**CARACTERÍSTICAS E DINÂMICA DE COBERTURAS PEDOLÓGICAS
SÔBRE ROCHAS BÁSICAS NAS REGIÕES NORTE E SUL DO BRASIL**

GERALDO CÉSAR ROCHA

Geólogo

Orientador: Prof. Dr. CARLOS CLEMENTE CERRI

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

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Janeiro - 1990

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Rocha, Geraldo César

R672c Características e dinâmica de coberturas pedológicas sobre rochas básicas nas Regiões Norte e Sul do Brasil. Piracicaba, 1990.

246p. ilustr.

Tese - ESALQ

Bibliografia.

1. Rocha ígnea - Brasil(norte-sul) 2. Solo - Caracterização físico-química - Brasil(norte-sul) 3. Solo em rocha ígnea - Brasil(norte-sul) 4. Solo - Mineralogia - Brasil(norte-sul) I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.4

CARACTERÍSTICAS E DINÂMICA DE COBERTURAS PEDOLÓGICAS
SÔBRE ROCHAS BÁSICAS NAS REGIÕES NORTE E SUL DO BRASIL

GERALDO CÉSAR ROCHA

Aprovada em 02.04.1990

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Carlos Clemente Cerri	CENA/USP
Prof. Dr. Klaus Reichardt	ESALQ/USP
Prof. Dr. Arary Marconi	ESALQ/USP
Prof. Dr. Toshiaki Kinjo	ESALQ/USP
Prof. Dr. Celso Augusto Clemente	ESALQ/USP

Prof. Dr. Carlos Clemente Cerri
Orientador

Para Ana Maria e Jean Michel,
dedico

AGRADECIMENTOS

As seguintes pessoas e instituições colaboraram na realização desta pesquisa, para as quais o autor registra seus sinceros agradecimentos:

Prof. Dr. Carlos Clemente Cerri, na orientação acadêmica;

Os pesquisadores franceses Michel Robert, Jacques Ranger, Boris Volkoff e Francis Andreux, os dois primeiros como orientadores do estágio na França, e os dois últimos no acompanhamento dos trabalhos de campo e laboratório no Brasil;

Os funcionários Maria Elisabeth Guimarães, Sandra Nicoletti, José Roberto Martins, Mara Piacentini, Dacir Bortoleto e Roberto Forti, das Seções de Pedologia (ESALQ/USP) e Química do Solo (CENA/USP);

Departamento de Geociências da Universidade de Londrina, na liberação para o curso e apoio logístico nos trabalhos de campo;

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), na concessão da bolsa de estudos;

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), na bolsa de auxílio à pesquisa;

Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), pelas facilidades oferecidas;

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), no oferecimento do curso, no apoio dado por seus professores e pelo belo parque, onde horas agradáveis foram passadas;

Estação Experimental de Altamira, Pará (CEPLAC), no alojamento para os trabalhos de campo na Amazônia e na possibilidade concedida de conhecer aquele fantástico ecossistema;

Institut National de Recherche Agronomique, França, Laboratórios de Ciência do Solo (Versailles) e Solos Florestais (Nancy), pelo aceite como estagiário e pela intensa vivência científica e cultural;

Colegas de curso, pelas discussões técnicas e alegre convívio;

E todos aqueles que, de uma forma ou de outra colaboraram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE FOTOGRAFIAS	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO.....	xvi
SUMMARY.....	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. As rochas básicas e seus processos de alteração	4
2.2. Características e organização de solos em áreas de rochas básicas	8
2.3. Abordagem experimental da dinâmica atual de solos	15
3. DESCRIÇÃO DO MEIO FÍSICO	19
3.1. Localização das áreas de estudo.....	19
3.2. Geologia.....	22
3.3. Clima.....	26
3.4. Relevo.....	28
3.5. Vegetação.....	29
3.6. Solos.....	30
3.7. Síntese comparativa do meio físico das duas áreas.....	31

4. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1. Material.....	34
4.2. Métodos.....	34
Caracterização da fase sólida dos materiais das topossequências	
4.2.1. Escolha e amostragem das topossequências de solos.....	35
4.2.2. Análises físicas.....	37
Granulometria.....	38
Densidade do solo.....	38
Gradiente textural.....	38
Separação física das liteiras....	38
4.2.3. Análises químicas.....	39
pH.....	39
C e N totais.....	39
Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ e K ⁺	39
Valor S.....	39
H ⁺ e Al ⁺⁺⁺	40
Capacidade de Troca de Cátions (CTC).....	40
Valor V.....	40
4.2.4. Análises mineralógicas.....	40
4.2.4.1. Difratometria de raios X.....	40
4.2.4.2. Microscopia ótica.....	42
4.2.4.3. Microscopia eletrônica..	42

Estudo experimental da dinâmica atual dos solos	
4.2.5. Método dos minerais teste.....	44
4.2.6. Método da resina trocadora	
de ions.....	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1. Região Norte: apresentação	
dos resultados	49
5.1.1. Os solos da topossequência	50
5.1.2. Características físicas	
dos solos.....	54
5.1.3. Características químicas	
dos solos.....	60
5.1.4. Mineralogia.....	71
5.1.4.1. Difratometria	
de raios X	71
5.1.4.2. Microscopia ótica....	78
5.1.4.3. Microscopia	
eletrônica.....	86
5.1.5. Dinâmica atual dos solos: resultados	
experimentais.....	90
5.1.5.1. Minerais teste.....	91
Caracterização química	91
Caracterização	
mineralógica	95
5.1.5.2. Resina trocadora	
de ions.....	96

5.2. Região Norte: discussão.....	102
5.2.1. O Sistema pedológico da Região Norte.....	103
5.2.1.1. Macro e micro-organização mor- fológica dos volumes pedológicos.....	103
5.2.1.2. Relações entre os volumes pe- dológicos e a evolução geomorfo- lógica	111
5.2.1.3. Variação das características físicas e químicas no sistema pedológico	113
5.2.1.4. Mineralogia da cobertura pedológica	116
5.2.1.5. Dinâmica atual do sistema.....	122
5.3. Região Sul: apresentação dos resultados.	125
5.3.1. Os solos da topossequência	125
5.3.2. Características físicas dos solos.....	130
5.3.3. Características químicas dos solos.....	135

5.3.4. Mineralogia.....	146
5.3.4.1. Difractometria	
de raios X	146
5.3.4.2. Microscopia ótica....	151
5.3.4.3. Microscopia	
eletrônica.....	157
5.3.5. Dinâmica atual dos solos: resultados	
experimentais	162
5.3.5.1. Minerais teste	162
Caracterização química..	162
Caracterização	
mineralógica	166
5.3.5.2. Resina trocadora	
de ions.....	171
5.4. Região Sul: discussão	172
5.4.1. O Sistema pedológico	
da Região Sul	172
5.4.1.1. Macro e micro-organização	
morfológica dos volumes	
pedológicos	172
5.4.1.2. Relações entre os volumes pe-	
dológicos e a evolução geomor -	
fológica	177

5.4.1.3. Variação das características físicas e químicas no sistema pedológico	179
5.4.1.4. Mineralogia da cobertura pedológica	183
5.4.1.5. Dinâmica atual do sistema	189
5.5. Análise comparativa das áreas estudadas.	192
6. CONCLUSÕES.....	200
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	205
APÊNDICE 1. Descrição morfológica dos solos estudados	225
APÊNDICE 2. Fotomicrografias	242

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localização das áreas de estudo em relação às regiões do Brasil.....	20
Figura 2. Localização detalhada da área de estudo na Região Norte.....	21
Figura 3. Localização detalhada da área de estudo na Região Sul.....	21
Figura 4. Perfil geológico esquemático da área de estudo na Região Norte	22
Figura 5. Perfil geológico esquemático da área de estudo na Região Sul	25
Figura 6. Balanços hídricos para as áreas de estudo	27
Figura 7. Perfil esquemático das vertentes estudadas	35
Figura 8. Esquema de colocação e funcionamento das "armadilhas" de vermiculita e resina nos solos	45
Figura 9. Cortes esquemáticos dos perfis AN, BN e CN	50

Figura 10. Curvas de isoteores de areia, silte e argila para a vertente da Região Norte	57
Figura 11. Distribuição dos componentes da liteira da Região Norte	59
Figura 12. Curvas de isovalores para a soma de bases (S), CTC a pH 7 (CTC7), pH em água e pH em KCl para a vertente da Região Norte	68
Figura 13. Distribuição em profundidade e estoque acumulado de carbono para os solos da Região Norte	70
Figura 14. Difrátogramas de raios X do córtex de alteração de um bloco de rocha básica do horizonte B textural da Terra Roxa Estruturada de sopé de encosta da Amazônia	72
Figura 15. Difrátogramas de raios X da fração silte natural do horizonte Bw da Região Norte	74
Figura 16. Difrátogramas de raios X da fração argila desferrificada do horizonte B textural da Terra Roxa Estruturada da encosta da Amazonia	75
Figura 17. Difrátogramas de raios X da fração argila desferrificada do horizonte B latossólico da Amazônia	76

- Figura 18. Difrátogramas de raios X da fração argila após concentração de óxidos de ferro para os horizontes Bt e Bw da Região Norte. 77
- Figura 19. Esquema de um fragmento de rocha básica da Amazônia, mostrando a camada intemperizada (córtex de alteração) em contato com a rocha intacta 80
- Figura 20. Microanálise do horizonte B latossólico da Região Norte 88
- Figura 21. Microanálise de uma vermiculita do horizonte B latossólico da R. Norte.. 90
- Figura 22. Variação da CTC e dos principais cátions adsorvidos nos minerais teste instalados na Região Norte, em relação ao testemunho 93
- Figura 23. Difrátogramas de raios X das vermiculitas instaladas na Amazônia, em comparação ao mineral inicial (testemunho) 96
- Figura 24. Comportamento do mineral testemunho face aos tratamentos empregados 97
- Figura 25. Comportamento dos picos principais dos minerais teste instalados nos diversos horizontes dos solos da Região Norte. 100
- Figura 26. Organização pedológica ao longo da vertente da Região Norte 104

Figura 27. Cortes esquemáticos dos perfis AS, BS e CS	126
Figura 28. Curvas de isoteores de areia, silte e argila para a vertente da Região Sul.	133
Figura 29. Distribuição dos componentes da liteira da Região Sul	134
Figura 30. Curvas de isovalores para a soma de bases (S), CTC a pH 7, pH em água e pH em KCl para a vertente da Região Sul	143
Figura 31. Distribuição em profundidade e estoque acumulado de carbono para os solos da Região Sul	145
Figura 32. Difrátogramas de raios X da fração argila da alterita (horizonte C1) do Solo Litólico da Região Sul.....	147
Figura 33. Difrátograma de raios X para a fração silte natural do horizonte Bt da Região Sul.	148
Figura 34. Difrátogramas de raios X da fração argila desferrificada do horizonte B textural da Região Sul	149
Figura 35. Difrátogramas de raios X da fração argila desferrificada do horizonte B latossólico da Região Sul	150

- Figura 36. Difratogramas de raios X da fração argila após concentração de óxidos de ferro para os horizontes Bt e Bw da Região Sul. 151
- Figura 37. Esquema de um fragmento de rocha básica da Região Sul mostrando a camada intemperizada (córtex de alteração) em contato com a rocha intacta158
- Figura 38. Microanálise do horizonte B textural da Região Sul 161
- Figura 39. Variação da CTC e dos principais cátions adsorvidos nos minerais teste instalados na Região Sul, em relação ao testemunho.165
- Figura 40. Difratogramas de raios X das vermiculitas instaladas na Região Sul, em comparação ao mineral inicial (testemunho) 167
- Figura 41. Comportamento dos picos principais dos minerais teste instalados nos diversos horizontes dos solos da Região Sul . 170
- Figura 42. Organização pedológica ao longo da vertente da Região Sul 173
- Figura 43. Síntese de funcionamento dos sistemas pedológicos nas duas áreas estudadas193

LISTA DE FOTOGRAFIAS

- Fotomicrografia n. 1. Córtex de alteração da Região Norte, mostrando litorelíquias de feldspato pseudomorfisado em gibbsita.....244
- Fotomicrografia n. 2. Cristais de quartzo no horizonte A1 da Terra Roxa Estruturada de sopé de encosta da Região Norte..... 244
- Fotomicrografia n. 3. Micro-agregados coalescentes do horizonte B latossólico da Região Norte244
- Fotomicrografia n. 4. Cristais de feldspato pseudomorfisados em caulinita na alterita (horizonte C) da Região Sul244
- Fotomicrografia n. 5. Cutãs iluviais organizados em microlitos no horizonte B textural da Região Sul244
- Fotomicrografia n. 6. Estrutura grumosa do horizonte A1 da Terra Roxa Estruturada da Região Sul244

Fotomicrografia n. 7. Cristal de quartzo envolto por massa caulinítica no horizonte B textural da Terra Roxa Estruturada de encosta da Região Norte	246
Fotomicrografia n. 8. Paragênese mineralógica (ver texto) / do horizonte B latossólico da Região Norte	246
Fotomicrografia n. 9. Agregados goethíticos de diferentes granulometrias no horizonte B latossólico da Região Norte	246
Fotomicrografia n. 10. Cristal de gibbsita em desagregação física no córtex de alteração da Região Sul	246
Fotomicrografia n. 11. Paragênese mineralógica de caulinita e agregados de ferro (goethita e hematita ?) do horizonte B latossólico da Região Sul	246
Fotomicrografia n. 12. Haloisita no horizonte superficial do solo litólico da Região Sul.	246

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Síntese comparativa das características ambientais das áreas estudadas	32
Tabela 2. Resultados para as análises físicas dos solos da Região Norte	55
Tabela 3. Resultados para as análises químicas do complexo sortivo dos solos da Região Norte	61
Tabela 4. Resultados do pH e análises químicas totais para os solos da Região Norte	66
Tabela 5. Resultados das análises químicas dos minerais teste instalados na Região Norte, após um ano no solo	92
Tabela 6. Resultados das dosagens químicas para as resinas catiônicas instaladas na Região Norte, após um ano no solo	101
Tabela 7. Resultados para as análises físicas dos solos da Região Sul	131
Tabela 8. Resultados para as análises químicas do complexo sortivo dos solos da Região Sul	136

Tabela 9. Resultados do pH e análises químicas totais para os solos da Região Sul	141
Tabela 10. Resultados das análises químicas dos minerais teste instalados na Região Sul, após um ano no solo	143
Tabela 11. Resultados das dosagens complementares de ferro, alumínio e silício para as vermiculitas testemunho (minerais teste) instaladas em alguns solos da Região Sul	166
Tabela 12. Resultados das dosagens químicas para as resinas catiônicas instaladas na Região Sul, após um ano no solo	171

CARACTERÍSTICAS E DINÂMICA DE COBERTURAS PEDOLÓGICAS
SOBRE ROCHAS BÁSICAS NAS REGIÕES NORTE E SUL DO BRASIL

Autor: GERALDO CÉSAR ROCHA

Orientador: PROF. DR. CARLOS CLEMENTE CERRI

RESUMO

Estudaram-se as coberturas pedológicas desenvolvidas sobre rochas básicas de idade mesozóica, situadas em diferentes condições de clima e vegetação no Brasil; uma das áreas localiza-se na Amazônia (região de Altamira, Pará) e a outra ao sul do país (região de Londrina, Paraná).

Os objetivos foram a caracterização física, química e mineralógica dessas coberturas, além do monitoramento experimental de sua dinâmica ao longo do ano.

As características físicas e químicas como a granulometria, CTC a pH 7, valor S e pH foram determinadas por análises de rotina; a caracterização morfológica foi feita no campo e através da micromorfologia; a mineralogia foi estudada em várias escalas de observação, com a utilização da difratometria de raios X, microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura e transmissão. A dinâmica sazonal das coberturas pedológicas foi monitorada utilizando-se dos métodos do mineral teste (vermiculitas) e

da resina sintética trocadora de íons: o procedimento experimental consiste na introdução desses materiais nos solos, com amostragem e análises químicas e mineralógicas após períodos pré-determinados.

Os resultados obtidos permitem concluir que para as duas áreas os sistemas pedológicos estão em transformação. A análise comparativa entre os sistemas mostrou que eles são semelhantes em termos de composição e organização espacial. As características macro e micromorfológicas, a geomorfologia e os parâmetros físicos e químicos sugerem que o sistema pedológico da Amazônia tem uma dinâmica de transformação mais avançada que o sistema do sul do país. Para cada sistema, a existência de diferentes volumes pedológicos não condicionou uma diferenciação mineralógica entre esses volumes, sendo que as diferenças mineralógicas entre os sistemas estão provavelmente relacionadas ao teor de sílica em solução e às diferenças climáticas entre as regiões. Os procedimentos experimentais mostraram que a dinâmica atual do sistema pedológico da Região Norte favorece a complexação dos elementos químicos, o que deve estar ligado ao papel da matéria orgânica naquela área. O sistema da Região Sul encontra-se em processo de acidificação, provavelmente devido ao desequilíbrio ecológico causado pelo desmatamento e agricultura intensiva daquela área.

CHARACTERISTICS AND DYNAMICS OF SOIL MANTLES OVER
BASIC ROCKS IN THE NORTH AND SOUTH REGIONS OF BRAZIL

Author: GERALDO CÉSAR ROCHA

Adviser: PROF. DR. CARLOS CLEMENTE CERRI

SUMMARY

Soil mantles developed over mesozoic basic rocks in Brazil were studied ; they are situated in different conditions of climate and natural vegetation. One of the areas is located in Amazonia (Pará state) and the other is in the south of the country (Paraná state).

The objectives of this research were the physical, chemical and mineralogical characterization of these mantles, as well as an experimental approach for soil dynamics throughout seasons.

The physical and chemical characteristics like texture, CEC at pH 7, base saturation and pH were determined through routine analysis; the morphology was studied directly in the field and with an optical microscope (micromorphology). The mineralogy was approached by several scales of observation, including the X-ray

diffractometry and the scanning and transmission electronic microscopy. The seasonal dynamics of the soil mantle was monitored using the methods of test-mineral and exchange resins; the experimental procedure consists of an insertion of these materials into the soil, in which they stay for one or two seasons. Afterwards they are extracted and analysed chemically and mineralogically, giving an idea of the geochemical dynamics of the soil.

The results obtained show that, for the two areas, the pedological systems are in transformation. The comparative analysis between the systems showed that they are comparable in terms of composition and spatial organization. The macro and micromorphological characteristics, the geomorphology and the physical and chemical parameters suggest that the Amazonica pedological system has a more advanced transformation dynamic than the system of the south of Brazil. For each system the existence of different pedological volumes did not cause mineralogical differentiations between these volumes; on the other hand the mineralogical differences between the systems are probably correlated with the silica content in soil solution, and with the climatic differences between the regions. The experimental approach showed that the current dynamics of the Amazon pedological system favor the complexation of the chemical elements; this is probably correlated with the role of the organic matter in that

area. The pedological system of the south of Brazil is suffering acidification, due probably to the ecological disturbance caused by the deforestation and intensive agriculture of that area.

1. INTRODUÇÃO

A **cobertura pedológica**, definida como um corpo natural e distinto, evolui segundo mecanismos intrínsecos condicionados por fatores ambientais.

Historicamente, a **organização** dessa cobertura foi inicialmente estudada enfocando-se cada solo através de seu perfil, o qual fornece parâmetros para sua classificação e agrupamento com outros solos semelhantes de uma mesma população.

Verificou-se entretanto que fatores ambientais como o clima, relevo, material de origem, organismos e tempo podem diferenciar solos, colocando lado a lado indivíduos com características totalmente distintas.

Teve início então o estudo das **seqüências** de solos segundo esses fatores, surgindo as **climosseqüências**, **toposseqüências**, **litosseqüências**, etc, para tentar explicar a organização pedológica como resultante da influência desses fatores de formação de solos. Dentre essas, as

topossequências tem se mostrado como modelos bastante úteis para se estudar a **organização e evolução** dos solos ao longo das vertentes.

Com relação aos **solos de rochas básicas**, por exemplo, já se conhecem modelos que relacionam determinado tipo de solo com sua posição na paisagem; entretanto, nos estudos de topossequências ainda permanece a noção de solo como um indivíduo isolado, o qual, ao longo da vertente está em contato com um outro solo taxonomicamente distinto, não existindo uma interpretação de **funcionamento integrado** desses indivíduos na cobertura pedológica como um todo.

Essa integração dos vários componentes de uma topossequência está surgindo através da abordagem das coberturas em termos de **sistemas pedológicos**, os quais procuram estudar a dinâmica das organizações pedológicas de uma maneira integrada.

Para entender essa **dinâmica**, deve-se inicialmente caracterizar os solos que compõem essa cobertura, o que é possível fazer estudando-a em todas as escalas de observação, desde a macromorfológica vista no campo até as menores partículas observáveis pela microscopia eletrônica.

Após saber **como é** esse sistema, é preciso aquilatar **como ele funciona**, inferindo quando possível os mecanismos de sua gênese, mas também monitorando os

processos atuais de sua dinâmica.

Esse entendimento global da **organização pedológica** precisa ser checado em várias áreas e sob diferentes condições ambientais de clima, vegetação, topografia, material de origem e tempo, para que se torne possível o desenvolvimento de modelos que possam ser empregados para o uso e aproveitamento racionais desse recurso natural não-renovável na escala humana de observação.

A possibilidade de se trabalhar com essa abordagem em duas áreas distintas do Brasil, uma na Amazônia e outra no sul do país (Paraná), originou a presente pesquisa, a qual se propôs a atingir os seguintes objetivos:

- caracterização macro e micromorfológica, física e química das coberturas pedológicas das duas áreas;
- estudo da organização mineralógica em várias escalas de observação, da microscopia à difratometria de raios X;
- monitoramento experimental da dinâmica atual das coberturas pedológicas, e
- abordagem comparativa entre as duas áreas.

Para atingir esses objetivos, estudaram-se duas topossequências de solos desenvolvidas sobre rochas básicas e em diferentes condições ambientais atuais de clima e vegetação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Essa revisão será dividida em tres itens; no primeiro deles serão vistas as características das rochas básicas e seus principais processos de alteração, tanto hidrotermal como intempérica. No segundo item serão enfocados os tipos de solos que se formam pelo intemperismo dessas rochas e como esses solos se organizam, tanto internamente como na paisagem. E finalmente serão apresentados os novos métodos que estão sendo atualmente empregados para se monitorar a dinâmica evolutiva de solos.

2.1. As rochas básicas e seus processos de alteração

Uma abordagem sobre os solos desenvolvidos de rochas básicas deve se iniciar com a caracterização da rocha de origem desses solos e de seus processos de alteração intempérica.

Para o presente trabalho as rochas básicas estão restritas a basaltos e diabásios, que são os tipos litológicos que ocorrem nas áreas de estudo e que deram origem às coberturas pedológicas estudadas, DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1977), PAULIPETRO/CESP/IPT (1981).

Uma importante feição mineralógica e química dessas rochas está relacionada aos processos de alteração hidrotermal, os quais são anteriores à atuação intempérica e acontecem devido às reações entre os resíduos finais de cristalização da rocha e as fases cristalinas previamente formadas, ROISENBERG et alii (1984), LEMOS & VILLAS (1983).

A alteração hidrotermal, segundo GONÇALVES (1987), gera paragêneses mineralógicas secundárias, formadas por assembléias complexas de argilo-minerais como montmorilonita, clorita, caulinita e intergrades. Esses processos hidrotermais também podem originar intercrescimentos mineralógicos entre quartzo e feldspato, o que vai acrescentar o quartzo à paragênese mineralógica das rochas básicas, em um processo genético anterior à alteração intempérica.

É importante enfatizar a natureza hidrotermal, e não intempérica, da gênese desses minerais, os quais muitas vezes tem sido erroneamente interpretados como oriundos de processos intempéricos, mesmo em rochas tidas como inalteradas, ROISENBERG et alii (1984).

Entretanto, não é objetivo dessa revisão

detalhar características genéticas, petrográficas ou estruturais dessas litologias, o que pode ser encontrado em outros trabalhos da literatura, MOHR (1983), RUEGG (1972), GLASMAN & SIMONSON (1985), BITTENCOURT (1980), LEVI & MELFI (1971, 1972), MONIZ et alii (1973), VARGAS & OLIVEIRA (1984).

BITTENCOURT (1980), classificou o processo de alteração atuante em basaltos como monossilicização, com estabilidade para a caulinita.

VARGAS & OLIVEIRA (1984) concluíram que é a magnetita o primeiro mineral a se decompor, seguida pela labradorita e depois pela série augita-pigeonita. Nos últimos estágios de alteração, caulinita, goethita e/ou hematita dominariam, sendo que as mudanças mineralógicas seriam graduais.

A influência do ambiente na alteração intempérica dos basaltos também foi enfatizada por GLASMAN e SIMONSON (1985), principalmente com relação à formação dos minerais secundários, os quais se formam pseudomorfisando os minerais originais da rocha ; em um ambiente lixiviante e ácido, a alteração se dá preferencialmente para gibbsita, sendo que a goethita pode se formar pela alteração de um produto ferroso inicialmente não cristalino.

Resultados semelhantes foram verificados por LEMOS & VILLAS (1983), que verificaram ser o quartzo o último mineral a se cristalizar devido à sílica

remanescente. Com a evolução do processo de intemperismo ocorreram perdas maiores de sílica, remoção brutal de álcalis, Ca e Mg, e oxidação total do Fe ferroso; isso favoreceu a formação de caulinita e goethita, além de alguma gibbsita.

GONÇALVES (1987) fez um trabalho completo sobre alteração de rochas básicas da Bacia do Paraná, partindo desde as transformações hidrotermais até as modificações intempéricas sofridas por basaltos da região de Ribeirão Preto, SP. Para essa autora a evolução intempérica se dá segundo sistemas geoquímicos de alteração, definindo três níveis intempéricos sequenciais ao longo do perfil de alteração: as alteritas, o conjunto glebular e os horizontes móveis superiores.

As alteritas foram subdivididas em duas zonas distintas; a mais profunda, denominada isoalterita, é caracterizada por um fácies em bolas com núcleos intactos e córtex de alteração superficial. A mineralogia dessa zona é representada por caulinitas "em acordeon" e gibbsita, resultantes de pseudomorfismo de plagioclásios; ocorre também goethita provinda da alteração de piroxênios. A outra zona, mais superficial (aloterita), se caracteriza por um fácies contínuo com intensa pedoturbação e forte impregnação de ferro por acumulação secundária (goethita e hematita).

Já o conjunto móvel superior, mais superficial, representado pelo Latossolo Roxo, com esqueleto formado por grãos de quartzo e opacos; presença de nódulos ferruginosos e predomínio de plasma poroso organizado em micropeds esféricos com composição de caulinita, gibbsita, hematita, quartzo e opacos (ilmenita e magnetita).

2.2. Características e organização dos solos em áreas de rochas básicas

Após esses processos de intemperismo e pedogênese, os solos formados em áreas de rochas básicas se associam na paisagem de maneira ordenada e segundo condicionantes topográficas.

Organização dos solos na paisagem

CURI & FRANZMEIER (1984) colocam que a importância dessa relação direta entre o solo e sua posição topográfica está no fato de que várias propriedades dos solos, mesmo quando esses são altamente intemperizados, são influenciadas pela sua posição na paisagem.

Segundo SÁNCHEZ (1981) e VOLKOFF (1984), os latossolos estão sempre associados com superfícies terrestres muito antigas e estáveis, as quais podem ser remanescentes de um peneplano anteriormente existente. Os solos com horizonte B textural ocupam as pendentes

inferiores, sendo que esses horizontes argílicos aparentemente se formam depois que o peneplano original foi truncado pela erosão. Já solos pouco desenvolvidos como os litólicos ocupam os declives mais acentuados, onde a pedogênese é menos atuante.

Nas áreas de rochas básicas do Brasil, nota-se que a Terra Roxa Estruturada está preferencialmente associada à meia encosta. Já a posição do Latossolo Roxo pode variar dependendo da forma do relevo: quando o perfil topográfico apresentar uma conformação com topos aplainados, nessas partes altas e planas é que se desenvolverá o latossolo, CURI & FRANZMEIER (1984), ROCHA (1982), SOUBIES & CHAUVEL (1984), DEMATTE (1973).

Por outro lado, um relevo com topos acidentados, mas com sopé de encosta com declive suave e longo, favorecerá o desenvolvimento do Latossolo Roxo na base da vertente, MONIZ & BUOL (1982), GONÇALVES (1987), ANDRADE et alii (1976).

