originais estão bastante alterados, e sua forma é pouco visível. Corresponde a um nível de plaquetas alongadas, com certo paralelismo entre si; uma delas está notadamente truncada e deslocada por uma fratura que a corta obliquamente, gerando no local cristais brechados.

A coloração bruno-amarelada a avermelhada observada em mesoescala verifica-se também em microescala, e ela retrata as condições oxidantes alternantes propícias à formação de oxidróxidos de Fe, ora hidratados, ora não.

2.2 Área de Pinhão

Na área de Pinhão foram descritos três perfis: PPI I, PPI II e PPI III, cujas características gerais e descrições morfológicas e micromorfológicas seguem abaixo. Para a descrição e análise micromorfológica da área de Pinhão, foram considerados apenas os perfis PPI I e PPI II, levando-se em consideração a similaridade das características micromorfológicas desses com o perfil PPI III.

- **Caracterização geral:** os três perfis são menores (em espessura e largura) em relação aos descritos em Palmas, sendo predominantemente vermelhos e mais argilosos e apresentando espessuras em torno de 2m e presença de núcleos esparsos de rocha alterada endurecida;
- **Localização:** estrada Pinhão-Dois Pinheiros: PPI I e PPI II - município de Dois Pinheiros, e PPI III - município de Pinhão;
- **Material de origem:** riolito/riodacito granofírico;
- **Relevo:** suavemente ondulado a moderadamente ondulado, com vertentes ligeiramente convexas e apresentando depressões fechadas onde normalmente se concentram matas ciliares e pequenas lagoas;
- **Erosão:** não aparente;
- **Drenagem:** bem drenado;
- **Uso atual:** capoeira; nos arredores: exploração de brita (pedreira de basalto), cultivo de soja (dominante), trigo e milho.

PERFIL PPI I

Descrição morfológica

- A** 0-15 cm muito argiloso, bruno-escuro (7,5YR 3/4), húmido, estrutura grumosa, porosidade muito forte intermicroagregada
- B** 15-60 muito argiloso, bruno muito escuro (7,5YR 4/6), estrutura poliédrica (<2cm), coesão muito fraca, húmido; subestrutura microagregada bem desenvolvida, porosidade intermicroagregada forte
- C1** 60-147 muito argiloso, bruno-avermelhado (2,5YR 5/4), pouco coeso, com pontuações amarelo-brunadas (10YR 6/6) e bruno-amarelado-escuros (7,5YR 5/8). Pequenas manchas ocre e amarelo-vivas correspondem respectivamente aos pórfiros de feldspatos caolinizados e goethitizados, que se encontram dispersos. Verifica-se um bolsão muito argiloso (2m x 0,85m), vermelho amarelado (5YR 4/6), microagregado, porosidade intermicroagregada medianamente desenvolvida associada a um nível litorrelíquial (5cm larg.) de plaquetas avermelhadas (2,5YR 5/8), bruno-acinzentadas (10YR 5/2), amareladas (10YR 5/8) e branco, e fantasmas de fenocristais brancos com halo milimétrico de cor 7,5YR 5/8. Na base do bolsão, um nível (10cm de espess.), contendo fragmentos de rocha alterada nas cores vermelho claro e escuro (2,5YR 6/6 e 2,5YR 5/8) com fraturas revestidas por película preta (óxido de Mn) e manchas milimétricas brancas (micro-pórfiros muito alterados).
- C2** 147-175 argiloso, vermelho pálido (2,5YR 6/8), duro, com abundantes manchas subcentimétricas de material caolinizado (branco) e goethitizado (amarelo).
- C3** 175-220 argiloso, duro, maciço com manchas brancas (1-6 mm de diâmetro) e microfraturas preenchidas por material branco concentrado, cuja dureza aumenta rumo a base. Nos 10cms inferiores a estrutura plano-paralela encontra-se melhor preservada.

Trata-se de uma Terra Bruna álica situada no topo da vertente, em uma altitude de aproximadamente 1000m. Apresenta cerca de 5,5m de largura e 2,5m de espessura e exibe um bolsão argiloso de cor vermelho-amarelada e forma côncava (ilustrado na Figura 10), assentado sobre material cinza-esverdeado, com estrutura bandada subparalela. Na base do perfil, volumes argilosos menores encontram-se parcialmente encobertos por vegetação rasteira e material argilo-arenoso carreado dos horizontes superiores.

Este perfil é argiloso e exibe cores predominantemente avermelhadas, subestrutura microagregada e porosidade intermicroagregada desenvolvidas no horizonte B. Esta porosidade aparece também em C1, onde se verifica o bolsão argiloso de formato côncavo, que pode ser a expressão local de uma evolução pedogenética lateral, conforme se discutirá posteriormente.

O material argiloso ter-se-ia depositado em uma depressão, originada possivelmente pela inflexão das estruturas bandadas planares, em cuja base ocorrem associados núcleos residuais da rocha alterada de cor cinza-esverdeada.

As manchas ocre que já aparecem em C1, como halos de alteração em torno dos macropórfiros, são mais expressivas em tamanho e quantidade em C2, decrescendo em C3, onde cedem lugar às manchas milimétricas arredondadas e brancas (pórfiros de feldspatos alterados), que são abundantes neste horizonte.

Na base do perfil o horizonte C3 é marcado predominantemente pela estrutura bandada paralela razoavelmente preservada, acompanhada de manchas e microfraturas que contêm material caolinizado branco.

O material relictual encontrado nos horizontes C2 e C3 é composto por núcleos endurecidos de coloração cinza-esverdeada, que apresentam dureza variável. Os núcleos encontrados na base do bolsão reportam possivelmente a uma fase de transição da pedogênese, associada a uma evolução lateral do material de alteração da própria vertente do perfil. Manchas subarredondadas, brancas (caolinizadas) e de cor ocre (goethitizadas), são verificadas desde o horizonte C1 até a base, onde estão melhor preservadas as estruturas plano-paralelas no horizonte C3.

Perfil PPI I

ESCALA

0 25 50 cm

LEGENDA

- h raízes
- blocos litoreliquiais amarelo-esverdeados
- pontos e manchas esbranquiçadas (caolinização em macropórfiros)
- manchas amarelas - goethitização
- estrutura bandada plano-paralela
- bolsão argiloso: 2,0 x 0,85m - C1
- Amostra p/ Análise Micromorfológica
- Amostra p/ Análise Granulométrica
- Amostra p/ Análises Granulométrica e Micromorfológica

Organização e Confecção: Susana Volkmer - 1998

Figura 10: Desenho Esquemático do Perfil PPI I

Descrição micromorfológica

Horizonte B: cor cinza-amarelo-esverdeada com estruturação plásmica de tipo esquelsépica e microestruturação plásmica (pedalidade) fracamente desenvolvida. Apresenta abundante quantidade de pseudomorfos grandes (100-300 μ de diâmetro, e arredondados). As microfissuras encontram-se bastante finas, mas preenchidas por material caolínítico e os poros encontram-se subdendríticos. Os opacos perfazem cerca de 5% do total e são responsáveis por uma fraca a média concentração de oxidróxidos de Fe associada aos macropórfiros do plasma. Verificam-se poucas raízes e argilominerais como goethita e gibbsita pouco desenvolvidas encontram-se distribuídas esparsa e irregularmente, associadas preferencialmente a pseudomorfos de feldspatos extremamente alterados.

Horizonte C1: o material mais argiloso (equivalente ao bolsão de argila) encontra-se cinza- verde-amarelado, com abundantes domínios bruno-avermelhados. Em alguns domínios cinza-claros verifica-se uma estruturação silassépica, noutros domínios observa-se um alteroplasma porfirosquélco, havendo no geral micro e microfissuras irregulares. Os pórfiros de opacos e de piroxênios encontram-se em geral pseudomorfizados em estágio avançado de deferruginização, sendo que há uma concentração de oxidróxidos de Fe coincidente com os subdomínios avermelhados. Alguns feldspatos exibem clivagem preservada. Observam-se cerca de 5% de opacos razoavelmente preservados na matriz, cujos pórfiros foram identificados em sua maioria como sendo de plagioclásios, aegirina-augita, hematita, ilmenita e quartzo.

No nível contendo as plaquetas silicosas o material de características plásmicas é amarelo-verde-acinzentado, com estrutura de tipo esquelsépica e domínio massépico, sendo a microestrutura plásmica fraca a moderadamente desenvolvida. Os pseudomorfos são abundantes e as microfissuras e os poros são dendríticos. Neste nível verificam-se cerca de 12% de opacos poligonais associados aos quais há uma forte concentração

de oxidróxidos de Fe bruno-avermelhados.

Horizonte C2: cor cinza-esverdeado pálida com alteroplasma macroporfirosquélco. As microfissuras existentes ocorrem predominantemente sobre os grãos pseudomorfizados. Verificam-se de 3 a 5% de opacos, responsáveis por uma concentração de oxidróxidos de Fe em manchas irregulares e pela presença de “box-work” (reticulado bruno avermelhado). Entre os pórfiros identificados observam-se plagioclásio, ortoclásio (com macla de Carlsbad nítida) e quartzo (subangular).

Horizonte C3: cor cinza-amarelo-esverdeada com macropórfiros maiores do que em C2, dispersos no microalteroplasma. Os pseudomorfos reconhecidamnete máficos, são em geral menores do que o horizonte anterior, encontrando-se ora deferruginizados, ora associados a produtos amorfos sílicoferuginhosos. São poucas as fissuras existentes e encontram-se cerca de 5% de opacos responsáveis por uma grande quantidade de manchas de oxidróxidos de Fe dispersas no alteroplasma. Entre os pórfiros melhor preservados encontra-se o quartzo e poucos feldspatos e piroxênios; a caolinita apresenta-se maior e melhor desenvolvida do que a gibbsita e ambas associam-se preferencialmente às microfissuras e bordos dos feldspatos.

PERFIL PPI II

Este perfil consiste em um Latossolo Bruno álico, argiloso (Foto 16), que apresenta cerca de 3,5m de altura e 1,2m de largura, e está situado no topo suavemente convexo de vertente com 112m de extensão. Apresenta um nível contínuo de plaquetas e nódulos de sílica em alteração (situados à 1,0m do topo) que apresentam 8 a 10cm de espessura. Cerca de 1,0m abaixo do nível das plaquetas encontram-se resquícios da rocha porfirítica alterada, com cor cinza-esverdeada.

Foto 16 – PPI II - Latossolo Bruno tendo no topo um nível (com cerca de 6 cm de espessura) de plaquetas achatadas (centimétricas a subcentimétricas) de material silicoso alterado.

Descrição Morfológica

- A** 0-15 cm muito argiloso, bruno-escuro (7,5YR3/2), orgânico, estrutura em grumos.
- B** 15-100 argiloso, vermelho (10R 4/6), estrutura poliédrica (1-2 cm), subestrutura microagregada desenvolvida, porosidade intermicroagregada medianamente desenvolvida
- C1** 100-110 material argiloso, vermelho pálido (10R 4/3), que apresenta um nível (com espessura entre 8-10 cm) de plaquetas (0,3 cm espes. x 1,5cm comp.) ou seixos (com até 10cm de comp.) achatados, de material silicoso esbranquiçado. Resquícios de pórfiros alterados (c/ até 1cm de ϕ), subangulares e envolvidos por um reticulado avermelhado (*box-work*), muito duro (quebrável com martelo). Localizadamente o nível de plaquetas é contínuo e ondulado (7cm de comp.)
- C2** 110-145 argiloso, bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4), estrutura poliédrica fina (2-5mm), anguloso com faces lisas, que sob pressão formam microagregados; arranjo muito compacto, porosidade tubular medianamente desenvolvida. Apresenta uma única fileira descontínua de plaquetas silicosas. Na matriz há *box-work* vermelho, localizado, e pontos dispersos, milimétricos e brancos.
- C3** 145-200 argiloso, bruno-oliva escuro (2,5Y 4/4), duro, com manchas angulosas/subangulosas amarelas (10YR 7/6), cinza-esverdeado-escuro (5Y5/1) e cinza-escuro (5BG 5/1). Estrutura bandada plano-paralela, em cujos planos há material terroso preto. Presença de alvéolos arredondados, submilimétricos, de cor vermelho-amarelada (5YR 4/6).
- C4** 200-206 material argiloso, bruno-avermelhado escuro (2,5YR 3/4) que contém um nível contínuo de plaquetas quebráveis, com pontuações e manchas subcentimétricas, muito duras, silicificadas, que se distribuem entre os planos de fratura e/ou planos bandados, sendo as fraturas oblíquas às bandas.
- C5** 206-230 argiloso, vermelho-amarelado (5YR 4/6), estrutura poliédrica fina, coesão extremamente forte (3-4cm), porosidade tubular extremamente fraca e faces estruturais muito lisas. Presença de lentes pretas de material terroso, achatadas, e plaquetas menos duras do que em C4, ambas entre os planos bandados.

Este perfil encontra-se ligeiramente mais argiloso nos horizontes inferiores (C2 a C5) e argilossiltoso nos horizontes A e B, apresentando da mesma forma que em PPI I, subestrutura microagregada e porosidade intermicroagregada desenvolvidas, neste último horizonte.

O nível contendo plaquetas de material silicoso e os pórfiros de feldspatos alterados esbranquiçados, ambos indícios do material relictual, aparecem a partir do horizonte C1, na profundidade de 1,0m (conforme se observa na Figura 11). Este nível, que novamente aparece em C2, C4 e C5, ocorre invariavelmente de forma descontínua e irregular. Por vezes encontram-se achatados, dispostos entre as estruturas planares bandadas, que se encontram um pouco melhor preservadas nos horizontes C3, C4 e C5.

As plaquetas silicosas exibem dureza variável nos diferentes horizontes em que aparecem, encontrando-se na base do perfil (horizonte C5) menos duras do que as verificadas em C4. É também no horizonte basal que se verificam manchas e lentes de material terroso preto, indicativos da presença de óxidos de Mn, normalmente associados à presença de óxidos de Fe que são responsáveis pela cor predominantemente vermelha do perfil.

A presença de fraturas e microfraturas observada em C4, oblíquas aos planos bandados, são evidências localizadas da presença de uma tectônica rúptil também observada na área de Pinhão.

O material reliquial verificado no horizonte C3 é duro e contém manchas esbranquiçadas arredondadas, correspondentes aos pórfiros de feldspatos bastante alterados. Em C1 e C4 encontram-se ainda fileiras de plaquetas de sílica alteradas, que possivelmente são o registro do fluxo da lava ácida, melhor preservado em C5, a exemplo do que é encontrado em CPa I (nos horizontes C4 e C8b).

Descrição Micromorfológica

Horizonte C1: cor cinza-esbranquiçada a branco-amarelado-clara, com estrutura alteroplásmica de tipo porfiroscúlica, sendo poucos os pórfiros (em geral pseudomorfizados). Há a presença de plaqueta silicosa branco amarelada clara (composta por quartzo ou calcedônia), fraturada, ao longo de cuja fratura verifica-se aglutinação de plasma argílico bruno-avermelhado, devido à oxidação de Fe. Trata-se provavelmente de uma amígdala remanescente da rocha preenchida por SiO_2 dissolvida e associada a oxidróxidos de Fe. Observam-se cerca de 3% de opacos.

Horizonte C2: cor cinza-esverdeada (dominante) a bruno-avermelhada escura com estrutura alteroplásmica exibindo predominantemente aglomerados de pórfiros. São abundantes as pseudomorfoses verificadas em geral, no material cinza; os pórfiros melhor preservados (quanto a forma originalmente prismática), encontram-se no material bruno. As microfissuras são abundantes nos macropórfiros, e os poros são pequenos (variam de 50 a 80μ de diâmetro), sem aparente orientação. Verificam-se cerca de 10% de opacos, responsáveis por uma concentração de oxidróxidos de Fe no material bruno-avermelhado. Foram identificados pórfiros de feldspatos alterados (com bordos arredondados), de piroxênios deferruginizados e de quartzo subangulosos a subarredondados; na matriz encontram-se ocorrências esparsas de caolinita e rara clorita em processo de desenvolvimento (manchas disformes).

Horizonte C3: cores cinza-amareladas, amarelo-alaranjadas e esverdeadas com criptoalteroplasma exibindo uma maior quantidade de pórfiros alterados do que em C2. Verifica-se a presença de fratura perpendicular à clivagem pouco preservada de feldspato e em avançado estágio de alteração; nesta fratura encontra-se gibbsita. Os opacos ocorrem em percentuais que variam de 5 a 8%, havendo manchas de oxidróxidos de Fe nos domínios alaranjados. Resquícios da textura porfirítica original exibem ocorrências esparsas de magnetita preservada. No alteroplasma encontra-se goethita, gibbsita e caolinita.

Perfil PPI II

0 20cm

Escala Aproximada

LEGENDA:

- - - - - Contato inferido
- Contato nítido
- ~ ~ ~ Estrutura bandada ondulada (linhas de fluxo do magma).
- o o - Plaquetas de sílica
(2-3mm espessura x 3-10cm largura)

FIGURA 11: Desenho esquemático do Perfil PPI II

Horizonte C4: cor cinza-esverdeada com muitos domínios bruno-avermelhados no criptoalteroplasma, onde se verificam poucos pórfiros prismáticos preservados. Microfissuras e fraturas encontram-se caolinizadas e com óxidos de Fe. Os opacos ocorrem em torno de 8 a 10%; verificam-se ainda manchas irregulares de oxidróxidos de Fe que também compõem feições de fluxo de material fe-argiloso de cor bruno-avermelhada. Onde há evidências da melhor preservação da textura porfirítica original o teor de oxidróxidos diminui. Identificados pseudomorfos de feldspatos, grãos subangulares de quartzo, além de caolinita, e mais raramente uralita e clorita.

Horizonte C5: cor cinza-verde-amarelada com domínios bruno-avermelhado escuros no criptoalteroplasma. Os pórfiros alterados ocorrem em menor quantidade do que no horizonte anterior. Verifica-se microfissuramento em formas variadas no alteroplasma; os poros são dendríticos, estando em geral agregados. Há cerca de 10% de opacos subangulares, e a textura porfirítica original está melhor preservada no material cinza-esverdeado.