Quanto aos solos litólicos de rochas básicas, pelo SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984) pode-se constatar que estes tanto podem estar nas posições mais altas do relevo, quando estas são mais declivosas, como nos sopés das vertentes, quando a topografia for mais movimentada.

Entretanto, deve-se levar em conta que ao se estudar a distribuição dos solos ao longo de uma encosta, as transições entre as classes de solos são geralmente

graduais, BRAVARD & RIGHI (1989), com intergradações entre os diferentes tipos pedológicos, levando à formação de um verdadeiro manto contínuo ou cobertura pedológica, na qual os solos se interdigitam definindo a paisagem.

O uso das topossequências para o entendimento dos solos na paisagem evoluiu para a noção de **sistemas pedológicos**, BOULET et alii (1982), os quais permitem uma abordagem tridimensional das organizações pedológicas, vistas como volumes e não mais como uma justaposição de perfis de solos. Essa abordagem tem possibilitado o estudo de sistemas pedológicos em transformação, LUCAS (1989), o que facilita o entendimento dos mecanismos da dinâmica e evolução das coberturas pedológicas na paisagem.

Mas quais são as características, como se organizam internamente e como gradam entre si esses solos ?

Latossolo Roxo

Os Latossolos Roxos, CAMARGO et alii (1987), tem sido descritos como solos argilosos derivados de rocha básica, apresentando horizonte B latossólico, teor de ferro total > 18% e sequência de horizontes pouco diferenciados. Segundo OLIVEIRA & MENK (1984), critérios como cor e profundidade não tem sido mais considerados para a diferenciação desses solos em nível elevado de classificação.

São solos de acidez média a forte, com argilas de baixa atividade, ocorrendo entretanto também as

variedades eutróficas.

Uma feição característica do horizonte B latossólico do Latossolo Roxo, assim como de outros latossolos a nível de campo, é a sua estruturação microgranular ("pó de café"), a qual tem sido correlacionada à elevada quantidade de gibbsita e classificada como apédica por OLIVEIRA & MENK (1984). Entretanto, CARVALHO et alii (1983) e GONÇALVES (1987) mostram que a nível microscópico tal classificação não se aplica, pois o que se observa é uma organização do plasma em micropeds arredondados e "colados" uns aos outros, formando uma microestruturação porosa e característica dos latossolos.

A mineralogia da fração argila do Latossolo Roxo é representada principalmente por caulinita e gibbsita, OLIVEIRA & MENK (1984), GALHEGO & ESPÍNDOLA (1979), CARVALHO et alii (1974), ocorrendo secundariamente vermiculita cloritizada, hematita, goethita, alofana, e às vezes também talco e ilita, SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984), ROCHA (1982), POMBO et alii (1982).

A quantificação da mineralogia da argila pode fornecer parâmetros para estudos de gradação entre solos de rochas básicas; MONIZ & OLIVEIRA (1974), usando a gibbsita como mineral índice de intemperismo levantaram a hipótese de uma transição mineralógica entre Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, atestada pela variação gradual de

gibbsita entre os perfis de Latossolo Roxo.

Entretanto, como demonstraram MOLLER & KLAMT (1983), trabalhando com intemperismo experimental em Latossolo Roxo, a gibbsita talvez não seja o mineral indicado a ser usado como índice em processos de intemperismo, pois constataram ser a caulinita o mineral mais estável do sistema, ao contrário da vermiculita cloritizada e gibbsita, as quais se degradam mais facilmente.

Terra Roxa Estruturada

As Terras Roxas Estruturadas são solos com horizonte B textural (CAMARGO et alii, 1987), argilosos e bem drenados, com argila de baixa atividade e baixo gradiente textural, sendo derivadas de rochas básicas.

O SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984) coloca que devido à pequena variação de cor e de textura ao longo do perfil, as transições entre os subhorizontes são difusas, tornando-se difícil a identificação dos mesmos.

São solos de acidez média a forte, baixa CTC, mas com caráter eutrófico predominante. Variedades transicionais para Latossolo Roxo são comuns.

Estes solos caracterizam-se no campo por uma estruturação predominantemente prismática no horizonte B, a qual encontra-se recoberta por uma cerosidade abundante. Apesar desse aspecto superficial ceroso ter sido

anteriormente atribuído unicamente a mecanismos de transporte de argila, atualmente se sabe que outros processos, como a formação de argila "in situ", também podem originar essas superfícies brilhosas, CREUTZBERG & SOMBROEK (1987).

A mineralogia da fração argila da Terra Roxa Estruturada é dominada por caulinita, seguida por óxidos de ferro e alumínio, MONIZ & OLIVEIRA (1974), QUEIROZ & KLAMT (1985), ANDRADE et alii (1976), KITAGAWA & MOLLER (1979) e VIEIRA et alii (1987). Secundariamente ocorrem gibbsita, vermiculita cloritizada, montmorilonita, mica e alofana; quartzo também tem sido constatado nesses solos.

Vários autores tem tentado elucidar a evolução da Terra Roxa Estruturada para Latossolo Roxo ou vice-versa.

Assim, PEDRO et alii (1976) concluíram que a diferença entre esses solos é de natureza pedoplasmática, sendo que a transição da Terra Roxa Estruturada para o Latossolo Roxo acontece devido à uma contínua deionização que leva à uma inativação progressiva do material argiloso.

CARVALHO et alii (1983), trabalhando com solos de basalto da região de Ribeirão Preto, SP, notaram que a Terra Roxa Estruturada evolui progressivamente para Latossolo Roxo ao longo de uma vertente, através da formação de material gibbsítico.

Entretanto MIKLÓS et alii (1987) estudando

Terra Roxa Estruturada Latossólica em Botucatu, SP, concluíram que a evolução se dá no sentido do Latossolo para a Terra Roxa, sendo que a estrutura maciça porosa e microagregação do horizonte B latossólico origina progressivamente uma fase bem orientada com poliedros delimitados por fissuras (horizonte B textural); os autores colocam que a evolução é resultante de diferenciação plásmica vertical, mecanismo associado a processos geoquímicos da dinâmica do ferro e titânio.

Solos Litólicos de Rochas Básicas

São solos rasos, pouco evoluídos, que possuem pouca evidência de desenvolvimento de horizontes pedogenéticos. Segundo o SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984), as características morfológicas desses solos restringem-se ao horizonte A, sendo que a cor, textura, estrutura e consistência dependem do tipo de material que deu origem ao solo.

Abaixo do horizonte A ocorrem calhaus, pedras ou material semi-alterado da rocha em mistura com material daquele horizonte. Por outro lado, não é incomum a presença de um pequeno horizonte B em início de formação.

Por serem solos que se encontram em contínuo processo de rejuvenescimento e devido à proximidade do material de origem, a atividade das argilas é normalmente média ou alta, sendo solos predominantemente eutróficos, ocorrendo também nas formas distrófica e álica.

Na fração argila, a mineralogia é predominantemente caulinítica, ocorrendo também montmorilonita e mica, o que pode explicar em parte a alta CTC apresentada por estes solos.

2.3. Abordagem experimental da dinâmica atual de solos

O conhecimento dos mecanismos de funcionamento dos solos pela pedologia clássica é resultante da interpretação de análises de amostras retiradas dos perfis pedológicos.

Entretanto, esses resultados, seja o teor em argila, a mineralogia ou as características químicas, definem, como colocam RANGER & ROBERT (1985), não um ambiente pedoquímico atual, mas a somatória de vários processos pelos quais passou o solo ao longo do tempo.

Ou seja, tais dados, apesar de revelarem um mecanismo pedológico dominante, refletem na verdade toda a história e gênese do solo considerado.

Contudo é de extrema importância o conhecimento e monitoramento dos processos **atuais** que ocorrem no solo, sejam eles ao longo de um ano, ou mesmo durante uma estação seca ou úmida, pois já se sabe, como coloca FELIX (1987), que vários processos que atuam na evolução de alguns tipos de solo são **sazonais**.

O método experimental tem sido utilizado para se acompanhar a dinâmica geoquímica dos solos, sendo

que nos últimos anos o método dos **minerais teste** (HATTON et alii, 1987; BERTHELIN et alii, 1983), aliado à utilização das **resinas sintéticas trocadoras de ions** (BINKLEY & MATSON, 1983) têm se mostrado eficientes para esse fim.

A base para interpretação dos resultados obtidos por esses métodos se encontra no trabalho experimental de ROBERT et alii (1979), o qual coloca que em um meio ácido não complexante, o alumínio se acumula entre as lâminas do mineral teste utilizado, levando à formação de um mineral intergrade hidroxialuminoso; o processo de intemperismo nesse caso pode ser classificado como uma acidólise não complexante.

O mineral mais indicado para esse tipo de experimento é a vermiculita, NYS et alii (1987), RANGER et alii (1986), tanto pela sua alta reatividade como por ser um mineral já bastante estudado em condições controladas, o que permitiu se estabelecer referências precisas sobre seus mecanismos de evolução.

É interessante colocar que o método do mineral teste não tem nenhuma relação com o uso da vermiculita como condicionador do solo, MARCONI et alii (1987), KINJO et alii (1987), no qual esse mineral é utilizado para melhorar as características físicas e químicas do solo.

Como mineral teste a vermiculita tem se mostrado eficiente para identificar processos atuais de

podzolização e brunificação, FELIX (1987), RANGER et alii (1986).

Assim, as características químicas e mineralógicas comparativas entre esse mineral inicial e a vermiculita instalada no solo permitem concluir que na podzolização atuam mecanismos de ácido-complexólise, os quais tendem a manter a CTC do mineral teste semelhante a do mineral inicial (testemunho); nesse caso não se observa a hidroxilação de alumínio interfoliar.

Ao contrário, na brunificação (acidificação) atuam mecanismos de acidólise, que conduzem a uma diminuição marcante da CTC do mineral, com forte dessaturação aliada à evolução do alumínio, marcada pela estabilidade do pico a 1,4 nm aos raios X.

No Brasil esse método foi aplicado para o estudo de uma topossequência na região de Manaus, RIGHI et alii (no prelo), onde os autores concluíram que a podzolização é um processo atualmente ativo na parte inferior da sequência, o qual foi evidenciado mesmo em solos onde as feições morfológicas não indicam ainda os processos de podzolização.

Aliado ao método dos minerais teste, e como auxiliar deste, a utilização das resinas trocadoras de ions, BINKLEY e MATSON (1983), tem se mostrado interessante para definir a composição química da solução do solo.

FELIX (1987) colocou que a presença ou ausência do alumínio iônico no meio, observado pela análise

das resinas, permite determinar a origem provável (interna ou externa à vermiculita) do alumínio interfoliar.

RIGHI et alii (no prelo) concluíram que para os oxisols as pequenas quantidades de potássio, cálcio e magnésio retidas pelas resinas refletem a dessaturação desse meio pedológico.

3.DESCRICÃO DO MEIO FÍSICO

Neste capítulo serão localizadas as áreas desta pesquisa, para as quais far-se-á a caracterização do ambiente físico em termos de geologia, clima, topografia, vegetação e solos; uma síntese comparativa entre as duas áreas será apresentada no final do capítulo.

3.1.Localização das áreas de estudo

Na figura 1 estão indicados os locais selecionados para esta pesquisa em relação às regiões do Brasil.

Para a **Região Norte** do país escolheu-se uma área situada na Estação Experimental da CEPLAC, localizada no km 100 da Rodovia Transamazônica (sentido Altamira-Itaituba), município de Prainha, Estado do Pará (figura 2).

Na **Região Sul** do Brasil a área escolhida se encontra no campus da Universidade Estadual de Londrina, a nordeste do Estado do Paraná (figura 3).

Figura 1. Localização das áreas de estudo em relação às regiões do Brasil.

Figura 2. Localização detalhada da área de estudo na Região Norte.

Figura 3. Localização detalhada da área de estudo na Região Sul

3.2. Geologia

Região Norte - a área de estudo está situada sobre a unidade geológica conhecida como Diabásio Penatecaua (ou Penetecaua). Segundo o DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1974b, 1977) e FALESI (1972) é uma unidade composta de rochas básicas introduzidas em sedimentos da Bacia Sedimentar do Amazonas durante o intervalo Jurássico - Cretáceo. Aflora de forma contínua, como um corpo em faixa grosseiramente paralela ao conjunto paleozóico amazônico, numa extensão de cerca de 60 km e largura em torno de 13 km. Distribui-se pelas cabeceiras do rio Jaraçu, ao longo da Rodovia Transamazônica em mais de 40 km.

Cronoestratigraficamente essas rochas estão posicionadas acima do pacote paleozóico e abaixo dos sedimentos da Formação Barreiras (figura 4).

Figura 4. Perfil geológico esquemático da área de estudo na Região Norte.

Devido ao seu caráter intrusivo pós-paleozóico, cortam indiscriminadamente diferentes entidades estratigráficas, posicionando-se em diferentes níveis dentro do pacote sedimentar, sob duas formas principais: como soleiras (camadas geológicas), ou como diques (corpos intrusivos) preenchendo as fraturas e falhas geológicas.

Petrograficamente tratam-se de diabásios com textura subofítica, equigranulares e melanocráticos, sendo também comum a textura micrográfica revelada pelo intercrescimento de quartzo e feldspato alcalino. A mineralogia é praticamente invariável, composta majoritariamente por plagioclásio e piroxênio; o plagioclásio está representado principalmente pela labradorita euédrica, com cristais bastante desenvolvidos e geminados, os quais às vezes são límpidos e às vezes completamente alterados em saussurita, sericita e minerais argilosos. O piroxênio é geralmente subeuédrico mas bem desenvolvido, frequentemente maclado e em vários graus de alteração em uralita, hornblenda, biotita e clorita; geralmente essa transformação libera óxido de ferro, o qual passa a envolver o mineral neoformado. De maneira geral esse piroxênio está classificado como augita.

Uma característica petrográfica marcante dessas rochas é a presença comum de quartzo e feldspato alcalino (ortoclásio) na forma de intercrescimento

mineralógico, o qual pode variar de poucos grãos até 35% da rocha.

Como minerais acessórios ocorrem apatita, sericita, clorita e minerais opacos, além de saussurita e argilosos como minerais de alteração.

Pelas características micro e macroscópicas admite-se que essas rochas constituem um corpo hipabissal espesso, com granulação média. Um resíduo ácido final, atestado pelo intercrescimento micropegmatítico de quartzo e ortoclásio seria o resultado da lentidão da cristalização inerente a esse tipo de rocha hipabissal.

Na **Região Sul** a área de estudo situa-se sobre a Formação Serra Geral, a qual faz parte da Bacia Sedimentar do Paraná. Segundo o DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1974a, 1978) é constituída predominantemente por rochas de composição basáltica, dispostas em derrames sucessivos e subhorizontais. É notável a ocorrência de intrusivas básicas na forma principalmente de diques de diabásio, os quais estão presentes nos próprios basaltos assim como nos sedimentos paleozóicos da bacia sedimentar. Cada derrame é em geral pouco espesso, variando de decímetros até cerca de 50 metros, sendo mais comuns espessuras ao redor de 6 a 10 metros. Constituem-se de basaltos toleíticos com estrutura maciça, melanocráticos, afaníticos e constituídos principalmente de plagioclásio (labradorita) e piroxênio.

(augita). Como minerais acessórios são comuns a titanomagnetita, apatita, quartzo, feldspato potássico, minerais opacos e raramente biotita.

Já os diabásios (diques) são rochas faneríticas finas, inequigranulares, mas com composição mineralógica semelhante à dos basaltos.

Quimicamente os basaltos da Bacia do Paraná apresentam um maior teor em TiO_2 nas rochas situadas ao norte da bacia, em comparação ao teor baixo das rochas ao sul, BELLINI et alii (1984).

O convênio PAULIPETRO/CESP/IPT (1981) cita que estratigraficamente o contato inferior da Formação Serra Geral se dá com os arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu; esse contato é de forma gradual através da intercalação de arenitos. O contato superior com a Formação Caiuá se dá através de um hiato erosivo, atestado por delgados níveis de brechas basais dessa formação (figura 5).

Figura 5. Perfil geológico esquemático da área de estudo na Região Sul

Datações realizadas por vários autores para essas rochas colocam-nas como tendo idade Cretácica Inferior, PETRI e FÚLFARO (1983).

3.2.Clima

Região Norte - esta área está submetida a clima Aw de Koppen, caracterizado como **tropical**, com temperatura média anual de 26 °C. A média das máximas é de 30,8 °C e a média das mínimas 21,1 °C, sendo a média mensal superior a 18 °C.

O regime pluviométrico é definido por chuvas de verão-outono, cujo período concentra 90% do total anual das chuvas. Essa distribuição de chuvas define duas estações: uma bastante chuvosa, de dezembro a maio, e outra menos chuvosa, de junho a novembro. A pluviosidade média anual é de 1680 mm, sendo a média anual da umidade relativa do ar igual a 80%, segundo Pereira, citado por NEVES et alii (1981).

Alguns autores colocam que essa área está inserida em uma faixa de transição climática entre subúmida e úmida, com base na variação anual do período seco, o qual pode definir ora um clima Aw, ora um clima Am, DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA (1973b), BASTOS (1982).

O balanço hídrico para a região pode ser visto na figura 6 A.

Figura 6. Balanços hídricos para as áreas de estudo.

Região Sul- a classificação de Koppen registra tipo climático Cfa, ou seja, clima **subtropical úmido** para esta região. Usando-se a classificação de Thornwaite pode-se definir para a área um clima úmido e mesotérmico, que não apresenta deficiência hídrica no inverno, CORREA et alii (1982). Segundo o SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS(1984), a temperatura média anual é de 22,5°C, sendo a média do mes mais quente superior a 22°C, e a do mes mais frio menor que 18 °C. As precipitações pluviométricas são em geral bem distribuídas durante o ano, sendo a média anual de 1615 mm. MAACK (1981) coloca que a destruição das florestas do norte do estado do Paraná e sua substituição por cafezais e atualmente por trigo e soja, sem deixar reservas ou matas de proteção às nascentes, acarretou em apenas vinte anos o aumento do coeficiente de variação das precipitações, isto é, as

chuvas tornaram-se mais irregulares, registrando-se épocas de chuva em excesso e épocas de escassez. O balanço hídrico para essa área está na figura 4 B.

3.4.Relevo

Região Norte— a área de estudo está situada no **Planalto Rebaixado da Amazonia** (do baixo Amazonas), representado pela extensa superfície de um pediplano pleistocênico com altitudes entre 100 e 200 metros; Segundo o DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1974) é uma área pediplanada com dissecação em colinas, apresentando vales pouco aprofundados. O relevo dessa região é predominantemente ondulado, também ocorrendo superfícies suave onduladas, FALESI (1972), DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA (1973c). Entretanto, pode existir grande heterogeneidade topográfica de caráter localizado, com variação de classes de relevo de plana a forte ondulada, como constatarem NEVES et alii (1981).

Região Sul — esta área se enquadra no **Planalto de Guarapuava ou Terceiro Planalto**, com altitudes entre 500 e 600 metros, MAACK (1981). O SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984) coloca que a região é considerada fisiograficamente de conformação simples tanto pelas formas de relevo como pelas estruturas litológicas, tendo sido esculpidas nos derrames de lavas

básicas do Grupo São Bento. Os sucessivos empilhamentos dessas lavas originaram estruturas tabulares, as quais são responsáveis pelas formas superficiais típicas da região, ou seja, as chamadas mesetas estruturais; essas mesetas são entremeadas por formas onduladas como as que ocorrem no local da pesquisa, caracterizadas por chapadas de encostas suaves e vales abertos.

3.5. Vegetação

Região Norte - a vegetação natural deste local de estudo está classificada como **Floresta Equatorial Subperenifólia**, também referida como **Floresta Pluvial dos Trópicos**, DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1974b), DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA (1973c), NEVES et alii (1981). Trata-se de uma vegetação estacional e heterogênea que consiste principalmente de árvores sempre verdes, porém com alguma folhagem reduzida e copas secas no período de estiagem. Apresenta árvores com até 50 metros ou mais de altura, estando entre as espécies o babaçu, a bacaba, o palmito, o jatobá e outras.

Região Sul - a vegetação original da parte setentrional do estado do Paraná classifica-se como **Floresta Tropical**. Para o SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984) e DEMATTÉ (1973), especificamente na área de estudo ocorre a **Floresta Tropical Subperenifólia**, caracterizada pela perda parcial

das folhas no estrato superior durante a estação seca. Entre seus exemplares tem-se a peroba, cedro, figueira branca e outras. Entretanto, atualmente, como decorrência da ação antrópica, a vegetação original da área está bastante alterada, quer em sua composição florística quer em seus limites; ROCHA (1986) e PAULIPETRO/CESP/IPT (1981) colocam que por ser uma área de agricultura intensiva, essa vegetação encontra-se apenas em pequenas reservas e matas-galeria, tendo sido intensamente devastada não só pelo valor de suas espécies, como também, e principalmente, por ocuparem área útil às atividades agrícolas. Assim, a cobertura vegetal atual está representada basicamente por soja, trigo, café, milho, algodão e pastagens.

3.6. Solos

Região Norte - nesta área de estudo predomina a Terra Roxa Estruturada Eutrófica (Tropudalf na Classificação Americana e Nitossol na Classificação da FAO). A variação Terra Roxa Estruturada Eutrófica Latossólica também ocorre na área, além de algumas manchas de Latossolo Roxo Eutrófico. Solos litólicos de rochas básicas tem sido pouco encontrados, FALESI (1972), DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA (1973a, b e c), DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1974a), NEVES et alii (1981), KITAGAWA & MOLLER (1979).

Região Sul - os solos mais representativos são o Latossolo Roxo e a Terra Roxa Estruturada (Typic

Eutrorthox e Typic Paleudalf na Classificação Americana; Rhodic Ferralsol e Nitossol na Classificação da FAO), os quais ocorrem nas variedades eutrófica e distrófica, funcionando como dois extremos entre os quais pode ocorrer uma grande variedade de solos com características comuns a eles, DEMATTÊ (1973). O SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984) e ROCHA (1986) colocam que nos locais onde a topografia é mais acidentada são comuns os Solos Litólicos desenvolvidos sobre rochas básicas, os quais são pouco desenvolvidos e susceptíveis à erosão. Outros solos de caráter intermediário como Cambissolos e Brunizens Avermelhados, além de Hidromórficos também tem sido encontrados na região.

3.7. Síntese comparativa do meio físico das duas áreas

As características ambientais das duas áreas estão sintetizadas na tabela 1.

Por essa tabela observa-se no item **geologia** que existe diferença granulométrica entre as duas rochas, o que é resultado dos processos genéticos das mesmas: o diabásio da Região Norte tem caráter hipabissal, de cristalização lenta em profundidade, enquanto o basalto da Região Sul, por sua característica de derrame, cristalizou-se mais rapidamente, em superfície.

Tabela 1 . Síntese comparativa das características
ambientais das áreas estudadas

CARACTERÍSTICA	REGIÃO NORTE	REGIÃO SUL
Geologia		
Litologia	Diabásio	Basalto
Idade	Juro-Cretácica	Cretácica Inf.
Granulação	Média	Fina
Minerais		
Essenciais	Plagioclásio e Augita	Plagioclásio e Augita
Clima		
Classificação	Tropical úmido	Subtropical úmido
Temp. méd. anual	26 °C	22,5 °C
Pluv. méd. anual	1680 mm	1615 mm
Relevo		
Classificação	Planalto	Planalto
Altitude	Entre 100 e 200 metros	Entre 500 e 600 metros
Classe	Suave ondulado a ondulado	Suave ondulado a ondulado
Vegetação		
Classif. ...	Floresta Equatorial Subperenif.	Floresta Tropical Subperenif.
Espécies ...	Babaçu, bacaba, palmito, jatobá	Peroba, cedro, Figueira branca
Solos		
Principais tipos	Terra Roxa Estruturada Eutrófica	Latossolo Roxo e Terra R. Estr.

Com relação ao **clima**, apesar de separar as áreas como tropical ao norte e subtropical ao sul do país, observa-se uma pluviosidade muito semelhante, com 1680 mm anuais para a Região Amazônica, e 1615 mm anuais para a Região Sul.

Quanto ao **relevo**, tratam-se de planaltos com topografias locais semelhantes, variando de suave onduladas a onduladas para as duas áreas; a única diferença recai na altitude, entre 100 e 200 metros para a Região Norte e entre 500 e 600 metros para a Região Sul.

As **vegetações naturais** são taxonomicamente distintas, Floresta Equatorial ao norte e Floresta Tropical ao sul.

E finalmente a distribuição dos **solos** na paisagem não é semelhante, apesar da Terra Roxa Estruturada predominar ao longo das encostas das duas áreas.

4. MATERIAL e MÉTODOS

4.1. Material

Os solos, alteritas, córtex de alteração e rochas das duas áreas de estudo, assim como o mineral teste vermiculita e a resina trocadora de íons constituem-se nos materiais dessa pesquisa.

4.2. Métodos

A descrição da metodologia utilizada está subdividida em dois itens: no primeiro deles serão listados os métodos de análises empregados para se estudar a fase sólida dos sistemas em estudo, desde a seleção dos locais e das topossequências de solos, passando pelas características físicas e químicas clássicas, finalizando com a abordagem mineralógica, onde se empregaram a difratometria de raios X, a mineralogia ótica e as microscopias eletrônica de varredura e transmissão. O segundo item, de caráter experimental, relata a metodologia

de utilização dos minerais teste e da resina trocadora de ions, empregados para se monitorar a dinâmica atual dos solos.

Caracterização da fase sólida dos materiais da topossequência

4.2.1. Escolha e amostragem das topossequências de solos

Em áreas de rochas básicas, selecionaram-se vertentes características para cada região estudada, onde foram locadas e perfuradas trincheiras para cada segmento de relevo (topo, encosta e sopé), conforme mostra o perfil esquemático da figura 7.

Figura 7. Perfil esquemático das vertentes estudadas, com localização dos pontos estudados.

Na **Região Norte** o solo do topo da encosta está em uma área de mata em regeneração, e os dois outros solos da encosta encontram-se sob mata natural.

Para a **Região Sul** o perfil de topo está em uma área em pousio, o solo da meia encosta encontra-se sob mata natural e o da base da vertente em uma área recém-desmatada.

Os tipos de solo foram separados a nível de campo com base na interpretação das características morfológicas dos solos, descritos conforme critérios propostos por LEMOS & SANTOS (1984), SOIL SURVEY STAFF (1951), MUNSELL (1954), SOIL CONSERVATION SERVICE (1986) e CAMARGO et alii (1987).

A coleta de amostras para análises seguiu duas diretrizes: a amostragem dos solos, alteritas, córtex de alteração e rochas, e a amostragem das vermiculitas e resinas previamente instaladas.

Amostragem dos solos - correspondeu à coleta de amostras do solo como um todo, incluindo-se nesse item a amostragem de rochas, córtex de alteração e alterita. Excluindo a amostragem sistemática de 10 em 10 cm para a confecção da curva do carbono, a escolha do local dessas amostras seguiu a morfologia do solo, tendo sido coletado material, quando possível, em toda faixa de cada horizonte; coletaram-se amostras destorroadas e amostras indeformadas; as primeiras abrangeram: a) amostras para

análises químicas e físicas de rotina, além de material para difratometria de raios X; b) amostras sistemáticas para a curva do carbono, coletadas de 10 em 10 cm, e c) amostras das liteiras florestais. Já as amostras indeformadas foram divididas em: a) blocos ou torrões de aproximadamente 15x15 cm, orientados espacialmente em relação às suas posições originais no perfil do solo, para confecção de lâminas de solos; b) torrões de aproximadamente 5 cm de diâmetro para determinação da densidade do solo; c) amostras de córtex de alteração (camadas superficiais intemperizadas) de blocos de basalto; d) amostras de alterita (horizonte C); e) amostras de rochas intactas, e f) amostras úmidas de solos para microscopia eletrônica.

Amostragem das vermiculitas e resinas - a coleta dos minerais teste e das resinas trocadoras de íons instaladas (ver itens 4.2.5 e 4.2.6) foi feita após um ano de permanência no solo para ambas as regiões, abrangendo uma estação seca e uma chuvosa acumuladas.

4.2.2. Análises físicas

As análises físicas foram feitas em solos e alteritas das topossequências em estudo; as amostras foram secas a temperatura ambiente e passadas em peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA); determinou-se também o percentual de cascalhos.

Granulometria

Foi usado o método da pipeta, empregando-se como dispersante o hidróxido de sódio, em agitação por 16 horas em garrafas de Stohman; pipetou-se silte e argila, tendo sido a areia separada em peneira. Para a determinação da argila natural usou-se a água destilada. As classes de textura foram definidas de acordo com LEMOS & SANTOS (1984). O grau de floculação (GF) foi calculado pela fórmula:

$$GF = (\text{argila total} - \text{argila natural}) \cdot 100 / \text{argila total}$$

Densidade do solo

Empregou-se o método da parafina em torrões indeformados de solo.

Gradiente Textural (GT)

Calculado pela fórmula seguinte, excluindo-se os horizontes de transição:

$$GT = (\% \text{argila horizontes B}) / (\% \text{argila horizontes A})$$

Separação física dos constituintes das liteiras

Coletou-se para os solos de meia encosta das duas regiões o horizonte orgânico (liteira) dentro de uma área de um metro quadrado. Esse material foi homogeneizado, retirando-se uma quantidade aleatória que foi pesada e seca

em estufa a 60°C. Dessa, fez-se uma separação manual nos seus componentes principais, a saber, galhos, folhas, material fino, e outros, os quais foram também pesados, obtendo-se o percentual de cada componente em relação ao peso após secagem.

4.2.3. Análises químicas

Para as amostras de solo foram feitas as caracterizações químicas listadas a seguir, usando-se a TFSA. Para as determinações de carbono e nitrogênio utilizou-se a TFSA moída a 100 meshes.

pH: em água destilada e KCl N, usando-se a relação 10 gramas de solo para 25 ml de água ou KCl, com leitura em peagâmetro.

Carbono e Nitrogênio totais: usando-se 1 grama de solo peneirado a 100 mesh, com leitura em aparelho LECO CHN 600. Para a curva sistemática do carbono, as determinações foram feitas em aparelho Carmograph (combustão seca). Foram calculados os estoques acumulados de carbono dos solos.

Ca++, Mg++, Na+ e K+ : usando-se extrator HCl 0,05 N e relação 1/10 entre material e solução extratora, com leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

Valor S (soma de bases) : feito por cálculo, resultante da somatória das bases Ca++, Mg++, Na+ e K+.

H⁺ + Al⁺⁺⁺ (acidez potencial) : avaliação pela depressão causada no pH de solução tampão, mediante curva de correlação entre valores do pH da solução tampão e valores de acidez potencial determinados pelo método do acetato de cálcio (método SMP - IAC).

Capacidade de Troca de Cátions (CTC) : feita por cálculo, resultante da somatória do valor S com a acidez potencial (CTC a pH 7) .

Valor V (percentual de saturação de bases): feito por cálculo, através da fórmula $V = S \cdot 100 / CTC$

4.2.4. Análises mineralógicas

A caracterização analítica da mineralogia abrangeu: a) difratometria de raios-X para o córtex de alteração, alterita, fração silte, e argila (desferrificada e após concentração de óxidos de ferro); b) microscopia ótica para amostras de rochas, alteritas e solos impregnados; c) microscopia eletrônica de varredura para amostras de solos e alteritas, e d) microscopia eletrônica de transmissão para solos.

4.2.4.1. Difratometria de raios X

Feita para: a) amostras da fração argila desferrificada; b) amostras da fração argila após concentração de óxidos de ferro; c) córtex de alteração da rocha básica da Região Norte; d) horizonte C1 do solo

Litólico da Região Sul, e e) fração silte natural. As amostras de argila e silte dos solos foram obtidas por pipetagem; as amostras do córtex de alteração da Região Norte e do horizonte C1 da Região Sul foram moídas e passadas em peneira de 2 mm.

Para os itens a, c e d as amostras foram previamente tratadas com água oxigenada para eliminação da matéria orgânica; em seguida removeu-se o ferro livre, usando-se o método do citrato-bicarbonato-ditionito, JACKSON (1969). As amostras desferrificadas foram agitadas por 16 horas com hexametáfosfato de sódio, separando-se a areia por tamisação e a argila por sifonamento; essa argila foi saturada separadamente com potássio (KCl) e magnésio (MgCl₂), confeccionando-se em seguida lâminas orientadas para estudos em raios X, as quais foram também aquecidas a 350 °C e 550 °C, conforme os procedimentos clássicos para esse fim, ROBERT (1975), BROWN & BRINDLEY (1980).

Para o item b, as amostras foram moídas e atacadas com soda 2N em fervura por 5 horas. Após secas, foram polvilhadas em lâminas de vidro adicionando-se gotas de tetracloreto de carbono, obtendo-se assim montagens sem orientação preferencial.

Para a montagem das amostras de silte natural usou-se porta amostras de alumínio com janela.

Utilizou-se aparelho Rigaku Geigerflex com tubo de cobre e filtro de níquel, operado em velocidade 2

graus por minuto, com fonte de 40 Kv e 20 mA. A faixa de 20 para a maior parte das amostras foi de 0 a 60 graus.

4.2.4.2. Microscopia ótica

Amostras de solos e alterita orientadas e indeformadas (ver item 4.2.1.) foram impregnadas com uma solução de resina industrial e catalizadores (polilyte T.208 - 300 ml; monômero de estireno - 150 ml; peroxol - 3 gotas) em sistema de vácuo, confeccionando-se em seguida seções delgadas de solos para estudo em microscópio petrográfico Zeiss. Também foram feitas lâminas de rochas. A interpretação seguiu os critérios de BREWER (1976), FEDOROFF et alii (1985), WILLIAMS, TURNER & GILBERT (1970) e CURI et alii (1985).

4.2.4.3. Microscopia eletrônica

Microscopia eletrônica de varredura

Amostras subcentimétricas de rocha, córtex de alteração, alterita e solos foram estudadas em microscopia eletrônica de varredura (M.E.V.). Para a observação dos solos, as amostras foram inicialmente colocadas em tubos de pF sob tensão de 32 cm de água (pF 1,5) por um dia; em seguida foram colocadas em porta amostra especial e congeladas em gás freon, tendo sido após introduzidas em câmara a vácuo, onde foram metalizadas com ouro e platina. Para as amostras de rocha, córtex de

alteração e alterita, após coladas em porta amostras, fez-se diretamente a metalização com carbono e mistura de ouro e platina. Utilizou-se microscópio JEOL JSM 35, com microsonda TRACOR NORTHERN TN 710 acoplada.

Microscopia eletrônica de transmissão

Para as observações em microscopia eletrônica de transmissão (M.E.T.), trabalhou-se somente com amostras indeformadas de solos, as quais foram inicialmente acondicionadas em gelatina natural (agar) para evitar desagregação da amostra no decorrer da preparação. Em seguida foram submetidas a pF 1,5 por um dia, após o qual foram cortadas com bisturi em tamanho milimétrico, sendo em seguida impregnadas com resina sintética especial (Polarbed 812 - França). Após a polimerização da resina, as amostras endurecidas foram submetidas a corte em Ultramicroton (Ultracut Reichert Jung), confeccionando-se lâminas ultra-finas com espessura média de 100 nanômetros, as quais foram observadas em microscópio eletrônico de transmissão Philips STEM 420, com microanalisador e microcomputador acoplados. Os estudos de microscopia eletrônica (M.E.V. e M.E.T.) foram efetuados no Laboratório de Solos do Institut National de la Recherche Agronomique em Versailles, França.

Estudo experimental da dinâmica atual dos solos

4.2.5. Uso da vermiculita microscópica como mineral teste

De modo a se estudar a dinâmica atual dos solos, utilizou-se o método dos minerais teste, adaptado de RANGER & ROBERT (1985), HATTON et alii (1987) e RANGER et alii (1986), o qual é descrito a seguir: partiu-se de cristais centimétricos do mineral vermiculita, obtido na região de Catalão, Goiás, o qual foi moído e peneirado até se obter material no diâmetro compreendido entre 0,149 e 0,250 mm (Tyler 100 e 60 respectivamente). Pesou-se 5 gramas que foram colocadas em saquinho de nylon (Mono-Ti, UGB, Panissieres, França) com dimensões de 7 por 3 cm e malha de 33 microns. Cada saquinho, devidamente lacrado, foi inserido em galeria de aproximadamente 5 cm de diâmetro por 100 cm de profundidade, perfurada nas paredes das trincheiras abertas para o estudo dos solos; uma etiqueta numerada de placa de alumínio foi amarrada ao saquinho por fio de nylon, ficando desse modo de fora da galeria (figura 8). As galerias foram perfuradas seguindo-se a morfologia dos perfis, e em cada uma delas foram colocados dois saquinhos com vermiculita (2 repetições), fechando-se em seguida as galerias para se tentar manter as condições naturais do solo.

Figura 8. Esquema de colocação e funcionamento das "armadilhas" de vermiculita e resina nos solos.

Na **Região Sul** do Brasil essas "armadilhas" foram colocadas em fevereiro de 1987 e amostradas em março de 1988 (correspondendo às épocas seca e chuvosa acumuladas).

Para a **Região Amazônica** as amostras foram inseridas em julho de 1987 e retiradas dos solos em maio de 1988 (também correspondendo às duas estações). A amostra de vermiculita testemunho (mineral original) e as amostras que

permaneceram no solo foram submetidas às seguintes caracterizações analíticas:

*. **pH em água** : usando-se a relação 1:25 entre a vermiculita e água destilada, com leitura em peagâmetro após agitação.

*.**Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ e K⁺** : usando-se extrator HCl 0,05 N e fazendo-se leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

*.**H⁺ e Al⁺⁺⁺** : usando-se extrator KCl N para H + Al e titulação com NaOH 0,025 N e fenolftaleína 1% ; adição de fluoreto de sódio 4% e titulação com HCl 0,025 N para Al⁺⁺⁺, determinando-se H⁺ por diferença.

*.**Capacidade de Troca de Cátions (CTC)** : feita por cálculo, somando-se os cátions trocáveis com H+Al.

*.**C total** : usando-se 1 grama do mineral teste na granulometria de trabalho, com leitura em aparelho LECO CHN 600.

*.**Ferro, alumínio e silício**: analisados para o testemunho e somente para os minerais teste instalados na Região Sul, usando-se os extratores citrato-bicarbonato-ditionito (MEHRA e JACKSON, 1960) e o tricitrato de sódio (TAMURA, 1957)

*.**Difratometria de raios X** : para amostras saturadas com potássio, magnésio, glicoladas e aquecidas.

4.2.6. Método da resina trocadora de íons

Como ferramenta auxiliar para o monitoramento da dinâmica atual dos solos, adaptou-se a técnica das resinas trocadoras de íons utilizada por BINKLEY & MATSON (1983), BINKLEY (1984) e BINKLEY & HART (1985). Trabalhou-se com a resina Dowex 50W X8, catiônica, com diâmetro de 29 a 50 mesh e CTC (a seco) de 5,1 meq/g, preparada do modo seguinte: lavagem com água destilada e soda 4 N; secagem ao ar, ficando saturada com íons Na^+ . Pesou-se 15 gramas desse material, o qual foi colocado em saquinho de nylon e inserido no solo como feito para o mineral teste.

As resinas foram inseridas nos solos e amostradas nas mesmas épocas dos minerais teste, seguindo a mesma disposição mostrada na figura 8.

Entretanto, a metodologia analítica de extração e dosagem foi diferenciada para as resinas de cada região; para a **Região Sul** a caracterização química foi a seguinte:

***.Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e K⁺ :** usando-se extrator HCl 0,05 N e agitação por 15 minutos, com leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

***.H⁺ e Al⁺⁺⁺ :** usando-se extrator KCl N para H+Al e titulação com NaOH 0,025 N e HCl 0,025 N para Al⁺⁺⁺,

determinando-se H^+ por diferença.

Para a **Região Norte**, os elementos ferro, manganês, alumínio, cálcio e potássio foram extraídos das resinas através de percolação em coluna e lavagens sucessivas com HCl N, fazendo-se a dosagem em espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido, com metodologia do INRA/CNRF (1988). Para essas amostras determinou-se também o pH em 15 cc de água destilada após agitação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Região Norte: apresentação dos resultados

Como visto na figura 2 e tabela 1, a área estudada ao norte do país situa-se na região de Altamira, no Pará, sob clima atual tropical úmido, com temperatura e pluviosidade médias anuais respectivamente de 26°C e 1680 mm. O relevo é de planalto, recoberto por floresta equatorial e sustentado por diabásios de idade mesozóica.

Neste capítulo serão descritas inicialmente as características e posicionamento dos solos na paisagem, definindo-se as topossequências. Em seguida serão vistas as características físicas e químicas dos solos, para depois se abordar a mineralogia, tal como revelada pelos raios X, e microscopias ótica e eletrônica. Finalmente serão apresentados os resultados analíticos obtidos nos procedimentos experimentais.

5.1.1. Os solos da topossequência

Na figura 7 tem-se a localização dos solos estudados na vertente da Região Norte. No Apêndice 1 está a descrição morfológica completa para esses solos.

Em posição de topo de encosta, sobre relevo suave ondulado e sob mata em regeneração, está o perfil AN, com sequência de horizontes Ap, Bt e Bw (figura 9).

Figura 9. Cortes esquemáticos dos perfis AN, BN e CN.

Não existe camada orgânica e o horizonte Ap, com 7 cm de espessura, tem cor a úmido bruno avermelhada escura e estrutura em blocos. Após uma transição difusa vem o horizonte Bt, de cor úmido bruno avermelhada e estrutura forte em blocos maiores, com espessura de 56 cm; esse

horizonte apresenta feições de B textural, fato que, aliado à sua espessura, vai influenciar na classificação taxonômica; ele está separado do seguinte, o Bw, por uma transição ondulada e gradual. O horizonte Bw tem cor bruno avermelhada e estrutura forte granular com aspecto de maciça porosa in situ; é um horizonte espesso, estudado até a profundidade de 198 cm, mostrando-se inteiramente homogêneo, poroso e friável, podendo ser caracterizado a nível de campo como um horizonte B latossólico ou B óxico, CAMARGO et alii (1987), definindo um Latossolo Roxo, OLIVEIRA & MENK (1984). Esse tipo de solo foi descrito pelos pesquisadores que trabalharam na área, o qual é caracterizado como um solo em transição para Latossolo Roxo, FALESI (1972), NEVES et alii (1981), DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA (1973a, b e c).

Na parte média da encosta, em relevo ondulado, está o perfil BN, sob cobertura de mata natural (figura 9). Apresenta um horizonte orgânico (littera ou serrapilheira) de 3 cm de espessura, de cor escura e com material em estágios diferenciados de alteração, a qual repousa sobre uma sequência de horizontes minerais A1, Bt1, Bt2 e Bt3.

O horizonte A1, de 6 cm de espessura, tem cor a úmido bruno escura e cor a seco bruna, sendo a consistência úmida firme, características essas que o diferenciam do horizonte Bt1, que apresenta cor úmido bruno

avermelhada escura e cor seco vermelha amarelada, além de consistência friável. A estruturação desses dois horizontes entretanto, é diferenciada, já que o Bt1 apresenta características de B textural, como a estrutura fortemente desenvolvida. Eles estão separados por transição gradual.

A partir da profundidade de 26 cm o horizonte Bt2 é o horizonte tipicamente diagnóstico desse solo, sendo caracterizado como B textural ou B argílico, CAMARGO et alii (1987), definindo uma Terra Roxa Estruturada ; apresenta espessura de 124 cm, cor a úmido bruno avermelhada e cor a seco vermelho amarelada, sendo a estruturação predominantemente prismática. É comum nesse horizonte a cerosidade e a presença de fragmentos de rocha básica em alteração. Após uma transição difusa inicia-se o horizonte Bt3, o qual mantém a cor úmido e a estrutura do horizonte anterior, apresentando, entretanto, mosqueado de cor amarela e cerosidade mais evidente, indicando influência de oscilação do lençol freático no local.

Na parte inferior da encosta se localiza o perfil CN (figura 9), em relevo ondulado e sob cobertura de mata natural. Os blocos e fragmentos de rocha básica intemperizada aumentam em quantidade na superfície do terreno e ao longo do perfil. Também esse solo está coberto por uma liteira florestal de 3 cm de espessura, de cor escura e formada por uma mistura de materiais vegetais em decomposição; uma descontinuidade plana e abrupta separa esse horizonte orgânico dos horizontes minerais A1, A3,

Bt1, Bt2 e Bt3. O horizonte A1 mostra cor a úmido bruno avermelhada escura e cor a seco bruno avermelhada, com estrutura em blocos pequenos. Já o horizonte A3 se distingue do anterior por apresentar cor vermelha a seco, blocos maiores e plasticidade e pegajosidade mais evidentes. No horizonte Bt1 a estruturação começa a mudar para prismática, apesar de não variarem as características de cor, o que entretanto permitiu enquadrá-lo como B textural. Aos 60 cm se inicia o horizonte Bt2, o qual apresenta espessura de 70 cm e cor úmido vermelho escura; a estruturação é predominantemente prismática, a cerosidade é comum e a consistência úmida é bem desenvolvida. Uma transição difusa separa esse do último horizonte descrito para esse perfil, o Bt3, o qual não termina na profundidade de 195 cm da trincheira. Além da cor vermelha a seco, constata-se mosqueado amarelo nessa profundidade, mantendo-se entretanto a estrutura prismática e com uma cerosidade mais abundante.

Blocos de rocha básica intemperizada com diâmetro de até 50 cm existem ao longo desse perfil, cujas características da parte inferior parecem ter sido afetadas pelas oscilações do lençol freático local. É também um perfil diagnosticado no campo pelo seu horizonte B textural, tratando-se também de uma Terra Roxa Estruturada, um pouco mais pedregosa que o solo em BN. As Terras Roxas Estruturadas são os solos predominantes para as áreas de rochas básicas na região, DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA

(1973a, b e c), KITAGAWA & MOLLER (1979), NEVES et alii (1981).

5.1.2. Características físicas dos solos

Os resultados obtidos para as análises físicas dos solos da Região Norte estão na tabela 2

O perfil AN tem predominância da TFSA na amostra total de todos os horizontes do solo. Já o perfil BN mostra teores de cascalho de 4% para o horizonte Bt22 e 9% para o horizonte Bt23, ou seja, cascalho em profundidade; o perfil CN, por outro lado, tem enriquecimento em cascalho nos horizontes superficiais, com 3% para o A1, 4% para o A3 e 9% de cascalho para o horizonte B1.

Teores baixos de cascalho tem sido encontrados para solos semelhantes na Amazônia, DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA (1973 a, c), apesar de NEVES et alii (1981) não terem detectado essa subfração para cinco unidades de Terra Roxa Estruturada mapeadas na região.

Os teores de areia total para os tres perfis decrescem em profundidade, iniciando com valores em torno de 29% para os horizontes de superfície e chegando a valores de 17% para o horizonte B2 do perfil AN, 9% para o horizonte Bt23 do BN e 8% para o Bt23 do CN; predomina a areia fina nos tres solos , a qual segue o comportamento da

Tabela 2. Resultados para as análises físicas dos solos da Região Norte

HORIZONTES		CASCALHOS	AREIA			SILTE	ARGILA	TEXTURA	ARGILA EM AGUA	GF	Ds
Simbolo	Prof.		grossa	media	finá						
	cm		%						%		g/cm3
Terra Roxa Estruturada Latossolica (AN)											
Ap	0-7	0	3	12	14	31	40	argila	23	43	1,38
Bt	7-63	0	2	8	12	23	55	argila	3	94	1.40
Bw	63-198+	0	1	6	10	25	58	argila	2	96	1.19
Terra Roxa Estruturada (perfil BN)											
A1	0-6	0	4	8	17	32	39	fr.arg.	25	36	1.39
Bt1	6-26	0	1	5	10	27	57	argila	1	98	1.43
Bt2	26-150	4	1	3	6	23	67	mta.arg.	1	98	1.41
Bt3	150-210	9	1	4	4	41	50	arg.silt.	1	98	1.51
Terra Roxa Estruturada (perfil CN)											
A1	0-10	3	6	11	13	22	48	argila	14	71	1.41
A3	10-30	4	3	10	11	21	55	argila	9	84	1.40
Bt1	30-60	9	2	4	7	27	60	argila	2	97	1.35
Bt2	60-130	0	0	2	6	45	47	arg.silt.	1	98	1.29
Bt3	130-195	0	0	3	5	42	50	arg.silt.	1	98	1.33

GF: grau de flocculação; Ds: densidade do Solo; fr.arg.: franco argiloso; mto.arg.: muito argiloso; arg.silt.: argila silts
 Dispersante: NaOH; Análise sem eliminação de matéria orgânica

areia total ao longo dos perfis. Teores de areia total de 10 a 30% tem sido detectados para solos semelhantes na região, FALESI (1972), DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA (1973a, c), NEVES et alii (1981).

Os teores de argila são inferiores a 60%, a não ser para o horizonte Bt22 do perfil BN, que mostra 67% dessa subfração. Não se nota, para os perfis, um comportamento uniforme em profundidade para a fração argila; apesar do percentual mais baixo estar em superfície para os tres solos, há um acréscimo em profundidade no perfil AN, de 40% no horizonte A1 para 58% no B2. No perfil BN os teores aumentam de 39% no A1 a 67% no Bt22, caindo para 50% de argila no horizonte Bt23.

O perfil CN mostra um comportamento mais diversificado para os teores de argila: o horizonte superficial A1 tem 48%, o qual aumenta até 60% no horizonte B1. Em profundidade nota-se um empobrecimento dessa subfração, chegando a 47% no horizonte Bt22, com um ligeiro aumento até 50% no Bt23. Com relação à textura, LEMOS & SANTOS (1984), o perfil AN está todo ele na classe textural argila, assim como os horizontes superficiais do CN; em profundidade, entretanto, predomina a classe argila siltosa para esse perfil. Já o BN é o solo mais heterogêneo, indo da classe franco argilosa em superfície para argila no horizonte AB, muito argilosa no Bt22 a argila siltosa no horizonte Bt23.

De modo a facilitar a visualização do comportamento dos teores de areia, silte e argila ao longo da vertente, fez-se as curvas de isoteores para essas subfrações, figura 10.

Figura 10. Curvas de isoteores de areia, silte e argila para a vertente da Região Norte

Pode-se observar que: a) a fração areia diminui tanto em direção jusante como em direção aos horizontes mais profundos do solo de sopé; b) a fração silte diminui à jusante até um mínimo de 22% em profundidade na meia encosta, aumentando em seguida em direção ao vale, e c) a fração argila aumenta à jusante, atingindo uma máxima de 60% a 150 cm de profundidade, diminuindo em seguida em direção ao sopé.

É interessante constatar nos trabalhos feitos na região, que também o teor de argila total para solos semelhantes raramente ultrapassa os 60%, DIVISÃO DE PESQUISAS PEDOLÓGICAS (1973a, c), FALESI (1972), KITAGAWA & MOLLER (1979), fato que está ligado a um aumento relativo dos teores de areia para os solos da região.

O gradiente textural se mostrou incoerente como parâmetro diferenciador dos solos da Região Norte, já que o perfil AN, por exemplo, representativo de um solo homogêneo em termos de classe textural, com horizonte B latossólico, mostrou alto gradiente, 1,4, enquanto o CN, solo que apresenta um horizonte B argílico, mostrou gradiente de apenas 1,0. O grau de floculação aumentou em profundidade para todos os solos da sequência, atingindo valores próximos a 100% no horizonte B de todos os solos.

Para a densidade do solo, nota-se que no perfil AN esse parâmetro diminuiu em profundidade, passando de 1,38 g/cm³ no horizonte A1 para 1,19 g/cm³ no B2, o que

pode ser talvez explicado pela presença de um horizonte mais poroso e drenado em profundidade. Para os perfis BN e CN um ligeiro aumento da densidade do solo nos horizontes inferiores pode estar ligado à oscilação do lençol freático do local, o qual favoreceria o desenvolvimento de uma estruturação menos porosa, em alguns casos tendendo à maciça.

Fez-se dentro da caracterização física dos solos, uma separação dos componentes da liteira do solo situado na meia encosta da topossequência da Região Norte; na figura 11 tem-se os dados obtidos para essa separação física.

Figura 11. Distribuição dos componentes da liteira da Região Norte

Observa-se que a maior parte (38%) está representada por material fino, que devido a seu reduzido tamanho (menor que 2 mm) não foi possível separar em componentes diferenciados. Em seguida vem as folhas com 34%, que somadas aos galhos (22%) representam os três componentes dominantes da liteira da Região Norte. As raízes são responsáveis por apenas 2% do total da liteira, sendo que os fragmentos organo-minerais, com 4%, completam o total em peso desse horizonte orgânico.

5.1.3. Características químicas dos solos

Os resultados das análises químicas para os solos da Região Norte encontram-se nas tabelas 3 e 4.

Na tabela 3 estão os dados para o complexo sortivo dos solos estudados. Para a Terra Roxa Estruturada Latossólica, situada no topo da vertente, observa-se que o cálcio apresenta teor de 11,19 eqmg/100g solo no horizonte Ap, decrescendo abruptamente para 2,44 eqmg no Bt e 0,59 eqmg no horizonte Bw. O magnésio em superfície está em 2,03 eqmg, decrescendo a 0,59 eqmg no Bt mas sofrendo um leve acréscimo a 1,32 eqmg no horizonte Bw. O potássio também mostra teor mais alto em superfície, 0,22 eqmg, decrescendo em profundidade até 0,02 eqmg no horizonte Bw. O sódio, inicialmente com 0,12 eqmg no horizonte Ap, chega a 0,01 eqmg no Bw.

Tabela 3. Resultados para as análises químicas do complexo sortivo dos solos da Região Norte

HORIZONTES		COMPLEXO SORTIVO						VALOR	
Simb.	Prof.	Ca++	Mg++	K+	Na+	Valor S	(H+) + Al+++	CTC7	V
cm	mg/100 g solo						%		
Terra Roxa Estruturada Latossolica (perfil AN)									
Ap	0-7	11.19	2.03	0,22	0,12	13.56	2,8	16,36	82,88
Bt	7-63	2.44	0.59	0,05	0,04	3.12	1,9	5,02	62,15
Bw	63-198+	0.59	1.32	0,02	0,01	1,94	1,6	3,54	54,80
Terra Roxa Estruturada (perfil BN)									
Ai	0-6	12.48	3.53	0,16	0,14	16.31	2,2	18,51	88,11
Bt1	6-26	2.57	1.79	0,02	0,03	4.41	1,8	6,21	71,01
Bt2	26-150	1.65	0.94	0,00	0,03	1.12	1,9	3,02	37,09
Bt3	150-210+	2.07	0.90	0,00	0,00	2.97	1,6	4,57	64,99
Terra Roxa Estruturada (perfil CN)									
Ai	0-10	2,37	3.10	0,21	0,08	5,76	2,8	8,56	67,29
A3	10-30	2.49	1.09	0,04	0,03	3.65	3,1	6,75	54,07
Bt1	30-60	2.41	1.09	0,01	0,02	3.53	2,4	5,93	54,53
Bt2	60-130	1.68	1.47	0,01	0,03	3.19	1,6	4,79	66,60
Bt3	130-190+	1.57	1.63	0,02	0,03	3.25	1,6	4,85	67,01
Cortex		4,79	1,09	0,10	0,43	6,41	-	-	-

Valor S: somatoria de bases

CTC7: capacidade de troca de cations a pH 7

Valor V: porcentagem de saturação em bases

A soma de bases (valor S) para esse solo é sensivelmente superior no horizonte Ap, onde atinge 13,56 eqmg/100g solo. O horizonte Bt mostra um valor S de 3,12 eqmg e o Bw 1,94 eqmg/100g solo.

A acidez potencial para esse solo é mais alta em superfície, com 2,8 eqmg/100 g solo, decrescendo em profundidade até 1,6 eqmg no horizonte Bw.

A reatividade desse solo está caracterizada por uma capacidade de troca de cátions (CTC) de 16,36 eqmg/100g solo em superfície, a qual decresce sensivelmente em profundidade, onde atinge valores próximos de 3 eqmg. Apesar de uma CTC relativamente baixa principalmente nos horizontes inferiores, a saturação em bases (valor V) para essa Terra Roxa Latossólica chega a 82,88 % em superfície, caindo para valores em torno de 55% em profundidade.

Para o solo situado na meia encosta, uma Terra Roxa Estruturada, o teor em cálcio é de 12,48 eqmg/100g solo no horizonte A1, caindo para valores próximos de 2 eqmg nos horizontes B argílicos. O magnésio, com 3,53 eqmg no horizonte de superfície, decai para teores em torno de 1 eqmg em profundidade. Já o potássio, com 0,16 eqmg no horizonte A1, mostra teor zero nos horizontes inferiores. O mesmo acontece para o sódio, com 0,14 eqmg em superfície e teores próximos de zero em profundidade.