PERFIL PPI - III

O perfil PPI III corresponde a um Cambissolo álico (Foto 17 e Figura 12) situada no topo de uma vertente, a uma altitude aproximada de 1030m. Apresenta 3m de espessura e 1,5m de largura, exibindo em sua parte mediana (horizonte C2), um nível lenticular e descontínuo de plaquetas silicosas (que apresentam até 8cm de comprimento e 0,5 a 0,6cm de espessura), abaixo das quais verifica-se um nível contendo pedotúbulos, ferruginizados e duros, que apresentam até 10cm de comprimento (Foto 18).

Foto 17 – Perfil PPI III – Cambissolo exibindo pedotúbulos (centimétricos a decimétricos) situados no horizonte C3 de cor vermelho-vivo.

Perfil PPI III

0 20cm
Escala Aproximada

LEGENDA:

--- - Contato difuso e inferido

○ - Pedotúbulos

○ - Concreções sílico-alumino-ferruginosas

FIGURA 12: Desenho esquemático do Perfil PPI III

Foto 18 – Perfil PPI III - Detalhe dos pedotúbulos, exibindo superfície corrugada em decorrência das incrustações aluminoferruginosas.

Descrição Morfológica

A	0-15 cm	muito argiloso, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/4), humífero, porosidade tubular desenvolvida.
B	15-30	muito argiloso, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/3), estrutura poliédrica (1cm), subestrutura microagregada, porosidade tubular desenvolvida.
C1	30-50	muito argiloso, vermelho-amarelado (5YR 4/6), estrutura poliédrica (1cm), subestrutura microagregada, porosidade tubular e microagregada forte com manchas milimétricas, arredondadas (2mm de ϕ) e rosadas.
C2	50-85	muito argiloso, vermelho escuro (2,5YR 3/6), estrutura maciça, subestrutura microagregada, porosidade intermicroagregada bem desenvolvida e manchas rosadas, mais esparsas do que em C1.
C3	85-205	muito argiloso, bruno-escuro (7,5YR 4/6) a vermelho-acinzentado escuro (2,5YR 4/6), estrutura poliédrica (0,5-2,0cm) microagregada, porosidade microagregada forte com transição brusca e gradual (5cm de espes.), com horizontes compactos e fratura lisa. A cerca de 1,00m de profundidade há acumulação de pedotúbulos (0,5-3,0cm de ϕ , em seção transversal) e concreções/nódulos sílico ferruginosos até a base do perfil. Os primeiros são duros, têm borda maciça e encontram-se por vezes achatados. Ambos possuem fratura lisa e subconchoidal.

Este perfil é muito argiloso e apresenta cores que variam do bruno-avermelhado ao vermelho-alaranjado, com tonalidades mais fortes (vermelho-acinzentado escuro) no horizonte C3 e especialmente nos horizontes circundantes aos nódulos e pedotúbulos ferro-silicosos. A estrutura poliédrica é observada nos horizontes B, C1 e C3 (em torno de 1cm), sendo que em C2 há estrutura maciça com subestrutura microagregada. A porosidade tubular ocorre nos horizontes B e C1, sendo que em C2 e em C3 muda respectivamente para intermicroagregada e microagregada desenvolvida.

O nível contendo pedotúbulos e nódulos concentra-se no horizonte basal, apresentando-se de forma irregular e descontínua, com preferencial distribuição vertical, conforme detalha o desenho esquemático da Figura 12. Estas feições constituem-se predominantemente por óxido de Fe, com incrustações de material silicoso e aluminoso, conforme análise feita ao MEV.

Síntese

Analisando-se os perfis PPI conjuntamente, pode-se dizer que são eminentemente argilosos e razoavelmente espessos (com mais de 2m de espessura), apresentando invariavelmente núcleos de rocha endurecidos.

O material relictual encontrado em PPI I, nos horizontes C2 e C3, é composto por núcleos endurecidos de coloração cinza-esverdeada, que apresentam dureza variável. Os núcleos encontrados na base do bolsão argiloso reportam possivelmente a uma fase de transição da pedogênese, associada a uma evolução lateral do material de alteração da própria vertente do perfil, responsável pelo transporte desses núcleos rochosos duros. Manchas subarredondadas brancas caolinizadas e de cor ocre, goethitizadas, são verificadas desde o horizonte C1 até a base, refletindo assim condições de circulação hídrica mais intensa, onde estão melhor preservadas as estruturas bandadas plano-paralelas (em C3).

Em PPI II o material reliquial está representado pelo horizonte C3, duro, onde se observam manchas esbranquiçadas arredondadas, correspondentes aos pórfiros de feldspatos bastante alterados. Em C1 e C4 encontram-se ainda fileiras de plaquetas de sílica alteradas, que possivelmente constituem a concentração localizada (por entre as estruturas bandadas) de material silicoso em dissolução. Estas plaquetas encontram-se melhor preservadas em C5, a exemplo do que é encontrado em CPa I (horizontes C4 e C8b).

O perfil PPI III apresenta em seu horizonte de base - C3 - acumulação de pedotúbulos (plintita tubular) e nódulos ferruginosos, irregulares. Eles são constituídos predominantemente por óxido de Fe, material silicoso com recobrimento parcial de argilominerais sílicoaluminoso. Estes nódulos provavelmente se formaram por segregação de óxidos de Fe translocados de horizontes supra e adjacentes. Eles são de consistência muito firme e

consolidação irreversível (visto que não se desagregam em presença d'água) e são o produto da alternância de umedecimento e secagem, em horizontes onde há restrita movimentação vertical de água.

Comparando-se a distribuição do material relictual e das plaquetas silicosas dos três perfis, observa-se que: os núcleos de rocha ocorrem em PPI I e em PPI II, aproximadamente à mesma profundidade (em torno de 1,50m), não aparecendo no perfil PPI III, pelo menos até a profundidade exposta (2,05m).

As plaquetas silicosas aparecem em PPI I no horizonte C1, a 0,60m de profundidade, sendo mais descontínuos; em PPI II, aparecem também em C1, porém a 1,0m do topo, de forma mais contínua e regular, em relação ao perfil anterior. No perfil PPI III, as plaquetas não ocorrem, mas aparecem, no horizonte C3, pedotúbulos e concreções ferro-aluminosas associadas, a cerca de 1,0m de profundidade.

Em relação aos perfis PPI constata-se que:

- a) a cor cinza-amarelo-esverdeada é dominante no alteroplasma, e nos horizontes superiores é mais esbranquiçada, por causa da intensa caolinização, por vezes associada à presença de gibbsita;
- b) o alteroplasma encontra-se em geral micro a criptocristalino, exibindo macropórfiros invariavelmente maiores do que aqueles encontrados nos cortes de Palmas;
- c) as fissuras e os poros, em geral interconectados, normalmente exibem abundante quantidade de oxidróxidos de Fe (que tingem inclusive os horizontes inferiores na cor bruno-avermelhada), é resposta a um número maior de macropórfiros de opacos, que atingem uma média de 9%;
- d) os poucos grãos feldspáticos preservados evidenciam seus planos de macla (*carlsbad* no ortoclásio, e polissintética nos plagioclásios);
- e) a textura porfirítica, mesmo nos horizontes inferiores, encontra-se bem

menos preservada em relação à textura relictual verificada nos cortes de Palmas;

- f) há uma relativa abundância de gibbsita, associada normalmente a caolinita, nos horizontes intermediários (como em C3);
- g) assim como em Palmas, há uma abundante quantidade de produtos amorfos, de provável composição sílicoferuginosa e/ou sílicoaluminosa.

Todos os perfis de Pinhão encontram-se no topo ou próximo ao topo de suas respectivas vertentes, situados em áreas bem drenadas, e cuja evolução pedogenética geral, atingiu um estágio de desenvolvimento relativamente maior daquele que se observa nos cortes de Palmas.

3. RESULTADOS ANALÍTICOS COMPLEMENTARES

3.1 Análise Granulométrica

- Os teores de areia, silte e argila dos cortes e perfis estudados foram obtidos utilizando-se a classificação da Escala Textural Americana - USDA que determina para as respectivas frações o seu tamanho em partículas (mm):
- areia: 2,00-0,05;
- silte: 0,05-0,002;
- argila: < 0,002

3.1.1 Área de Palmas

As tabelas 01, 02 e 03 exibem os dados granulométricos obtidos para os cortes CPa I e CPa II.

Tabela 01 – Dados Granulométricos (%) do Corte CPa I

Horizonte	Argila total	Silte total	Areia total	Classificação
A	71	23	06	muito argiloso
B	72	21	07	muito argiloso
C1	56	27	17	argiloso
C2	72	21	07	muito argiloso
C3	26	36	38	franco-argiloso
C4	27	41	32	franco-argilo-arenoso
C5	20	41	39	franco
C6	39	39	22	franco-argilo-siltoso
C7	33	38	29	franco-argiloso
C8	34	31	35	franco argilo-arenoso
C9	28	29	43	franco-argiloso
C10	28	39	33	franco
C11	36	26	38	franco-argiloso
Rocha alterada	39	21	40	franco-argiloso

Observa-se neste quadro que a classe textural dominante para o corte CPa I é a franco-argilosa, na qual foram também inseridas as classes franco-argilo-arenosa (C4 e C8) e franco-argilo-siltosa (C6). Os horizontes C3, C5 e C10 classificam-se texturalmente como francos, sendo que o primeiro representa núcleos relictuais da rocha, e que se encontram razoavelmente preservados próximo ao topo; os horizontes C5 e C10, ao contrário, encontram-se próximos à base do corte, obedecendo desta forma à evolução granulométrica normal de base para topo, ou seja, da fração mais grosseira para a fina, e acompanhando assim a evolução pedogenética do corte. Nos horizontes superficiais - A até C2 - concentram-se as classes mais argilosas (muito argiloso e argiloso).

Tabela 02 – Dados Granulométricos (%) do Perfil PPa IIa

Horizonte	Argila total	Silte total	Areia total	Classificação
A	70	21	09	muito argiloso
B	76	18	06	muito argiloso
C1	73	21	06	muito argiloso
C2	49	26	25	argiloso
C3	37	32	31	franco-argiloso
C4	20	39	41	franco-argiloso

Tabela 03 – Dados Granulométricos (%) do Perfil PPa IIb

Horizonte	Argila total	Silte total	Areia total	Classificação
A	72	20	08	muito argiloso
B	71	23	06	muito argiloso
C1	60	28	12	muito argiloso
C2	68	21	11	muito argiloso
C3	32	40	28	franco-argiloso
C4	49	31	20	argiloso
C5	33	30	37	franco-argiloso
Rocha alterada	12	25	63	franco-arenoso

Da mesma forma que no corte CPa I, o horizonte C2 de ambos os perfis acima marca o limite inferior para a ocorrência das classes texturais mais finas (argiloso ou muito argiloso). Os horizontes C1 e C2, conforme já observado anteriormente, apresentam uma estruturação transitória de plasma para alteroplasma, que possivelmente determinou aos seus respectivos materiais de alteração uma textura mais argilosa.

O horizonte C3 do perfil PPa IIb (situado entre horizontes muito argilosos) apresenta textura franco-argilosa provavelmente devida à presença dos finos fragmentos de rocha alterada associados a plaquetas duras de material silicoso.

A classe franco-argila observada em C3, C4 (Perfil PPa IIa) e C5 (Perfil PPa IIb) retrata a seqüência natural de evolução dos perfis - grosseiros na base, gradando para mais finos ao topo.

O material argiloso encontrado no horizonte C4 pode estar representando uma situação particular do processo de intemperização química. Atribui-se a este fato a maior circulação hídrica em razão da presença de descontinuidades, como estruturas bandadas subhorizontais e microfraturas subverticais, que teriam atuado como vias de percolação, e portanto, como fatores aceleradores da desintegração física e da decomposição química dos grãos (a exemplo dos

micropórfiros alterados, contendo material muito mole, e das películas vermelhas e pretas, correspondendo respectivamente à oxidação do Fe e do Mn).

3.1.2 Área de Pinhão

A Tabela 04 mostra os dados granulométricos obtidos dos Perfis PPI, após os quais são tecidas algumas considerações sobre a distribuição e provável evolução desta textura.

Tabela 04 – Dados Granulométricos (%) dos Perfis PPI

PERFIL	Horizonte	Argila total	Silte total	Areia total	Classificação
PPI I	A	64	24	12	muito argiloso
	B	64	23	13	muito argiloso
	C1	62	23	15	muito argiloso
PPI II	A	75	17	08	muito argiloso
	B	49	43	08	argiloso
	C1	55	29	16	argiloso
PPI III	A	75	16	09	muito argiloso
	B	81	12	07	muito argiloso
	C1	75	15	10	muito argiloso
	C2	70	18	12	muito argiloso
	C3	74	19	07	muito argiloso

Nos perfis de Pinhão, verifica-se o domínio da fração argila, sugerindo que a intensa argilização ocorreu desde os níveis superficiais até os mais inferiores, além do fato de que a rocha alterada encontra-se em uma maior profundidade, em relação aos cortes de Palmas. A homogeneidade textural verificada nos perfis PPI corresponde à classe muito argiloso, na grande maioria dos horizontes amostrados.

As classificações texturais e as distribuições granulométricas obtidas para os cortes de Palmas e para os perfis de Pinhão encontram-se representadas respectivamente nas Figuras 13 e 14.

	MATERIAIS ARENOSOS	MATERIAIS SILTOSOS(FRANCOS)	MATERIAIS ARGILOSOS
Classes	AREIA AREIA FRANCA FRANCO ARENOSO FRANCO ARGILO- ARENOSO	SILTE FRANCO SILTOSO FRANCO ARGILO- SILTOSO FRANCO ARGILOSO FRANCO	MUITO ARGILOSO ARGILA ARGILA SILTOSA ARGILA ARENOSA
Simbologia

CPa I	PPa IIa	PPa IIb	PPi I	PPi II	PPi III
Material argiloso-21%: 13% muito argiloso; 4% argiloso; 4% argilo-siltoso	Material argiloso-67%: 50% muito argiloso; 17 % argiloso	Material argiloso-64%: 46% muito argiloso; 9% argiloso; 9% argila siltosa	Material argiloso-100%: 100% muito argiloso	Material argiloso-100%: 33% muito argiloso 67% argiloso	Material argiloso-100%: 100% muito argiloso
Material siltoso-79%: 50% franco argiloso; 4% franco siltoso; 25% franco	Material siltoso-33%: 33% franco argiloso	Material siltoso-27%: 27% franco argiloso	_____	_____	_____
_____	_____	Material arenoso-9%: 9% franco arenoso	_____	_____	_____

Figura 13: Representação gráfica em barras dos percentuais granulométricos das áreas de Palmas e de Pinhão, utilizando-se as classes texturais da USDA.

Figura 14 - Distribuição granulométrica

3.2 Análise Química

A composição química média obtida para os diferentes estágios de alteração dos perfis desenvolvidos sobre as rochas vulcânicas de Palmas e de Pinhão está representada respectivamente nas Tabelas 05 e 06. Estes dados são o resultado das análises químicas totais das amostras selecionadas do corte CPA I e dos perfis PPa IIb e PPI III, para os elementos K, Ca, Mg, Na, Al, Fe e Mn.

Os elementos K_2O e Na_2O estão vinculados aos feldspatos alcalinos, sendo que o potássio está presente quando há intercrescimento micrográfico ou simplesmente como composição da matriz vítrea. O CaO relaciona-se particularmente aos plagioclásios, podendo estar presente nos piroxênios mais cálcicos, e a ocorrência de MgO está mais restrita aos piroxênios. O Al_2O_3 relaciona-se principalmente ao feldspato alcalino, mas também compõe a matriz vitrofírica, sendo o componente principal da alofana. O Fe_2O_3 , computado como ferro total está presente nos piroxênios, mas principalmente associado a magnetita.

A perda de Mn pode ocorrer sob a forma de produtos amorfos dispersos na água, e ela pode ser elevada, em parte pela pequena quantidade deste mineral na rocha-fonte, como parte da composição química dos piroxênios (como é o caso das augitas e ferro-augitas).

O Ti, que de todos os elementos supracitados é o mais estável, ocorre na rocha principalmente como Ti-magnetita. Em condições de pH acima de 5, torna-se estável na forma de óxido, podendo ocorrer como rutilo ou anatásio, mas em baixas proporções, assim como o Mn, ocorre em pequena quantidade na rocha-fonte.

Tabela 05 – Teores dos elementos K, Ca, Mg, Na, Al, Fe e Mn, distribuídos no corte CPa e no perfil PPa IIb.

Corte/ Perfil	Horizonte	Estágios de alteração	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (mg/kg)	Al (%)	Fe (%)	Mn (mg/kg)
CPa I	A	V	0,18	0,01	0,03	183	0,70	4,2	94
	B	V	0,18	0,01	0,04	196	0,66	5,9	119
	C1	IV	0,21	0,01	0,03	208	0,66	5,2	143
	C2	IV	0,06	0,01	0,03	156	0,60	7,0	171
	C4	III (rocha alterada mole)	0,16	0,01	0,04	183	0,70	6,0	130
	C5	III	0,02	0,01	0,04	156	0,60	5,8	150
PPa IIb	B	V	0,19	0,01	0,07	183	0,76	4,9	720
	C1	IV	0,16	0,01	0,07	131	0,48	1,8	87
	C2	IV	0,02	0,01	0,06	117	0,51	3,5	65
		III	0,16	0,01	0,04	122	0,54	7,9	248
	C4a	(rocha alterada mole)							
	C4b	III	0,02	0,01	0,06	156	0,60	12,5	125
	C5	II (rocha alterada dura)	0,22	0,02	0,04	196	0,64	6,2	430

Tabela 06 – Teores dos elementos K, Ca, Mg, Na, Al, Fe e Mn distribuídos no perfil PPI III.

Perfil	Horizonte	Estágios de alteração	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (mg/kg)	Al (%)	Fe (%)	Mn (mg/kg)
PPI III	A	V	0,08	0,02	0,02	157	0,70	7,2	262
	B	V	0,08	0,02	0,02	182	0,73	9,5	275
	C2	IV	0,08	0,01	0,02	182	0,70	8,9	276
	C3	III	0,20	0,01	0,02	182	0,66	9,9	312

O Al também mostra-se com teores relativamente constantes, desde o topo até a base, em todos os cortes e perfis. Os valores baixos podem significar que o conteúdo de alumínio na rocha-fonte não era tão significativo, sendo que o já

existente foi repassado para a estrutura aluminossilicática dos argilominerais. Os teores ligeiramente maiores observados em PPI III revelam um enriquecimento relativo de Al, justamente nos perfis (em Pinhão) onde se observa gibbsita.