Como resultado, a somatória de bases é sensivelmente mais elevada no horizonte A1, com um teor de

16,31 eqmg/100g solo; em profundidade nota-se um empobrecimento em bases, as quais apresentam valores de 4,41 no horizonte Bt1, 1,12 no horizonte Bt2 e um ligeiro acréscimo no Bt3, chegando a 2,97 eqmg/100g solo.

Para esse solo a acidez potencial não mostra variações marcantes ao longo do solo, partindo de 2,2 eqmg no horizonte Ap e decrescendo pouco em profundidade, chegando a 1,6 eqmg/100 g solo no horizonte Bt3.

A CTC mostra-se mais elevada no horizonte A1, com 18,51 eqmg; em profundidade a reatividade desse solo é visivelmente diminuída, chegando a valores próximos a 3 eqmg no horizonte Bt2, elevando-se para 4,57 eqmg/100 g solo no horizonte Bt3.

A saturação em bases atinge 88,11% em superfície, decrescendo em profundidade até 37,09% no horizonte Bt2. No horizonte mais profundo desse solo o valor V eleva-se para 64,99%.

A Terra Roxa Estruturada do sopé da encosta, quando comparada com aos outros solos da sequência, apresenta um comportamento diferenciado quanto aos teores de cálcio, o qual em superfície não mostra valores tão discrepantes em relação ao perfil como um todo; nos horizontes A1, A3 e B1 esse elemento está em torno de 2,5 eqmg, decrescendo para teores em torno de 1,5 em profundidade. Somente a alterita desse solo mostra um valor relativamente mais alto para o cálcio, 4,79 eqmg/100g solo. Para o magnésio o teor superficial é de 3,10 eqmg, caindo

para valores em torno de 1 eqmg nos horizontes de transição (A3 e Bt1), e chegando em profundidade com teores próximos a 1,5 eqmg. A alterita apresenta magnésio em torno de 1 eqmg/100g. O potássio, com 0,21 eqmg em superfície, cai para teores próximos a zero em profundidade, mostrando 0,1 eqmg na alterita. Os teores de sódio também são pouco representativos nesse perfil, sendo a alterita o material mais rico nesse elemento, com 0,43 eqmg.

A soma de bases para o horizonte de superfície desse solo é de 5,76 eqmg, a qual em profundidade oscila entre valores de 3 a 4 eqmg/100g solo. É interessante notar que a alterita apresenta a maior concentração de bases do perfil, com 6,41 eqmg/100g solo.

A acidez potencial para esse solo, inicialmente com 2,8 eqmg em superfície (horizonte A1), sofre ligeiro aumento para 3,1 eqmg/100 g solo no horizonte A3, decaindo em seguida a 1,6 nos horizontes mais profundos.

A CTC desse solo é de 8,56 eqmg/100 g em superfície, decaindo em profundidade para valores em torno de 5 eqmg/100g solo nos horizontes inferiores.

A saturação em bases está em torno de 68% no horizonte superficial, decrescendo para 54,07% no horizonte A3 e elevando-se em seguida para valores em torno de 67% nos horizontes de profundidade.

Em resumo, as características químicas para

os solos desta topossequência podem ser agrupadas como se segue:

a) Para a **Terra Roxa Estruturada Latossólica** do topo da vertente (perfil AN) e para a Terra Roxa Estruturada da meia encosta (perfil BN), o teor em bases é significativamente mais alto nos horizontes A em comparação com os horizontes inferiores. A CTC também é visivelmente superior no horizonte A desses solos, caindo bruscamente em profundidade no perfil. Também para o valor V os horizontes superficiais apresentam os maiores percentuais.

b) A **Terra Roxa Estruturada** do sopé da encosta (perfil CN) mostra aspectos diferenciados com relação aos outros dois solos da sequência, não mostrando mudanças tão abruptas entre os teores de bases de superfície e profundidade. A CTC mostra diminuição gradual do topo à base do perfil, sendo que o valor V é variável ao longo desse solo.

Na tabela 4 estão os resultados do pH, carbono, e estoque de carbono para a Região Norte.

O pH em KCl para os tres solos da sequência está em torno de 5,0, com os maiores valores nos horizontes de superfície; assim os perfis de topo e meia encosta têm pH em KCl de 5,5 nos seus horizontes A, o qual decresce alguns décimos em profundidade. O solo de sopé da encosta mostra pH em KCl de 5,3 em superfície e em profundidade, o

Tabela 4. Resultados do pH e análises químicas totais para os solos da Região Norte

HORIZONTES		pH		Δ pH	CARBONO	NITROGENIO	Ds	ESTOQUE DE CARBONO	
Simb.	Prof.	KCl	H2O					por	horizonte acumulado
cm					----- % -----		g/cm3	ton	/ha
Terra Roxa Estruturada Latossolica (perfil AN)									
Ap	0-7	5,5	6,0	-0,5	4,53	0,31	1,38	43,76	43,76
Bt	7-63	5,3	4,9	+0,4	0,63	0,14	1,40	49,39	93,15
Bw	63-198+	5,4	5,2	+0,2	0,33	0,12	1,19	53,40	146,55
Terra Roxa Estruturada (perfil BN)									
A1	0-6	5,3	5,5	-0,2	4,30	0,36	1,39	35,86	35,86
Bt1	6-26	5,0	5,1	-0,1	0,60	0,12	1,43	17,16	53,02
Bt2	26-150	5,0	5,5	-0,5	0,30	0,09	1,41	52,42	105,44
Bt3	150-210+	5,0	5,9	-0,9	0,20	0,07	1,51	18,12	123,56
Terra Roxa Estruturada (perfil CN)									
A1	0-10	5,3	5,7	-0,4	3,50	0,38	1,41	49,35	49,35
A3	10-30	4,9	5,7	-0,8	1,39	0,20	1,40	38,92	88,27
Bt1	30-60	4,8	5,6	-0,8	0,61	0,13	1,35	24,71	112,98
Bt2	60-130	5,3	5,8	-0,5	0,30	0,09	1,29	27,09	140,07
Bt3	130-190+	5,3	6,0	-0,7	0,21	0,05	1,33	16,76	156,83
Cortex		5,6	5,7	-0,1	0,13	0,04	-	-	-

Δ pH: pH KCl - pH H2O
Ds: densidade do solo

qual entretanto varia para 4,8 e 4,9 nos horizontes de transição. A alterita desse solo mostra o mais alto valor de pH de toda a sequência, 5,6. Usando-se a classificação de Scheffer e Schachtschabel, FASSBENDER (1984), esses valores de pH em KCl caracterizam solos medianamente ácidos.

Já o pH em água é mais variável ao longo dos solos; no AN o horizonte Ap mostra valor de 6,0, caindo para 4,9 no Bt e elevando-se para 5,2 no Bw. No perfil de meia encosta (BN), o horizonte A1 mostra 5,3, caindo para 4,1 no Bt1 e elevando-se para 5,5 no Bt2 e 5,9 no Bt3. No perfil CN a variação do pH em água é menor, mantendo-se em torno de 5,7 em superfície e chegando a 6,0 no horizonte Bt3; a alterita apresenta pH em água de 5,7. O Δ pH para o perfil AN mostrou-se negativo em superfície e positivo em profundidade; os perfis BN e CN evidenciaram Δ pH negativo ao longo de todo o solo.

Para facilitar a visualização do comportamento de algumas características químicas ao longo da cobertura pedológica estudada na Região Norte, fez-se as curvas de isovalores para a soma de bases, CTC a pH 7, pH em água e pH em KCl, figura 12.

Nota-se que o valor S e a CTC a pH 7 apresentam tendência semelhante, com valores mais elevados ao longo da superfície da encosta, decrescendo em profundidade, mas atingindo um teor mínimo localizado em

profundidade na meia encosta.

Figura 12. Curvas de isovalores para a soma de bases (S), CTC a pH 7 (CTC₇), pH em água e pH em KCl para a vertente da Região Norte

O pH em água sofre um decréscimo inicial a partir do topo, até atingir um mínimo na profundidade média da meia encosta, aumentando em seguida à jusante.

Já o pH em KCl diminui à jusante, atingindo um mínimo na profundidade média do sopé da encosta, voltando a crescer em seguida, em direção às camadas mais profundas.

Para o carbono total, além das dosagens por horizontes mostradas na tabela 4, foram feitas as curvas sistemáticas de 10 em 10 cm para esse elemento, figura 13, as quais mostram com mais detalhe o comportamento do carbono em profundidade.

Analisando-se as curvas, pode-se notar que existe uma tendência semelhante para a distribuição do carbono ao longo dos três solos da Região Norte: todos apresentam um teor mais elevado desse elemento em superfície, respectivamente 3,7%, 4,5% e 3,5% para os solos AN, BN e CN, os quais decrescem bruscamente já a partir dos 20 cm de profundidade, atingindo valores próximos a 0,2% a 200 cm da superfície do solo. Após a queda abrupta do teor de carbono logo nos horizontes superficiais, nota-se em seguida uma diminuição gradual desse elemento ao longo do solo.

Para o cálculo do estoque de carbono repetiu-se, por conveniência, na tabela 4, os valores encontrados para a densidade do solo (D_s), determinando-se

Figura 13. Distribuição em profundidade e estoque acumulado de carbono para os solos da Região Norte

o estoque por horizonte e o acumulado, figura 13.

Assim, é possível se estimar o estoque de carbono para uma dada profundidade, utilizando-se a curva. Como exemplo, pegando-se a Terra Roxa Estruturada Latossólica, pode-se inferir que a 100 cm de profundidade, esse solo terá um estoque acumulado de carbono de aproximadamente 120 ton/ha.

5.1.4. Mineralogia

Neste item serão apresentados os resultados mineralógicos obtidos com a utilização da difratometria de raios X, microscopia ótica e microscopia eletrônica (varredura e transmissão).

5.1.4.1. Difratometria de Raios X

Esse método foi utilizado para se estudar principalmente a fração argila dos solos das sequências, a qual foi observada após desferrificação e também após concentração de óxidos de ferro. Entretanto, os teores relativamente expressivos de silte encontrados para a Região Norte levaram a que também se observasse a mineralogia dessa subfração aos raios X. O córtex de alteração (camada superficial intemperizada de blocos de rocha básica), por representar um dos estágios iniciais da formação do solo dessa região também foi estudado por esse método.

Córtex de alteração

Na figura 14 tem-se os resultados para o córtex de alteração de uma Terra Roxa Estruturada de sopé de encosta da região amazônica (CN).

Figura 14. Difrátogramas de raios X do córtex de alteração de um bloco de rocha básica do horizonte B textural da Terra Roxa Estruturada de sopé de

encosta da Amazônia

Nota-se que os picos mais representativos pertencem à **caulinita** (0,73 e 0,35 nm), a qual é estável até a temperatura de 350 °C, desaparecendo com aquecimento a 550 °C.

Os picos a 0,48 nm e 0,41 nm, apesar de pouco representativos e com desaparecimento a 350 °C, devem tratar-se de **gibbsita**.

Outro mineral que parece estar presente nessa camada de transição entre a rocha e o solo é a **vermiculita**, caracterizada por um pico a 1,42 nm na amostra saturada com potássio, o qual se desloca para 1,55 nm nas amostras com magnésio; apesar do aquecimento a 350 °C não ter deslocado o pico desse mineral da posição de 1,55 nm, a temperatura de 550 °C parece ter influenciado no espaçamento interfoliar dessa provável vermiculita, o qual se movimentou para a região de 1,0 nm.

Dois persistentes picos não sofreram nenhuma influência dos tratamentos empregados: o primeiro a 0,96 nm, tratando-se provavelmente do mineral **ilita** e o segundo a 0,31 nm, possivelmente relacionado ao feldspato **labradorita**.

Silte

Na subfração silte natural sem extração de ferro, o difratograma mostrou os picos vistos na figura 15.

Figura 15. Difratoograma de raios X da fração silte natural do horizonte Bw da Região Norte.

A **caulinita** está presente a 0,72 e 0,35 nm. O pico a 0,33 nm pertence ao **quartzo**, sendo a **goethita** o terceiro mineral identificado nos espaçamentos de 0,41 e 0,27 nm.

Solos(fração argila)

Os solos de sopé e meia encosta da Região Norte, representados pela Terra Roxa Estruturada, apresentam uma notável uniformidade mineralógica na fração argila desferrificada, tanto entre perfis, como ao longo de cada solo.

Na figura 16 tem-se os difratogramas de um horizonte argílico que reflete a mineralogia das Terras Roxas Estruturadas da Região Norte.

Figura 16. Difrátogramas de raios X da fração argila
desferrificada do horizonte B textural da
Terra Roxa Estruturada de encosta da Amazônia

Os picos mais evidentes representam a **caulinita** (0,73 e 0,35 nm), mineral predominante nesse solo, picos esses que desaparecem com aquecimento a 550 °C.

Outro mineral identificado é a **vermiculita**, representada por um pico a 1,35 nm na amostra saturada com

potássio, o qual se desloca a 1,47 nm sob saturação com magnésio e a 1,52 nm na glicolação. O aquecimento a 550 °C não foi suficiente para o fechamento das lâminas do mineral a 1,0 nm, o qual se deslocou a 1,26 nm nessa temperatura.

Essa paragênese de caulinita e vermiculita, além de representar a mineralogia da fração argila do horizonte B argílico, também está presente nas camadas de superfície das Terras Roxas Estruturadas da área.

Para o horizonte óxico da Terra Roxa Estruturada Latossólica de topo de encosta da Região Norte, figura 17, a caulinita se mantém como o mineral de argila

Figura 17. Difratoigramas de raios X da fração argila desferrificada do horizonte B latossólico da Amazônia

mais importante com picos a 0,73 e 0,36 nm, que desaparecem a 550 °C ; uma provável vermiculita também ocorre, a qual mostra espaçamento de 1,29 nm na saturação com potássio, e que aumenta para 1,47 nm e 1,38 nm respectivamente nos tratamentos com magnésio e magnésio + glicolação. No aquecimento a 550 °C nota-se diminuição no espaçamento interfoliar desse mineral, já que o pico correspondente se desloca para 1,2 nm.

A fração argila após concentração dos óxidos de ferro comportou-se aos raios X como mostra a figura 18,

Figura 18. Difrátogramas de raios X da fração argila após concentração de óxidos de ferro para os hori -

zontes Bt e Bw da Região Norte

na qual estão mostrados os horizontes B textural e B latossólico dos solos da Região Norte.

Destaca-se o predomínio de **goethita**, com picos a 0,41 nm, 0,26 nm e 0,24 nm. Um pouco de **quartzo** (0,33 nm) e **hematita** (0,27 e 0,25 nm) também estão presentes.

5.1.4.2. Microscopia ótica

A rocha

O exame da lâmina de rocha básica da Região Norte revelou o domínio de plagioclásio e piroxênio como minerais essenciais; subordinadamente ocorrem minerais opacos e produtos de alteração predominantemente hidrotermal.

Trata-se de uma rocha holocristalina, com grãos subeuédricos e textura subofítica média.

Os feldspatos (labradorita) apresentam fraturas basais ao longo dos cristais preenchidas por produtos de alteração de natureza certamente hidrotermal (pré-meteórica); esse material tem coloração cinza-amarelada, alta birrefringência e é microcristalino, sendo que em alguns locais parece já ter substituído totalmente o cristal original.

A presença desses produtos de alteração fora dos locais considerados como típicos de alteração

intempérica (planos de clivagem, geminação, etc) é uma evidência da origem hidrotermal desse material. Também a existência de minerais opacos alterados e com formas irregulares, reentrâncias e fraturas pode ser indicativo da existência de uma alteração pré-meteorica nessas rochas, GROQUI, C.(*). Ao contrário, os piroxênios parecem estar em início de alteração intempérica, mostrando ao longo de seus planos de clivagem a formação de um material de cor vermelho escura (ferruginização).

O córtex de alteração

Na topossequência da Região Norte, como já visto, não existe no sopéum solo raso, de característica litólica, onde seria possível encontrar toda a sequência de transformação in situ da rocha, passando por camadas de alteração (alteritas, horizonte C), até se atingir os horizontes do solum. Assim, naquele local não foi possível se observar a passagem geralmente gradual da rocha para o solo.

Entretanto, os solos da Região Norte situados nas partes média e inferior da encosta são ricos em blocos e fragmentos de rocha básica intemperizada ao longo dos seus perfis. Esses blocos normalmente contem um núcleo de rocha intacta circundado por várias camadas concêntricas (exfoliações), as quais se encontram em

(*)GROQUI, C. (Instituto de Geociências /USP, São Paulo)

Comunicação pessoal, 1989.

diferentes níveis de alteração intempérica (córteç de alteração). Assim, torna-se possível amostrar locais onde se tem rocha macroscopicamente intacta em contato brusco com um material já alterado, friável, de cor amarelada. Foi feita uma lâmina desse contato, figura 19.

Figura 19. Esquema de um fragmento de rocha básica da Amazônia, mostrando a camada intemperizada (córteç de alteração) em contato com a rocha intacta.

É possível se observar no espaço de alguns milímetros uma abrupta mudança mineralógica; assim, na faixa alterada os piroxênios se encontram ferruginizados, com cor vermelho escura, mas ainda mantendo a forma do cristal original.

O pseudomorfismo também ocorre com os

feldspatos, os quais estão quase que totalmente transformados em gibbsita microcristalina, de cor cinza amarelada, restando ainda núcleos do mineral original (litorelíquias) na massa gibbsítica (fotomicrografia n. 1).

Os solos

Inicialmente é interessante colocar que o expressivo teor de óxidos de ferro em seções delgadas de solos de rochas básicas tende, segundo BREWER (1976) a mascarar feições úteis na identificação e classificação principalmente das estruturas plásmicas, o que pode ser creditado ao caráter ótico predominantemente isótropo desses constituintes de ferro, aliada à sua cor vermelho escura.

Como visto, na parte inferior da encosta da Região Norte predomina a Terra Roxa Estruturada, ficando a Terra Roxa Estruturada Latossólica restrita ao topo do relevo. Na topossequência estudada, a Terra Roxa Estruturada está representada por dois perfis, BN e CN, e a Terra Roxa Latossólica pelo AN.

Os tres perfis serão microscopicamente descritos dos horizontes profundos para os superficiais, iniciando-se com o perfil da parte inferior da encosta (perfil CN).

O horizonte Bt do perfil CN caracteriza-se pela predominancia de um plasma contínuo de cor vermelha. O esqueleto é pouco possui pequenos grãos subangulosos e

fraturados de quartzo, além de minerais opacos dispersos no fundo matricial. A distribuição relativa entre plasma e grãos é porfirogrânica. Os vazios são representados por longas fissuras, as quais às vezes separam fases do plasma com cores diferenciadas; essas fissuras normalmente se comunicam através de pequenas câmaras. O plasma mostra em profundidade nuances de cores vermelha e amarela, essa última relacionada a processos de hidromorfia, o que foi constatado a nível de campo (mosqueamento no perfil). A estrutura plásmica predominante pode ser classificada como argilasépica, na qual os agregados de minerais argilosos não mostram orientações preferenciais, ocorrendo como manchas difusas na matriz. As feições pedológicas (BREWER, 1976) ou estruturas associadas (CURI et alii, 1985) mais importantes nesse horizonte são as glébulas; apresentam-se em tamanhos variados, com forma arredondada e cor vermelho escura. A inexistência de estruturas internas identificáveis ao microscópio permitiu detalhar a classificação dessas feições como nódulos ferruginosos.

Apesar de, a nível de campo, este solo estar classificado como uma Terra Roxa Estruturada, solo com horizonte B argílico característico, microscopicamente não se observaram revestimentos argilosos (cutãs) bem definidos, feições que particularizam um horizonte argílico, FEDOROFF & ESWARAN(1985), ESWARAN(1972).

O horizonte superficial do perfil CN já se

apresenta diferenciado do horizonte de profundidade em vários aspectos. O plasma se apresenta contínuo com cor vermelho escura; o esqueleto se caracteriza pelo alto percentual em quartzo, chegando a 50% em vários locais da lâmina, sendo esse mineral de tamanhos variados e bordas subangulosas (fotomicrografia n.2); além do quartzo é comum a presença de minerais opacos subangulares. A distribuição relativa entre grãos e plasma é tipicamente porfirogrânica. Os vazios desse horizonte apresentam configuração complexa, mostrando-se às vezes como canais de forma irregular e aspecto vermiforme, e às vezes como cavidades de formato subarredondado, sendo essas últimas entretanto de tamanho inferior aos canais. A estrutura plásmica é asséptica, às vezes isótica, sendo difícil, mesmo nos maiores aumentos, identificar domínios na massa argilosa escurecida pelos óxidos de ferro. Como estruturas associadas identificaram-se basicamente os nódulos ferruginosos de forma arredondada e granulometria variada. Não se observaram revestimentos argilosos, provavelmente também devido ao mascaramento propiciado pela abundante impregnação dos óxidos de ferro.

O solo da meia encosta, o BN, apresenta um horizonte de subsuperfície caracterizado por coloração vermelho escura. O esqueleto, mostra grãos subangulosos de quartzo e opacos dispersos em uma massa argilosa, definindo uma relação plasma/grãos do tipo porfirogrânica. Os vazios são do tipo fendas ou fissuras, as quais se interconectam, separando os agregados estruturais, formando

às vezes câmaras. O plasma é isóptico, devido à riqueza em óxidos de ferro. Nódulos ferruginosos e cutãs de iluviação são as estruturas associadas reconhecidas, essas últimas ocorrendo nas paredes dos vazios.

Já no horizonte superficial desse solo (BN), a cor vermelha é predominante. O esqueleto é constituído por quartzo subanguloso de tamanhos variados, ocorrendo também minerais opacos em menor proporção e tamanho; o quartzo é abundante nesse horizonte, sendo a distribuição relativa porfirogrânica. Os vazios são pouco representativos, ocorrendo como canais localizados. O plasma é contínuo, sendo a estrutura plásmica argilasépica. Os nódulos representam as estruturas associadas, ocorrendo sob a forma arredondada, não tendo sido identificados revestimentos (cutãs) nesse horizonte.

Quanto ao solo de topo de encosta da Região Norte, representado pelo perfil AN, mostra um horizonte de subsuperfície (Bw) caracterizado pela cor vermelho escura. O esqueleto apresenta alto teor em quartzo fraturado (20% ?), o qual tem formas subangulosas, além de cristais de tamanhos bem variados; grãos de minerais opacos subarredondados também ocorrem imersos na massa plásmica, definindo uma distribuição relativa porfirogrânica.

Os vazios ocupam mais da metade da lâmina, com formas e tamanhos variados, desde grandes cavidades de formas irregulares a poros de empilhamento compostos. O

plasma é descontínuo, caracterizado por micro-peds de forma arredondada, os quais se coalescem, colando-se uns aos outros (fotomicrografia n. 3); essa característica de aglutinação entre os micro-agregados tem sido descrita como uma feição típica de horizonte B latossólico, CARDOSO DE LIMA & ESWARAN (1987), CARVALHO et alii (1983), GONÇALVES (1987).

A estrutura plásmica é isótica, não tendo sido observadas estruturas associadas. Entretanto, essas características latossólicas não são comuns a todo o perfil; em superfície, na profundidade de 7 a 63 cm, encontra-se um horizonte com feições típicas de B textural, mostrando um plasma contínuo de cor vermelha, rico em quartzo subanguloso e com vazios em forma de fissuras. Uma estrutura plásmica argilasépica foi identificada, notando-se como estruturas associadas nódulos ferruginosos e raros cutões associados a vazios; essa observação confirma a existência de um horizonte B textural definido previamente em campo, sobreposto a um horizonte B latossólico.

Em superfície, um material com plasma de cor vermelho escura predomina. O esqueleto é bem representativo nesse horizonte, com grãos subangulosos de quartzo perfazendo aproximadamente 60% da lâmina, mostrando granulometria bem variada. Os vazios são principalmente canais e cavidades, sendo a estrutura plásmica isótica. Não se identificaram estruturas associadas.

5.1.4.3. Microscopia eletrônica

Os resultados das observações em microscopia eletrônica de varredura (M.E.V.) e de transmissão (M.E.T.) serão apresentados em conjunto de maneira a facilitar a interpretação.

Para a Região Norte foram observadas amostras de solos e de um córtex de alteração obtido de um fragmento de rocha básica alterada coletado no horizonte B textural da Terra Roxa Estruturada de sopé da encosta.

Córtex de alteração

As primeiras fases de alteração intempérica da rocha básica da Região Norte foram observadas em amostra de um bloco com exfoliação esferoidal (córtex de alteração ou fácies "em bolas", GONÇALVES, 1987) coletado no horizonte B da Terra Roxa Estruturada (perfil CN); a amostra macroscópica apresenta mudança abrupta do núcleo intacto, de cor cinza, maciço, para uma camada superficial friável e de cor amarela; esse córtex de alteração foi observado e microanalísado quimicamente ao M.E.V., a qual mostra uma organização em dois componentes principais: uma massa microcristalina e densa de composição sílico-aluminosa (caulinita?) em contato brusco com um material poroso de estrutura alveolar e rico em ferro, sugerindo um "box-work" de um antigo piroxênio em avançado processo de

alteração, facilitado pela alta porosidade presente.

Os solos

Como visto pelos difratogramas de raios X, nos solos da topossequência da Região Norte predomina a caulinita. Entretanto, esse mineral pelo seu tamanho reduzido e organização em agregados cristalinos dificulta sua identificação em M.E.V, aparecendo em grandes massas compactas, o que pode ser visualizado na fotomicrografia n.7 onde um cristal de quartzo com comprimento aproximado de 24 microns está envolvido pela referida massa caulínica do horizonte B argílico de uma Terra Roxa Estruturada da meia encosta.

Às vezes é possível se observar uma morfologia em lâminas com disposição desordenada, tipo castelo de cartas (PEDRO,1987), cuja composição sílico-aluminosa é confirmada pela microsonda.

Em microscopia eletrônica de transmissão (M.E.T.) torna-se possível observar com mais clareza a paragenese mineralógica dos solos da Região Norte. Na fotomicrografia n. 8 tem-se uma visão de conjunto do horizonte B óxico do solo de topo da vertente (Terra Roxa Estruturada Latossólica, perfil AN): nela podem-se observar os cristais de caulinita com hábito predominantemente hexagonal, associados aos grãos subarrendodados e opacos de óxidos de ferro; a foto também

mostra um agregado cristalino de vermiculita, mineral que apresenta grande dimensão e leva à formação de alta porosidade ao seu redor. O elevado teor de ferro desse horizonte é comprovado pela microanálise de conjunto desse material, figura 20, o qual também mostra concentrações de titânio, cálcio, potássio, boro e cloro.

Figura 20. Microanálise do horizonte B latossólico da Região Norte.

● ferro desses solos está cristalizado principalmente como **goethita**, o que foi confirmado pelos cálculos de microdifração. Entretanto esse mineral não está presente como cristais isolados, mas sim em grandes agregados, como mostra a fotomicrografia n. 9.

A goethita que forma esses agregados pode apresentar granulometria variável como se observa na figura anterior: no conjunto localizado no canto superior direito da foto a goethita é mais grosseira, em contraste com granulometria mais fina do agregado ferrífero da parte inferior da foto. Esse tipo de organização de goethitas também foi descrito por AMOURIC et alii (1986), trabalhando com óxidos de ferro do Senegal.

A M.E.T. também permitiu confirmar a presença de **vermiculita** nos solos da Região Norte; na figura 21 tem-se a microanálise feita para esse material, onde pode-se também observar a importância do ferro e do titânio, elementos que se encontram dispersos em todos os materiais desses solos.

Figura 21 : Microanálise de uma vermiculita do horizonte B latossólico da Região Norte.

5.1.5. Dinâmica atual dos solos: resultados experimentais

Nesse ítem serão apresentados os resultados obtidos experimentalmente através da utilização dos minerais teste (vermiculitas) e das resinas trocadoras de ions. A não ser para os minerais teste, os quais foram estudados química e mineralogicamente, as resinas forneceram resultados unicamente químicos.

5.1.5.1. Minerais teste

a. Caracterização química

Na tabela 5 estão os resultados das análises químicas para a vermiculita usada como mineral teste na Região Norte; na linha inferior, em destaque, tem-se os resultados analíticos da vermiculita testemunho (mineral original), sendo que na tabela como um todo mostram-se os resultados químicos para os minerais que foram introduzidos nos diferentes solos e amostrados após um ano de permanência nos mesmos. Nessa tabela também se colocaram os resultados de Fe, Al e Si, para o mineral testemunho, extraídos pelos métodos CBD e tricitrato.