O Na apresenta um comportamento químico variável de perfil para perfil. Em CPa I os teores crescem de A para C1, onde o valor é máximo e a partir do qual decresce até C5. É possível que em C1 a lixiviação não tenha sido expressiva, possivelmente em função da localizada horizontalidade que dificultou a percolação de soluções por gravidade.

Em PPa IIb o decréscimo contínuo de Na rumo à base culmina com o horizonte C2 (assim como no corte CPa I). Em PPI III, ao contrário, os valores mantiveram-se constantes, tendo sido o teor mais baixo no horizonte A, fato que ocorreu também para o Fe e o Mn. O ferro e o manganês neste perfil tiveram seus teores máximos no horizonte de alteração C3 (o mais inferior). Os dois elementos apresentaram um decréscimo contínuo de A até C2, a partir do qual aumentaram em C4a.

O comportamento inverso dos compostos de Fe e Mn nestes dois perfis pode estar associado à morfologia geral dos horizontes e à posição do perfil na vertente. Em CPa I os horizontes estão localizadamente mais horizontalizados (gradando sucessivamente da base para o topo), de modo que a presença das estruturas bandadas plano-paralelas não influenciou decisivamente na circulação hídrica, pelo menos nos pontos onde as amostras foram coletadas; conseqüentemente a lixiviação não foi expressiva. Em PPa IIb, no entanto, observa-se uma suave inclinação do perfil para NW, e os planos bandados estão ligeiramente mais irregulares em relação à CPa I, sendo interrompidos no contato C1-C2 pelo estágio de geodos de sílica.

3.3 Mineralogia da Fração Argila

As amostras totais analisadas em Palmas e em Pinhão revelaram uma assembléia mineral muito similar à encontrada para as amostras de argila, de modo que elas não foram aqui incluídas.

Os difratogramas das argilas analisados nos cortes de Palmas mostraram a ocorrência preferencial de caolinita, goethita e de hematita, e nos perfis de Pinhão foram encontradas predominantemente caolinita + gibbsita + hematita, como se pode observar nas Figuras 15 a 20. A presença de quartzo é eventual; aparece em CPa I nos horizontes B, C1 e C3 (Figuras 15 a 17) e em em PPI I, no horizonte B (Figura 18).

Nas Pranchas 01 e 02 podem ser observadas as diversas formas de ocorrência da caolinita e da gibbsita, cada qual quase sempre acompanhada por óxidos e hidróxidos de Fe, eventualmente associados a óxidos de Ti (provavelmente decorrentes da alteração das Ti-magnetitas). A gibbsita, ao contrário da caolinita, que em geral se mostra mal cristalizada (a exemplo do que já se observara em alguns picos em serrilha), apresenta-se bem cristalizada, exibindo em alguns pontos dos perfis PPI II e PPI III, evidentes cristais prismático-hexagonais (Prancha 02).

A goetita é dominante nos horizontes de cor amarela a ocre, como se observa nos horizontes B, C3 e C9 (Figura 15 e 16) do corte CPa I. Ela aparece também nos perfis PPa IIa (Figura 17) e em PPI I e PPI III (respectivamente das Figuras 18 e 20).

Minerais do grupo das micas foram encontrados somente nos difratogramas de algumas amostras totais (principalmente nos cortes CPa), mas não foram verificados nos difratogramas das argilas. Acredita-se, desta forma, que as micas tenham-se concentrado em uma fração granulométrica maior (tamanho silte) do que o daquela analisada (tamanho argila = ou $< 2\mu$).

Os picos com valores em torno de $14\text{\AA}$ encontrados no corte CPa I (horizontes B, C1 e C3) e nos perfis PPI II (C2) e PPI III (C2), encontram-se muito pouco evidentes, principalmente pela presença de ruído nas amostras de argila. Além disto, os tratamentos por glicolagem e aquecimento a 550°C não puderam elucidar o comportamento dos referidos picos para que se pudesse constatar a sua procedência: clorita, esmectita ou vermiculita.

De acordo com CLEMENTE (1988), os perfis analisados na região de Palmas apresentariam esmectitas decorrentes de pseudomorfos de piroxênios e da evolução da matriz vítrea. Neste trabalho, no entanto, acredita-se que o pico $14\text{\AA}$ esteja relacionado à presença de vermiculita aluminosa (conforme pode ser observado nas Figuras 15, 16 e 19), levando-se em consideração o fato de não ter havido expansão ou contração neste argilomineral.

As rochas efusivas ácidas são compostas principalmente por aegirina-augita, augita e plagioclásios, e foram favorecidas por uma boa circulação hídrica através de suas descontinuidades físicas (estruturas bandadas planares e planos de falha e de fraturas). Tais descontinuidades teriam propiciado uma relativa abundância d' água com rápida circulação, capaz de promover uma apreciável substituição de Mg e Fe^{+2} por Al e Fe^{+3} , presentes em minerais hidroxilados e hidratados como a goethita e a vermiculita aluminosas, bem como em hidróxidos de Al (gibbsita).

O excesso de ruído verificado na maioria dos difratogramas, que por vezes dificultou o seu reconhecimento, muito provavelmente é devido ao excesso de Fe, que não foi eliminado na fase de preparação das argilas.

Muitos dos picos analisados encontram-se difusos, por motivo que deve estar associado à baixa cristalinidade dos argilominerais; praticamente não há minerais da fração argila com desenvolvimento de sua cristalinidade, restando apenas ocorrências em cristalização onde se encontra uma quantidade abundante de produtos amorfos (silicoferruginosos e/ou silicoaluminosos), já

verificados na análise micromorfológica.

Comparando-se a mineralogia secundária nos diferentes horizontes analisados em Palmas e em Pinhão, constata-se algumas diferenças de ordem mineralógica, que representariam diferenciações na evolução pedogenética de seus respectivos cortes e perfis.

Na área de Pinhão o plasma e alteroplasma argiloso são de natureza gibbsítico-caolinítica, apresentando moderada concentração de oxidróxidos de Fe, responsáveis por perfis de alteração avermelhados, onde se verifica a presença dominante de hematita.

Na região de Palmas os cortes são predominantemente caoliníticos, com menos concentração de oxidróxidos de Fe do que em Pinhão, com ocorrência de hematita e goethita; ambos forneceria as cores vermelho-amareladas a amareladas, responsáveis pela cor bruna destes solos.

LEGENDA DOS ARGILOMINERAIS REFERENCIADOS NOS DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X:

Ca - Mineral do Grupo da Caolinita

Gb - Gibbsita

Go - Goethita

Mi - Mineral do Grupo das Micas

Q - Quartzito

Hm - Hematita

V - Vermiculita

Figura 15 – Difratomogramas de argilas dos horizontes B e C1 do Corte CPa I (sem uso de monocromador); os difratogramas em vermelho e em azul (em C1) representam respectivamente as fases aquecida (550°C) e glicolada. Foram identificadas caolinita, goethita, quartzo, hematita e vermiculita.

Figura 16 – Difractogramas de argilas dos horizontes C3 e C9 do Corte CPa I. Os argilo-minerais são principalmente compostos por caolinita, goethita, quartzo e vermiculita.

Figura 17 - Difratoograma de argila do horizonte B do Perfil PPa IIa. V= vermiculita; Ca= caolinita; Qz= quartzo; Go= goethita.

Figura 18 - Difratoograma de argila do horizonte B do Perfil PPi I. Ca= caolinita; Qz= quartzo; Gb= gibbsita; Hm= hematita; Mi= Mica.

Figura 19 – Difractogramas das argilas dos horizontes B e C2 do Perfil PPI III, onde se verificam caolinita, gibbsita, hematita e vermiculita.

Figura 20 – Difratomogramas das argilas dos horizontes B e C2 (sem uso de monocromador) do Perfil PPI III; os difratogramas em vermelho e em azul correspondem respectivamente às fases aquecida (550°C) e glicolada. Os picos correspondem aos da caolinita, gibbsita, hematita e goethita

PRANCHA 01

Foto A: Caolinita em acordeon no horizonte C10 - CPa I

Foto B: Detalhe da face de um feldspato pseudomorfizado em caolinita, onde se encontram associados oxidróxidos de Fe (manchas brancas pequenas).
rocha alterada - CPa I

PRANCHA 01

Argilominerais do grupo da Caolinita

A

B

PRANCHA 02

Foto A: Gibbsita bem cristalizada de base hexagonal, contendo óxidos de Fe e Ti.
concreção de Fe em PPI II-C2

Foto B: Gibbsita mal desenvolvida com quartzo botrioidal + óxidos de Fe e Ti.
concreção de Fe em PPI II

Foto C: Gibbsita bem cristalizada (prisma hexagonal) associada à formas irregulares de minerais silicosos em alteração + óxidos de Fe (manchas brancas).
plaquetas de sílica - PPIII

PRANCHA 02

Argilomineral: Gibbsita

A

B

C

CAPÍTULO IV

EVOLUÇÃO MINERALÓGICA DOS CORTES E PERFIS DE ALTERAÇÃO

1. ESTÁGIOS DE ALTERAÇÃO

As modificações físicas e químicas ocorridas em um perfil de alteração naturalmente estabelecem subdivisões de ordem morfológica, estrutural e textural, responsáveis pela organização deste perfil em horizontes. Quando estes horizontes podem ser agrupados por afinidades de caráter evolutivo (considerando-se suas similaridades micro e macromorfológicas, mineralógicas e/ou químicas), é possível estabelecer estágios de alteração.

Para o presente trabalho, em que for considerada a distribuição vertical e lateral dos cortes e perfis estudados, foram obtidos cinco estágios de alteração. Os critérios de classificação utilizados obedeceram às afinidades dos diferentes horizontes em relação à sua microorganização. Foram consideradas características como: a) microestruturação plásmica e alteroplásmica; b) grau de desenvolvimento de fissuras e poros; c) quantidade e grau de alteração relativa de opacos; d) a alteração verificada nos pórfiros de feldspatos e piroxênios, principalmente (quando possível a sua identificação); e) presença e forma de ocorrência de argilominerais, tais como caolinita e gibbsita; f) presença e quantidade relativa de matéria

orgânica (restos de raízes, folhas). Os itens c) e d) serão mais aprofundados no tópico “alteração dos principais minerais”.

A distribuição dos horizontes nos diferentes estágios de alteração estabelecidos, encontra-se registrada nos Quadros 03 e 04.

1.1 Área de Palmas

Quadro 03: Os horizontes distribuídos em seus respectivos estágios de alteração.

ESTÁGIOS	CPa I	PPa IIa	PPa IIb
V (Solo)	A e B	A e B	A e B
IV	C1 e C2	C1 e C2	C1 e C2
III	C9/C10/C11 ----- -- C3/C4/C5/C6/C7/ C8	----- ----- -- C3 e C4	----- ----- --- C3 e C4
II	-----	C5	C5
I	Rocha Alterada	Rocha Alterada	Rocha Alterada

Estágio de alteração I

Características gerais:

No corte CPa I o alteroplasma tem cor cinza-avermelhada com microdomínios cinza-claros a amarelados, e em CPa II a matriz criptocristalina é cinza-esverdeado médio. Na estrutura alteroplásmica verificam-se poucas fissuras e poros, em geral disseminados e fracamente desenvolvidos.

Os microgrãos de opacos preservam sua forma quadrangular original, assim como também conservam-se o hábito prismático e a clivagem de feldspatos e piroxênios (FMG 01 e 02). A presença de macropórfiros arredondados de cor cinza-brunado corresponde aos geodos de sílica, normalmente mascarados com produto amorfo (FMG 03). Os piroxênios e plagioclásios preservam com maior nitidez a forma, cor e textura originais, apesar do alteroplasma encontrar-se em estágio avançado de intemperização (FMG 04 e 05).

A presença de argilização mais intensa concentra-se nos macrogrãos, onde normalmente se observam feições radiadas.

Muitos grãos minerais (macro e micro) encontram-se razoavelmente bem preservados, de tal forma que podem ser identificados aegirina-augita, augita e plagioclásios (quando identificados, são oligoclásio e andesina), principalmente. O princípio de caolinização verifica-se predominantemente associado aos grãos feldspáticos e já identifica-se produto amorfo silicoso no alteroplasma.

Os horizontes C4, C6, C7, C8, C9, C10 e C11 do corte CPa I apresentam características morfológicas similares e sucessivas, que lhes permitem apresentar uma continuidade lateral; suas diferenças de caráter mineralógico e estruturais, bem como a presença de oxidróxidos de Fe localizados, possivelmente estão condicionadas pela circulação hídrica, norteadas pela presença de descontinuidades (estruturas bandadas, falha e fraturas).

FMG 01 – Rocha microgranofírica alterada do corte CPa I, com abundantes grãos prismáticos de piroxênios e macropórfiros de material silicoso (arredondado) e opacos pequenos dispersos no alteroplasma. (LN - 2,5X).

FMG 02 – Detalhe da Foto 01: clivagem preservada nos piroxênios, com cores de alteração variadas do bordo para o núcleo: castanho-laranja-amarelo; opacos apresentam formato quadrangular preservado (LN - 10X).

FMG 03 – Rocha microcristalina do corte CPa II, relativamente mais alterada do que em CPa I, com macropórfiro de feldspato revelando início de caolinização, recobrimento parcial por produto amorfo de sílica e clivagem pouco preservada. (LN - 10X).

FMG's 04 e 05 – (FMG 04, LN, 10x, superior; FMG 05, LP, 10x). Detalhe de pórfiros prismáticos de feldspato com início de caolinização em fissuramento.

Estágio de alteração II

- Características gerais:

O alteroplasma em CPa II é microgranular com cor bruno-avermelhado-escuro, apresentando subdomínios mais claros. Córtex de alteração em fratura argiloferuginizada, vermelho-acastanhada a amarelo-alaranjada (FMG 06), ao longo do qual macrogrãos estão melhor preservados textural e dimensionalmente. A estruturação alteroplásmica é do tipo porfiroscúlica, havendo abundantes microfissuras fracamente desenvolvidas e poucos poros.

O formato original dos pórfiros encontra-se pouco preservado, com óxidos de Fe definindo seus bordos e planos de clivagem (FMG 07); nos feldspatos alcalinos ainda identificam-se as maclas polissintéticas, e em alguns piroxênios o núcleo está melhor preservado.

Verifica-se uma intensa caolinização em várias direções de microfissuramento, em formas alongadas e retorcidas, estando alguns grãos quase totalmente argilizados.

Plagioclásios e piroxênios correspondem à principal composição dos macropseudomorfos, cujos planos de clivagem e de microfissuramento encontram-se caolinizados. Os opacos encontram-se em processo de deferruginação mais intensa em relação ao estágio anterior.

FMG 06 – Detalhe da matriz bruno escura com produtos amorfos, macropórfiro caolinizado (caolinita neoformada nos bordos) e córtex de alteração em fratura, exibindo material caolinítico e oxidróxidos de Fe secundários. (LP - 10X).

FMG 07 – Corte CPa I - matriz microcristalina verde amarela, com pórfiros em avançado estágio de alteração: pórfiros arredondados com oxidróxidos de Fe (bruno-escuros) nos bordos e planos de clivagem e caolinização dispersa na matriz alteroplásmica (LP - 2,5X).

Estágio de alteração III

- Características gerais:

O alteroplasma pode ser subdividido em dois subdomínios: um apresenta características transitórias com o estágio II, com matriz microgranular prismática e pouco fissuramento, e corresponde aos horizontes C3, C4, C6, C7 e C8 de CPa I. O outro exibe características transitórias com o estágio IV, sendo mais argilizado e fissurado do que o anterior e caracteristicamente goethitizado (bruno amarelado - FMG 08, a ocre - FMG 09 e 10). Neste último subdomínio estão incluídos os horizontes C8, C9 e C10 de CPa I e C3 e C4 dos perfis PPa IIa e PPa IIb, onde se encontra fundo alteroplásmico criptocristalino contendo abundantes oxidróxidos de ferro.

A estruturação alteroplásmica é do tipo porfirosquélica, podendo ser silassépica e massépica (CPa IIb). As fraturas e fissuras são abundantes e de tamanhos diversos, estando principalmente desenvolvidos no interior dos macrogrãos. Os poros estão normalmente conectados. Observa-se uma grande quantidade de amorfos (de tamanhos e formas diversos). Certos macropórfiros têm formato e núcleo preservados mas a maioria encontra-se subarredondada e arredondada, caolinizada, total ou parcialmente recoberta por oxidróxidos de Fe, com bordos microcrenulados a irregulares (FMG 11). No corte CPa I, os horizontes C9, C10 e C11 exibem macrogrânulos globulares de minerais do grupo da sílica, com alteração do tipo radial (FMG 12 e 13) ressaltada pela presença de oxidróxidos de Fe (bruno avermelhado a escuro); em C6 e C7 encontram-se micropórfiros de piroxênios, feldspatos (ambos prismáticos com bordos difusos) e opacos subarredondados/subangulares em matriz ocre (FMG 09).

A caolinização não é tão dispersa quanto no estágio anterior, mas atinge proporções maiores, quando associada aos macropórfiros

alterados, podendo ocorrer também como preenchimento de microssistema subortogonal que parece coincidir com as linhas de fluxo dos planos bandados, cortados pelas fraturas. As FMG's 14 e 15 revelam caolinita cristalizada juntamente com produtos amorfos + óxidos de Fe. Rara mica caolinizada. Verificam-se ainda pedaços de finas raízes.

Os piroxênios e plagioclásios, que constituem os minerais primários dos macropórfiros, estão mais arredondados e com intenso microfissuramento, associadas ao qual verificam-se intensa caolinização e concentração de oxidróxidos de Fe (expressos na forma de grande quantidade de manchas vermelho-alaranjadas) e presença de produtos amorfos de composição sílicoferuginosa.

FMG 08 – Horizonte C3 (PPa IIa) com alteroplasma bruno-amarelado goethitizado em meio ao qual meso e macropórfiros caolinizados (branco cintilante) apresentam bordos ondulados demarcados por oxidróxidos de Fe (LN - 2,5X).