Inicialmente, observando-se os dados químicos do testemunho, nota-se a predominância do ion magnésio no complexo de troca da vermiculita original, o qual está presente com um teor de 44,33 eqmg/100g material; em seguida vem o cálcio, com 1,97 eqmg, enquanto os outros cátions mostram-se todos com teor menor que 1 eqmg/100g. A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do mineral teste original foi calculada, por somatória, em 46,7 eqmg/100g material. Observa-se também que o teor de carbono total da vermiculita inicial é de 0,11%.

Comparando-se os resultados experimentais obtidos para os tres solos da sequência da Região Norte com o mineral inicial, figura 22, observa-se principalmente

Tabela 5. Resultados das análises químicas dos minerais teste instalados na Região Norte, após um ano no solo (referente as épocas seca e chuvosa acumuladas)

HOR.	PROF. INSTAL.	pH	COMPLEXO SORTIVO							C	N
			Ca++	Mg++	Na+	K+	H+	Al+++	CTC		
cm		-----eqmg/100g material-----							----%		
Terra Roxa Estruturada Latossolica (perfil AN)											
Bt	20	7,3	1,63	6,79	0,69	0,05	0,25	0,02	9,43	0,17	0,03
Bw	75	7,2	3,54	6,66	0,78	0,12	0,23	0,06	11,39	0,36	0,12
Bw	140	7,4	2,03	6,85	0,74	0,12	0,24	0,07	10,05	0,32	0,14
Terra Roxa Estruturada (perfil BN)											
Bt1	17	7,7	3,95	7,03	0,65	0,12	0,30	0,03	12,08	0,19	0,06
Bt2	75	7,6	2,56	6,07	0,74	0,10	0,25	0,02	9,74	0,14	0,04
Bt3	160	7,2	2,05	6,35	0,74	0,12	0,35	0,04	9,65	0,16	0,10
Terra Roxa Estruturada (perfil CN)											
A3	20	7,4	3,09	4,91	0,69	0,23	0,33	0,06	9,31	0,17	0,09
Bt2	100	7,7	2,08	6,09	1,22	0,15	0,20	0,02	9,76	0,18	0,06
Bt3	160	7,5	2,87	7,44	1,00	0,10	0,40	0,03	11,84	0,19	0,05

TESTEMUNHO (mineral inicial)		7,3	1,97	44,33	0,12	0,05	0,21	0,03	46,71	0,11	0,03

HOR.: horizonte de instalação do mineral teste

PROF.INSTAL.: profundidade de instalação

CTC: capacidade de troca de cations

Complemento da tabela 5. Análises químicas do mineral teste inicial pelos métodos CBD e tricitrato

	Metodo CBD			Metodo tricitrato		
	Fe	Al	Si	Fe	Al	Si
	-----%			-----		
Mineral inicial	0,74	0,50	0,20	0,30	0,14	0,64

Figura 22 . Variação da CTC e dos principais cátions adsorvidos nos minerais teste instalados na Região Norte, em relação ao testemunho.

que houve diminuição significativa dos teores de magnésio e da CTC do mineral teste após permanência no solo, assim como aumento relativo nos teores de sódio e cálcio adsorvidos nas vermiculitas para os tres solos.

Partindo-se do teor de magnésio de 44,33 eqmg da vermiculita testemunho, nota-se uma diminuição no teor desse elemento de modo semelhante para as vermiculitas instaladas nos tres solos da Região Norte, nas quais restou um teor médio de 6 a 7 eqmg de Mg retidos nos sítios de troca do mineral teste. A CTC da vermiculita macroscópica, inicialmente com um valor de 46,71 eqmg/100g, também variou

de maneira semelhante nos tres solos da sequência para valores médios de 9 a 12 eqmg ou seja, houve diminuição por um fator aproximadamente de quatro vezes.

O sódio, com um teor inicial de 0,12 eqmg adsorvido, aumentou por um fator mínimo de seis para as vermiculitas instaladas nos tres solos.

O cálcio mostrou enriquecimento relativo principalmente nos horizontes menos profundos dos solos da encosta, passando de 1,97 eqmg no testemunho para 3,95 eqmg/100g no horizonte Bt1 da Terra Roxa Estruturada da meia encosta; e para 3,09 eqmg no horizonte A3 da Terra Roxa do sopé da encosta. Para o solo do topo da vertente o enriquecimento em cálcio se deu, ao contrário, em horizonte de profundidade (B óxido), onde a vermiculita adsorveu 3,54 eqmg Ca/100g material.

Para os demais elementos (K^+ , H^+ , Al^{+++}) as variações dos teores quando comparados com o mineral testemunho não foram marcantes.

Quanto ao carbono total, notou-se em geral aumento do percentual desse elemento em relação à amostra testemunho, sendo que nos horizontes inferiores do solo de topo da encosta da Região Norte esse incremento foi mais significativo, passando de 0,11% no testemunho para valores em torno de 0,30% nos horizontes B daquele solo. Para os demais solos da encosta o aumento foi, em média, em torno de 50%, atestando entretanto, razoável "circulação" de

carbono no ambiente pedogenético.

A variação do pH em água não foi significativa.

b. Caracterização mineralógica

Para se estudar as transformações mineralógicas ocorridas no mineral teste após sua permanência no solo (modificações estruturais e químicas) foi empregada a difratometria de raios-X.

Na figura 23 tem-se os difratogramas obtidos para o mineral testemunho (vermiculita original), assim como para as amostras instaladas nos solos da Região Norte, após os pré-tratamentos empregados. Trabalhou-se somente com a difração de maior intensidade do mineral (001).

Inicialmente nota-se que o mineral testemunho saturado com K^+ à temperatura ambiente mostra dois picos, um componente mais representativo a 1,38 nm e um outro a 1,26 nm; é interessante colocar que a amostra testemunho natural, sem pré-tratamento, também mostrou picos nessas mesmas posições.

A saturação com Mg^{++} , assim como a glicolação, unificou os picos, deslocando-os praticamente para a mesma região, ou seja, próximo a 1,5 nm.

Os aquecimentos também mantiveram os picos unificados, deslocando-os igualmente para 1,1 nm.

Assim, o mineral testemunho se caracteriza, na saturação com K^+ , por um espaçamento predominante de

Figura 23. Difrátogramas de raios X das vermiculitas instaladas na Amazônia, em comparação ao mineral inicial (testemunho).

praticamente 1,4 nm entre suas lâminas, sendo que algumas se fecham a 1,2 nm; a glicolização com Mg^{++} expande uniformemente o espaçamento a 1,5 nm, sendo que os aquecimentos aproximam igualmente as lâminas a 1,1 nm. O esquema da figura 24 procura ilustrar o comportamento estrutural das lâminas do mineral testemunho, após os tratamentos empregados.

Figura 24. Comportamento do mineral testemunho face aos tratamentos empregados

Não se conseguiu o fechamento das lâminas da vermiculita testemunho a 1,0 nm, mesmo empregando-se tratamentos a quente na saturação com K^+ . Nos trabalhos consultados na literatura tal fato se verifica, RANGER et alii (1986), RANGER e ROBERT (1985).

Para a Região Norte foram obtidos resultados para os minerais teste instalados nos solos de topo e meia

encosta; para a Terra Roxa Estruturada da encosta foi possível estudar os horizontes de superfície (A1) e profundidade (Bt2). Para a Terra Roxa Estruturada Latossólica situada no topo da encosta, somente o horizonte B latossólico (Bw) foi monitorado, já que os saquinhos instalados nos horizontes superficiais foram destruídos por animais do solo.

Assim, pela figura 23 pode-se observar que para o horizonte Bw da Terra Roxa Estruturada Latossólica o mineral teste instalado e saturado com K^+ a $25^{\circ}C$ não mostrou variação significativa em relação ao testemunho, mantendo picos a 1,4 nm e 1,2 nm. Na saturação com Mg^{++} e na glicolação notou-se alguma modificação na posição dos picos em comparação ao testemunho, o pico do Mg^{++} indo a 1,47 nm e o da glicolação a 1,38 nm. A variação marcante, entretanto, se verificou nos aquecimentos, onde a $350^{\circ}C$ a maior parte das lâminas se fechou a 1,2 nm, sendo que algumas permaneceram a 1,4 nm; a $550^{\circ}C$, apesar de ter sido mantido o pico a 1,1 nm, notou-se um pequeno pico a 1,4 nm indicando provavelmente bloqueio ao fechamento total das lâminas a 1,1 nm como verificado para o testemunho aquecido.

Para a Terra Roxa Estruturada de encosta da Região Norte, monitorada nos horizontes A1 e Bt22, nota-se que para o tratamento com K^+ a $25^{\circ}C$ não se evidenciaram diferenças em superfície nem em profundidade, na comparação com o testemunho. Na saturação com Mg^{++} somente no

horizonte A1 verificou-se um deslocamento do pico a 1,38 nm em comparação a 1,52 nm do testemunho; na saturação com Mg^{++} e glicolização o horizonte Bt22 é que imprimiu variação na posição do pico, o qual se deslocou para 1,57 nm em comparação a 1,47 nm do mineral inicial no mesmo tratamento.

Foram os aquecimentos que, também para esse solo, mostraram as variações mais significativas em relação ao mineral testemunho. Para o horizonte de superfície da Terra Roxa Estruturada nota-se que a 350°C coexistem dois espaçamentos, 1,44 nm e 1,24 nm; e mesmo a 550°C mantem-se o pico a 1,42 nm, apesar de grande parte das lâminas se fecharem a 1,13 nm.

Comportamento praticamente semelhante se observa nos aquecimentos para o horizonte de profundidade desse solo: a 350°C veem-se dois picos, 1,42 nm e 1,16 nm, enquanto a 550°C predomina o espaçamento de 1,1 nm entre as lâminas, apesar de permanecer também um pico a 1,47 nm nesse tratamento.

Em resumo, de maneira a se tentar esquematizar os resultados obtidos para o comportamento do mineral teste instalado nos solos da Região Norte, fez-se o esquema da figura 25, no qual as barras representam os picos e suas intensidades relativas nos diversos tratamentos utilizados; as setas horizontais indicam os deslocamentos relativos ao mineral testemunho.

Figura 25. Comportamento dos picos principais dos minerais teste instalados nos diversos horizontes dos solos da Região Norte

5.1.5.2. Resina trocadora de íons

Para as resinas catiônicas amostradas juntamente com os minerais teste após um ano de permanência

no solo, os resultados químicos após extração com HCl N estão na tabela 6.

Tabela 6. Resultados das dosagens químicas para as resinas cationicas instaladas na Região Norte, após um ano no solo (extração em coluna de percolação com HCl N)

HORIZ.	PROF.	Ca++	Mg++	K+	Al+++	Fe+++	Mn++
	cm	eqmg/100g material					
Terra Roxa Estruturada Latossolica (AN)							
Bt	20	0,79	0,41	0,07	0,05	0,00	0,04
Bw	140	0,47	0,42	0,08	0,03	0,00	0,02
Terra Roxa Estruturada (BN)							
Bt1	17	1,66	1,43	0,02	0,03	0,00	0,02
Bt2	75	0,71	0,51	0,07	0,03	0,00	0,03
Terra Roxa Estruturada (CN)							
Bt2	100	1,24	0,97	0,03	0,04	0,00	0,02

Constata-se que cálcio e magnésio foram os elementos mais retidos pelas resinas, para os tres solos estudados, com teores variando de 0,47 a 1,66 eqmg/100g para o cálcio e de 0,41 a 1,43 eqmg/100g para o magnésio.

Nota-se que os horizontes superficiais de topo e meia encosta apresentaram os maiores teores de cálcio.

O HCl N não extraiu ferro das resinas, o qual ou não foi retido por não estar em solução ou se encontra adsorvido sob outras formas não retiráveis pelo extrator usado.

Alumínio, manganês e potássio extraídos mostraram baixos teores, em torno de centésimos de miliequivalentes, o que indica uma solução do solo pobre nesses elementos.

5.2. Região Norte: discussão

Os resultados obtidos serão agrupados e discutidos de modo a se definir as **organizações** ou **sistemas pedológicos** característicos de cada área estudada, LUCAS (1989), SOUBIES & CHAUVEL (1984-1985). Segundo esses autores, entende-se por sistema pedológico todo conjunto estruturado de volumes que correspondem à sequências de organizações elementares, ordenadas no espaço e no tempo.

Os volumes pedológicos serão definidos principalmente em função das características macro e micromorfológicas descritas ao longo de cada vertente, sendo que o conjunto desses volumes irá definir o sistema pedológico da região. Será visto como variam as

características físicas e químicas ao longo de cada sistema, e como se organiza a mineralogia nos diferentes níveis de observação utilizados. Em seguida cada sistema será caracterizado através da dinâmica registrada pelos procedimentos experimentais. E finalmente esses sistemas pedológicos serão comparados entre si.

5.2.1. O sistema pedológico da Região Norte

Para a área estudada na Amazônia, foram definidos seis volumes pedológicos: a) horizonte B textural, b) horizonte B latossólico, c) camada com mosqueamento, d) liteira, e) horizonte A, e f) córtex de alteração; esses volumes serão descritos a seguir.

5.2.1.1. Macro e micro-organização morfológica dos volumes pedológicos

A nível de paisagem, a organização dos volumes pedológicos da Região Norte foi esquematizada como mostra a figura 26.

a) Horizonte B textural

Pode-se constatar o predomínio do volume pedológico representado pelo horizonte B textural, o qual se estende ao longo de toda a vertente, caracterizando-se a nível macroscópico pela cerosidade, estruturação principalmente prismática e coloração bruno avermelhada

(2,5 YR 4/4). Esse horizonte já se inicia na cobertura pedológica situada no topo da encosta, em posição normalmente ocupada por material de composição latossólica,

Figura 26. Organização pedológica ao longo da vertente da Região Norte

como constatarem CURI & FRANZMEIER (1984), BRAVARD & RIGHI (1989), e MONIZ & BUOL (1982), estudando latossolos em várias regiões do Brasil.

Esse volume pedológico é mais espesso na meia encosta; é enriquecido à jusante de blocos e fragmentos de rocha básica intemperizada. Em profundidade,

esse horizonte apresenta transição gradual para um material latossólico no topo da encosta; já na meia encosta seu contato se dá em profundidade com uma camada mosqueada.

A organização interna desse volume pedológico, evidenciada pela micromorfologia, se caracteriza por um plasma contínuo, de cor vermelha, associado à presença de grãos subangulosos de quartzo e minerais opacos, o que pode indicar retrabalhamento incipiente, SUGUIO (1973). Entretanto, MABESONE (1983) observa que não existem conclusões definitivas sobre os efeitos dos agentes de transporte e intemperismo no arredondamento de grãos.

Na porção desse volume situada na meia encosta, ocorrem cutãs iluviais associados a vazios; essa característica pode indicar movimentação de argila, ESWARAN (1972), apesar de em poucos locais ser possível observar com clareza sua orientação e diferenciação da matriz argilosa.

No sopé da encosta, entretanto, não se observaram revestimentos argilosos bem definidos, talvez devido ao mascaramento pelos óxidos de ferro, o que, segundo BREWER (1976), geralmente acontece quando se observam lâminas de solos ricos em ferro.

Já a presença de nódulos ferruginosos arredondados e de cor vermelho escura é uma característica comum ao longo desse volume pedológico, podendo indicar

processos de movimentação do plasma em ciclos pedológicos anteriores, FEDOROFF, N. (*).

A organização pedológica que ocupa o segundo lugar em volume no sistema estudado na Região Norte está representado pelo horizonte B latossólico, mostrado na figura 26..

b) Horizonte B latossólico

Esse horizonte está restrito à cobertura pedológica do topo da encosta; sua estruturação é micro-granular com aspecto maciço poroso ("pó-de-café"), friabilidade, e coloração bruno avermelhada (2,5 YR 4/4); está sotoposto ao horizonte B textural e separado deste por transição gradual. Não apresenta fragmentos e blocos de rocha no seu interior, os quais provavelmente já foram totalmente intemperizados devido ao avançado estágio evolutivo apresentado por materiais latossólicos, VOLKOFF (1984-1985), MOLLER & KLAMT (1983).

Esse volume apresenta característica singular ao microscópio ótico, organizando-se em um plasma descontínuo e isótico, formado por micro-peds coalescentes, os quais são separados por cavidades e poros de

FEDOROFF, N. (Institut National Agronomique/Grignon/France)

Comunicação pessoal, 1989

empilhamento composto, feições típicas de horizonte B latossólico, CARDOSO DE LIMA & ESWARAN (1987), GONÇALVES (1987). Não se identificaram feições pedológicas nesse volume; a presença de quartzo subanguloso com diferentes granulometrias indica, segundo MABESOOONE (1983), uma seleção imperfeita para esses grãos, o que pode estar relacionado com um sedimento que não sofreu retrabalhamento marcante.

c) Camada com mosqueamento

Um terceiro volume pedológico que compõe o sistema da Região Norte está representado por uma camada subsuperficial com mosqueamento, figura 26, a qual está sotoposta ao horizonte B textural; vai da meia encosta até o sopé vertente. É identificada no campo por mosqueado de cor amarela (5Y 8/8); a estrutura, apesar de predominantemente prismática, mostra um aspecto quebradiço, desfazendo-se em pequenos blocos. Esse volume pode ter se diferenciado devido à influência do lençol freático na área, como constatou VIEIRA (1975), para outros locais da Amazônia, já que sua oscilação origina condições de hidromorfia.

As características micromorfológicas desse volume pedológico assemelham-se às do horizonte B textural, diferenciando-se deste somente pela coloração mista vermelho escura e cinza avermelhada ou amarela, resultante

do mosqueamento. Entretanto, admite-se, como observa BOUMA (1984), que esse mosqueado seja posterior à gênese do horizonte B textural, sendo apenas uma modificação deste por processos de hidromorfia.

Ao longo da parte superficial da cobertura pedológica dessa área definem-se dois outros volumes pedológicos contínuos: a liteira e o horizonte A.

d) Liteira

A liteira mostra contato abrupto com os demais volumes na meia encosta e sopé da vertente, com apenas tres centímetros de espessura e cor escura. Nessa liteira, o material fino apresenta o maior peso (38%), seguido em percentual pelas folhas, 34% (figura 11); MARTINS (1987) encontrou para liteiras de Latossolos Amarelos também da Amazônia, predomínio dos galhos com aproximadamente 60%, vindo em seguida as folhas com aproximadamente 30% em peso.

e) Horizonte A

Abaixo da liteira tem-se o volume pedológico representado pelo horizonte A (figura 26), com sete centímetros de espessura no topo e meia encosta, aumentando para trinta centímetros no sopé. Mostra estruturação em blocos e cor predominantemente bruno avermelhada escura (2,5 YR 3/4), estando em contato gradual com os volumes

inferiores.

A micromorfologia mostra características distintas para esse volume pedológico superficial: o plasma é contínuo e muitas vezes isóptico; segundo BREWER (1976) isso pode ser devido aos altos teores de óxidos de ferro. O quartzo é abundante nesse volume superficial, com bordas subangulosas e granulometria variada, chegando a aproximadamente 50% em várias lâminas observadas. Os vazios são predominantemente canais, sendo que as feições pedológicas estão ausentes na porção de topo desse volume; na encosta e sóé aparecem nódulos ferruginosos arredondados de diferentes diâmetros; segundo BEAUDOU et alii (1987), isso pode indicar mecanismos complexos de gênese dos solos.

Todos esses cinco volumes pedológicos definidos para a Região Norte estão ordenados no espaço de maneira contínua, interligados ao longo da vertente através de características comuns. Entretanto, a continuidade espacial não é um requisito obrigatório para a demarcação de um volume pedológico, pois como observam BEAUDOU & CHATELIN (1977), pode-se definir o tipo de volume em função da fixação de uma escala e de características particulares do domínio pedológico considerado.

f) Córtex de alteração

Pelo exposto pode-se considerar que a

concentração de fragmentos e blocos de rocha básica intemperizada nas partes média e inferior da encosta pode ser classificada como um sexto volume pedológico, de natureza **descontínua**, para o sistema da Região Norte. Pode-se definir melhor ou refinar esse volume considerando-se que esses fragmentos tem em comum a presença de camadas concêntricas de alteração (exfoliações esferoidais), as quais podem ser visualizadas como **córtex de alteração**, GONÇALVES (1987).

Assim, esse córtex pode ser considerado como um volume pedológico descontínuo, cujas características principais a nível macroscópico são a cor amarela, a friabilidade e a disposição em camadas concêntricas.

A micromorfologia desse volume revelou mecanismos de alteração intempérica da rocha básica da região, onde o **pseudomorfismo** é o processo predominante; cristais de piroxênio revelam sua forma original, mantida por uma massa ferruginizada; também os feldspatos estão quase totalmente pseudomorfizados por gibbsita microcristalina, sendo que litorelíquias permitem ainda a identificação do mineral original, fotomicrografia n. 1. A presença de gibbsita nesse tipo de córtex de alteração indica, segundo GONÇALVES (1987), processos intensos de dessilificação e de ferruginização, devido aos elevados teores de alumínio, resultantes da acumulação relativa desse elemento.

5.2.1.2. Relações entre os volumes pedológicos e a evolução geomorfológica

A análise inicial da estruturação macro e microscópica dos volumes pedológicos, aliada às características geomorfológicas da área de estudo na região amazônica possibilita algumas considerações. Conforme BOULET et alii (1982), apenas a análise macroscópica das relações espaciais entre os volumes pedológicos pode, na maior parte dos casos, orientar e direcionar o raciocínio.

Sabe-se que o relevo atual desta área da Amazônia está em fase de dissecação, na qual o planalto pleistocênico é entalhado pela drenagem, formando vales com a profundidade regida pelo nível de base atual, DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1974). Pode-se então admitir para a região a existência pretérita de uma superfície aplainada terciária, de composição latossólica, VOLKOFF (1984-1985), a qual, pelo entalhe dos rios originou formas de relevo com maior declividade, favorecendo o desenvolvimento de coberturas pedológicas diferenciadas. MONIZ & BUOL (1982) confirmam essa evolução através de provas fornecidas pela própria pedogênese, colocando que as relações espaciais entre Ultisols e Oxisols no Brasil são controladas pelas mudanças geomorfológicas. À medida que a declividade se acentua devido à uma mudança do nível de base, o processo de fluxo lateral da água é desencadeado;

a consequência é que o solo situado na superfície em declive sofre compressão pela dessecação-saturação alternadas, originando uma estruturação mais desenvolvida (horizonte B textural), a partir da coalescência dos micro-peds granulares (horizonte B latossólico) do antigo platô.

A observação da disposição e inter-relação espacial dos dois principais volumes pedológicos estudados no sistema da Região Norte, o horizonte B textural e o B latossólico, sugere exatamente isso, onde uma cobertura latossólica localizada no platô encontra-se em processo de transformação para um material argílico (volume do horizonte B textural), o qual, inclusive já começa a "invadir" o domínio latossólico, o que é atestado pela cunha de material bem estruturado sobreposto ao horizonte B latossólico no topo da encosta (figura 26). A micromorfologia reforça essa hipótese, pois mostra a transição lateral de uma organização porosa, em micro peds, do volume latossólico, para um arranjo caracterizado por um plasma contínuo e denso do volume argílico. Assim, a análise das características e relações espaciais dos principais volumes da região amazônica permite levantar a hipótese de se tratar de um sistema pedológico em transformação, ou seja, em desequilíbrio com as condições atuais, como constatarem LUCAS (1989), SOUBIES & CHAUVEL (1984-1985), e LUCAS et alii (1984), para outras áreas da Amazônia.

5.2.1.3. Variação das características físicas e químicas no sistema pedológico

As curvas de isoteores de areia, silte e argila mostradas na figura 10 ilustram o comportamento dessas subfrações ao longo do sistema pedológico da Região Norte. Nota-se concordância entre essa distribuição e o posicionamento espacial dos volumes pedológicos anteriormente definidos.

Com relação à areia total verifica-se um teor mais elevado dessa subfração ao longo das camadas superficiais da cobertura pedológica, o que está coerente com os maiores teores de quartzo observados ao microscópio ótico para o volume pedológico representado pelo horizonte A (figura 43), já que se sabe que o quartzo é o mineral predominante na fração areia desse material, DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA (1973a).

Nota-se que a diminuição vertical da areia em profundidade na parte alta e na meia encosta é gradual. No sopé essa variação é brusca, o que é atestado pela proximidade das isolinhas nesse local. Assim, pode-se admitir com base em BIRKELAND (1974) e HALL (1984), uma concentração residual do mineral resistente desta fração na maior parte da encosta devida à evolução pedogenética; no sopé da vertente, entretanto, pode ter havido aporte

externo de sedimentos por erosão de material à montante, o que explicaria a maior concentração de areia em superfície (30%), a qual decai de modo relativamente rápido para 8% em profundidade.

Quanto ao silte, observa-se que o teor mínimo dessa subfração, em torno de 22%, está praticamente distribuído ao longo do volume representado pelo horizonte B textural ; esse fato também se verifica para o teor máximo de argila (65%), o que mostra a estreita relação entre essas duas subfrações e o horizonte B textural. O acúmulo de argila nessa zona da cobertura pedológica da Região Norte parece estar relacionada aos processos de gênese do horizonte argílico, como constatou ESWARAN (1972) estudando esse tipo de mecanismo, o qual se caracteriza pelo acúmulo da subfração argilosa, o que foi constatado pela micromorfologia.

BOULET et alii (1982) também constatarem correlação entre as curvas de isoteores de argila e volumes pedológicos argilosos, concluindo que tais volumes avançam em direção montante como resultado da evolução de sistemas pedológicos em transformação.

Por outro lado constata-se que os menores teores de argila e areia, e conseqüentemente os maiores valores de silte, concentram-se no volume mosqueado situado em profundidade no sopé da encosta, fato que também mostra a íntima correlação entre os componentes granulométricos e os volumes pedológicos do sistema da Região Norte.

A densidade do solo é uniforme no volume pedológico de superfície (horizonte A), com valor de 1,4 g/cm³. Sua diminuição em profundidade na cobertura pedológica de topo de encosta pode ser explicada pelo material mais poroso, de plasma descontínuo, presente no volume designado por horizonte B latossólico. Da mesma maneira, um aumento relativo da densidade nas camadas mais profundas da meia encosta provavelmente se relaciona com o maior teor de argila desse local, associado a um plasma contínuo e conseqüentemente mais denso.

As características químicas estudadas, resumidas nas curvas de isovalores da figura 12, mostram que para o sistema pedológico da Região Norte não são as argilas minerais, mas sim a matéria orgânica a principal responsável pelos maiores teores de bases, maior CTC e pH dos volumes pedológicos daquela região, como também verificaram JORDAN (1985), DEMATTÊ (1988), GOLLEY et alii (1978) e MARTINS (1987). A CTC e o valor S apresentam os maiores valores em superfície, principalmente nas partes mais altas da topografia; a menor reatividade e teor de bases do sistema estão localizados nas camadas profundas da cobertura pedológica onde estão o horizonte Bw o Bt. Os valores de pH também mostram essa tendência, apesar de não ser tão clara para o pH em água. Entretanto, a maior variabilidade apresentada por esse pH, como coloca FASSBENDER (1984) para solos da América Latina, pode ser a

explicação para tal comportamento. A figura 13 atesta essa constatação, já que os maiores teores de carbono estão concentrados nas camadas superficiais do sistema da Amazonia, ou seja, ao longo do horizonte A, os quais decrescem bruscamente em profundidade.

Também se observa que ao longo dos volumes representados pelos horizontes Bt e Bw, no local de máximo acúmulo de argila, se encontram os menores valores de soma de bases, CTC efetiva e pH em KCl, confirmando o baixo teor em bases dessa subfração no sistema pedológico da Região Norte.

5.2.1.4. Mineralogia da cobertura pedológica

O volume pedológico descontínuo caracterizado para a Região Norte representa o córtex de alteração da rocha básica para aquela região, o qual forneceu indícios mineralógicos dos mecanismos intempéricos atuantes nas primeiras fases de alteração da rocha.

Constatou-se que o **pseudomorfismo** é o principal processo de alteração mineralógica atuante, como também verificaram GLASSMANN & SIMONSON (1985), ILDEFONSE (1987); os **feldspatos**, observáveis aos raios X também na sua estrutura original de labradorita, se transformam diretamente em caulinita ou gibbsita microcristalinas (fotomicrografia n. 1), sendo que para a gênese desse segundo mineral GONÇALVES (1987) admite uma

acumulação relativa de alumínio do mineral original, relacionada ao mecanismo de transferências intracristalinas.

Também os **piroxênios** são pseudomorfisados, mas por um material ferruginoso, isótipo, disposto em rede tipo "box-work", GONÇALVES (1987), ILDEFONSE (1987), a qual mantém a estrutura original do mineral.