FMG 09 – Alteroplasma ocre em CPa I - C6, com fragmentos pequenos de opacos subangulares (LN - 2,5X).

FMG 10 – Alteroplasma ocre no horizonte C7 em CPa I (LN - 2,5X).

FMG 11: Macropórfiro em C8b (CPa I) deferruginizado e com microfissuras irregulares caolinizadas, com bordo ondulado bem nítido em um alteroplasma verde, no qual se verifica produto amorfo ferruginoso (LN - 2,5X).

FMG 12: Horizonte C9 amarelo ocre a alaranjado decorrente de minerais de Fe do tipo goethita (LN - 2,5X).

FMG 13 – Horizonte C10 (CPa I) amarelo ocre a castanho (LN - 2,5X).

Em ambos, o alteroplasma exhibe pórfiros arredondados com feições radiais e bordo mais escuro e microssistema fissural razoavelmente desenvolvido e pouco conectado.

FMG 14 – Alteroplasma bruno amarelado com caolinita bem desenvolvida (LN - 2,5X).

FMG 15 – Detalhe da caolinita da foto anterior: bordo suavemente ondulado (LN - 10X).

Estágio de alteração IV

- Características gerais:

O fundo alteroplásmico bruno-escuro a amarelado apresenta duas fases transitórias: uma com o horizonte C (FMG 16) e outra com o horizonte B, exibindo esta, características do estágio III. A estruturação alteroplásmica é do tipo silassépica (sem separação plásmica), a esquelsépica e vossépica (separação plásmica ligada respectivamente ao esqueleto e aos poros) como mostra a FMG 17. Os macroporos são mais abundantes do que os microporos (normalmente faces prismáticas de feldspatos alterados) e eles encontram-se bastante caolinizados e disformes, com bordo irregular a ondulado. Muitas vezes exibem pequenos núcleos relictuais do mineral original (FMG 18). O fissuramento observado no alteroplasma é mais intenso do que no estágio anterior.

Os opacos, de tamanhos e formas diversas, e bordos normalmente nítidos e retilíneos, encontram-se dispersos no alteroplasma. Quando alterados apresentam-se na forma de oxidróxidos de Fe de cor predominantemente bruno-claro. Resquícios da pseudomorfose dos piroxênios (uralitização) restringem-se aos bordos, totalmente argilizados (branco cintilante), com forma irregular e bordo ondulado. Os domínios bruno-escuros mostram-se menos evoluídos, com preservação dos grãos prismáticos, que quando maiores exibem os planos maclados (macla polissintética e de *carlsbad*).

A caolinização está generalizada no alteroplasma, sendo ela em boa parte encoberta por oxidróxidos de Fe; nos domínios mais amarelados o material caolinizado ocorre em formas alongadas, retorcidas, em trama (subortogonal) e em manchas (pequenas e irregulares). Verificam-se ainda resquícios de caules, pequenos e finos.

Neste estágio a origem primária dos pórfiros pseudomorfizados

continua sendo os piroxênios (vários uralitizados) e plagioclásios (alguns raros preservam planos de macla).

FMG 16 – Horizonte C1 (CPa I) mostra alteroplasma quase totalmente caolinizado com presença de oxidróxidos de Fe, evidenciando contato de domínio amarelo-brunado com amarelo-ocre; há transição de alteroplasma para plasma (LN - 2,5X).

FMG 17 – Horizonte C2 (CPa I) com alteroplasma amarelo-ocre com início de pseudomorfose em feldspatos; resquícios de opacos subangulares (LN - 2,5X).

FMG 18 – Horizonte C2 (CPa I): detalhe de pórfiro de quartzo bastante fraturado com bordo ondulado a irregular, exibindo manchas de oxidróxidos de Fe (LN - 10X).

Estágio de alteração V

- Características gerais:

A estruturação plásmica é do tipo argilassépica e o fundo matricial é bruno muito escuro, com poucos pseudomorfos. O sistema microfissural não está tão evoluído (estando as fissuras pouco conectadas) em CPa I quanto em CPa II, mas os poros estão em geral conectados (FMG's 19 e 20). Verificam-se caolinização e fraturamento intensos nos macropórfiros do fundo matricial (FMG 21), sendo abundantes os oxidróxidos de Fe e os produtos amorfos (FMG 22). Identificam-se folhas e raízes finas, observadas em FMG 20.

O plasma é formado predominantemente por caolinita bem cristalizada, associada preferencialmente à alteração de feldspatos (principalmente plagioclásios). A presença dos oxidróxidos de Fe

possivelmente está associada a alteração de piroxênios e de magnetita.

FMG 19 – Estruturação plásmica fracamente desenvolvida em CPa I - B; o fundo matricial exibe domínios amarelo-esverdeados e fragmentos de opacos (LN - 2,5X).

FMG 20 – Estruturação plásmica fraca a moderadamente desenvolvida em CPa I - A; há restos de folhas e raízes, e os pórfiros encontram-se em geral arredondados (LN - 2,5X).

FMG 21 – Pórfiro do horizonte B (PPa IIb) inteiramente microfissurado e caolinizado, com oxidróxidos de Fe que preenchem suas fissuras (LN – 2,5X).

FMG 22 – Microagregação do plasma bruno escuro, parcialmente recoberto por produto amorfo (possivelmente sílico-ferruginoso); fundo matricial exhibe restos de folha (LN - 10X).

1.2 Área de Pinhão

Os horizontes e os respectivos estágios de alteração analisados em Pinhão encontram-se no Quadro 04.

Quadro 04 – Estágios de alteração dos perfis PPI.

ESTÁGIOS	PPI I	PPI II
V (solo)	A e B	A e B
IV	C1	C1 e C2
III	C2, C3 e C4	C3 e C4
II	C5	C5

Em vista do avançado grau de intemperização verificado nos perfis PPI, o estágio I não foi identificado. Em cada um dos demais estágios de alteração, observa-se que a mineralogia primária, em suas diferentes formas e graus de alteração, é responsável pela mineralogia secundária encontrada, normalmente formada por caolinita, gibbsita e hematita. A mineralogia da rocha, praticamente a mesma encontrada nos cortes estudados em Palmas é principalmente composta por aegirina-augita, augita e plagioclásio sódico, além de ortoclásio, microclínio e diopsídio.

Os perfis analisados em Pinhão exibem, no entanto, uma maior quantidade de opacos, entre os quais encontram-se magnetita, hematita e ilmenita (mais rara), responsáveis pela tonalidade mais vermelha destes perfis.

Estágio de alteração II

- Características gerais:

O fundo alteroplásmico, de cor cinza médio-esverdeada a amarelada (FMG 23), apresenta macropórfiros subangulares e subédricos bastante microfissurados e caolinizados (FMG 24), e maiores do que os dos cortes CPa. Há resquícios da textura porfirítica original, bastante alterada, poucas fissuras, finas e alongadas, e não conectadas, muitas das quais preenchidas por material caolinítico e produtos amorfos (ferro-silicosos).

A disseminação de oxidróxidos de Fe no alteroplasma é intensa (pois mascara as características texturais e estruturais dos macropórfiros félsicos) e provavelmente está associada à presença abundante de magnetita (em processo de goethitização e hematitização), hematita e ilmenita (FMG 25).

FMG 23 – Microalteroplasma verde-amarelado no horizonte C5 (PPi II) com pórfiros parcialmente caolinizados e/ou revestidos por oxidróxidos de Fe (LN-2,5X).

FMG 24 – Macropórfiro subédrico de feldspato com abundantes microfissuras caolinizadas, revelando núcleos melhor preservados (LN - 2,5X).

FMG 25 – Horizonte C5 do perfil PPI II: alteroplasma exibindo o contato dos domínios bruno-avermelhado e verde-esbranquiçado (onde os pórfiros de opacos estão melhor preservados) (LN - 2,5X).

Estágio de alteração III:

- Características gerais:

A matriz alteroplásmica micro a criptocristalina é cinza-bruno-escuro a médio (FMG 26) e apresenta macropórfiros arredondados a subangulares e subcentimétricos (FMGs 27 e 28), muitas vezes envolvidos por produtos amorfos.

São comuns os aglomerados de macropórfiros, por vezes interpenetrados e quase sempre envoltos por manchas bruno-avermelhadas a alaranjadas (respectivamente associados à hematitização e goethitização), como mostra a FMG 29.

Há poucas fissuras, raros poros não conectados e fratura contendo material gibbsítico e caolinítico. Os opacos, em geral com formato preservado (quadrangular), apresentam bordo liso e nítido.

Dispersos na matriz alteroplásmica encontram-se caolinita, gibbsita (FMG 30) e quartzo nos macropórfiros, além de magnetita pouco alterada e goethitizada.

FMG 26 – Alteroplasma bruno-avermelhado e microcristalino com pórfiros arredondados branco-cintilantes, em geral microfissurados e com bordo ondulado (LN - 2,5X).

FMG 27 – Macropórfiro de feldspato (PPII - C3), subédrico, com microfissuramento oblíquo à clivagem, e com bordo de reação de cor bruno. (LN - 2,5X).

FMG 28 – Mesmo macropórfiro anterior, porém a LP (2,5X).

FMG 29 – PPI II – C3: alteroplasma cinza-verde-amarelado em contato com outro cinza-esbranquiçado, que contém aglomerados de pórfiros de piroxênios deferruginizados e bastante fraturados, além de gibbsita arredondada. (LN - 2,5X).

FMG 30 – PPI II - C4: gibbsitização em macropórfiro totalmente argilizado e macropórfiro anguloso com macla polissintética preservada (à esquerda) (LP - 2,5X).

Estágio de alteração IV:

- Características gerais:

O fundo alteroplásmico apresenta cor cinza esverdeado (FMG 31) e exibe subdomínios bruno-avermelhados escuros (FMG 32); encontra-se quase totalmente argilizado. No alteroplasma criptocristalino verificam-se aglomeropórfiros e um domínio silassépico (onde o material tem características micromorfológicas de transição para o material pedológico, no horizonte C1 do perfil PPI I). As microfissuras encontram-se maiores e mais alargadas e dispersas (tipo dendrítica) do que nos níveis anteriores.

Os oxidróxidos de Fe concentram-se nos bordos e fraturas dos macrogrãos (em geral menores e mais arredondados do que os encontrados no nível II, possivelmente por fragmentação daqueles). Os

pórfiros estão em geral disformes (bordo irregular pela argilização), apresentando tamanhos de até 0,5 cm de $\varnothing$ (vistos a olho nu, na lâmina). Entre os macropórfiros encontram-se piroxênios deferruginizados, quartzo, hematita e ilmenita; no fundo alteroplásmico verificam-se caolinita, clorita e epidoto (raro). Observam restos orgânicos, possivelmente finas raízes.

FMG 31: Alteroplasma criptocristalino cinza-esverdeado (horizonte C2, PPI II) exibindo caolinização, carbonato e produto amorfo (possivelmente sílico-aluminoso). (LN - 2,5X).

FMG 32 – Nível de plaquetas silicosas em C2 (PPi II), cujo alteroplasma exhibe oxidróxidos de ferro (bruno-avermelhado-escuros) e macropórfiro arredondado de feldspato caolinizado (branco cintilante) (LN - 2,5X).

Estágio de alteração V:

- Características gerais:

O fundo plásmico é constituído por material criptocristalino, ferro-argílico, que tonaliza esta matriz nas cores amarelo avermelhado a vermelho brunado vivo. A estruturação do fundo matricial é do tipo esquelsépica, devido à separação plásmica associada aos pórfiros em avançado estágio de alteração (com evidências localizadas de caolinita e gibbsita). O microfissuramento é razoavelmente bem evoluído, mas pouco interconectado.

Os fragmentos e restos alterados de macropórfiros (de arestas

arredondadas) estão quase totalmente oxidados, exibindo cor vermelho-brunada-escura, como ilustra as FMG's 33 e 34. Em LP (luz polarizada) identificam-se manchas pequenas e irregulares, assim como formas em cordão, de gibbsita.

Foi observada uma pequena quantidade de finas raízes.

FMG 33 – Horizonte A - PPI III: Fundo matricial amarelo, microcristalino, com abundantes pórfiros subangulares argiloferruginizados, vermelho-brunados; alguns dos pseudomorfos preservam a forma subédrica do grão feldspático original (LN - 2,5X).

FMG 34 – Detalhe dos pórfiros subarredondados da FMG 33, que apresentam cor amarelo-escuro e núcleo vermelho vivo; verificam-se fragmentos de opacos (LN - 10X).

Síntese

As características micromorfológicas encontradas nos horizontes estudados apresentam diferenciações bastante sutis de um nível para outro, significando dizer que a evolução vertical da intemperização ocorreu de forma progressiva e sistemática. A evolução lateral foi também e principalmente influenciada pela presença de descontinuidades (plano de falha, planos de fratura e estruturas bandadas planares), conforme verificado em CPa I.

A nível microscópico as descontinuidades encontram-se registradas nas fraturas, em geral caolinizadas e com oxidróxidos de Fe, e por uma tênue orientação do alteroplasma que, dependendo do estágio de alteração (estágio inicial), pode estar associada à estruturação bandada plano-paralela.

O padrão geométrico dos grãos minerais foi sendo modificado, por sua vez, por influência das propriedades físicas de cada mineral, como os planos de clivagem, de fratura e/ou de maclas, através dos quais mais facilmente se instalou e desenvolveu o processo intempérico.

A quantidade de fissuras e de poros existentes e o grau de interconectividade de ambos aumentou proporcionalmente com a gradação dos estágios I/II para o V (que corresponde aos horizontes pedológicos ou solo propriamente dito).

A ligeira diferença de composição química e textural dos litotipos ácidos de Palmas e de Pinhão exerceu influência na evolução diferenciada da alteração em cada região.

Quanto à textura, em Palmas ela é porfirítica com matriz microgranular a vitrofírica, com micro e mesopórfiro; em Pinhão é porfirítica com matriz micro a criptocristalina e macropórfiros. Nessa região, verifica-se que o alteroplasma está mais intensamente argilizado, encobrendo por vezes a morfologia dos grãos dos macropórfiros que invariavelmente se encontram fragmentados, fissurados e/ou com bordos arredondados (como o quartzo), desde os estágios iniciais de alteração (II e III).

2. PROCESSO DE ALTERAÇÃO

A alteração em perfis verticais é acelerada, ou pelo menos manifesta-se progressiva e uniformemente, e nela verificam-se feições do tipo:

- descontinuidades estruturais, como a presença de estrutura bandada, falha e fraturas, sendo todas observadas no perfil CPa I;

- estágio amigdaloidal: a presença de geodos (centimétricos a decimétricos) de sílica, claramente evidenciados no perfil PPa IIb, marcando o contato dos horizontes C1 e C2, constitui evidência de material relictual do processo de intemperização, onde a distribuição destes tamanhos granulométricos grosseiros, certamente é produto da ação hidráulica (visto que a incidência de chuvas na região é expressiva);
- textura microgranofírica macroporfirítica que, mediante condições de boa umidade e circulação hídrica, em clima mais ameno (Cfa), pode responder em parte à alteração mais expressiva observada nos perfis PPi.

A intemperização destas rochas manifesta-se inicialmente através da mudança de certas propriedades físicas, tais como: consistência, aumento da porosidade, brilho, cor, densidade e aparecimento de microfissuras (em decorrência da “fadiga” mineral). Rochas naturalmente fraturadas por eventos tectônicos regionais (como as rochas da Formação Serra Geral) têm suas fraturas alargadas, podendo posteriormente ser preenchidas pelo próprio material de alteração ou por material exógeno (por transporte em solução).

A perda gradativa do brilho vítreo (facilmente identificado nos pórfiros dos riólitos) e a mudança de cor da matriz são as evidências macroscópicas iniciais mais marcantes. As mudanças petrográficas verificadas a olho nu, para as amostras de mão, revelaram que:

- os riólitos-riodacitos cinza-claros a médios mudam para cinza-claros esverdeados, com pontuações brancas (trata-se da caolinização e/ou gibbsitização dos pórfiros, predominantemente formados por feldspatos), ou tornam-se branco-amarelados, pela quase total caolinização de seus minerais primários (este tipo de alteração comumente ocorre nos cortes CPa, sendo mais evidente nos horizontes C4 e C8, de CPa I);

- os riolitos-riodacitos, de cor original vermelho-carne, tornam-se vermelho rosados a violáceos, podendo chegar a amarelados, quando bastante intemperizados. O perfil de alteração normalmente conduz a um tipo de solo bruno-avermelhado (em PPI II) ou bruno-amarelado (em PPI I e PPI III).

Em ambos os casos, a amostra ainda dura (no estágio inicial de intemperização) já registra uma película de material fino (silte ou argila) que tinga a mão de vermelho, em sinal da oxidação de minerais contendo Fe, como piroxênios, opacos e eventuais micas.

Na área em estudo observou-se que em todos os pórfiros, invariavelmente havia um recobrimento de produto ferruginoso, e muitas vezes sílico-aluminoso (que correspondem aos produtos amorfos), o qual dificultou a caracterização morfológica dos grãos minerais em muitos dos estágios de alteração propostos. Sendo assim, a definição destes estágios partiu também de vários outros elementos morfológicos do alteroplasma/plasma estudados.

Para a caracterização das filiações e morfologias mineralógicas em cada estágio ou subestágio de alteração, foram considerados aspectos como cor, fissuras (tamanho relativo, aumento de tamanho por estágio, material de preenchimento), presença de oxidróxidos de Fe e formação e cristalização de minerais secundários, referentes aos pórfiros de piroxênios, de plagioclásios, de minerais do grupo da sílica e da magnetita.

2.1. Alteração dos Principais Minerais

PIROXÊNIO

Os piroxênios dos riolitos/riodacitos estudados em Palmas e em Pinhão, revelaram que o primeiro estágio de alteração iniciou-se ao longo dos planos de clivagem (possivelmente 110), acompanhado pelo arredondamento dos bordos dos grãos, chegando a formatos ligeiramente ovalados, demarcados por uma fina moldura de oxidróxidos de Fe. Além disto já evidenciam cores diferenciadas do bordo para o núcleo: laranja → amarelo → verde claro (FMG 02), indicativas de um núcleo relictual irregular menos alterado. Em Pinhão, este primeiro estágio de alteração dos piroxênios não foi registrado.

No segundo estágio os piroxênios encontram-se subarredondados, com planos de clivagens e microfissuras (perpendiculares a estas) visivelmente alargadas, com preenchimento de oxidróxidos de ferro. Os núcleos residuais por entre estas descontinuidades encontram-se amarelo-claros a esbranquiçados. Em Pinhão, particularmente, os grãos minerais encontram-se ainda ripiformes, com bordo difuso e irregular e cores bruno-escuras, referentes à dominância de oxidróxidos de Fe, que por vezes se encontram transformadas em goethita (com fraco pleocroísmo amarelo e laranja).

No terceiro estágio de alteração, observam-se raros pórfiros, bastante quebradiços e incolores a esbranquiçados (não pleocróicos); preservam a clivagem cruzada, que mantém uma angularidade em torno de 80°. Tais características levam-nos a concluir que se trata de piroxênios (ortopiroxênios) deferruginizados e outros em transformação para anfibólios. Em Pinhão observa-se que os grãos prismáticos de piroxênios apresentam fissuramento paralelo ou transversal aos planos de clivagem.

O quarto estágio constitui uma continuação gradativa e sutil do estágio anterior, onde os piroxênios encontram-se quase totalmente uralitizados (com cor azul-esverdeada escura e muito pouco pleocróicos), e correspondem a pseudomorfoses em formas mais arredondadas e com bordos escuros e nítidos. Esses grãos são marcados pela abundância de oxidróxidos de Fe, que melhor definem os planos de clivagens mais alargados. Normalmente os grãos encontram-se envoltos e parcialmente recobertos por material amorfo de cor pardacenta a bruno-escura.

O quinto e último estágio de alteração é marcado pelo quase total desaparecimento dos pseudomorfos, responsável, portanto, por parte do horizonte mais poroso. Os poros encontram-se em geral caolinizados e normalmente preenchidos por oxidróxidos de Fe, associados a abundante presença de produtos amorfos pardos a bruno-escuros (FMG 22).

A alteração de ortopiroxênios (enstatita e bronzita) estudada por NAHON & COLIN (1982) sob condições lateríticas (clima tropical com média anual de chuvas em torno de 1600mm) revela estágios e minerais de alteração similares aos já encontrados para os clinopiroxênios. Os autores identificaram, em uma primeira etapa de alteração, a presença de material amorfo de composição similar ao do mineral parental; na etapa seguinte ocorrem esmectitas (série beideleíta-nontronita ou saponita, por encontrarem-se entre as série di e trioctaédrica) + minerais do grupo do talco ferruginoso.

No presente trabalho, o último estágio de alteração exhibe características de material pedológico, evidenciando a presença de oxidróxidos de Fe, entre os quais se encontra goethita bem cristalizada e argilominerais como vermiculitas aluminosas e rara clorita, (conforme já se observara ao microscópio óptico).

Ainda que as condições climáticas vigentes nas regiões do Paraná estudadas sejam, ao menos em relação à temperatura, bem mais amenas, um produto secundário atribuído ao talco foi identificado disperso no alteroplasma em ocorrência restrita e associada à transformação dos piroxênios. Sua identificação foi possível porquanto em luz natural mostra-se incolor; além disso a presença de pequenos agregados fibrosos de forma geral retangular (subédricos), indica evidente plano de clivagem.

PLAGIOCLÁSIO

A relativa facilidade com que os plagioclásios se desagregam e se transformam nos estágios iniciais de alteração, verifica-se um crescimento acelerado do sistema microfissural, que por sua vez, conduz à perda de coesão da rocha. É comum já encontrar-se neste primeiro estágio, plagioclásio alterando-se para caolinita + gibbsita, apresentando uma fase de transição para produtos amorfos razoavelmente expressiva.

A associação caolinita-amorfos em cristalização constitui inclusive uma das principais ocorrências minerais verificadas ao menos no estágios iniciais de alteração, onde aparecem finas fraturas, sinuosas, que muitas vezes não seguem os planos de clivagem ou maclas polissintéticas, coincidindo, portanto, com o padrão de alteração linear irregular de STOOPS et al., (1979).

Em um segundo estágio de alteração verifica-se que, mesmo com o aumento da quantidade e da espessura das microfissuras intragranulares e em geral caolinizadas (vide Prancha 03, Foto D), o formato original dos feldspatos é ainda mantido, restando núcleos relictuais que exibem parte da clivagem e planos de macla. Os bordos mostram-se parcialmente modificados, estando apenas alguns ondulados, com ocorrência conjunta de caolinita e de oxidróxidos de

ferro castanho-amarelados (possivelmente decorrentes da alteração de minerais ferromagnesianos adjacentes). O bordo maior mantém-se liso e retilíneo, exibindo início de cristalização de caolinita, também presente nas microfissuras irregulares.

O microfissuramento associado à caolinização também aparece no terceiro estágio de alteração, porém mais intenso e com formas de alteração irregulares, responsáveis em parte pela presença de microcavidades intragrãos. Quando se tornam maiores, estas cavidades (que chegam a atingir o tamanho do grão mineral original), podem apresentar em seus bordos gibbsita e caolinita (em acordeon). No centro verifica-se a interpenetração de oxidróxidos de ferro junto ao material caolinítico, onde também é comum a presença de produtos amorfos. Macropórfiros totalmente caolinizados apresentam bordos difusos (FMG 30); a caolinização ocorre em manchas disformes e em microfissuras alongadas e irregulares, encontrando-se fracamente orientada. Verificam-se ainda abundantes produtos amorfos de cor escura.

No quarto estágio de alteração os feldspatos já descolorados (incolores à luz natural) e com formato bastante modificado - arredondados a ovalados - atingem uma pseudomorfose constituída por caolinita, nos perfis de Palmas, e por caolinita + gibbsita, nos perfis de Pinhão, e seus bordos exibem uma tênue película amarela acastanhada. Ainda assim é possível identificar a macla polissintética, quase totalmente mascarada pela caolinização e/ou gibbsitização; freqüentemente o fissuramento perpendicular às maclas, secciona o macropórfiro de formato subédrico. Onde a concentração de oxidróxidos de ferro é maior, de modo a tingir o alteroplasma de cor bruno-avermelhada escura, os macropórfiros de feldspatos de cor branco-cintilante podem ser melhor identificados.

A caolinita toma espaço nos pórfiros dos domínios bruno-

amarelados a ocre, onde é possível identificar feições do tipo *boxwork*. Os *paquets* de caolinita pouco desenvolvidos ocorrem associados à rede silicoferruginosa do pórfiro como se pode observar na Prancha 03 - Foto B.

O quinto e último estágio de alteração exhibe muito poucos pseudomorfos, pois dominam os poros originados da total destruição da maioria dos pórfiros. O plasma húmico da cor bruno muito escuro a bruno-avermelhado, permite o contraste de alguns grãos dos pseudomorfos dos feldspatos, já totalmente caolinizados, os quais exibem formato bastante irregular (Prancha 03 - Foto A). Esta caolinização distribui-se no grão totalmente fragmentado (a exemplo de um mosaico), que contém manchas de material amorfo irregularmente distribuído (FMG 22).

Em Pinhão, os pseudomorfos caolinizados e em mosaico encontram-se pigmentados nas cores amarelo-alaranjada e castanho-avermelhada, decorrentes possivelmente da abundância de oxidróxidos de ferro no plasma. Gibbsita e caolinita ocorrem associadas em alguns grãos minerais, onde também ocorrem produtos amorfos (menos abundantes do que nos demais estágios).

De acordo com o observado em lâmina, no contato dos plagioclásios com minerais ferromagnesianos, há uma disseminação de oxidróxidos de ferro (Prancha 03 - Foto C) que tingem os demais pórfiros félsicos, distribuindo-se também nos microssistemas fissurais e nos espaços inter e intraminerais.

PRANCHA 03

Foto A: Feldspato alongado com formato bastante modificado (ex- tremidades irregulares), com indicação de atividade orgânica.
horizonte C2 - PPa IIa

Foto B: Feldspato alterado com forma prismática ainda preservada.
plaqueta de sílica de PPI II

Foto C: Feldspato alcalino pseudomorfizado
rocha alterada - CPa I

Foto D: Detalhe da face de um feldspato, em cujas microfissuras verifica-se argilomineral do grupo da caolinita + óxidos de Fe e Mn
horizonte C8b - CPa I

PRANCHA 03

Alteração em Feldspatos

A

B

C

D

MINERAIS DO GRUPO DA SÍLICA

Entre os minerais do grupo da sílica o quartzo é o que está presente nos pórfiros das rochas riolítico-riodacíticas, como se pôde confirmar através da Microscopia Óptica e da Difração de Raios-X. O quartzo tem sido encontrado disperso na matriz alteroplásmica bem como nos fenocristais nos perfis de Pinhão e também nos cortes de Palmas; muitos dos geodos de sílica verificados em PPa IIb, no entanto, assemelham-se morfologicamente a calcedônia. De acordo com DEER et al., (1966), tridimita e cristobalita podem ocorrer em associação metaestável em cavidades de rochas riolíticas, em esferólitos ociosos de obsidianas, em traquitos, andesitos ou em dacitos.

Nos estágios I e II de alteração da área de estudo, os grãos de quartzo estão praticamente inalteráveis (Prancha 04 – Fotos C e D); no segundo estágio os grãos ligeiramente subarredondados, têm bordo difuso e irregular.

O estágio III verificado no corte CPa II exhibe macropórfiros correspondentes aos geodos de sílica, que evidenciam alteração do tipo concêntrica, apresentando produto amorfo + caolinita em suas microfissuras e formando fundos entalhes e microescoriações (FMG 08). Estes mesmos pórfiros aparecem menores e mais arredondados no estágio IV (Prancha 05 - Foto A), com feição de alteração radiada ou disforme, bordos castanho-alaranjados e difusos, e normalmente caolinizados.

Nos estágios avançados de alteração (IV e V), identificam-se macropórfiros de quartzo com bordos irregulares.

Algumas das várias morfologias do quartzo verificadas através do MEV, bem como tipos de alteração associados, encontram-se registrados nas Pranchas 04, 05 e 06.

MAGNETITA

Na área de estudo o estágio I de alteração revela que a magnetita aparece normalmente com faces quadradas e retangulares razoavelmente bem preservadas (com bordo liso e nítido), feição esta também observada no estágio II, onde se verificam oxidróxidos de Fe de cor bruna. Na Prancha 07 - Foto A, observa-se oxidróxido de Fe associado a oxidróxido de Ti no horizonte C9 (em CPa I) na forma de grumos.

O terceiro estágio evidencia magnetitas em processo de hematitização e goethitização associadas, responsáveis pela presença de pontos avermelhados e bruno-amarelados escuros no alteroplasma, originalmente cinza-esverdeados. Opacos pequenos, angulares a subangulares, e possivelmente associados à fragmentação de grãos maiores de magnetita, estão dispersos e razoavelmente preservados; alguns maiores estão goethitizados.

Em um estágio mais avançado de alteração (IV) os opacos apresentam bordo liso a difuso, e cores e formas variadas: glóbulos cinzentos a castanho amarelados (goethita), manchas castanho-avermelhadas (hematita, ilmenita) e castanho-amarelo-alaranjadas (limonita), as mais escassas. As concreções ferruginosas observadas em PPI III encontram-se registradas na Prancha 07 - Foto B, onde se verificam oxidróxidos de Fe e Ti, misturados a uma massa aluminossilícosa, provavelmente caolinítica.

O último estágio de intemperização mostra que os opacos, arredondados a subarredondados, apresentam núcleo intensamente ferruginizado na cor vermelho vivo (LN). O plasma é invariavelmente recoberto por cor amarela, sugerindo condições oxidantes do meio mais intensificadas do que nos demais estágios. Estas feições são particularmente observadas nos perfis PPI, que normalmente se apresentam na cor vermelha.

Nos estágios avançados de alteração, equivalentes aqui ao quarto ou quinto estágios, TOLEDO-GROKE (1986) constatou, para as magnetitas encontradas em metassedimentares, um tipo de intemperização muito similar ao encontrado nas rochas vulcânicas ácidas. Ocorrem auréolas de oxidróxidos de Fe que tingem de vermelho o material adjacente, mas esta dissolução nem sempre é acompanhada pela precipitação de minerais secundários de Fe.

CLEMENTE (1988) reporta-se a uma alteração pelicular das magnetitas, que se desenvolve dos bordos para o centro do mineral; inicia-se uma tênue descoloração nos bordos do mineral e com o passar da alteração, ela se desenvolve de forma centrípeta. Observa-se na área de estudo que mesmo com o avanço da alteração resta sempre um núcleo relictual da magnetita original ou pouco alterada.

PRANCHA 04

Foto A: Mineral do grupo da sílica evidenciando um edifício cristalino estratificado (similar à uma "esponja") irregular, associado possivelmente a processo de dissolução.

horizonte C2 - PPa IIa

Foto B: Bastonete de quartzo com incrustação de oxidróxidos de Fe (manchas e pontos claros).

rocha alterada - CPa I

Foto C: Quartzo razoavelmente bem cristalizado, com arredondamento de arestas e vértices, e associado a oxidróxidos de Fe (manchas brancas).

horizonte C8b - CPa I

Foto D: Quartzo bem cristalizado (sistema trigonal) com início de alteração nas extremidades

horizonte C8b - CPa I

PRANCHA 04**Minerais do Grupo da Sílica - morfologias**

A

B

C

D

PRANCHA 05

Foto A: Superfície cristalina de quartzo evidenciando cristálitos globulares, sugerindo dissolução por atividade orgânica (presença de cloro no espectograma).

horizonte C3 - PPa IIb

Foto B: *Box work* de SiO_2 , de reticulado retilíneo, apresentando argilomineral do grupo da caolinita + óxidos de Fe (nos planos do reticulado).

horizonte C4 - CPa I

Foto C: *Box work* de SiO_2 com reticulado mais fino e retorcido que o anterior, apresentando óxidos de Fe entre seus planos.

rocha alterada - CPa I

PRANCHA 05

Minerais do Grupo da Sílica – tipos de alteração I

A

B

C

PRANCHA 06

Foto A: Quartzo disforme em avançado estágio de alteração.
plaqueta de sílica - PPI II

Foto B: Face de quartzo "burinée", cuja descamação revela formas geométricas.
horizonte C8b - CPa I

Foto C: Superfície cristalina de sílica, exibindo planos paralelos e descontínuos em "chevron".
geodo de SiO_2 - PPa IIb

Foto D: Face externa do quartzo exibindo cavidades tetraédricas de dimensões variadas com faces ortogonais; as de mesma direção são paralelas.
geodo de sílica - PPa IIb

PRANCHA 06

Minerais do Grupo da Sílica - tipos de alteração II

A

B

C

D

PRANCHA 07

Foto A: Óxidos de Fe e Ti associados (mancha arredondada central, c/ pontos claros) em argilomineral caolinítico.

horizonte C9 - CPa I

Foto B: Fotocomposição de concreção ferruginosa (branco cintilante), contendo óxido de Ti e argila caolinítica.

concreção ferruginosa - PPI II (horizontes C1 e C2)

PRANCHA 07**Óxidos de Fe e Ti secundários**

A

B

2.2 Alteração de Outros Minerais

Feldspatos potássicos normalmente restritos à matriz alteroplásmica e mais raramente ocorrem como fenocristais, mantêm sua forma prismática, macla de Carlsbad e cor (em geral) preservadas. Segundo GASPARETTO (1990), análises químicas revelaram praticamente não haver modificações destes feldspatos na rocha alterada dura, possivelmente pela perda mínima de potássio.

No segundo estágio de alteração foi observado grão de mineral micáceo de formato retangular, com bordo fragmentado; os encontrados no perfil PPa IIb têm formato retangular deformado (tipo sanfona), apresentando interpenetração de oxidróxidos de Fe entre os planos caolinizados. De acordo com CHATELIN (1974) esta fase corresponderia a um processo de vermiculitização. Segundo BISDOM et al. (1982), quaisquer das modificações ocorridas entre os "layers" da biotita (com remoção de K), de modo a afetar os cátions da estrutura tetraédrica ou octaédrica, podem resultar na formação de mica-vermiculita interestratificada, vermiculita, esmectita ou clorita aluminosa. Para os autores, a deformação do grão da biotita pode estar associada à caolinização da biotita, muito embora a cristalização da caolinita, independentemente do intemperismo da biotita, também possa exibir grãos vermiformes (que em geral são menores e sem as inclusões residuais da biotita).

Ainda nesse estágio percebe-se que cerca de 5% dos pórfiros em geral apresentam resquícios da cor original (em LN), mas com formato e textura mascarados pela grande quantidade de oxidróxidos de Fe e de produtos amorfos sílico-ferruginosos e sílico-aluminosos, podendo haver, de acordo com BISDOM et al. (*op. cit.*) acumulações de Anatásio, e cujo Ti derivou da alteração da biotita.

É importante salientar que o Fe e o Ti liberados podem cristalizar *in situ* na forma de inclusões ou de incrustações, sendo que o Fe pode também ter sido precipitado por soluções introduzidas pela alteração de outros minerais.

A ocorrência de ilmenita, que quando identificada comumente aparece associada a magnetita (e que segundo NARDY, 1993 e 1995 também ocorre como Ti-magnetita) evidencia apenas cores de alteração pardo-escuras avermelhadas, em agregados prismáticos a botrioidais), que para SUGUIO (1980), corresponderiam ao leucoxênio.

CAPÍTULO V

EVOLUÇÃO PEDOMORFOLÓGICA

1. OS ELEMENTOS NATURAIS DA PAISAGEM DE PALMAS E DE PINHÃO – Fatores físicos determinantes na evolução pedomorfológica

Para um estudo pedomorfológico da área de estudo é importante que sejam estabelecidos os principais fatores ou elementos físicos do meio e as relações entre eles. A evolução morfogenética tem relação de causa e efeito com a evolução dos solos, e estes refletem o frágil equilíbrio entre relevo, clima e vegetação.

Os campos de Pinhão e os de Palmas são formados por uma topografia colinosa que compõe os blocos planálticos, respectivamente de Guarapuava e de Palmas, os quais fazem parte do Terceiro Planalto Paranaense.

Na área de Pinhão o relevo dominante é suave a moderadamente ondulado e a rede de drenagem a ele associada, é de padrão ortogonal, refletindo um forte condicionamento tectônico. Em Palmas observa-se um relevo predominantemente suave ondulado, com vertentes mais curtas em relação às de Pinhão, e um padrão de drenagem preferencialmente dendrítico a subdendrítico.