Constata-se que os difratogramas de raios X feitos em material após eliminação do ferro para esse córtex da região amazônica mostraram uma baixa concentração de **gibbsita**, a qual entretanto está totalmente ausente para os solos daquela região. Assim, apesar da constatação desse mineral nas primeiras fases de alteração da rocha, admite-se que o mesmo não seja estável naquele ambiente, constituindo-se, como mostra KOUNESTRON (1976), em uma fase transitória, a qual é progressivamente substituída pela caulinita, que aparece ao M.E.V. organizada em uma massa densa e microcristalina, não sendo possível observar mesmo em grandes aumentos, a forma de seus cristais isolados.

A existência de um filossilicato de estrutura provavelmente micácea (0,96nm), constatado aos raios X para o córtex de alteração da Região Norte pode ser explicada levando-se em conta os processos de alteração hidrotermal (pré-meteorica) que atuaram nessas rochas básicas, como mostraram ROISENBERG et alii (1984), LEMOS & VILLAS (1983), KOUNESTRON (1976), SMITH (1962).

A ocorrência de **micas** é relativamente comum nas sequências de evolução de rochas básicas, QUEIROZ & KLAMT (1985), MONIZ & OLIVEIRA (1974), a qual é admitida como proveniente diretamente da rocha que sofreu previamente alteração pré-meteórica, KITAGAWA & MOLLER (1979), originada de cristalização a partir do potássio presente em soluções hidrotermais percolantes, MONIZ & OLIVEIRA (1974).

Um outro filossilicato de provável origem hidrotermal, também identificado nos difratogramas de raios X, é a **vermiculita**; o padrão de comportamento dos picos desse mineral, mostrando que o espaçamento a 1,0 nm só foi conseguido a 550°C é uma indicação de se tratar de uma vermiculita **hidroxialuminosa** ou vermiculita "cloritizada", BARNHISEL (1982), EMBRAPA (1984), sendo que esse mineral tem sido comumente encontrado na fração argila de solos de rochas básicas do Brasil, MOLLER & KLAMT (1983), KITAGAWA & MOLLER (1979), LIMA (1979).

Além de uma proveniência direta da rocha, como verificado por KITAGAWA & MOLLER (1979), admite-se a gênese da vermiculita através da alteração da mica, LIMA (1979), MOLLER & KLAMT (1982), ou de feldspatos, SMITH (1962). Entretanto essa última hipótese parece não se confirmar para o caso dessa pesquisa, pois se constatou a alteração de feldspatos diretamente em caulinita e/ou gibbsita.

O sistema pedológico da Região Norte

caracteriza-se pela homogeneidade mineralógica de seus volumes pedológicos contínuos. Os métodos empregados mostraram o predomínio de **caulinita** e **goethita**, ocorrendo secundariamente **vermiculita**, **quartzito**, **opacos** e **hematita**.

O predomínio de caulinita em solos de rochas básicas é comum no Brasil, GALHEGO & ESPÍNDOLA (1979), PAVAN et alii (1985). Para os solos em estudo foi possível constatar em M.E.T. o reduzido tamanho, baixa cristalinidade e diferentes granulometrias desse mineral, caracterizado por faces hexagonais mal definidas e organização em massas homogêneas sem orientação preferencial.

A M.E.T. também permitiu observar que os cristais desse mineral parecem não estar cimentados por óxidos de ferro, como observaram SCHWERTMANN & KAMPF (1985).

A alta estabilidade da caulinita nesse tipo de sistema, como demonstraram MOLLER & KLAMT (1983), provavelmente é mantida pelo nível de H_4SiO_4 em solução, GOEDERT et alii (1975). A presença marcante nesses solos de quartzito, o qual seria o fornecedor do ácido silícico, e a ausência de gibbsita, a qual não teria se formado por excesso de sílica no meio, parecem confirmar essa hipótese.

A **goethita** é o óxido de ferro predominante nos solos de rochas básicas estudados na Amazônia. Além de estar presente na fração silte, figura 15, sua ocorrência é

mais disseminada na fração argila dos volumes pedológicos estudados, onde ocorre como agregados de partículas predominantemente subarredondadas e isodimensionais, como também mostraram SCHWERTMANN & KAMPF (1985).

Esses agregados podem atingir diâmetro de vários microns, formados por cristais de diferentes granulometrias, AMOURIC et alii (1986), os quais podem se dispor lado a lado como mostra a fotomicrografia n. 9.

MELFI et alii (1979) confirmam o predomínio de goethita para solos sob clima mais úmido do norte do país, mineral que também pode ocorrer com outras formas naquela região, KITAGAWA (1983), associando-se ou não à hematita, BIGHAM et alii (1978), BITOM (1988).

A vermiculita identificada para o sistema pedológico da Região Norte, fotomicrografia n. 8, é **aluminosa**, EMBRAPA (1984), sendo que seu espaçamento de 1,2 nm no aquecimento a 550°C indica, segundo BARNHISEL (1982), um alto grau de preenchimento por hidróxidos de alumínio.

Esses polímeros de alumínio, precipitados nos espaços interfoliares do mineral, são responsáveis, conforme MOLLER & KLAMT (1983), pela alta estabilidade dessa vermiculita em solos ácidos e bem drenados.

Os volumes pedológicos da região amazônica contém um teor relativamente alto de **quartzo** principalmente na suas frações silte e areia, o qual foi identificado por todos os métodos empregados.

A polêmica em torno da origem desse mineral

em solos de rochas básicas é uma constante na literatura, QUEIROZ & KLAMT (1985), SINGER (1966), LIMA (1979), WILDING, SMECK & DREES (1982).

A micromorfologia mostrou que a maior concentração de quartzo se dá no volume pedológico de superfície, representado pelo horizonte A, fotomicrografia n. 2, onde se apresenta em cristais subangulosos de diferentes granulometrias.

Os volumes situados em profundidade no sistema também contém esse mineral, o qual se encontra em íntima associação com os **agregados caulínticos** como se vê na fotomicrografia n. 7, obtida em M.E.V. Esse mineral foi identificado também na fração argila, mas somente em amostras após eliminação do material silicatado, figura 18; esse fato concorda com uma citação de WILDING, SMECK e DREES (1982), na qual o quartzo não é evidente na fração argila devido ao mascaramento pelos argilo-minerais, geralmente os componentes principais.

Com relação à **fonte** do quartzo para esses solos, a predominância de formas subangulosas, aliada à possibilidade de uma silicificação secundária, LIMA (1979), QUEIROZ & KLAMT (1985), SINGER (1966), apontam para uma origem autógena desse mineral. Tal idéia é fortalecida pela identificação do quartzo como mineral acessório nas rochas da região, como fez o DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (1974b, 1977), o qual entretanto ocorre muito

disperso na rocha, não tendo sido identificado na lâmina de rocha observada nessa pesquisa.

5.2.1.5. Dinâmica atual do sistema

A utilização dos métodos do mineral teste e da resina trocadora de íons mostrou as tendências gerais do funcionamento atual do sistema pedológico da Região Norte.

O mineral utilizado trata-se de uma vermiculita macroscópica hidroxialuminosa, BARNHISEL (1982), já que a amostra testemunho, além de não se fechar a 1,0 nm mesmo no aquecimento a 550°C, apresentou teor de alumínio extraído pelo método CBD relativamente elevado, HATTON et alii (1987), o que permite afirmar que trata-se de um mineral com bloqueio interfoliar hidroxialuminoso.

Esse bloqueio se reflete nas características químicas do mineral testemunho, cuja CTC comparativamente baixa deve ser considerada como relativa para esse filossilicato, já que outras vermiculitas descritas na literatura apresentam CTC bem mais elevada, FELIX (1987).

Além disso, o pico a 1,2 nm na amostra testemunho saturada com K⁺ a 25°C deve tratar-se de camada interestratificada tipo mica-clorita, a qual também vai influir no comportamento estrutural desse mineral quando introduzido no solo.

Os resultados químicos obtidos com as resinas iônicas caracterizam a solução do solo, BINKLEY (1984), a qual para o sistema pedológico considerado

revelou alta mobilização de cálcio e magnésio, principalmente no volume pedológico superficial (horizonte A), sugerindo um ambiente geoquímico **alcalino a neutro**.

As modificações estruturais do mineral teste instalado e amostrado após um ano no solo foram relativamente semelhantes para todos os volumes pedológicos monitorados na região amazônica.

Essas modificações se tornaram mais evidentes nas amostras aquecidas a 350°C e 550°C, revelando de maneira geral uma "**cloritização**" dos minerais, com o aparecimento de picos a 1,4 nm, que é o pico da clorita, BESOAIN (1985).

Esse processo pode ser explicado levando-se em conta a riqueza do meio em magnésio, ion que teria penetrado entre as lâminas de vermiculita estabilizando-as como uma **camada brucítica**, a qual não foi extraída mesmo à temperaturas elevadas.

O bloqueio da vermiculita pelo alumínio, aliado à estabilização desse mineral pelas pontes de magnésio da camada brucítica, BARNHISEL (1982), são fatores que podem explicar a drástica redução da CTC do mineral teste instalado no sistema da Região Norte.

Verifica-se pela figura 22 que o complexo sortivo do mineral teste foi preenchido predominantemente pelos íons cálcio e magnésio, fato que confirma o ambiente geoquímico definido pelos resultados obtidos com as resinas

catiônicas.

Pode-se dizer que a confrontação dos resultados químicos com a evolução mineralógica da vermiculita revelou-se coerente para o sistema da região amazônica; resta entretanto definir o mecanismo geoquímico que controlaria a dinâmica atual da organização mineralógica da Região Norte.

As bases para interpretação dos resultados obtidos até agora com a utilização de minerais teste, RANGER & ROBERT (1985), HATTON et alii (1987), FELIX (1987) e RIGHI et alii (no prelo), tem se apoiado no trabalho experimental de ROBERT et alii (1979): em um **meio ácido e complexante** (podzolização) a vermiculita seria submetida a um processo de desestabilização, com sua CTC progressivamente saturada com magnésio por acumulação relativa. Em um **meio ácido não complexante**, o alumínio tenderia a se acumular entre as lâminas do mineral, formando vermiculita hidroxialuminosa.

Mas para o caso dessa pesquisa a vermiculita inicial (testemunho) já era aluminosa, o que torna mais complexa a interpretação, podendo inclusive mascarar a caracterização de um meio geoquímico ácido não complexante, caso esse ocorresse.

Entretanto, a riqueza da solução do solo em magnésio e cálcio, aliada às características de saturação

iônica do mineral teste instalado, e à desestabilização relativa da vermiculita, invalidam aquela hipótese, parecendo mais coerente a idéia de se estar frente a um meio ácido com maior tendência à **complexação** do que à uma acidólise simples, ROBERT et alii (1979).

Os teores relativamente elevados do carbono orgânico encontrados para as camadas superficiais dos solos da região podem talvez reforçar essa hipótese, sendo que uma maior disponibilidade de compostos orgânicos favoreceria a formação de complexos organo minerais, HARTER (1982).

Entretanto não se trata de uma afirmação de que **esteja** ocorrendo podzolização nos volumes da área, mas sim de uma **tendência** que estaria atualmente favorecendo esse processo.

5.3. Região Sul: apresentação dos resultados

Pela figura 3 e tabela 1 vê-se que a área de estudo ao sul do país localiza-se na região de Londrina, no Paraná, onde o clima é subtropical úmido, com temperatura e pluviosidade médias anuais de 22,5°C e 1615 mm. O relevo é do tipo planalto, sustentado por basaltos mesozóicos; a vegetação natural é a floresta tropical.

5.3.1. Os solos da topossequência

Na figura 7 tem-se a localização dos solos

estudados na Região Sul. No Apêndice 1 está a descrição morfológica completa para esses solos.

O perfil da parte mais alta da topossequência, AS, figura 27, mostra homogeneidade morfológica; está em relevo suave ondulado e sob área em pousio com capim. É um solo profundo, acentuadamente drenado, onde foi possível se separar os horizontes Ap, AB e Bw.

O horizonte Ap, com apenas 5 cm de espessura, se caracteriza por uma estruturação fraca e grumosa; sua coloração é bruno avermelhada escura a seco e

Figura 27. Cortes esquemáticos dos perfis AS, BS e CS.

a úmido, e está separado do horizonte seguinte, o AB, por uma transição bem visível e plana.

O horizonte AB mantém a cor de seu

antecessor, mas mostra uma estrutura mais resistente e de maior tamanho (blocos), que parece imprimir nessa porção do solo um aspecto adensado.

À partir da profundidade de 45 cm inicia-se o horizonte Bw, o qual é homogêneo e se estende até no mínimo 200 cm de profundidade. Sua coloração é vermelho escura e a estrutura se desfaz em granular com aspecto apédico in situ. Trata-se, a nível de campo, de um solo com horizonte B latossólico (B óxico), podendo-se classificá-lo como um Latossolo Roxo, OLIVEIRA e MENK (1984). Os Latossolos Roxos são comuns nas áreas de rochas básicas do sul do Brasil, LEMOS (1976), DEMATTÊ (1973). O perfil descrito nessa pesquisa tem características morfológicas e ambientais semelhantes às apresentadas por aqueles solos, inclusive quanto à presença de camada adensada nos horizontes superficiais, SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984).

O solo em BS (figura 17), situado na porção média da encosta em relevo ondulado e sob cobertura de mata natural, apresenta maior diversidade de horizontes minerais; esses estão recobertos por uma camada de liteira (horizonte orgânico) de 4 cm de espessura, de cor escura e composta de mistura de fragmentos vegetais em estágios variados de decomposição. Uma transição abrupta separa essa camada do horizonte mineral A1, de cor bruno avermelhada escura e estrutura em grumos.

O horizonte seguinte, A3, de mesma cor e consistência friável, já apresenta estruturação composta de blocos e granular, separado do horizonte B1 por transição gradual.

No horizonte B1 nota-se mudança da consistência e da cor para vermelho escura, mantendo-se entretanto a mesma estruturação do horizonte a ele sobreposto.

O horizonte Bt1 começa a partir dos 90cm de profundidade, caracterizado por estruturação mais desenvolvida e prismática, além de cerosidade abundante, permitindo classificá-lo como o diagnóstico desse solo, sendo um B textural ou B argílico, CAMARGO et alii (1987), e o solo como uma Terra Roxa Estruturada.

Após transição gradual, a partir da profundidade de 150 cm, entretanto, nota-se uma mudança na cor predominante para bruno escura, com mosqueado amarelo laranja; além disso, a estrutura se torna maciça desfazendo-se em blocos, mantendo contudo a cerosidade forte e abundante; admite-se que a oscilação do lençol freático influenciou nas características desse horizonte mais profundo. Características morfológicas como estrutura prismática, cerosidade e cor, aliadas à posição topográfica, são parâmetros de campo diagnósticos da Terra Roxa Estruturada, solo semelhante ao da presente pesquisa e que também ocorre em grandes áreas do sul do país, DEMATTÉ, (1973), SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE

SOLOS (1984), MONIZ & OLIVEIRA (1974), PEDRO et alii (1976).

Na parte inferior da encosta, em relevo ondulado e sob cobertura remanescente da mata natural está o perfil CS (figura 27), o qual representa um solo raso com sequência de horizontes A1, C1 e C2.

O horizonte superficial, com 30 cm de espessura, apresenta cor bruno avermelhada escura a seco e a úmido, estrutura em grumos e consistência friável; alguns fragmentos de rocha básica encontram-se dispersos nesse horizonte.

Uma transição clara separa esse horizonte das camadas inferiores de alterita, subdividida em horizontes C1 e C2. O C1, uma aloterita com espessura de 70 cm, mostra coloração amarelo avermelhada em seus fragmentos de rocha em decomposição, os quais encontram-se intercalados por um material de cor bruno avermelhada escura, com estrutura composta de blocos e grânulos. Após uma transição irregular tem-se o horizonte C2, uma isalterita de basalto, de cores bruno clara e amarelo avermelhada. A estruturação é maciça, mas encontra-se fraturada subverticalmente, por onde penetram faixas de material friável. Encontram-se núcleos de rocha básica intacta ao longo dessas camadas de alterita, os quais vão se soldando e aumentando em volume com a profundidade, até provavelmente formar a massa de rocha intacta. Esse solo

pode ser classificado no campo como um Litólico de rocha básica. Em áreas de topografia acentuada pode ocorrer esse tipo de solo, independentemente da rocha subjacente; em áreas de rochas básicas, os solos litólicos podem abranger solos com horizonte A diretamente sobre a rocha até solos com horizonte B pouco desenvolvido, com presença ou não de horizonte C, GALHEGO & ESPÍNDOLA (1979), SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984), DEMATTÉ (1973). Os solos descritos nessa pesquisa, desse modo, fazem parte dessa classe de solos.

5.3.2. Características físicas dos solos

Os resultados das análises físicas feitas para os solos da Região Sul estão na tabela 7.

A não ser para o horizonte A1 do perfil CS, onde a granulometria acusou um teor de 4% em cascalho, os outros dois solos, representados pelos perfis AS e BS, mostraram predomínio da TFSA ao longo de seus horizontes.

Os teores de areia total para os solos mostraram-se relativamente baixos, variando de 3 a 6% para o perfil AS e de 5 a 7% para o BS; somente o perfil CS apresentou teor de areia total pouco maior que 10%. Também para a subfração argila esse solo se destacou dos demais, com um teor no horizonte A1 de 53%.

Para os outros dois solos, os teores de argila sempre foram superiores a 70%, não mostrando

Tabela 7. Resultados para as análises físicas dos solos da Região Sul

HORIZONTES		CASCALHOS	AREIA			SILTE	ARGILA	TEXTURA	ARGILA EM AGUA	GF	Ds
Simbolo	Prof.		grossa	media	finas						
	cm		%						%		g/cm3
Latossolo Roxo (perfil AS)											
Ap	0-5	0	1	1	2	16	80	mto.arg.	27	66	1,29
AB	5-45	0	-	1	2	21	76	mto.arg.	3	96	1,14
Bw	45-200+	0	-	1	3	10	84	mto.arg.	1	99	1,04
Terra Roxa Estruturada (perfil BS)											
A1	0-25	0	0	1	5	16	78	mto.arg.	3	96	1,23
A3	25-60	0	1	1	4	21	73	mto.arg.	0	100	1,23
B1	60-90	0	0	1	4	19	76	mto.arg.	17	78	1,25
Bt1	90-150	0	1	1	3	16	79	mto.arg.	3	96	1,43
Bt2	150-240+	0	2	2	3	16	77	mto.arg.	1	99	1,47
Solo Litolico (perfil CS)											
A1	0-30	4	2	5	7	33	53	argila	33	38	1,20
C1	30-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C2	100-130+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GF: grau de floculação; Ds: densidade do solo ; mto. arg. : muito argiloso

entretanto grandes variações ao longo do perfil. Altos teores de argila, geralmente acima de 50%, tem sido também encontrados para os solos de rochas básicas profundos e bem drenados da região; entretanto, para o horizonte A de solos litólicos, o percentual dessa subfração é bem variável, DEMATTÊ (1973), SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984).

A classe textural foi predominantemente muito argilosa, a não ser, novamente, para o perfil CS, com classe argila. Também para os solos da Região Sul o gradiente textural não representou modificações relacionadas ao tipo de solo, mantendo-se no valor 1,0 tanto para o solo com horizonte B textural como para o solo com horizonte B latossólico.

Também para a Região Sul foram feitas as **curvas de isoteores** para areia, silte e argila, figura 28. Verificou-se que: a) a areia aumenta em direção jusante; b) o silte aumenta à jusante e em direção aos horizontes de superfície do solo de sopé, e c) a argila diminui à jusante e em direção às camadas superficiais do sopé da encosta.

A floculação do horizonte A₁ do perfil CS mostrou-se relativamente baixa, 38%, enquanto que para os dois outros solos esse parâmetro de maneira geral aumentou em direção aos horizontes mais profundos.

A densidade do solo para o perfil AS passou de 1,29 g/cm³ no horizonte A₁ para 1,04 g/cm³ no B₂, o que

está de acordo com as características morfológicas desse

Figura 28. Curvas de isoteores de areia, silte e argila para a vertente da Região Sul

solo, que apresenta material mais poroso em profundidade. Também para o perfil BS os resultados refletem as condições do perfil, onde a densidade do solo de 1,23 g/cm³ em superfície atinge 1,47 g/cm³ no horizonte Bt₂₂, o qual, por estar provavelmente influenciado por oscilações do lençol freático, desenvolveu estruturação maciça e

consequentemente mais densa.

Fez-se também, dentro da caracterização física dos solos, um estudo dos componentes da liteira do solo sob mata da Região Sul, figura 29.

Figura 29. Distribuição dos componentes da liteira da Região Sul

Nota-se que predomina o material fino (menor que 2 mm), com 61%. Uma fração não identificada na liteira da Região Norte constitui-se no material indiferenciável (maior que 2 mm), no qual, apesar do tamanho, não é possível se separar galhos, folhas ou raízes, devido ao estágio de decomposição; na liteira da Região Sul esse componente vem em segundo lugar com 13%, seguido de perto (12%) pelo teor de galhos. Os fragmentos organo minerais

representam 7% do total da liteira, sendo que as folhas, mesmo quando somadas, folhas compridas + folhas arredondadas, não atingem mais de 6%. As raízes, como na liteira da Região Norte, estão em último lugar em percentual, com 1%.

5.3.3. Características químicas dos solos

Os resultados químicos obtidos para os solos da Região Sul estão nas tabelas 8 e 9.

Inicialmente, observando-se os dados químicos do complexo sortivo da tabela 8, nota-se que para o Latossolo Roxo situado no topo da vertente os teores de cálcio para os horizontes superficiais variam de 2,53 (horizonte Ap) a 3,60 eqmg/100g solo (horizonte AB), sendo que em profundidade (horizonte B óxido) o teor cai para 0,82 eqmg.

O teor de magnésio no horizonte superficial atinge 0,82 eqmg, decrescendo em profundidade a 0,13 eqmg/100g no horizonte B óxido. Os teores de sódio se mostram relativamente baixos ao longo da topossequência; no topo da encosta tem-se um teor de 0,09 eqmg ao longo de todo o perfil do solo. O potássio de maneira geral mostra teores abaixo de 0,5 eqmg ao longo de toda a sequência de solos, a não ser para o horizonte Ap do solo da parte alta da vertente, o qual atinge 0,87 eqmg/100g solo; entretanto em profundidade os teores não ultrapassam 0,04 eqmg.

A somatória de bases (valor S) apresenta o

Tabela 8 . Resultados para as análises químicas do complexo sortivo dos solos da Região Sul

HORIZONTES		COMPLEXO SORTIVO							VALOR
Simb.	Prof.	Ca++	Mg++	K+	Na+	Valor S	(H+) + Al+++	CTC 7	V
cm		eqmg/100g solo							%
Latossolo Roxo (perfil AS)									
Ap	0-5	2,53	0,82	0,87	0,09	4,31	6,1	10,41	41,40
AB	5-45	3,60	0,12	0,04	0,10	3,86	6,1	9,96	38,75
Bw	45-200+	0,82	0,13	0,03	0,09	1,07	6,4	7,47	14,32
Terra Roxa Estruturada (perfil BS)									
A1	0-25	14,72	0,74	0,17	0,09	15,72	2,1	17,82	88,22
A3	25-60	17,92	0,65	0,28	0,10	18,95	4,5	23,45	80,81
B1	60-90	17,61	0,77	0,06	0,12	18,56	4,0	22,56	82,26
Bt1	90-150	15,23	0,74	0,07	0,09	16,13	3,6	19,73	81,75
Bt2	150-240+	16,69	0,92	0,08	0,08	17,77	3,7	21,47	82,77
Solo Litolico (perfil CS)									
A1	0-30	8.60	2.03	0,12	0,09	10.84	3,1	13,94	77,76
C1	30-100	3.54	1.39	0,07	0,16	5.16	1,2	6,36	81,13
C2	100-130+	3.03	1.57	0,09	0,13	4.82	1,2	6,02	80,07

Valor S: somatoria de bases

CTC 7: capacidade de troca de cations a pH 7

VALOR V: porcentagem de saturação de bases

menor valor para o solo situado no topo da encosta, variando de 4,31 em superfície a 1,07 eqmg/100g solo no horizonte B óxico.

A acidez potencial é praticamente constante para o Latossolo Roxo, com valores em torno de 6 eqmg/100 g solo.

A CTC do solo do topo da encosta apresenta os valores mais baixos de toda a topossequência, indo de 10,41 eqmg em superfície para 7,47 eqmg/100g solo em profundidade (horizonte B óxico).

Também o percentual de saturação em bases é menor para o Latossolo Roxo, diminuindo bastante em profundidade; de 41,40% em superfície chega a 14,32% no horizonte Bw.

Para o solo de meia encosta situado sob mata natural, nota-se um aumento significativo nos teores de cálcio, o qual varia de 14,72 eqmg no horizonte A1 a 17,92 eqmg/100g no horizonte A3, sendo que em profundidade os valores permanecem elevados, com 16,69 eqmg/100g solo no horizonte Bt2. Já o magnésio mostra valores de 0,65 a 0,74 eqmg nos horizontes superficiais (A1 e A3), notando-se um incremento no horizonte Bt2, onde esse elemento chega a 0,92 eqmg/100g solo. O potássio na área sob mata é mais rico nos horizontes superficiais (variação de 0,17 a 0,28 eqmg/100g), sendo que em profundidade seus teores vão de 0,06 a 0,08 eqmg. Os teores de sódio variam pouco ao longo

da Terra Roxa Estruturada situada sob mata natural, com 0,09 eqmg em superfície, um ligeiro aumento até 0,12 eqmg no horizonte B1, mas voltando a 0,09 eqmg/100g solo em profundidade.

O solo sob mata apresenta o maior status em bases de todos os solos da sequência, com valor S variando de 15,72 eqmg (horizonte A1) até um máximo de 18,95 eqmg no horizonte A3.

A acidez potencial para o solo de meia encosta é variável; iniciando-se com 2,1 eqmg no horizonte A1, sofre uma duplicação nos horizontes médios, decaindo em seguida para valores em torno de 3,6 eqmg/100 g solo no horizonte argílico.

A CTC do solo sob mata da meia encosta apresenta os maiores valores da topossequência, os quais se iniciam em superfície com 17,82 eqmg, aumentando para teores em torno de 23 eqmg nos horizontes médios e decaindo em seguida no horizonte argílico para aproximadamente 21 eqmg/100 g solo.

Também a saturação em bases (valor V) é maior para a Terra Roxa Estruturada, em relação aos demais solos da sequência, com um percentual máximo de 88,22% em superfície, decrescendo em profundidade para valores próximos a 81%.

Para o solo litólico situado no sopé da encosta constata-se um teor mediano de cálcio para o horizonte A1 (8,60 eqmg/100g solo) quando comparado com

os outros dois solos; entretanto, ao se atingir os horizontes C, o teor decresce até 3,03 eqmg/100g solo. O magnésio atinge valor de 2,03 eqmg no horizonte superficial; em profundidade, nas camadas de alterita, apesar de uma diminuição no teor, esse elemento ainda mantém valores relativamente elevados quando comparados com os demais solos da sequência (1,39 no horizonte C1 e 1,57 eqmg no C2). Para o potássio nota-se uma diminuição dos teores em profundidade, partindo de 0,12 eqmg no A1 e decaindo para 0,07 e 0,09 eqmg nas camadas C. O sódio se mostra mais representativo nas alteritas do Litossolo (0,13 e 0,16 eqmg) em comparação aos demais solos; em superfície o teor desse elemento concorda com os outros dois solos, com valor de 0,09 eqmg/100g solo.

O solo de sopé da encosta da Região Sul mostra valores medianos em termos de soma de bases, em comparação com os demais solos da sequência: 10,84 eqmg em superfície, decrescendo para 4,82 eqmg/100g solo no horizonte C2.

A acidez potencial para esse solo litólico diminui em profundidade, partindo de 3,1 eqmg/100 g solo no horizonte A1 e chegando a 1,2 eqmg nos horizontes C.

A CTC está em torno de 14 eqmg em superfície, decrescendo para valores em torno de 6 eqmg/100 g solo em profundidade.

- A saturação em bases para o solo de sopé de

encosta, com 77,76% em superfície, sofre pequeno acréscimo em profundidade, chegando a percentuais em torno de 80%.

Na tabela 9 estão os resultados de pH, elementos orgânicos totais e estoques de carbono.

Para o pH em KCl, nota-se que para os solos de topo e meia encosta os valores oscilam entre 4,1 e 4,6. Para o Latossolo Roxo, situado no topo da vertente, nota-se uma tendência de aumento do pH em KCl em profundidade, partindo de 4,1 em superfície e chegando a 4,4 no horizonte Bw. Para a Terra Roxa Estruturada de meia encosta não se notam variações marcantes do pHKCl ao longo do perfil, o qual se inicia em 4,5 em superfície, sofre uma redução para 4,2 no horizonte A3, mas depois se mantém em profundidade em torno de 4,5. O solo litólico de sopé de encosta apresenta os maiores valores de pH em KCl, mostrando 5,1 em superfície e 5,4 no horizonte C1, decrescendo entretanto para 4,4 no C2.

Usando-se a classificação de Scheffer e Schachtschabel, FASSBENDER (1984) os solos de topo e meia encosta são enquadrados como fortemente ácidos com relação ao pH em KCl, sendo o litossolo classificado como medianamente ácido.

Para o pH em água todos os solos da Região Sul mostram valores acima de 5,0. Entretanto pode-se separar os solos de topo e meia encosta, com pH em água igual ou menor que 5,5 ao longo de seus horizontes, do solo de sopé de encosta com pH acima de 5,5, inclusive chegando

Tabela 9 . Resultados do pH e análises químicas totais para os solos da Região Sul

HORIZONTES		pH		Δ pH	CARBONO	NITROGENIO	Ds	ESTOQUE DE CARBONO	
Simbolo	Prof.	KCl	H2O					por horizonte	acumulado
cm					----- % -----		g/cm3	---- ton /ha ----	
Latossolo Roxo (perfil AS)									
Ap	0-5	4,1	5,3	-1,2	2,16	0,16	1,29	13,93	13,93
AB	5-45	4,3	5,2	-0,9	1,70	0,17	1,14	77,52	91,45
Bw	45-200+	4,4	5,2	-0,8	0,90	0,07	1,04	145,08	236,53
Terra Roxa Estruturada (perfil BS)									
A1	0-25	4,5	5,4	-0,9	2,05	0,17	1,23	63,04	63,04
A3	25-60	4,2	5,3	-1,1	1,50	0,16	1,23	64,57	127,61
B1	60-90	4,6	5,5	-0,9	0,91	0,10	1,25	34,12	161,17
Bt1	90-150	4,5	5,3	-0,8	0,76	0,09	1,43	65,21	226,94
Bt2	150-240+	4,4	5,6	-1,2	0,93	0,12	1,47	123,04	349,98
Solo Litolico (perfil CS)									
A1	0-30	5,1	5,8	-0,7	4,63	0,21	1,20	166,68	166,68
C1	30-100	5,4	6,6	-1,2	0,87	0,14	-	-	-
C2	100-130+	4,4	5,4	-1,0	0,80	0,10	-	-	-

 Δ pH: pH KCl - pH H2O

Ds: densidade do solo

o horizonte C1 a pH 6,6. Usando-se a classificação de Troug (FASSBENDER, 1984) para pH em água, os solos de topo e meia encosta enquadram-se como muito ácidos, e o litólico como possuindo acidez fraca a média.

Como para a Região Norte fez-se as curvas de isovalores para algumas características químicas selecionadas da Região Sul, figura 30.

Observa-se que para a soma de bases (valor S) e CTC a pH 7 as tendências são semelhantes ao longo da cobertura pedológica, isto é, as curvas de maiores valores concentram-se em profundidade na meia encosta.

É interessante destacar a distribuição máxima bimodal ao longo do solo da meia encosta para as duas características mencionadas.

Para o pH em água a tendência observada é um aumento do valor dessa característica em direção jusante da encosta, com o valor mínimo em profundidade para o solo de topo.

Já o pH em KCl apesar de se notar a mesma tendência de aumento à jusante, o valor mínimo se encontra na superfície do solo de topo de encosta.

Para o carbono total, além das dosagens por horizonte, fizeram-se as curvas sistemáticas para os tres solos da Região Sul, figura 31.

Observa-se inicialmente que para o Latossolo Roxo a diminuição do percentual de carbono em profundidade

Figura 30. Curvas de isovalores para a soma de bases (S), CTC a pH 7, pH em água e pH em KCl para a a vertente da Região Sul

não é muito significativa, pois o teor de 2% nos primeiros 10 centímetros diminui para aproximadamente 1,8% nos 20 centímetros seguintes, sendo que até os 100 centímetros de profundidade mantem-se em torno de 1% de carbono; a partir daí, até a profundidade de 200 centímetros o percentual oscila em torno de 0,7%.

Já a Terra Roxa Estruturada mostra um teor relativamente elevado nos primeiros 10 centímetros, 4,7% de carbono, o qual decresce quase à metade nos 20 centímetros seguintes. A partir dos 30 centímetros até aproximadamente 150 centímetros de profundidade, nota-se um decréscimo gradual do percentual do carbono, observando-se em seguida, até a profundidade de 200 centímetros uma tendência de aumento no teor até um máximo de 1,1% de 190 a 200 centímetros de profundidade.

O solo Litólico, situado no sopé da encosta apresenta o maior teor de carbono nos primeiros 10 centímetros, 4,85%, o qual cai para 4,3% de 10 a 20 centímetros, mantendo-se em 2,85% na profundidade de 20 a 40, para em seguida sofrer um decréscimo gradual até atingir 0,45% aos 100 centímetros de profundidade.

O cálculo do estoque de carbono foi feito por horizonte e por acumulação no solo como um todo. Considerando-se o Latossolo Roxo e a Terra Roxa Estruturada obtém-se uma média de 293,25 ton/ha de carbono para os solos profundos da Região Sul, sendo que a Terra Roxa

Figura 31. Distribuição em profundidade e estoque acumulado de carbono para os solos da Região Sul

Estruturada mostrou-se como o solo com maior reserva desse elemento.

O solo Litólico, apesar do estoque ter sido calculado apenas para o horizonte A, mostrou uma reserva razoável de carbono, 166,68 ton/ha.

Usando-se as curvas, pode-se inferir o estoque acumulado de carbono em qualquer profundidade; para o Latossolo Roxo, por exemplo, a 60 cm de profundidade tem-se um estoque acumulado de aproximadamente 110 ton/ha.

5.3.4. Mineralogia

Como feito para a Região Norte, neste ítem mostram-se os resultados da mineralogia obtidos com a difração de raios X e microscopias ótica e eletrônica.

5.3.4.1. Difratometria de raios X

A fração argila dos solos após desferrificação e também após concentração de óxidos de ferro foi estudada neste ítem. Também o silte natural, assim como a alterita do solo do sopé da encosta foram observados por esse método.

Alterita

A figura 32 mostra os difratogramas do horizonte C1, no qual a **caulinita** apresenta os picos representativos (0,72 nm e 0,35 nm), os quais desaparecem

com aquecimento a 550 °C. Também a **gibbsita** pode ser identificada nessa figura, com picos a 0,48 nm e 0,43 nm,

Figura 32. Difrátogramas de raios X da fração argila da alterita (horizonte C) do solo litólico da Região Sul

que se tornam instáveis a partir da temperatura de 350 °C.

Um terceiro provável mineral identificado é a **vermiculita**, cujo pico a 1,42 nm, entretanto, é imóvel mesmo saturado com magnésio e glicolado; somente o aquecimento a 550 °C deslocou o espaçamento daquele mineral

para 1,10 nm.

Silte

A figura 33 mostra o difratograma obtido para a fração silte natural, sem extração de ferro.

Figura 33. Difratograma de raios X para a fração silte natural do horizonte Bt da Região Sul

Identificaram-se a **caulinita** (0,71 e 0,35 nm), **gibbsita** (0,49 e 0,42 nm), **quartzo** (0,33 nm) e **hematita** (0,27 e 0,25 nm).

Solos

Os difratogramas de argila desferrificada confeccionados para o horizonte argílico da Terra Roxa Estruturada de meia encosta da Região Sul estão na figura

34.

Predomina a **caulinita** a 0,72 nm e 0,36 nm (desestabilizando-se a 550°C), **gibbsita** a 0,48 nm e 0,44 nm (desaparecendo a 350 °C) e também provavelmente a **vermiculita**, a qual mostra um pico a 1,47 nm (tratada com potássio e glicolagem), que se desloca para 1,17 nm nos aquecimentos.

Figura 34. Difrátogramas de raios X da fração argila desferrificada do horizonte Bt da Região Sul.

O horizonte subsuperficial do Latossolo Roxo de topo de encosta, o B latossólico (figura 35),

Figura 35. Difrátogramas de raios X da fração argila
desferrificada do horizonte Bw da Região Sul

mostra em termos gerais a mesma mineralogia dos demais solos da sequência, apenas com diferenças nas amplitudes dos picos de caulinita e vermiculita, além de uma maior imobilidade no espaçamento desse último mineral, cujo pico

persiste a 1,47 nm sob saturação com potássio, magnésio e glicolização, deslocando-se a 1,19 nm somente com aquecimento a 550°C.

Nos horizontes superficiais dos solos da Região Sul a mineralogia também está representada por **caulinita, gibbsita e vermiculita.**

A fração argila após concentração de óxidos de ferro mostrou, para os horizontes B textural (Bt) e B latossólico (Bw) a mesma composição mineralógica, figura 36, representada pelos picos da **hematita** a 0,27 e 0,25 nm.

Figura 36. Difrátogramas de raios X da fração argila após concentração de óxidos de ferro para os horizontes Bt e Bw da Região Sul.

5.3.4.2. Microscopia ótica

A rocha

A lâmina de rocha da Região Sul mostra uma composição caracterizada por plagioclásio e piroxênio como minerais essenciais ; como acessórios ocorrem minerais opacos, um mineral cor de mel às vezes ferruginizado e um produto de alteração provavelmente hidrotermal de cor cinza amarelada.

Essa rocha é holocristalina, com grãos subeuédricos e textura subofítica fina. Os plagioclásios, presentes na forma de ripas e com geminação característica, estão fraturados na direção basal dos cristais; ao longo dessas fraturas observa-se um preenchimento por material de cor amarelada, provavelmente argiloso e de origem hidrotermal. Também os minerais opacos, com contornos irregulares e reentrâncias, estão parcialmente penetrados por produtos de alteração hidrotermal.

A alterita

Na Região Sul foi possível estudar a transição rocha-solo para um perfil situado no sopé da encosta (perfil CS); nesse perfil as alteritas estão representadas através dos horizontes C dos solos.

A lâmina do horizonte C2, o mais profundo nesse solo, mostra aspectos interessantes da alteração intempérica das rochas básicas na região. A estrutura original da rocha encontra-se ainda preservada, observando-se pseudomorfos de plagioclásio mantidos por gibbsita microcristalina de cor esbranquiçada; os piroxênios

encontram-se quase totalmente ferruginizados, exibindo cores vermelho escuras características. Grãos de minerais opacos xenomórficos estão dispersos pela lâmina. Canais e fissuras incipientes cortam todos os materiais dessa lâmina.

No horizonte C1 desse solo de sopé da encosta, a ferruginização se torna mais intensa, não sendo mais possível se reconhecer os piroxênios pela sua forma original. Entretanto, os pseudomorfos de plagioclásio ainda permitem identificar a forma inicial desse mineral, a qual é mantida agora pela cristalização de caulinita em agulhas ou na forma radial, às vezes dispostas perpendicularmente ao maior eixo do antigo mineral (fotomicrografia n. 4). Minerais opacos ocorrem dispersos pela lâmina, a qual é cortada por grandes canais às vezes também preenchidos por produtos de alteração intempérica.

Os solos

No solo litólico da Região Sul há uma mudança abrupta no perfil quando se passa das camadas de alterita (horizonte C) para o horizonte A: a estrutura da rocha subjacente desaparece completamente, passando a predominar um material de cor vermelho escura, principalmente argiloso. Pequenos cristais de quartzo subangulosos estão dispersos na matriz S, assim como alguns grãos de minerais opacos xenomórficos. A distribuição

relativa pode ser classificada como plásmica . Quanto aos vazios, observou-se que de um lado da lâmina a presença de uma raiz parece ter condicionado a formação de canais longos e largos, os quais parecem estar se iniciando a partir da estrutura biológica ali presente. Na outra parte da lâmina notam-se, sob aumento médio, o predomínio de poros aplainados irregulares (CURI et alii, 1985). O plasma vermelho escuro apresenta-se isóptico, devido à ferruginização marcante, com uma microestrutura densa. Não se observaram estruturas associadas .

O perfil da meia encosta da Região Sul (BS) apresenta em profundidade um horizonte B textural caracterizado pela cor predominantemente vermelha. O esqueleto está representado por grãos de minerais opacos xenomórficos e de granulometria variada, além de pequenos cristais de quartzo subanguloso dispersos na matriz S. A distribuição relativa é porfirogrânica e os vazios são basicamente fissuras ou fendas que se interconectam, às vezes através de câmaras; em certos locais essas fendas se alargam formando canais, que também estão unidos ao sistema de poros do horizonte. Algumas cavidades também foram observadas.

O plasma se mostra contínuo e de cor vermelha; é isóptico. A microestrutura é densa, podendo localmente se observar blocos separados por fissuras. A feição pedológica predominante são os revestimentos argilosos, observando-se também nódulos ferruginosos

subarredondados de cor vermelho escura. Os revestimentos argilosos ou cutãs estão disseminados por toda a lâmina, concentrando-se localmente nas paredes dos vazios e às vezes preenchendo-os totalmente; em certos locais como o da fotomicrografia n. 5, pode-se observar cutãs internamente diferenciados, em camadas finas sobrepostas (microlitos), o que atesta o mecanismo de movimentação e acúmulo progressivo das argilas, característica típica de horizontes B texturais ou argílicos, como mostram ESWARAN (1972), FEDOROFF & ESWARAN (1985).

O horizonte de superfície desse solo, o A1, mostra uma organização bastante diferenciada. A cor dos agregados é vermelho escura. Pequenos grãos subangulosos de quartzo e minerais opacos encontram-se dispersos na matriz S. A porosidade é importante nesse horizonte, perfazendo mais de 50% em termos de área na lâmina. São de dois tipos: os mais representativos são os poros de empilhamento composto (CURI et alii, 1985), de formas irregulares e tamanhos variados, que separam os agregados estruturais; em segundo lugar tem-se os vazios intrapedais, representados por poros aplainados, que cortam cada unidade microestrutural de um lado a outro.

Quanto ao plasma, este está organizado em pedis vermelho-escuros de formas arredondadas, ovóides ou circulares, de contornos nítidos e separados uns dos outros pelos amplos poros de empilhamento, fotomicrografia n. 6

A nível macroscópico, de campo, essa estruturação foi classificada como grumosa, sendo sua origem mais provável a biológica, FEDOROFF, N. (*). A estrutura plásmica é isótica. Como estruturas associadas identificaram-se alguns revestimentos argilosos em torno dos microagregados estruturais.

Para o perfil situado no topo do relevo (AS), notou-se, para o horizonte de profundidade B2 uma coloração vermelho escura. O esqueleto é representado por pequenos grãos subangulosos de minerais opacos e raros cristais de quartzo. A distribuição relativa seria porfirogrânica; entretanto a dominância absoluta do plasma em detrimento do esqueleto permite classificá-la como uma distribuição plásmica, CHAUVEL, A. (*). O alto percentual de vazios (>50%), representados por poros de empilhamento composto, confirma a alta porosidade deste horizonte constatada no campo. O plasma, de cor vermelho escura, está organizado em micro-peds arredondados que se coalescem, mostrando estrutura plásmica isótica; essas feições são características para latossolos, GONÇALVES (1987), CARDOSO DE LIMA & ESWARAN (1987). Não se identificaram estruturas associadas.

Para o horizonte de superfície desse solo, a cor vermelho escura predomina. Pequenos grãos de quartzo e opacos subangulosos estão disseminados na matriz, a qual

* FEDOROFF, N. (Institut National Agronomique/Grignon/

France) Comunicação pessoal, 1989

* CHAUVEL, A. (INPA/Manaus) Comunicação pessoal, 1989

pela sua abundância permite classificar a distribuição relativa entre grãos e plasma como sendo do tipo plásmica. A porosidade é mantida por poros de empilhamento, notando-se também canais longos e interconectados. O plasma vermelho escuro é isótico e descontínuo. Nódulos ferruginosos arredondados e raros revestimentos argilosos foram observados como estruturas associadas.

5.3.4.3. Microscopia eletrônica

Para a Região Sul foram observadas amostras de solos, da rocha intacta e de um fragmento de rocha básica alterada situado no horizonte C do solo de sopé de encosta.

A rocha

Amostras de rocha da Região Sul foram observadas em M.E.V. Apesar de macroscopicamente parecerem intactas, a microscopia eletrônica revelou processos de alteração nessas rochas. Alguns cristais de plagioclásio, por exemplo, mostram fraturas basais bem desenvolvidas, além de figuras de dissolução em suas faces.

O piroxênio, outro importante componente mineralógico dessa rocha, também já mostra aspectos de intemperismo, revelando processos de alteração química ao longo de seus planos de clivagem. A caracterização desses minerais foi confirmada pela microanálise química.

O córtex de alteração

A passagem da rocha considerada macroscopicamente intacta, de cor cinza escura e maciça, para um material de consistência friável e cor amarela (córtex de alteração), pode também se dar como nos fácies "em bolas" da Região Norte, de maneira brusca, no espaço de alguns centímetros, figura 37.

Figura 37 . Esquema de um fragmento de rocha básica da Região Sul mostrando a camada intemperizada (córtex de alteração) em contato com a rocha intacta.

Amostras desse córtex de alteração foram estudados em M.E.V., revelando uma paragênese de caulinita e gibsita, com predomínio do primeiro mineral.

O tamanho extremamente reduzido da caulinita, entretanto, não permite a observação individualizada dos cristais fundamentais, os quais se organizam em agregados

cristalinos de aparência maciça.

A gibbsita é outro mineral importante desse córtex de alteração, o qual se apresenta como grandes e bem desenvolvidos cristais prismáticos de base hexagonal, fotomicrografia n. 10. Nessa foto o cristal de gibbsita se mostra seccionado pelos planos basais de clivagem, revelando um avançado estágio de intemperização física.

Uma feição interessante observada para o córtex de alteração das rochas básicas da Região Sul foi uma distribuição de "bolas" com diâmetro médio de 1 micron e composição química predominantemente ferrífera, às vezes também com alumínio associado. Tal feição não foi possível classificar mineralogicamente, a qual parece também ter sido observada por ESCHENBRENNER (1988) em M.E.V., que denominou-a produto ferruginoso não identificado.

A alterita

Na Região Sul, a existência de um solo litólico no sopé da encosta permitiu a amostragem das alteritas (horizontes C) desse solo, material importante para se estudar a transição rocha-solo. O prosseguimento do intemperismo mineralógico nesse material leva à formação de interessantes feições observadas ao microscópio eletrônico.

Podem-se observar complexos arranjos mineralógicos de alta porosidade, cujas estruturas são mantidas por um material de composição sílico-aluminosa, às vezes recoberto por ferro. Trata-se de organizações em

"box-work", provavelmente resultantes do processo de alteração de plagioclásio. Como sugerido pelos estudos de microscopia ótica, o plagioclásio pode se alterar, na profundidade do horizonte C, em gibbsita ou caulinita, essa última / mostrando-se geralmente em grandes agregados cristalinos de estrutura maciça.

O quartzo já se torna mais comum na alterita, tendo sido observado em M.E.V. no horizonte C do solo litólico.

Os solos

Através da microscopia eletrônica de transmissão (M.E.T.) foi possível a identificação morfológica de alguns minerais presentes nos solos da Região Sul, aliada à sua caracterização química.

A caulinita, dependendo de sua orientação em relação à direção do corte da lâmina, pode-se apresentar ora como hexágonos de granulometria variável e coloração mais clara, ora como prismas de cor cinza escura. O óxido de ferro se mostra como cristais isolados opacos ou em agregados. Alguns cristais cúbicos de titânio também são identificáveis. Na figura 38 tem-se a microanálise química global para o horizonte B textural da Terra Roxa Estruturada da Região Sul.

Além dos altos teores em ferro e oxigênio (relativos aos óxidos de ferro), e do silício e alumínio

(caulinita), notam-se alguns picos de potássio, cálcio, bismuto, cloro, titânio e manganês .

Figura 38. Microanálise do horizonte B textural da
Região Sul

Para o horizonte óxico do Latossolo Roxo da Região Sul pode-se avaliar a importância da porosidade, mantida graças ao arranjo entre os cristais hexagonais de caulinita e os micro-agregados cristalinos de goethita, (fotomicrografia n. 11).

Apesar de não detectada nos difratogramas de raios X, provavelmente devido, segundo DIXON (1982), às suas características estruturais desordenadas e curvas, identificou-se a haloisita no horizonte superficial do solo de sopé da encosta da Região Sul, fotomicrografia n. 12.

Esse mineral apresenta arranjo estrutural complexo, mas é possível reconhecer na foto organizações tubulares, nas quais as lâminas se dispõem de forma concêntrica. É possível observar várias "fases" de organização das lâminas, as quais se mostram dispostas como "pacotes" laminares alongados e retilíneos, passando por uma fase levemente curva, até o fechamento completo das lâminas na forma de círculos concêntricos.

5.3.5. Dinâmica atual dos solos: resultados experimentais

5.3.5.1. Minerais teste

a. Caracterização química

Na tabela 10 mostram-se os resultados químicos dos minerais teste instalados na Região

Tabela 10 Resultados das análises químicas dos minerais teste instalados na Região Sul,
após um ano no solo (referente as épocas seca e chuvosa acumuladas)

HOR.	PROF. INSTAL.	pH	COMPLEXO SORTIVO							C
			Ca++	Mg++	Na+	K+	H+	Al+++	CTC	
cm			-----eqmg/100gmaterial -----							%
Latossolo Roxo (perfil AS)										
AB	20	7,2	0,43	21.19	0.14	0.08	0.41	0.02	22.27	0.08
Bw	160	7,3	0,74	28.67	0.10	0.04	0.57	0.05	30.17	0.07
Terra Roxa Estruturada (perfil BS)										
A1	10	7,4	4,29	24.51	0.13	0.45	0.42	0.02	29.82	0.12
A3	60	7,5	0,60	19.56	0.12	0.07	0.29	0.02	20.66	0.07
Bt1	100	7,3	1,28	26.79	0.14	0.05	0.30	0.01	28.57	0.09
Bt2	200	7,1	1,44	26.78	0.10	0.06	0.46	0.04	28.88	0.07
Solo Litolico (perfil CS)										
A1	15	7,3	3,03	23.79	0.13	0.08	0.36	0.07	27.46	0.06
C1	80	7,8	2,34	21.87	0.12	0.31	0.46	0.04	25.14	0.08
TESTEMUNHO (mineral inicial)										
		7,3	1,97	44,33	0,12	0,05	0,21	0,03	46,71	0,11

HOR. : horizonte de instalação do mineral teste

PROF.INSTAL.:profundidade de instalação do mineral teste

CTC:capacidade de troca de cations

Sul do Brasil; como na Região Norte essas "armadilhas" permaneceram por um ano no solo, sofrendo os efeitos de uma estação seca e uma estação chuvosa acumuladas. Os resultados obtidos para o testemunho (mineral inicial) são repetidos na parte inferior da tabela por conveniência na apresentação dos resultados.

Destaca-se a diminuição, pela metade, da CTC para o mineral teste instalado, a diminuição do magnésio adsorvido, também por um fator de dois, e o aumento relativo do hidrogênio retido pelas vermiculitas, o qual, em média, dobrou para todos os solos da sequência.

Quanto aos outros elementos, o cálcio mostrou comportamento variável, tendo empobrecido nos sítios de troca dos minerais teste instalados no solo de topo da encosta (Latossolo Roxo); para a Terra Roxa Estruturada da meia encosta, esse cátion foi bastante retido no horizonte A1, tendo entretanto empobrecido no complexo de troca dos horizontes mais profundos. O sódio, o potássio, o alumínio e o carbono total não mostraram variações marcantes em comparação com o mineral inicial, o mesmo acontecendo com o pH em água. A figura 39 procura evidenciar esses resultados.

Para as vermiculitas instaladas nos solos da Região Sul determinou-se também ferro, alumínio e silício, usando-se os métodos de MEHRA e JACKSON (1960) e TAMURA (1957), tabela 11.

Para os dois métodos de extração e para os dois solos estudados constatou-se uma pequena diminuição de ferro e silício adsorvidos nos sítios de troca dos minerais teste com relação ao testemunho. Tal fato não se

Figura 39. Variação da CTC e dos principais cátions adsorvidos nos minerais teste instalados na Região Sul, em relação ao testemunho

verificou com o alumínio extraído pelo método de MEHRA e JACKSON (1960), o qual se manteve em percentual relativamente estável, sendo que para o alumínio extraído pelo método de TAMURA (1957) houve uma ligeira redução quanto ao mineral inicial. Entretanto essas variações não

devem ser encaradas como significativas.

Tabela 11. Resultados das dosagens complementares* de ferro, alumínio e silício para as vermiculitas (testemunho e minerais teste) instaladas em alguns solos da Região Sul

HORIZ.		-----Metodo CBD-----			-----Metodo Tricitrato-----		
PROF.		Fe	Al	Si	Fe	Al	Si
cm		%					
Solo Litolico							
A1	15	0,60	0,42	0,16	0,22	0,12	0,45
C1	80	0,59	0,43	0,16	0,22	0,12	0,48
Terra Roxa Estruturada							
A1	10	0,82	0,52	0,12	0,22	0,13	0,44
A3	60	0,63	0,51	0,19	0,26	0,14	0,55
Bt1	100	0,66	0,43	0,16	0,24	0,13	0,46
Bt2	200	0,71	0,49	0,15	0,24	0,13	0,47
Testemunho							
		0,74	0,50	0,20	0,30	0,14	0,64

*: usando-se os metodos citrato-bicarbonato-ditionito (CBD) de MEHRA & JACKSON (1960) e tricitrato de sodio, de TAMURA (1957)

b. Caracterização mineralógica

Na figura 40 tem-se os difratogramas obtidos para os minerais teste instalados na Região Sul; por conveniência para comparação repetiu-se os difratogramas do mineral inicial (testemunho).

Para a Região Sul, além do horizonte B latossólico de topo e dos horizontes A1 e Bt2 da Terra Roxa Estruturada de encosta, monitorou-se também o solo litólico

do sopé, através de seus horizontes A1 e C1. Entretanto,

Figura 40. Difrátogramas de raios X das vermiculitas instaladas na Região Sul, em comparação

ao mineral inicial (testemunho)

para o horizonte B latossólico e para os horizontes do solo litólico não foi possível se obter resultados dos tratamentos com Mg^{++} e glicolação, devido à problemas de falta de material, já que a necessidade de repetição de algumas análises químicas consumiu parte do material destinado para observação aos raios X.

Inicialmente, para o horizonte B latossólico da Região Sul, já se notam variações no tratamento com K^+ a $25^{\circ}C$ em comparação ao testemunho, no qual os picos se encontram a 1,52 nm e 1,38 nm. Apesar de não se ter os tratamentos com Mg^{++} , os aquecimentos possibilitaram a visualização de outras modificações estruturais nos minerais instalados; a $350^{\circ}C$ um pico a 1,49 nm se manteve, sendo que o fechamento da maior parte das lâminas do mineral se deu a 1,33 nm. Mesmo a $550^{\circ}C$ permaneceu um pequeno pico a 1,52 nm, a maior parte das lâminas se fechando a 1,26 nm.

Para a Terra Roxa Estruturada o horizonte B textural não imprimiu variação no mineral teste tratado com K^+ a $25^{\circ}C$ e Mg^{++} , em relação ao testemunho; mesmo na glicolação a variação de espaçamento de 1,47 nm (testemunho) para 1,44 nm nesse solo parece não ser significativa. Entretanto, os aquecimentos mostraram diferenças, na persistência de um pico a 1,4 nm, acompanhando picos a 1,17 nm (a $350^{\circ}C$) e a 1,09 nm (a $550^{\circ}C$). Para o horizonte superficial dessa Terra Roxa

Estruturada da Região Sul a saturação com K^+ a $25^{\circ}C$ já mostrou deslocamento para picos a 1,47 nm e 1,28 nm. Na saturação com Mg^{++} não se detectou variação, sendo que na glicolação um pequeno deslocamento do pico de 1,47 nm (testemunho) para 1,42 nm nesse horizonte parece não ser significativo. No aquecimento a $350^{\circ}C$ dois picos bem marcantes a 1,47 nm e 1,22 nm se diferenciam do espaçamento a 1,26 nm do testemunho para esse tratamento. E a $550^{\circ}C$, apesar do espaçamento praticamente semelhante ao testemunho a 1,17 nm, nota-se um pequeno pico diferenciador a 1,31 nm.