As formas de relevo encontram-se mais e menos esculpidas sobre as

superfícies dos derrames vulcânicos (ácidos e básicos), estando mais intensamente dissecadas na área de abrangência da bacia do rio Iguaçu.

Em Palmas verificam-se também feições do tipo *dales*, vales pequenos de fundos rasos, planos de falha e de fraturas e processos de ravinamento. Os *dales* são depressões fechadas, rasas, esparsas e normalmente situadas nas vertentes pouco inclinadas, de colinas suavemente onduladas. Possivelmente formaram-se por dissolução, em decorrência da oscilação do lençol freático e/ou de certos cursos d'água próximos, de caráter intermitente, de modo a favorecer a exportação do material por solução.

Os vales encontrados na região de Palmas constituem vales de erosão de fundo chato a suave côncavo. Quanto às formas das vertentes corresponderiam a vales em manjedoura (conforme classificação adotada por PENTEADO, 1983), que exibem corpos d'água intermitentes; esta ocorrência eventual possivelmente deve-se à oscilação do lençol freático, que em períodos de maior proximidade com a superfície do fundo do vale, teria favorecido o processo de dissolução em detrimento aos transportes mecânicos.

O plano de falha subvertical e as fraturas verificadas no corte CPa I constituem indícios em mesoescala de um evento tectônico rúptil evidente na área de estudo. Estas descontitnuidades, somadas às estruturas bandadas planares, certamente tiveram um papel importante no processo hidrodinâmico responsável pela evolução dos perfis de alteração.

Os fatores que condicionaram a evolução dos processos de ravinamento, erosão laminar e migração de partículas, foram principalmente a topografia e o clima. Fatores como oscilação térmica, alternância das estações secas e úmidas, regime pluviométrico e oscilação do nível freático contribuíram para a evolução das coberturas pedológicas de Palmas e de Pinhão e dos relevos a elas associados.

O desenvolvimento da erosão laminar e por ravinamento tem estreita relação com a inclinação das vertentes de um relevo suavemente ondulado, com altos índices pluviométricos, e com a presença de uma cobertura de alteração pouco coesa, que localizadamente exhibe textura siltoarenosa a arenosa. O impacto pluvial gerado por chuvas concentradas, como aquelas observadas por RIBEIRO (1989) para alguns dias do mês de julho de 1983 nas áreas de Palmas e de Pinhão, certamente constitui um fator de aceleração do processo de ravinamento. Além disto, a freqüente rotatividade de cultivos associada à intensa mecanização (pelo menos nos últimos 30 anos), provocaram localizadamente a perda de material.

Também associadas à intensa pluviosidade anual, verificam-se migrações descendentes, responsáveis pelas lixiviações e eluviações na área de Palmas.

Os planaltos apresentam altitudes que variam de 1000 a 1300m (com os valores mais elevados na região de Palmas), e as declividades variam de região para região. Em Palmas e em Pinhão as elevações de altitudes relativas variam de 50 a 100m, mas no primeiro caso os declives variam de 3 a 8%, enquanto que em Pinhão variam de 5 a 12%.

No que se refere à dinâmica atmosférica, as variações de temperatura e pluviosidade verificadas nas duas regiões provavelmente são de caráter topoclimático. A temperatura média anual verificada em Pinhão é cerca de 1°C maior do que aquela observada em Palmas, sendo respectivamente 16,5°C e 15,6°C.

A pluviosidade média anual, ao contrário, é maior em Palmas (1735mm, contra 1517mm em Pinhão). Estas diferenças tornam a região de Pinhão mais deficiente hidricamente, em decorrência de os totais pluviométricos menores e das temperaturas mais elevadas aumentarem a evapotranspiração potencial nessa região.

Em virtude das condições climáticas vigentes e dos solos existentes, o relevo encontra-se revestido por uma vegetação eminentemente campestre e por remanescentes de matas nativas (nos fundos de várzeas, áreas pantanosas e ao longo dos cursos dos rios - matas de galeria), e de matas de Araucária (nas superfícies de cimeira e nos terrenos mais dissecados), cuja ocorrência está associada a solos ácidos. As matas de araucária compunham a vegetação principal das terras altas do Brasil meridional em um passado não muito recente, em que se verificavam fases mais frias e menos úmidas. Segundo AB'SÁBER (1957) elas representam hoje a principal relíquia desta vegetação terciária, encontrando-se preservadas nos compartimentos em que se verificam similaridades ecológicas e climáticas, daquelas que dominaram em períodos subatuais.

2. EVOLUÇÃO DAS COBERTURAS DE ALTERAÇÃO

O estudo bidimensional da cobertura pedológica dos cortes e perfis estudados permitiu uma análise de sua evolução vertical e lateral, cujo interesse maior foi voltado para a distribuição espacial e as transformações mineralógicas dos horizontes.

CORTE CPa I

O corte CPa I apresenta um grande número de horizontes que exibem características texturais e/ou morfológicas distintas. De A até C5 (na parte SE do corte) esses horizontes se desenvolveram preferencialmente na vertical, exibindo a evolução natural de um perfil pedológico (com gradação de textura mais grosseira para mais fina, da base para o topo). As características físicas de A e B refletem as condições húmicas deste corte, caracterizado pedologicamente como um Litossolo bruno. Os horizontes C1 a C5 exibem núcleos mais e menos preservados e duros da rocha alterada; são mais duros a partir de C3.

A estrutura bandada subparalela presente em todo o corte CPa I encontra-se em C4 sub-horizontalizada, onde está melhor preservada. Na base desta seqüência de horizontes - em C5 -, condições geoquímicas específicas e responsáveis pela presença de manchas irregulares com cores variadas (violáceas, cinza-esbranquiçadas, cinza-avermelhadas claras a branco-amareladas), teriam sido responsáveis pela menor preservação das estruturas bandadas planares neste horizonte. Aliás, os planos de falha e de fraturas e as estruturas planares certamente favoreceram em C5 (que faz o contato com a rocha alterada dura), a presença de um meio mais saturado responsável por condições mais redutoras.

O contato lateral direito com C4 é o horizonte, a partir do qual se observam os horizontes C6 a C11, que se desenvolveram rumo NW (rumo Palmas), e cuja evolução pedológica principal foi lateral. O plano de falha que corta principalmente os horizontes C3, C6 e C7, marca o contato da seqüência de horizontes com evolução preferencialmente vertical daquela preferencialmente lateral. A Figura 21 mostra o contato dos domínios I e II que correspondem respectivamente ao conjunto de horizontes onde a evolução vertical da alteração foi dominante, e ao conjunto de horizontes onde a evolução lateral da alteração predominou, observados no corte CPa I.

A evolução lateral foi condicionada pela presença de duas descontinuidades: as estruturas bandadas planares com mergulho para NW e os planos de fraturas, que cortam obliquamente estas estruturas planares. Estas descontinuidades teriam servido de vias de circulação das águas de infiltração e provavelmente daquelas provenientes da oscilação freática. A presença de um pequeno lago intermitente, próximo ao sopé da vertente NW do corte CPa I, faz crer na hipótese de que a modificação do nível freático foi importante no processo evolutivo do referido corte.

Entre os aspectos morfológicos observados, a cor constitui um valioso critério de subdivisão da cobertura, em fases particulares da alteração, como se

vê a seguir:

- 1) Fase bruno-amarelada a ocre: está presente preferencialmente nos horizontes C2, C9 e C11, onde o cristallalteroplasma apresenta organização porfiroscúlica. Os pórfiros estão em geral razoavelmente bem preservados, mas os piroxênios já se encontram em processo de deferruginização. Os opacos ocorrem em percentuais que variam de 3 a 5% (os teores diminuem rumo ao topo), e as condições oxidantes permitiram a precipitação preferencial de hidróxidos de Fe amarelados, que provavelmente correspondem a goethita.
- 2) Fase bruno-avermelhada a vermelho-alaranjada: corresponde à fase oxidante do Fe, com formação de minerais do tipo hematita e outros hidratos de Fe, concentrados preferencialmente ao longo dos planos bandados dos horizontes C3, C6, C7, C8b e C10. A cor responsável pela tonalização avermelhada parece estar associada à livre circulação hídrica por entre os planos bandados e ao longo do plano de falha.
- 3) Fase bruno-acinzentada a esverdeada, mosqueada: constitui uma fase possivelmente associada ao ambiente redutor, com presença de Fe bivalente. Estas tonalidades, particularmente observadas nos horizontes C1, C4, C5, base de C6 e C8a, apresentam cores variegadas nos tons cinza-esbranquiçados, violáceos e cinza-rosados. Nos quatro primeiros horizontes, atribui-se o mosqueamento à presença do plano de falha subverticalizado. Esse plano, ao interceptar os planos bandados sub-horizontalizados, teria permitido localizadamente uma baixa circulação hídrica, capaz de promover um meio mais saturado, e portanto, redutor. Em C8b, verificam-se pequenas ondulações nas estruturas bandadas, que poderiam ter dificultado a circulação livre da água, permitindo assim condições mais redutoras na base do corte.

Evidências dos processos de desagregação/decomposição dos pórfiros de quartzo verificam-se preferencialmente nos horizontes que exibem nítido bandamento estrutural, a exemplo de C4, C5, C8, C10 e C11, e naqueles que também são cortados pelo plano de falha (C3, C6 e C7). Nos primeiros, o quartzo encontra-se subarredondado e exibe uma tênue ondulação de seus bordos, sugerindo um início de dissolução silicosa.

O quartzo verificado nos horizontes diretamente interceptados pela falha encontra-se mais arredondado, fragmentado e invariavelmente circundado por material caolinítico.

Nos horizontes A, B e C1 o quartzo, quando aparece relictual, encontra-se mais fragmentado e bem mais arredondado. Boa parte do material silicoso dissolvido encontra-se disperso no alteroplasma na forma de produto amorfo silicoso e silicoferruginoso (também observado na forma de *box-work* no horizonte 10).

O processo de caolinização, observado em praticamente todos os horizontes, ocorre na forma de manchas, preenchimento de fissuras ou bordas de alteração de pórfiros. No entanto, a caolinita melhor desenvolvida ocorre nos horizontes A, B, C1 e de C6 a C11.

CORTE CPa II - Perfis PPa IIa e PPa IIb

O corte CPa II tem características de um Cambissolo húmico, apresentando os horizontes superficiais (A e B) cor bruna muito escura a preta e textura muito argilosa. Em B a espessura está em torno de 30cm, a porosidade tubular é fraca, a porosidade fissural é forte, e a coesão forte; na base desse horizonte verificam-se fragmentos (subcentimétricos a milimétricos) de geodos de sílica, alterados e duros, e relictos da rocha, que se distribuíram ao longo do contato de C1 com C2. O fundo matricial é homogêneo, argilassépico, e há uma

incipiente mobilização de Fe na forma de oxidróxidos, concentrados nos bordos dos grãos félsicos pseudomorfizados.

Os perfis PPa IIa e PPa IIb têm sua evolução pedológica preferencialmente vertical, e as estruturas bandadas planares encontram-se menos preservadas do que aquelas encontradas no corte CPa I. De C1 até C4 (na base; o horizonte C5, em PPa IIb, constitui um horizonte situado dentro do horizonte C4b) verificam-se domínios distintos por coloração:

- 1) Fase bruno-avermelhada: fase específica do horizonte C2 deste corte, que corresponde à transição plasma-alteroplasma, com organização matricial do tipo silassépica; verifica-se uma fraca a moderada concentração de oxidróxidos de Fe e o teor de opacos encontra-se em torno de 1%.
- 2) Fase bruno-amarelada: verifica-se em C3 e C4, onde o fundo alteroplásmico (cristaliplasma) apresenta organização esquelsépica e baixa mobilização de oxidróxidos de Fe, responsável pela coloração amarelada no fundo alteroplásmico.
- 2) Fase amarelada, esverdeada a cinza-brunada: ocorre como domínios de cores variegadas no horizonte basal C4. O cristaliplasma exhibe aglomerações de pórfiros, mas a concentração de oxidróxidos de Fe é moderada; os opacos atingem 3% do total de pórfiros. Esta fase marca provavelmente a ocorrência alternada de condições oxirredutoras, com formação de oxidróxidos de Fe, hidratados e/ou não.

O nível de geodos que ocorre na interface C1-C2 separa um conjunto superior mais húmico (A e B), de um material subjacente rico em minerais primários alteráveis (piroxênios, plagioclásios e magnetita).

As organizações ferruginosas, melhor observadas na fase bruno-avermelhada (horizontes C2 e C3), possivelmente têm sua gênese atribuída à

deferruginização de piroxênios e opacos (cujos teores atingem no máximo 3% do total de pórfiros). A concentração de oxidróxidos de Fe ao longo das estruturas bandadas é fruto da livre circulação hídrica verificada por entre as bandas planares.

A mais intensa disseminação de material silicoso foi identificada na fase amarelo-esverdeada (horizontes C3 e C4), e ocorre como preenchimento de microfissuras longitudinais ou em rede, ambas relacionadas às clivagens dos pórfiros alterados de feldspatos e de piroxênios.

PERFIS PPI

Os perfis PPI encontram-se preferencialmente no topo de vertentes que compõem uma topografia suave a moderadamente ondulada. Mais ao sul e sudeste de Pinhão, verifica-se um relevo mais acidentado (com solos menos espessos em vertentes mais inclinadas), que provavelmente corresponde a um entalhe do domínio morfológico colinoso, mais suavizado.

Estes perfis caracterizam-se morfológicamente pela presença de uma textura muito argilosa e pela cor vermelha generalizada. O alteroplasma, cripto a microcristalino, apresenta macropórfiros, entre os quais verifica-se uma grande quantidade de opacos, que em maior ou menor grau de alteração, encontram-se nas cores bruno-avermelhado a vermelho-vivo.

As coberturas pedológicas resultam de uma alteração vertical profunda, com saída dos elementos mais solúveis; na fração argila observa-se uma relativa abundância de gibbsita.

Uma característica comum aos perfis PPI é a dominância da fase cinza-amarelo-esverdeada, associada à qual verifica-se uma intensa caolinização. A caolinita bem desenvolvida não é comum, mas invariavelmente está acompanhada de gibbsita.

Domínios bruno-avermelhados a vermelhos ocorrem no horizonte C1 em PPI I (associados à presença do bolsão argiloso), dispersos nos horizontes C2 e C4, em PPI II e no horizonte C3, em PPI III. Esse horizonte, de coloração vermelho-acinzentada escura, corresponde ao material circundante aos nódulos, concreções e pedotúbulos silicoferruginosos.

O perfil PPI I apresenta no horizonte C1 um bolsão argiloso côncavo em cuja base encontram-se dispersos núcleos litorrelíquiais de cor amarelo-esverdeada. O fato de este material de alteração encontrar-se isolado da fonte (situada abaixo do horizonte C3), leva-nos a supor que este material teria sido transportado lateralmente a partir de horizontes adjacentes, interrompendo assim a evolução vertical do perfil.

Na base do horizonte C1 (abaixo do bolsão), bem como em C2 e C3, encontram-se regular e horizontalmente dispersas manchas amarelas e brancas, que correspondem respectivamente à goethitização e caolinização dos macropórfiros. Esta alteração teria sido favorecida pela circulação hídrica verificada abaixo do bolsão argiloso onde encontram-se melhor preservadas (principalmente em C3) as estruturas bandadas planares horizontalizadas.

Neste perfil o material litorrelíquial provindo diretamente da rocha-fonte encontra-se a uma profundidade abaixo de 2,5m, embora evidências estruturais da rocha (planos bandados paralelos) apareçam a 2,10m no horizonte C3.

No perfil PPI II identificam-se estruturas bandadas, que aparecem a uma profundidade de 2,00m, e também dois níveis de plaquetas silicosas. O nível superior situa-se a 1,00m de profundidade e apresenta espessura variável entre 8 e 10cm; o material que lhe é circundante exibe características texturais e estruturais semelhantes à da rocha alterada. O nível inferior de plaquetas encontra-se a uma profundidade de 2,00m e apresenta uma espessura em torno de 6cm.

Em PPI III (situado entre PPI II e PPI I na estrada Pinhão- Dois Pinheiros) não há quaisquer evidências de estruturas bandadas, do material litorrelíquial ou das plaquetas silicosas.

A presença de nódulos e pedotúbulos dispersos irregular e descontinuamente no horizonte C3 deste perfil deve-se muito provavelmente às condições hídricas contrastantes; o concrecionamento ferruginoso seria fruto da oscilação do lençol freático, em que haveria alternância de meio saturado e não saturado.

Os pedotúbulos, segundo COSTA, (1991) correspondem a canais de forma tubular (com limites abruptos, ramificados ou simples) repletos de material de solo provavelmente oriundo de um horizonte diferente daquele em que se encontra, o que gera um forte contraste entre ambos. Os canais podem formar-se por atividade da fauna ou flora (túneis de animais, canais de antigas raízes, etc..) ou por intemperização.

No presente trabalho acredita-se que a gênese dos pedotúbulos esteja muito provavelmente associada ao crescimento das raízes, pois não foram identificadas no perfil quaisquer evidências do transporte de microorganismos.

Observa-se em Pinhão que, a partir de particularidades principalmente de caráter morfológico e mineralógico, analisadas em cada perfil, encontram-se estágios pedogenéticos diferenciados. A seqüência de perfis PPI III - PPI I - PPI II (dessa forma distribuídos ao longo da estrada Dois Pinheiros-Pinhão), corresponde a uma seqüência de solos menos para mais evoluídos, ou seja, respectivamente de Cambissolo, Terra Bruna a Latossolo Bruno. Não se pode, no entanto, estabelecer uma seqüência evolutiva destes perfis porque nesse estudo não foi realizada a análise topossequencial que aborda o estudo tridimensional da cobertura pedológica (sua gênese, evolução e transformações verticais e laterais) em uma mesma vertente.

No caso em questão, os perfis se desenvolveram em vertentes diferentes (apresentando-se em geral, longas e pouco inclinadas), ocupando invariavelmente a posição de topo.

3. PROCESSOS DE ALTERAÇÃO IDENTIFICADOS – As transformações mineralógicas e os processos geoquímicos

As feições planares, já discutidas anteriormente, teriam favorecido a circulação hídrica responsável pelo processo hidrolítico na área de estudo.

A alteração caolinítica é dominante em Palmas e em Pinhão e verifica-se ao longo das microfissuras dos pórfiros, como preenchimento parcial de microfraturas do alteroplasma, e na forma de substituição, parcial ou total, dos pseudomorfos de feldspatos (principalmente), conforme atestam as formas geralmente irregulares de cor branca cintilante.

O material silicoso, à medida que se solubiliza, encontra condições de precipitação por entre os planos bandados ou como preenchimento das fraturas; em ambos os casos forma o que hoje representa as plaquetas silicosas, mais e menos endurecidas. Este material ocorre preferencialmente nas microfissuras dos pórfiros e nas fraturas do alteroplasma, acompanhado invariavelmente por óxidos de Fe, principalmente hematita secundária. Os geodos silicosos verificados nos horizontes C1 e C2 do perfil PPa IIb encontram-se em escala mesoscópica razoavelmente bem preservados, de modo que normalmente é possível identificar sua estrutura interna concêntrica. No entanto, em análise microscópica se observa que muitos dos grãos de quartzo encontram-se fragmentados, exibindo uma solubilização inicial. O processo de dissolução começa nos bordos, que passam de lisos a ondulados, e em cujas cavas pode ser observada uma película de caolinita, possivelmente atribuída à alteração de grãos feldspáticos circunvizinhos.

As magnetitas constituem o opaco principal das efusivas ácidas. Quando submetidas ao processo intempérico, formam produtos secundários que em uma primeira fase corresponderiam a ferridrita, um composto hidratado e instável. Esse mineral constitui uma massa terrosa de cor bruno-amarelada a amarela, que posteriormente se transformaria em hematita e/ou goethita, dependendo da disponibilidade de água do meio.

Condições eminentemente oxidantes permitiriam a transformação da ferridrita em vários subprodutos como hematita + goethita + óxidos hidratados de Fe (fase amorfa e/ou criptocristalina), responsáveis pelas tonalidades mais avermelhadas dos perfis estudados.

Por outro lado, condições de maior umidade, e portanto com maior disponibilidade de água no meio, teriam favorecido a precipitação de goethita + oxidróxidos de Fe. Esta situação equivaleria ao ambiente hidroquímico verificado preferencialmente no corte CPa I (principalmente em C2, C9 e C11 e como manchas em C6 e em C7) e no perfil PPa IIb, através da ocorrência de materiais ocre e amarelos nos horizontes C2 e C4a.

Em PPa IIa, ao contrário, o perfil apresenta-se amarelo-avermelhado a vermelho-pálido (horizontes C2, C3 e C4), cores essas provavelmente decorrentes da fase oxidante responsável pela formação de Fe III, presente na goethita e na hematita.

As modificações químico-mineralógicas acima descritas foram observadas nos cinco estágios de alteração propostos neste trabalho, em que foram reunidas as características micromorfológicas e mineralógicas mais significativas.

Cada novo estágio de alteração (onde transformações mineralógicas específicas muitas vezes foram acrescidas) guardou algum tipo de relíquia textural, estrutural e/ou mineralógica do estágio anterior.

O estágio de alteração I, somente encontrado nos cortes CPa, apresenta fundo alteroplásmico porfirosquélco com matriz criptocristalina cinza-esverdeada e pórfiros agregados e preservados, evidências estas da textura vitrofírica da rocha. Verifica-se um princípio de caolinização nos feldspatos, com ocorrência de produtos amorfs associados.

O estágio de alteração II, observado nos perfis PPI, exibe em geral fundo alteroplásmico porfirosquélco com macropórfiros microfissurados, havendo caolinização por entre as clivagens e microfissuras. Há resquícios da textura porfírica que se encontra bastante alterada. Há maior concentração de oxidróxidos de Fe e de amorfs em relação ao estágio anterior. Nos cortes CPa o alteroplasma apresenta domínios castanho-avermelhados decorrentes de uma fraca a moderada mobilização ferroargílica. Encontram-se poucos poros e fissuras, em geral não conectados. A caolinização concentra-se nos planos de clivagem e nas microfissuras.

A mobilização do Fe ocorre de forma mais expressiva a partir do estágio de alteração III, estando associada à deferruginização total ou parcial verificada principalmente em piroxênios (principalmente aegirina-augita, Fe-augita e enstatita) e opacos (magnetita, Ti-magnetita e mais raramente, ilmenita).

O estágio de alteração III exibe nos cortes CPa, uma mobilização ferroargílica mais intensa do que no estágio II. Há caolinita e oxidróxidos de Fe (com dominância de goethita) que tingem o alteroplasma porfirosquélco nas cores branco-amarelado a amarelo-escuro, ao qual associa-se também, uma grande quantidade de amorfs. Nos perfis PPI dominam óxidos de Fe com cores bruno-avermelhadas a alaranjadas (com domínio de hematita). Há poucas fissuras e abundantes poros em geral conectados e a presença de pórfiros de caolinita, gibbsita e magnetita hematitizada.

O estágio de alteração IV exibe nos perfis de Pinhão, alteroplasma microcristalino cinza-esverdeado com abundantes domínios bruno-avermelhados,

onde se observam pórfiros aglomerados. Constitui um estágio de transição que apresenta características dos horizontes, C e B, apresentando como este último plasma silassépico. As microfissuras encontram-se alargadas e entre os macropórfiros observam-se pseudomorfos de piroxênios, quartzo em dissolução, hematita, caolinita e raros grãos de clorita e epidoto.

Em Palmas há também domínios silassépicos, outros esquelsépicos, e ainda vossépicos. São abundantes os poros no alteroplasma que se encontra bruno-escuro a cinza esbranquiçado; ambas as cores refletem uma intensa mobilização de Fe e argila (caolinita), normalmente acompanhada por produtos amorfos.

O estágio de alteração V mostra em Palmas, uma estruturação plásmica argilassépica com fundo matricial bruno muito escuro. São abundantes a caolinita, os óxidos de Fe e os amorfos, a ponto de mascarar os pórfiros, já bastante alterados. O sistema fissural é pouco evoluído e os poros são abundantes, encontrando-se normalmente interconectados.

Nos perfis PPI este estágio mostra evidências de um estágio pedogenético mais desenvolvido, do que o seu equivalente nos cortes de Palmas. O fundo matricial esquelsépico exibe microfissuramento mais evoluído (fissuras maiores e interconectadas) e plasma argílico bruno avermelhado a vermelho-vivo, indicando a presença de hematita (também identificada no Difratoograma de Raios-X). Os macropórfiros estão quase totalmente pseudomorfizados e há abundante gibbsita (em desenvolvimento) em cordões.

Os cortes CPa I e CPa II correspondem respectivamente a Litossolos e Cambissolos húmicos, nos quais foram identificados domínios com cores variando do violáceo, avermelhado, esbranquiçado, cinza-rosado e amarelado, encontrados na forma de mosaicos, microfissuras irregulares e em teia (radiais), como os observados no horizonte C5, em CPa I.

Estes domínios de cores e tons variados têm importância para a interpretação pedogenética. As cores pardas, vermelhas e amarelas, em seus variados tons, são devidas aos óxidos de Fe. A cor vermelha, mais comumente encontrada por entre os planos bandados dos dois cortes analisados, está associada à presença de óxidos de Fe não hidratados ou pouco hidratados, ou ainda à presença de certos compostos de manganês. As duas situações são prováveis; conforme reações químicas atribuídas ao intemperismo das magnetitas, comentadas anteriormente, é provável que existam compostos de Fe em vários níveis de hidratação. Por outro lado, a presença de Mn é bastante provável, pois invariavelmente, junto aos domínios avermelhados verificam-se microfissuras e manchas milimétricas de cor preta e aspecto terroso, muito provavelmente atribuídas à presença de óxidos de Mn. Por via de regra esta cor indica condições de boa drenagem e de arejamento (são portanto, condições oxidantes).

As cores amareladas, que em geral recobrem manchas e feições com cores violáceas e pardas (como no horizonte C5, de CPa I) ou concentram-se em horizontes definidos principalmente pelas cores amarelo e ocre (como em C7 e C9, de CPa I), correspondem mais provavelmente à presença de óxidos de Fe mais hidratados., em geral associados à presença de goethita.

As cores branco-acinzentadas a esbranquiçadas verificadas nos cortes CPa são atribuídas à alteração de feldspatos porfíricos (e que dependendo do grau atingido podem corresponder a caolinita) e ao material silicoso que precipitou por entre as microfraturas do material de alteração para compor as plaquetas silicosas.

Finalmente, as cores cinza-violáceas e cinzentas claras de manchas muito pequenas e irregulares que se concentraram preferencialmente na base do corte, equivalem a níveis de permanente saturação.

O caráter mosqueado acima descrito, que em geral é observado nos cortes

de Palmas, particularmente na base (C5) de CPa I, traduz a alternância de condições de hidratação e redução com as de desidratação e oxidação, em zonas onde certamente houve oscilação do lençol freático.

As condições climáticas (com índices pluviométricos elevados e temperaturas em geral amenas) e de drenagem, e as características geomorfológicas da região de Palmas, refletiram na evolução de suas coberturas pedológicas analisadas, correspondentes a litossolos e cambissolos de fase subtropical de altitude.

No que diz respeito à caracterização morfológica, micromorfológica e mineralógica, constata-se que estas coberturas desenvolveram-se a partir de dois processos hidrolíticos. Em uma determinada situação as condições do meio foram favoráveis à formação de solos fersialíticos lessivados, conforme classificação adotada por RUELLAN & DOSSO, (1993), em que houve migração conjunta de argila e de Fe. Neste caso, a drenagem deficiente permitiu que parte da sílica (retirada da rocha por meteorização) permanecesse no meio, e formasse argilominerais do tipo vermiculita. Se por outro lado as características texturais, topográficas e estruturais do terreno propiciarem condições de boa drenagem, capaz de lixiviar os íons básicos e boa parte de silício, o restante deste elemento poderá formar apenas argilominerais do grupo 1/1 (que são mais pobres em Si do que os do grupo 2/1). Este é o caso que ocorre nos cortes CPa, cujo argilomineral dominante é a caolinita, caracterizando-se assim, o processo de Monossilitização.

A evolução dos perfis PPI I, PPI II e PPI III reflete tão somente os estágios diferenciados de desenvolvimento pedológico, onde também variaram condições hídricas (com variação do grau de saturação do meio) e oxirredutoras locais.

Na região de Pinhão, que apresenta temperaturas médias anuais mais amenas e índices pluviométricos anuais menos intensos do que os verificados na

região de Palmas, observa-se que o processo hidrolítico atuante é de caráter álico, verificado desde os horizontes superficiais até o C mais inferior. Este caráter álico denunciaria um processo de eliminação de bases mais intenso (com consequente aluminização), em relação aos cortes de Palmas.

Evidências mineralógicas mostraram ainda que a cristalização de gibbsita nas microfraturas e a pseudomorfose direta verificada entre plagioclásio e gibbsita, comprovariam a transformação mineral por Alitização (MELFI & PEDRO, 1977, 1978), em um ambiente de boa drenagem, responsável pela intensa lixiviação.

4. AS COBERTURAS PEDOLÓGICAS E AS PAISAGENS DERIVADAS

As formas onduladas do relevo de Palmas e de Pinhão são resposta aos altos e baixos estruturais regionais, cujos mergulhos apontam para NW e SW. Os fraturamentos regionais de direção NW-SE cortam a baixo ângulo as estruturas bandadas planares, que também mergulham para NW.

Do ponto de vista climático, constata-se que a intensidade e a frequência das chuvas observadas na região de estudo repercutem no potencial ecológico da paisagem, principalmente no que diz respeito ao uso do solo. A alta incidência de meses com excedentes hídricos elevados tem relação direta com a evolução das vertentes, que pode ser acelerada pelo desmatamento e uso inadequado do solo.

Nas duas regiões predominam vertentes convexizadas, cuja gênese está vinculada aos processos de rastejamento e escoamento difuso, que já foram discutidos por PENTEADO (1983). A formação de topos e vertentes convexizadas está associada ao relevo mais movimentado da área; ela ocorre por rastejamento lento por efeito da gravidade, e por escoamento difuso, o qual transporta material fino que erode só lateralmente, não afetando a forma desta vertente.

Com as mudanças climáticas verificadas em um passado subatual, em que houve fases frias e úmidas alternadas por outras de temperaturas mais amenas e mais secas (conforme já apontara AB'SABER, 1957), as formações vegetais buscaram novos espaços, visando sua adaptação. De acordo com RIBEIRO (1989) houve o avanço das matas em direção aos campos abertos; os capões foram se expandindo a partir dos setores com solos mais favoráveis (como os Latossolos provenientes dos basaltos), e foram modificando as condições ambientais, que promoveram microclimas específicos e alterações pedológicas.

Estas mudanças ambientais interferiram na oscilação freática, nas condições de drenagem e conseqüentemente nas condições de saturação do meio, que por sua vez repercutiram nas condições de oxirredução do meio.

As depressões fechadas, possivelmente formadas a partir de uma dinâmica tectoerosiva, contêm pequenos lagos intermitentes, cuja gênese provavelmente está associada aos processos de dissolução, por ação da mudança do nível freático.

Desta forma, a evolução vertical e lateral da alteração, verificada nos cortes e perfis de alteração estudados, foi determinada por condicionantes físico-químicos regionais e locais, e no que no caso da região de Palmas estabeleceu os processos de Bissialitização e de Monossialitização; para a região de Pinhão, verificou-se o processo de Alitização.

A remoção de Fe e de argila que caracteriza as coberturas fersialíticas de Palmas e de Pinhão, pode ser o fator responsável pelas formas suave onduladas dominantes no relevo destas regiões. As formas moderadamente onduladas a montanhosas, também encontradas na região de Pinhão, podem estar refletindo um basculamento tectônico subrecente, cuja atuação hidrogeoquímica ainda não pôde interferir neste modelado geomórfico.

Em se tratando do estágio da evolução pedológica atual, a presença de

solos menos desenvolvidos (Litossolo e Cambissolo) em Palmas pode estar associada a pequenas diferenças topoclimáticas existentes entre as duas regiões, provavelmente mantidas ao longo do tempo.

Se observa que entre Palmas e Pinhão há um desnível interplanáltico de cerca de 250m (sendo mais elevado em Palmas), e diferenças de temperatura (em Pinhão a temperatura média anual é 1°C maior do que a de Palmas) e pluviométricas (os totais pluviométricos anuais são menores em Pinhão). Esses fatores certamente contribuíram para a evolução pedomorfológica, de certa forma diferenciada nas regiões de Palmas e de Pinhão.

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As coberturas pedológicas encontradas na região de Palmas (cortes CPa I e CPa II) e de Pinhão (perfis PPI I, PPI II e PPI III) são fruto da atuação de eventos tectônicos regionais e das condições climáticas do Brasil subtropical, atuantes respectivamente sobre rochas vulcânicas ácidas de tipo Palmas (ATP) e de tipo Chapecó (ATC).

Mudanças envolvendo variações de temperatura e dos índices pluviométricos, principalmente verificadas a partir do Terciário, teriam propiciado a alternância de estações úmidas com outras mais secas, responsável por condições mais e menos saturadas. Estas condições nortearam o processo geoquímico responsável pela formação das diferentes coberturas pedológicas encontradas, associadas às quais se estabeleceram os seus usos e potenciais de utilização agrícola.

As características petrográficas destes dois tipos de rocha certamente exerceram influência sobre a evolução de suas respectivas coberturas pedológicas. Em ambos os casos a mineralogia primária é composta basicamente por piroxênios (do tipo aegirina-augita, Fe-augita e enstatita), plagioclásios sódicos e magnetita. A textura, no entanto, é diferenciada; vitrofírica a microporfirítica nas rochas ATP, em Palmas, e porfirítica (podendo ser macroporfirítica) nas rochas ATC, em Pinhão. Além disto verificam-se um mais baixo teor de TiO_2 , Ba, La, Ce, Sr e Zr, e mais alto teor em SiO_2 nas rochas ATP.

Outro fator em comum aos dois tipos de rochas é a presença de estruturas bandadas planares que refletem a direção de fluxo da lava ácida; nos cortes de Palmas as bandas são em geral plano-paralelas, e na região de Pinhão, as bandas são mais onduladas. Estas estruturas, assim como os planos de falha e os de fraturas observados em campo, têm atuado como vias de percolação hídrica. O fator hidrodinâmico, portanto, atuou efetivamente na evolução vertical e lateral dos cortes e perfis de alteração da área.

As características micromorfológicas, morfológicas, granulométricas e mineralógicas analisadas nas coberturas pedológicas de Palmas e de Pinhão, mostram que as transformações pedogeoquímicas foram diferenciadas nestas regiões. Através da micromorfologia, em que foi feito o reconhecimento das características físicas de cada horizonte, foi possível identificar estágios de alteração que acompanharam a evolução vertical e lateral de cada corte e perfil. Os critérios desta classificação basearam-se no tamanho, forma e arranjo das partículas do material pedológico e de alteração. Os horizontes descritos nos referidos cortes e perfis foram distribuídos em cinco classes de estágios de alteração, em que cada novo estágio guardou algum tipo de relíquia textural, estrutural e/ou mineralógica.

O estágio de alteração I, que corresponde ao da rocha alterada dura, somente foi encontrado nos cortes CPa; observou-se uma matriz alteroplásmica criptocristalina contendo pórfiros agregados, que constituem evidências da textura vitrofírica da rocha. Verifica-se neste estágio um microfissuramento nos grãos feldspáticos (plagioclásio) e já se identificam pequenas e dispersas quantidades de produtos amorfos.

No estágio de alteração II dos perfis PPI, a organização do alteroplasma é porfirosquélica, havendo microfissuramento nos macropórfiros de piroxênios e um pequeno alargamento nas microfissuras dos feldspatos, e ao longo das quais se

instalaram argilominerais do grupo da caolinita, também encontrados ao longo dos planos de clivagem. Nos cortes CPa o microfissuramento não é tão evidente, mas observam-se domínios bruno-avermelhados decorrentes de um início de mobilização Fe-argílica. Em ambos os casos, este estágio corresponde ao horizonte C5.

No estágio de alteração III a mobilização Fe-argílica verificada nos cortes CPa é mais intensa do que no estágio anterior; verifica-se caolinita e oxidróxidos de Fe amarelados como a goethita, e uma expressiva quantidade de amorfos silicoferruginosos. Estas modificações encontram-se registradas no alteroplasma dos horizontes C3 e C4, e C6 a C11. Nos perfis PPI os oxidróxidos de Fe dispersos no alteroplasma porfirosquélco são predominantemente avermelhados a alaranjados, indicativos da presença de hematita. Os poros encontram-se um pouco conectados e identificam-se pórfiros de caolinita, gibbsita e magnetita (mais e menos hematitizada). Este estágio corresponde, em Pinhão, aos horizontes C2 a C4, em PPI I, e C3 e C4, em PPI II.

O estágio de alteração IV verificado nas duas regiões corresponde a uma fase de transição entre as características alteroplásmicas e plásmicas. Em Pinhão verifica-se um domínio com alteroplasma porfirosquélco com pórfiros agregados associado a um domínio silassépico. As microfissuras intragrãos encontram-se bastante alargadas, contendo abundante material caolinizado; entre os pórfiros identificam-se quartzo com bordo ondulado (em dissolução), hematita e caolinita (e rara clorita e epidoto). Em Palmas o alteroplasma porfirosquélco divide-se com um material plásmico principalmente silassépico, mas que pode ser também vossépico. Cores bruno-avermelhadas escuras e cinza esbranquiçadas refletem a mobilização Fe-argílica intensa, na qual se identificam hematita e caolinita, sempre acompanhadas por abundantes produtos amorfos. Este estágio equivale às transformações ocorridas nos horizontes C1 e C2, tanto nos cortes CPa quanto nos perfis PPI.

O estágio de alteração V apresenta estruturação plásmica argilassépica nos cortes CPa, onde se encontra um fundo matricial bruno muito escuro, que reporta ao caráter húmico desta região; a abundante quantidade de caolinita, óxidos de Fe e de amorfos mascaram os pórfiros, que já se encontram em pseudomorfose avançada. Em Pinhão o fundo matricial é do tipo esquelsépico, sendo bruno-avermelhado a vermelho-vivo, indicativo da presença de hematita. A pseudomorfose na maioria dos macropórfiros é total e observa-se abundante quantidade de caolinita e gibbsita. O microfissuramento encontra-se mais evoluído do que em Palmas, e é normalmente associado à presença de amorfos silicoferruginosos.

Em ambos os casos, este último estágio corresponde aos horizontes A e B, que correspondem ao solo propriamente dito.

No âmbito da meso e macroescala as regiões de Palmas e de Pinhão também se diferenciaram.

Em Palmas se observam horizontes superficiais húmicos com cores bruno escuras, mas a cor geral dos cortes é bruno-amarelada. A textura é franco-argilosa e há melhor preservação das estruturas bandadas planares, assim como se verificam abundantes geodos de sílica (especialmente no corte CPa II). As vertentes são mais curtas e pouco menos inclinadas, e a drenagem varia de dendrítica a subdendrítica.

A variação colorimétrica verificada nos cortes de estrada de Palmas, corresponde às cores amareladas, ocre, esbranquiçadas, cinza-violáceas, vermelho-pálidas e rosadas. Elas traduzem a alternância das condições de redução e oxidação, onde houve oscilação do lençol freático responsável por níveis saturados, subsaturados e não saturados.

O solos de tipo Litossolo e Cambissolo encontrados respectivamente em CPa I e CPa II correspondem a coberturas pedológicas de fase subtropical de altitude.

As condições de lessivagem propícias à migração de argila e de Fe foram responsáveis pela formação de solos fersialíticos nesta região. Em cada condição diferenciada da drenagem, seja deficiente ou boa, foi possível identificar situações particulares em que prevaleceram, ora o processo de Bissialitização, ora o de Monossialitização.

No primeiro caso as condições de abundância d'água com rápida circulação teriam promovido a substituição de Mg^{+2} e Fe^{+2} para Al e Fe^{+3} , presentes na vermiculita aluminosa e na clorita (somente e pouco observada em análise micromorfológica, provavelmente por ter se concentrado em frações granulométricas maiores).

Por outro lado, certas condições texturais, topográficas e estruturais do terreno foram favoráveis à boa drenagem (em uma região característica e historicamente chuvosa), que teve papel importante na lixiviação dos íons básicos e de parte da sílica. O restante desta formou argilominerais do tipo 1/1, que têm na caolinita o seu principal representante.

Em Pinhão observa-se uma cobertura mais argilosa e avermelhada, que se situa em vertentes mais longas e ligeiramente menos inclinadas, estando elas associadas a uma região com padrão de drenagem subparalela a ortogonal. Verifica-se que as coberturas pedológicas exibem menores teores de matéria orgânica, microagregação plásmica mais desenvolvida e caolinita associada a gibbsita. Os níveis contendo plaquetas silicosas desaparecem ou aprofundam-se no perfil pelo avanço da frente de pedogenização.

Nos perfis PPI I, PPI II e PPI III foram encontrados respectivamente solos dos tipos Terra Bruna, Latossolo Bruno e Cambissolo, todos de caráter álico.

A boa drenagem na região de Pinhão favoreceu um processo mais intenso de eliminação de bases do que o verificado em Palmas, levando conseqüentemente à aluminização. O Al concentrou-se na forma de gibbsita e nas incrustações aluminoferruginosas presentes nos nódulos e pedotúbulos do Perfil PPI III. Estas transformações químico-mineralógicas seriam atribuídas ao processo de Alitização, estudado por MELFI & PEDRO (1977 e 1978).

Os processos geoquímicos identificados teriam sido responsáveis pelo modulado suave ondulado com vertentes convexizadas do relevo planáltico das regiões de Palmas e de Pinhão e pela evolução das depressões fechadas. Além dos eventos tectônicos, responsáveis pelos basculamentos e conseqüentemente pelos desníveis topográficos regionais (sendo o bloco palmense cerca de 250m mais elevado do que o de Pinhão), as condições hidrogeoquímicas foram favoráveis à dissolução dos materiais e sua exportação sob forma solúvel.

Os produtos pedológicos e morfológicos regionais resultam da concorrência entre processo geoquímico e erosivo, sendo o balanço geral favorável ao primeiro.

CAPÍTULO VII

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A. A. 1957. Conhecimentos sobre as Flutuações Climáticas do Quaternário. **Bol. Soc. Bras. Geol.**, (6):1. São Paulo, SP, p. 41-48.
- AB'SÁBER, A. A. 1970. Províncias Geológicas e Domínios Morfoclimáticos no Brasil. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, **Geomorfologia** (20), São Paulo, SP, 29p.
- AMARAL, G. & CRÓSTA, A. P. 1983. Comportamento Estrutural e Estratigráfico dos Diferenciados Ácidos da Formação Serra Geral na Porção Sul da Bacia do Paraná. In: IV Simp. Reg. Geol., **Atas**, São Paulo, SP, p. 197-210.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L. S.; MELFI, A.J.; PICCIRILLO, A.J.R. ROISEMBERG, A. 1984a. High-and-Low-TiO₂ Flood Basalts from the Paraná Plateau (Brazil): Petrology and Geochemical Aspects Bearing on their Mantle Origin. **Neues Jahr. Min. Abh.**, 150, 3, p.273-306.
- BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILLO, E.M. 1984b. Flood Basalts to Rhyolite Suites on the Southern Paraná Plateau (Brazil): Paleomagnetism, Petrogenesis and Geodynamic Implications. **Jour. of Petrol.**, 25, 3:579-618.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MARTINEZ, L.A.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. 1986a. Continental Flood Basalts from Central-Western Regions of the Paraná Plateau

(Paraguay and Argentina): Petrology and Petrogenetic Aspects. **Neues Jahr. Miner. Abh.**, 154, 2:11-139.

BELLIENI, G; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PAPATRECHAS, C.; PICCIRILO, E.M.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. 1986b. Petrogenetic Aspects of Acid and Basaltic Lavas from the Parana Plateau (Brazil): Geological, Mineralogical and Petrochemical Relationships. **Journal of Petrology** 27(4): 915-944.

BISDOM, E.B.A.; STOOPS, G.; DELVIGNE, J.; CURMI, P.; ALTEMULLER, H.J. 1982. Micromorphology of weathering Biotite and its Secondary Products. **Pedologie**, 32(2), Gent, Belgique, p. 225-252.

BOULET, R. 1988. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e Cartografia. In: **A responsabilidade social da ciência do solo**, Moniz et al., eds., Soc. Bras. Ci. Solo, 79-98.

BOULET, R; HUMBEL, F.X.; LUCAS, Y. 1982. Analyse Structurale et Cartographie en Pédologie. II - Une Méthode d'Analyse Prennant en Compte l'Organisation Tridimensionnelle des Covertures Pédologique. **Cah. ORSTROM, Sér. Pedol.**, XIX, 4:323-339.

BOULET, R. CHAUVEL, A.; LUCAS, Y. 1984. Les Systèmes de Transformation en Pédologie. In: **"Livre Jubilaire du Cinquantenaire"**, A.F.E.S., Paris, France, 167-179.

BOULET, R.; FAGNANI, P.; CURMI, P.; PELLERIN, O.; QUEIROZ-NETO, J.P. 1989. A Contribution to Understanding Landscape Development through Three-Dimensional Morphological Analysis of the Pedological Cover (Paulinia, State of São Paulo, Brasil). **Comm. 2º Int. Conf. Geomorph.**, Frankfurt, Germany, sept. 3-9.

- BOULET, R., GODON, Ph.; LUCAS, Y.; WOROW, S. 1985. Analyse Structurale de la Couverture Pédologique et Expérimentation Agronomique en Guyane Française. **Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.**, 21(1):21-31.
- BREWER, R. 1976. **Fabric and Mineral Analysis of Soils**. Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, New York, USA, 428p.
- BULLOCK, P.; JONGERUS, A.; FEDOROFF, N.; STOOPS, G.; TURSINA, T. 1985. **Handbook for Soil - thin section description**. Waine Research publications, USA, 152pp.
- CHATELIN, Y. 1974. Les sols ferralitiques, tome III, L'alteration. Cahiers ORSTOM, Initiations-Documentations Techniques, Paris, France, 24, 144p.
- CLEMENTE, C.A. 1988. Alteração e Solos Desenvolvidos sobre Rochas Vulcânicas Ácidas da Formação Serra Geral nos Planaltos de Guarapuava e Palmas, Região Centro-Sul do Estado do Paraná (**Tese de Doutorado**), ESALQ, Piracicaba, SP, 194p.
- COSTA, A.C.S. 1996. Iron Oxide Mineralogy of Soils Derived from Volcanic Rocks in the Paraná River Basin, Brazil, Ohio State University, (**Pos High Doctor**), Columbus, Ohio, USA, p.
- COSTA, J.B. da. 1991. **Caracterização e Constituição do Solo**. 4ed. Fund. Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 527p.
- CURI, N.; KAMPF, N. & RESENDE, M. 1984. Mineralogia, Química, Morfologia e Geomorfologia de Solos de Rochas Efusivas das Encostas Superior e Inferior no Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, SP, 8(3): 269-276.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. 1966. **Minerais Constituintes das Rochas - Uma Introdução**. Fund. Calouste-Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 558p.

- DELVIGNE, J. 1965. La Formation des Mineraux Secondaires en Milleuu Ferralitique. **Mém. Office Rech. Sci. Tech. Outre-Mer (ORSTOM)**, Paris, France, **13**, 177p.
- DELVIGNE, J. 1986. **Micromorfologia de Alteração de Rochas**. IG/USP. (Apostila de disciplina homônima ministrada em curso de pós-graduação). 202p.
- EMBRAPA/IAPAR. 1984. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Centro-Sul do Paraná (Área 9). **Boletim Técnico nº 56**. Curitiba, PR.
- GASPARETTO, N.V.L. 1990. Alteração Intempérica de Rochas Vulcânicas Ácidas na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. IG/UFRGS. (**Dissertação de Mestrado**), 119p.
- GIACOMINI RIBEIRO, A. 1989. Paisagem e Organização Espacial na Região de Palmas e Guarapuava. FFLCH/Depto. Geog./USP, São Paulo, SP, (**Tese de Doutorado**), 353p.
- KAMPF, N. & DICK, D.P. 1984. Óxidos de Ferro em Cambissolos Brunos no Rio Grande do Sul e Sul de Minas Gerais. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, SP, **(8)**:183-188
- KULLER, M.L. 1984. Caracterização Litoestrutural e Aspectos Ambientais da Área de Influência da Usina Hidrelétrica Segredo (Rio Iguaçu), PR. (**Dissertação de Mestrado**), UNESP, Rio Claro, SP. 107p. (inédito).
- LEMOES, R.C. & SANTOS, R.D. 1984. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. SNLCS/Soc. Bras. Ci. Solo. 2a. ed., Campinas, SP, 46p.

- MELFI, A.J. & PEDRO, G. 1977. Estudo Geoquímico dos Solos e Formações Superficiais do Brasil - Parte 1: Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. **Rev. Bras. Geol.**, (7):4, São Paulo, SP.
- MELFI, A.J. & PEDRO, G. 1978. Estudo Geoquímico dos Solos e Formações Superficiais do Brasil - Parte 2: Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil, **Rev. Bras. Geol.**, (8):1, São Paulo, SP.
- MELFI, J.A.; PEDRO, G., & VOLKOFF, B. 1979. Natureza e Distribuição dos Compostos Ferríferos nos Solos do Brasil. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, SP, 3:47-54.
- MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; & NARDY, A.J.R. 1988. Geological and Magmatic Aspects of the Paraná Basin: An Introduction. In: **The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and geophysical Aspects**, E.M. Piccirillo, & A.J. Melfi Ed., cap. I:1-13, IAG/USP, São Paulo, SP, Brazil.
- MENEGOTTO, E. & GASPARETTO, N.V.L. 1987. Intemperização de Rochas Vulcânicas Básicas e Ácidas na região de Santa Maria-RS. In: I Cong. Bras. Geoq, **Anais**, 2, p.69-83.
- MOLLER, M.R.F. & KLAMT, E. 1983. Intemperismo de Argilo-Minerais em Latossolo Roxo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, SBCiS, 7:33-38.
- NARDY, A.J.R. 1988. Petrologia e Paleomagnetismo das Rochas Vulcânicas da Região Centro-Sul do Estado do Paraná: Formação Serra Geral. IAG-USP, São Paulo-SP (**Dissertação de Mestrado**).
- NARDY, A.J.R. 1995. Geologia e Petrologia do Vulcanismo Mesozóico da Região Central da Bacia do Paraná. IGCE/UNESP, Rio Claro, SP. (**Tese de Doutorado**), 316p.

- NARDY, A.J.R.; MARQUES, L.S.; RAPOSO, M.J.B. 1986/87. Aspectos Petrológicos das Rochas Efusivas Ácidas da Região Centro-Sul do Estado do Paraná. **Geociências**, 5/6: 1-30.
- NARDY, A.J.R.; PICCIRILLO, E.M.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.J.; BELLINI, G.; OLIVEIRA, M.A.F. 1993. Caracterização litoquímica e aspectos petrológicos de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral: região centro-sul do Estado do Paraná. **Rev. Geoc., UNESP**, 12(2):275-313.
- NAHON, D.B. & COLIN, F. 1982. Chemical Weathering of Orthopyroxenes under Lateritic Conditions. In: **Amer. Journ. Sci.**, Vol. 282, p. 1232-1243.
- PAIVA FILHO, A.; CRÓSTA, A.P. ; AMARAL, G. 1982. Utilização de Dados de Sensoriamento Remoto no Estudo Estratigráfico e Estrutural da Formação Serra Geral (Sul do Brasil). In: II Simp. Bras. Sens. Remoto, **Atas**, 1, p. 135-142.
- PENTEADO, M.M. 1983. **Fundamentos de Geomorfologia**. Fund. Inst. Bras. Geog. e Estat. (IBGE), 3a. ed. Rio de Janeiro, RJ, 185p.
- ROSOLEN, V.S. 1996. Cartas Pedogeoquímicas dos Solos Desenvolvidos sobre as Rochas Vulcânicas da Formação Serra Geral: Utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). IG/USP, São Paulo, SP. (**Dissertação de Mestrado**), 84p.
- RUELLAN, A. & DOSSO, M. 1993. **Regards sur le Sol**. Université Francophones/UREF. Édit. Foucher, Paris, France, 192 p.
- SALET, R.L. & ANGHINONI, I. 1998. Toxidez de Alumínio no Sistema de Plantio Direto, Fac. Agronomia/UFRGS (**Tese de Doutorado**), Porto Alegre, RS, 110p.
- SOUZA, E.C. & ESWARAN, A. 1975. Alteration of Micas in the Saprolite of a profile from Angola - a morphological study. **Pedologie**, Ghent, Belgium, 25(2):71-79.

STOOPS, G.; ALTEMÜLLER, H.J.; BISDOM, E.B.A., DELVIGNE, J. DOBROVOLSKY, V.V.; FITZPATRICK, E.A.; PANEQUE, P. & SLEMAN, J. 1979. Guidelines for the Description of Mineral Alterations in soil Micromorphology. **Pedologie**, XXIX, Ghent, p.121-135.

SUGUIO, K. 1980. **Rochas Sedimentares**: propriedades, gênese e importância econômica. Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, SP, 500pp.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHMENN, H; VOLKWEISS, S.J. 1995. Análise de Solo, Planta e Outros Materiais. ed. **Bol. Técn. N° 5**, 2a ed.ampl. e Rev., Dept. Solos, Fac. Agron./UFRGS, 174p.

TOLEDO-GROKE, M. C. 1986. Intemperismo das Rochas Mineralizadas em Cobre do Salobo 3A, Serra dos Carajás - Mecanismos de alteração dos minerais primários e localização do cobre nos produtos secundários. IG/USP, (**Tese de Doutorado**), São Paulo, SP, 173p.

VERGER, F. 1976. **Les Techniques d'Analyse Granulométrique**. CNRS. Paris, France.

VOLKOFF, B.; MELFI, A.J. & CERRI, C.C. 1979. Les Sols sur Roches Cristallines formés sous Climat Sub-Tropical humide au Brésil. In: Cah. ORSTOM, **Sér. Pédol**, vol. XVII, (3): 163-183.