Para o solo Litólico de sopé da encosta nota-se que os minerais teste instalados no horizonte A1 e saturados com K^+ a $25^{\circ}C$ não sofreram modificação estrutural em relação ao mineral inicial. Já os aquecimentos denotaram mudanças: picos únicos a 1,38 nm (a $350^{\circ}C$) e 1,22 nm (a $550^{\circ}C$) mostram um provável bloqueio que impediu o mineral de se fechar a 1,1 nm como aconteceu para o testemunho em ambas as temperaturas.

Para o horizonte C1 desse solo, o tratamento com K^+ a $25^{\circ}C$ revelou um pico único a 1,47 nm. O aquecimento a $350^{\circ}C$ mostrou dois picos: um mais representativo a 1,21 nm e outro a 1,47 nm, uma diferenciação bem marcante com relação ao testemunho (pico a 1,16 nm). Já a $550^{\circ}C$ não houve variação com relação ao testemunho.

Os resultados obtidos estão esquematizados

na figura 41.

Figura 41. Comportamento dos picos principais dos minerais teste instalados nos diversos horizontes dos

solos da Região Sul

5.3.5.2. Resina trocadora de íons

Para as resinas catiônicas instaladas na Região Sul e analisadas após extração com HCl 0,05 N (para Ca^{++} , Mg^{++} e K^{+}) e KCl (H^{+} e Al^{+++}) os resultados estão na tabela 12.

Tabela 12. Resultados das dosagens químicas para as resinas cationicas instaladas na Região Sul, após um ano no solo
extração com HCl 0,05 N para Ca, Mg e K, e KCl para H e Al

HORIZ.	PROF.	Ca++	Mg++	K+	H+	Al+++
	cm	-----eqmg/100g material-----				
Latossolo Roxo (AS)						
AB	20	0,20	0,10	0,30	2,30	1,26
Bw	160	0,07	1,01	0,14	1,42	0,52
Terra Roxa Estruturada (BS)						
Ai	20	0,13	0,06	2,05	0,90	0,20
Bti	100	0,07	3,21	0,14	0,86	0,32
Solo Litolico (CS)						
C1	80	0,14	0,14	0,07	0,76	0,17

Para os tres solos da sequência, nota-se uma maior "circulação" de hidrogênio, o qual é mobilizado de maneira descendente na seguinte ordem, para os solos estudados: Latossolo Roxo>Terra Roxa Estruturada>Solo Litólico. Nota-se para a Terra Roxa Estruturada uma

mobilização relativamente alta do potássio (2,05 eqmg/100g material) em superfície, assim como o magnésio (3,21 eqmg) em profundidade. O alumínio no horizonte AB do Latossolo Roxo, assim como o magnésio no horizonte óxico do mesmo solo apresentaram teores acima de 1 eqmg. Para os demais horizontes, as quantidades dos cátions adsorvidos pelas resinas foram sempre inferiores a 1 eqmg/100g material.

5.4. Região Sul: discussão

5.4.1. O sistema pedológico da Região Sul

As características ambientais onde se insere o sistema pedológico da Região Sul podem ser vistas na tabela 1. Para essa região foram definidos seis volumes pedológicos, os quais serão descritos a seguir.

5.4.1.1. Macro e micro-organização morfológica dos volumes pedológicos

Na figura 42 se encontra a disposição dos volumes pedológicos ao longo da encosta da Região Sul.

Para essa área as organizações pedológicas representadas pelos horizontes B textural e B latossólico, dividem a predominância em volume no sistema como um todo.

a) Horizonte B latossólico

O volume latossólico ocupa a maior parte da

Figura 42. Organização pedológica ao longo da vertente da Região Sul

cobertura pedológica de topo da encosta, com espessura mapeada de 150 cm. Mostra-se friável com cor vermelho escura (10 R 3/6) e estruturação micro-granular com aspecto de maciça porosa in situ. Está sotoposto por transição gradual somente ao volume superficial, o qual será definido à frente.

O volume representado pelo horizonte B latossólico é bastante homogêneo, o que é característico dos materiais latossólicos, VOLKOFF (1984-1985).

A micromorfologia revelou para esse volume um plasma isótipo, caracterizado por micro-peds arredondados coalescentes, como também observaram CARDOSO DE LIMA & ESWARAN (1987); estão separados entre si por um alto percentual de poros de empilhamento composto. Grãos de opacos subangulosos e raros cristais de quartzo constituem o esqueleto, definindo uma distribuição relativa plásmica (CHAUVEL, A. *), devida à dominância quase absoluta da massa argilosa sobre o esqueleto.

Feições pedológicas não foram identificadas nesse volume pedológico, talvez devido ao mascaramento por óxidos de ferro, BREWER (1976).

b) Horizonte B textural

O outro volume de igual importância ao anteriormente descrito para o sistema do sul está representado pelo horizonte B textural, o qual se dispõe predominantemente em profundidade na meia encosta. Está separado do volume superior por transição difusa e sobreposto ao volume inferior por transição gradual.

Sua cor é vermelho escura (10 R 3/6), apresentando macroscopicamente estrutura prismática predominante e cerosidade forte.

* CHAUVEL, A. (INPA/Manaus) Comunicação pessoal, 1989

A micromorfologia mostra um plasma isótico contínuo, mas recortado por fissuras e fendas que se unem através de câmaras. O esqueleto é representativo com cristais dispersos de quartzo subanguloso e opacos xenomórficos. As estruturas associadas são marcantes, tendo sido observados nódulos ferruginosos arredondados vermelho escuros e cutãs de vazios na forma de microlitos, fotomicrografia n. 5, que são indicativos claros de movimentação e acúmulo progressivo de argilas, FEDOROFF e ESWARAN (1985).

c) Horizonte A

O terceiro volume pedológico em importância da Região Sul é o horizonte A, o qual ocorre em superfície ao longo de toda a encosta, com espessura média em torno de 50 cm.

Mostra coloração uniforme bruno avermelhada escura (2,5 YR 3/3) e estruturação em grumos arredondados, fotomicrografia n. 6, característico de retrabalhamento biológico, FEDOROFF, N. (*). No sopé da encosta esse volume se enriquece de blocos e fragmentos de rochas básicas intemperizadas, originados provavelmente das alteritas que se encontram próximas à superfície.

A micromorfologia revelou um plasma isótico descontínuo, com micropeds arredondados de origem

* FEDOROFF, N. (Institut National Agronomique/Grignon France) Comunicação pessoal, 1989

biológica. O esqueleto possui pequenos e poucos grãos de quartzo subanguloso e opacos subarredondados, fato que, segundo SUGUIO (1973), é uma possível evidência de retrabalhamento incipiente.

A porosidade é alta, com vazios de empilhamento, às vezes aplainados. Estruturas associadas como nódulos arredondados e raros cutãs só foram identificados na porção de topo da encosta desse volume, provavelmente devido ao mascaramento pelos óxidos de ferro ao longo da encosta, BREWER (1976).

d) Horizonte C

No sopé da encosta, sotoposto ao horizonte A e dele separado por transição clara encontra-se o volume pedológico representado pelo horizonte C. É um volume contínuo mas de estruturação complexa, formado por fragmentos arredondados e coalescentes, com exfoliação esferoidal, tendendo à uma estruturação maciça em profundidade, com cor amarelo-avermelhada (7,5 YR 6/6). Ocorrem intercalações de material friável com estrutura em blocos e coloração bruno avermelhada escura (2,5 YR 3/4), o qual parece representar o início da pedoplasmação, processo descrito por FEDOROFF et alii (1985) para outros materiais.

Esse volume é na verdade a alterita da rocha básica dessa região, concordando com GONÇALVES (1987), que também trabalhou com esse tipo de material, para o qual a

micromorfologia mostrou processos de pseudomorfismo na alteração intempérica, e incipiência na formação de vazios e plasma.

e) Camada com mosqueamento

Uma camada com mosqueamento situada em profundidade na meia encosta foi separada como um outro volume pedológico, devido às suas características macroscópicas singulares de cor bruno escura (7,5 YR 3/4) e mosqueado amarelo-laranja (10 YR 8/8), além de sua estruturação com aspecto maciço e quebradiço.

Pela micromorfologia, fora as diferenças de coloração devidas aos processos descritos por BOUMA (1983) como de oscilação do lençol freático, as outras características são semelhantes ao horizonte B textural.

f) Liteira

O último volume definido para a Região Sul está representado pela liteira (horizonte orgânico), que ocorre ao longo da meia encosta e se sobrepõe, em contato abrupto, ao volume do horizonte A. Tem espessura de apenas 4 cm e coloração escura, com predomínio absoluto de uma material fino (<2mm) em sua composição, o qual apresenta percentual de 61% em peso.

5.4.1.2. Relação entre os volumes pedológicos e a evolução geomorfológica

Com base nas observações de BOULET et alii

(1982), e com o apoio da geomorfologia, é possível se fazer algumas inferências iniciais sobre o sistema pedológico da Região Sul.

O relevo local, caracterizado por planaltos entremeados por formas onduladas, MAACK (1981),¹ mostra topos que constituem testemunhos de uma antiga superfície de aplainamento esculpida, segundo LIMA (1979), ao final do Terciário e início do Quaternário; esse peneplano era mantido, segundo VOLKOFF (1984-1985) por uma cobertura latossólica muito evoluída, a qual foi dissecada pelo entalhe dos rios, iniciando a formação de solos com horizonte B textural nas encostas, como mostra SANCHEZ (1981), para outras áreas tropicais, processo esse desencadeado pelo fluxo lateral da água, o qual, segundo MONIZ & BUOL (1982) origina uma estruturação mais desenvolvida a partir da coalescência da estrutura microgranular dos latossolos.

A disposição espacial dos volumes pedológicos da Região Sul pode ser usada, segundo LUCAS (1989) para confirmar essa evolução geomorfológica, onde o antigo platô latossólico, remanescente na cobertura pedológica do topo da vertente está sendo paulatinamente substituído na encosta por um material com estruturação mais desenvolvida (horizonte B textural), a qual entretanto ainda é relativamente pouco representativa em termos do sistema como um todo, ocupando apenas a meia encosta da

cobertura pedológica.

É inevitável a comparação desse volume estruturado com o correspondente da Região Norte, o qual, naquela área, ocupa toda a parte média e inferior da encosta, já inclusive "invadindo" a parte de topo da cobertura pedológica daquela região.

A proximidade da superfície do volume de alterita, além da maior espessura do horizonte A da Região Sul, também podem ser considerados como indícios, com base nas afirmações de BIRKELAND (1974), de que o sistema da Região Sul está num estágio evolutivo inferior em comparação ao sistema amazônico.

Assim, também para a Região Sul admite-se a hipótese do sistema estar em transformação, LUCAS (1989), com a substituição progressiva do volume latossólico por um material mais estruturado, representado pelo horizonte B textural, através do mecanismo de regressão das encostas, como mostraram SOUBIES & CHAUVEL (1984-1985) para sistemas semelhantes.

5.4.1.3. Variação das características físicas e químicas no sistema pedológico

A figura 28 mostra o comportamento dos teores de areia, silte e argila ao longo do sistema pedológico da Região Sul. Nota-se uma distribuição gradual, na qual as invaginações características dessas isolinhas se sucedem de maneira regular, sem zonas de acúmulo ou de empobrecimento localizados ao longo da encosta.

As curvas de isoteores para as tres subfrações mostram coerência com os volumes pedológicos definidos, ou seja: os maiores teores de argila, e consequentemente os menores percentuais de silte e areia, estão localizados no volume latossólico, o que é devido certamente ao avançado estágio intempérico desse material pedológico, como colocado pelo SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984) e LIMA (1979).

A medida que se desce na encosta observa-se um aumento nos teores de silte e areia, ao mesmo tempo que diminuem os percentuais de argila. Isso pode ser explicado pelo fato de que no sopé da encosta os processos pedogenéticos estão incipientes, com a presença de alteritas e ausência de horizontes B, fato que segundo GONÇALVES (1987) e o SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (1984), condicionam um baixo teor de argila e percentuais mais elevados de areia e silte.

LUCAS (1989) constatou um padrão semelhante para o comportamento das curvas de isoteores de argila de um sistema pedológico da região amazônica, atribuindo a essa feição uma das evidências de um sistema de transformação de um material latossólico no topo da encosta para um material podzolizado situado no sopé.

A densidade do solo mostrou-se com valor uniforme ao longo do volume superficial (horizonte A), com 1,2 g/cm³. Sua diminuição vertical relativa na cobertura

pedológica do topo da encosta pode ser explicada pelo material com maior porosidade e plasma descontínuo do material latossólico ali presente. Já o aumento vertical relativo em profundidade no volume da encosta é provavelmente devido ao material mais estruturado e denso do horizonte B textural.

As curvas de isoteores confeccionadas para as características químicas selecionadas da Região Sul parecem indicar que a matéria orgânica tem uma influência relativa, principalmente nos teores de bases e CTC dos volumes pedológicos estudados, sendo também relevante o papel do ambiente intempérico.

Observando-se a figura 31 e confrontando-a com as isolinhas das características químicas, nota-se que:

1. para o volume pedológico representado pelo horizonte B textural, observa-se que o percentual de carbono orgânico, apesar de uma queda gradual em profundidade, ainda mantém percentuais da ordem de 1% a 2 metros; essa matéria orgânica, aliada a um ambiente lixiviante menos agressivo é provavelmente a responsável pelos altos valores da CTC e do valor S ao longo desse volume pedológico, como explicaram GOLLEY et alii (1978) e MARTINS (1987);
2. para o volume latossólico, apesar da manutenção de um razoável teor de carbono orgânico mesmo em profundidade, a CTC e a soma de bases apresentam os menores valores do sistema da Região Sul; isto pode ser talvez explicado pela preponderância da agressividade intempérica dos ambientes oxídicos, como mostrou BIRKELAND (1974), sobre a capacidade de retenção

dos compostos orgânicos, devido à uma alta taxa de lixiviação dos cátions básicos que acontece nesse tipo de solo.

O decréscimo gradual do pH em água e KCl em direção jusante do sistema explicar-se-ia também pelas características geoquímicas dos ambientes pedológicos do sistema, a saber, mais agressivo e lixiviante na cobertura de topo, e com tendência a uma maior concentração em cátions básicos nos volumes inferiores da sequência, devido à proximidade do material de origem e menor grau evolutivo do material pedológico, como exemplificou HALL (1984) para solos semelhantes.

Entretanto, o papel da matéria orgânica como influenciadora das características químicas na Região Sul é também importante, como mostram os valores relativamente altos de estoque de carbono acumulado desse elemento ao longo dos volumes pedológicos dessa área.

5.4.1.4. Mineralogia da cobertura pedológica

Para a Região Sul a observação em M.E.V. de uma amostra de rocha considerada macroscopicamente como "intacta", já mostrou sinais de alteração intempérica, como figuras de dissolução e neo-formação de argilo-minerais nas faces de cristais de plagioclásios e nos planos de clivagem de piroxênios, ROISENBERG et alii (1984).

O prosseguimento da intemperização desses minerais, bem visível nas camadas de alterita, mostrou que o **pseudomorfismo** é o mecanismo principal, GLASMANN e SIMONSON (1985). No horizonte C1 da alterita pode-se observar a substituição isomórfica do plagioclásio pela caulinita radial e/ou acicular, fotomicrografia n. 4.

Também a gibbsita microcristalina pseudomorfisa o plagioclásio, como acontece no horizonte C2 da alterita da Região Sul, ao passo que o piroxênio é predominantemente substituído por uma massa ferruginosa de cor vermelha.

Estruturas em "box-work" sílico-aluminoso

também foram identificadas, as quais mantêm a forma original dos feldspatos no processo de pseudomorfização.

A gibbsita pode atingir vários microns de tamanho, na forma de prismas hexagonais, como acontece com o espécime presente em um córtex de alteração da rocha básica do sul, fotomicrografia n. 10, na qual esse mineral entretanto se mostra em processo de desagregação física ao longo de seus planos de clivagem basal. Não se encontrou explicação para o desenvolvimento desses macro-cristais, os quais entretanto são comuns nesse tamanho nos trabalhos consultados de KOUNESTRON (1976) e ILDEFONSE (1987).

A identificação de quartzo subanguloso pela M.E.V. nas camadas de alterita, em íntima associação com agregados caulíníticos, constitui-se em um argumento favorável à origem autógena desse mineral no sistema da Região Sul, o qual pode ter se formado por processos deutéricos, já que o intercrescimento quartzo-feldspático é uma evidência da gênese desse mineral no resíduo final da cristalização dos basaltos da região, como atestam ROISENBERG et alii (1984) e LEMOS & VILLAS (1983).

Além da caulinita, gibbsita e quartzo, as camadas de alterita mostraram vermiculita aos raios X, a qual se comporta como aluminosa, conforme procedimentos de identificação propostos pela EMBRAPA (1984) e BARNHISEL (1982), já que mesmo a 550°C seu espaçamento não "fecha" a 1,0 nm, mantendo-se mesmo àquela temperatura a 1,1 nm. A

proveniência dessa vermiculita é provavelmente hidrotermal, devido à não identificação de mica no sistema, e à evidência de atuação de mecanismos de alteração pré-meteorica nas rochas da área, como também observaram ROISENBERG et alii (1984).

Para o material pedoplasmado (solo) que compõe os demais volumes da Região Sul, a mineralogia sofre algumas modificações em relação ao volume de alterita.

Constatou-se o predomínio de **caulinita e hematita**, seguidos por **vermiculita, gibbsita, opacos, quartzo e haloisita**.

Caulinita é comum tanto na fração argila como no silte, sendo em mineral altamente disseminado em solos de rochas básicas do Brasil, GALHEGO e ESPINDOLA (1979), ANDRADE et alii (1976). Como para a Região Norte, esse mineral foi revelado ao M.E.T. como de baixa cristalinidade, reduzido tamanho e organização em agregados mal orientados, como também observou PEDRO (1987), os quais parecem não ter o ferro como agente cimentante de suas partículas, fotomicrografia n. 11.

A difratometria de raios X das frações silte e argila mostrou que a **hematita** é o óxido de ferro predominante nos solos estudados de rochas básicas da região, concordando com os trabalhos de MELFI et alii (1979) e POMBO et alii (1982).

Entretanto, sabe-se que hematita pode ocorrer associada à goethita, sendo impossível diferenciá-

las quanto à forma mesmo em M.E.T., pois ambas podem se apresentar como partículas subarredondadas e isodimensionais, SCHWERTMANN & KAMPF (1985). Assim, na fotomicrografia n. 11, podem-se observar os agregados ferríferos de cor escura formados por partículas subarredondadas, as quais admite-se tratar de um material predominantemente hematítico, com base também nos resultados dos difratogramas de raios X e nas cores mais avermelhadas dos solos do sul, como constatarem CURI & FRANZMEIER (1984).

Também para os solos da Região Sul a **vermiculita** é **aluminosa**, EMBRAPA (1984), cujo pico de aproximadamente 1,1 nm a 550 °C atesta razoável preenchimento interfoliar por polímeros de alumínio, BARNHISEL (1982), o que confere alta estabilidade a esse mineral de acordo com MÖLLER & KLAMT (1982).

A **gibbsita** também está disseminada nas frações silte e argila dos volumes pedológicos da Região Sul. Pela intensidade de seus picos pode-se inferir sua tendência à uma maior concentração no volume latossólico daquela área, o que está coerente com a noção geralmente aceita de que os materiais latossólicos, em comparação por exemplo com os horizontes argílicos, são bem mais intemperizados, propiciando lixiviação parcial da sílica e a conseqüente concentração dos óxidos de alumínio e ferro, mecanismo descrito por BESOAIN (1985).

Apesar de ter sido constatada a origem da **gibbsita** através do pseudomorfismo dos feldspatos, seu enriquecimento em direção aos solos mais intemperizados deve estar ligado, como demonstraram MOLLER & KLAMT (1983), a um empobrecimento da solução do solo em sílica, o que pode ser creditado tanto à lixiviação marcante como à diminuição do quartzo naqueles solos, o qual funcionaria como fornecedor de sílica à solução segundo GOEDERT et alii (1975).

Quartzo subangular foi identificado em pequenas proporções nas frações grosseiras da alterita até os horizontes superficiais dos solos, ou seja, em todos os volumes do sistema do sul.

A difratometria de raios X não detectou esse mineral na fração argila, existindo, segundo WILDING, SMECK & DREES (1982), duas hipóteses para explicar isso: 1. dissolução, e 2. impossibilidade do intemperismo físico para atingir essa granulometria. Entretanto, a M.E.V. denotou quartzo já no volume de alterita, enquanto a microscopia ótica evidenciou esse mineral em todos os outros volumes pedológicos, mas em pequenas quantidades e tamanhos; notou-se uma diminuição na concentração desse mineral no volume latossólico.

A presença de quartzo na alterita e em todos os solos estudados, sua forma subangulosa e a possibilidade de uma silicificação secundária, como propuseram LIMA (1979), QUEIROZ & KLAMT (1985) e SINGER (1966), apontam

para uma origem **autígena** desse mineral no sistema pedológico da Região Sul.

Apesar de não ter sido identificado na lâmina petrográfica da rocha básica da área, provavelmente devido à sua alta dispersão naquele material e ao exame de apenas duas lâminas, as evidências encontradas, com base em BIRKELAND (1974) parecem indicar tratar-se de um mineral não-transportado, o que sugere o desenvolvimento de solos autóctones na área. Entretanto, um aprofundamento das pesquisas seria necessário e interessante para conclusões definitivas sobre esse tema.

A M.E.T. permitiu identificar **haloisita** tubular na porção do volume pedológico representado pelo horizonte situado no sopé da encosta, fotomicrografia n. 12. A morfologia observada sugere que os tubos se originaram pelo enrolamento de lâminas, como também observou DIXON (1982) para esse tipo de mineral, sendo que aos raios X ele apareceu com espaçamento de 0,7 nm, tratando-se provavelmente de **metahaloisita**, citada por BESOAIN (1985).

A ocorrência de haloisita é comum em solos jovens de rochas básicas, GALHEGO & ESPÍNDOLA (1979), sendo sua origem relacionada diretamente a essas rochas por alguns autores. Outra hipótese é sua evolução a partir da caulinita, como demonstraram KITAGAWA & MOLLER (1979), CHURCHMAN et alii (1984), podendo ocorrer instabilidade

desse último mineral em condições superficiais, em relação à uma dinâmica diferenciada de água e à presença de matéria orgânica, ROBERT, M. (*)

5.4.1.5. Dinâmica atual do sistema

O uso dos métodos do mineral teste e da resina catiônica mostrou características gerais do funcionamento atual do sistema pedológico da Região Sul.

Os resultados químicos obtidos com a resina, considerados como uma amostra da solução do solo, BINKLEY (1984), revelou principalmente uma mobilização de **hidrogênio**, o qual "circula" mais no volume latossólico, em seguida na camada B textural e finalmente no volume de alterita, o que está coerente com os ambientes intempéricos desses materiais, os quais foram descritos por BIRKELAND (1974) e ANDRADE et alii (1976).

O comportamento químico e mineralógico dos minerais teste instalados no sul mostrou-se complexo, tendo sido entretanto possível fazer considerações sobre as **tendências** de funcionamento atual do sistema daquela região.

Pela química observou-se um **abaixamento** da CTC dos minerais teste instalados, tendo os sítios de troca permanecido predominantemente preenchidos por **magnésio**,

* ROBERT, M. (INRA/Science du Sol/Versailles/France)

figura 39. Notou-se tendência de enriquecimento superficial do sistema em cálcio, devido provavelmente à ciclagem biológica, GOLLEY et alii (1978).

As modificações estruturais sofridas pelos minerais teste instalados foram complexas; entretanto tentou-se separá-las em dois padrões distintos: 1. as que ocorreram no volume representado pelo horizonte B textural e no horizonte superficial do solo litólico (parte do volume representado pelo horizonte A situado no sopé da encosta), e 2. as que se manifestaram no volume latossólico, no volume de alterita e no horizonte superficial da Terra Roxa Estruturada (parte do volume representado pelo horizonte A situado na meia encosta).

No primeiro caso pode-se dizer que houve uma **manutenção** das características de espaçamento da vermiculita testemunho saturada com K⁺ a 25 °C; a diferença recai nos aquecimentos, sendo que mesmo a 350 °C o mineral amostrado não "fechou" suas lâminas, sendo que isso aconteceu parcialmente a 550 °C para o horizonte Bt; no horizonte A do solo litólico, entretanto, o espaçamento se manteve a 1,2 nm mesmo a 550 °C, fato que, segundo RANGER & ROBERT (1985) indica forte bloqueio interfoliar dessa vermiculita. Esse fato pode explicar a queda da CTC observada na figura 39.

O segundo grupo de mudanças estruturais, atentando-se principalmente para a saturação com K⁺ a 25 °C,

foi considerado como uma "montmorilonitização" da vermiculita, devido ao aparecimento de um pico marcante a 1,5 nm, relacionado à montmorilonita por BESOAIN (1985). Essa "montmorilonita", mesmo quando aquecida a 550 °C mostrou-se altamente bloqueada, já que em apenas uma amostra (volume de alterita) o espaçamento foi para 1,1 nm (espaçamento do mineral testemunho nessa temperatura); as outras duas amostras, a saber, do volume latossólico e do horizonte A1 da Terra Roxa Estruturada deslocaram-se respectivamente para 1,3 nm e 1,2 nm, espaçamentos indicativos, conforme BARNHISEL (1982), de uma alto grau de preenchimento interfoliar por algum agente bloqueante,

Constata-se que o alumínio parece não ser o responsável por esse bloqueio, já que sua extração pelo método CBD (tabela 11) não mostrou modificações significativas em relação à presença desse elemento no mineral testemunho, ao contrário do que observaram HATTON et alii (1987). A presença do alumínio não é marcante nem na solução do solo (fato atestado pela resina), nem é proveniente de fonte endógena, já que não foi extraído pelo método CBD, RIGHI et alii (no prelo).

De qualquer modo, esse bloqueio por agente desconhecido pode explicar a diminuição da CTC observada nos minerais instalados na Região Sul.

Finalizando, e tendo como base o trabalho experimental de ROBERT et alii (1979), pode-se colocar que o meio ácido atestado pela mobilização de hidrogênio na

solução do solo, aliado à acentuação dos mecanismos de bloqueio interfoliar, sugerem uma dinâmica geoquímica caracterizada por **acidólise simples**, FELIX (1987), o que indica uma **tendência** à acidificação crescente para o sistema pedológico do sul.

5.5 Análise Comparativa das Áreas Estudadas

A **organização e distribuição espacial** dos volumes pedológicos mostraram-se semelhantes entre as áreas, apesar de terem sido observadas algumas diferenças composicionais e de caráter evolutivo entre os dois sistemas, como mostra a figura 43.

As principais organizações pedológicas, a saber, horizontes **B latossólico** e **B textural**, horizonte **A**, **liteira** e **camada mosqueada** existem nas duas áreas; a diferença está na presença de um **volume de alterita** no sopé da encosta da Região Sul, volume esse inexistente na vertente da Amazônia. Por outro lado, na Região Norte definiu-se um **volume descontínuo** representado pelo córtex de alteração presente nos fragmentos de rocha básica alterada dispersos na parte inferior da encosta daquela área.

Comparando-se os volumes correspondentes das duas áreas, observou-se que no norte o **B textural** predomina, ocorrendo ao longo de toda a encosta e inclusive já penetrando em forma de cunha na cobertura de topo do

Figura 43. Síntese de funcionamento dos sistemas pedológicos nas duas áreas estudadas

relevo.

No sul, o volume representado pelo horizonte B textural está presente na meia encosta. Também o volume latossólico é representativo nessa área, dominando a cobertura pedológica do topo da encosta, enquanto na Amazônia ele já está sendo "invadido" e substituído pelo B textural, inclusive na cobertura do platô.

Uma análise dessas inter-relações, com base nos trabalhos de LUCAS (1989), MONIZ & BUOL (1982), VOLKOFF (1984-1985) e SOUBIES & CHAUVEL (1984-1985), permite se levantar a hipótese que ambos os sistemas pedológicos estão em **transformação**, concomitantemente à uma evolução geomorfológica de regressão das vertentes.

Admite-se que os **platôs de idade pleistocênica**, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (1974b), de composição **latossólica**, VOLKOFF (1984-1985), estejam sendo dissecados pelo entalhe da drenagem, originando nas encostas dos vales um material mais estruturado, representado pelo horizonte B textural, o qual tende a se espessar à medida que prosseguem os processos geomorfológicos de esculturação das vertentes, como mostra SANCHEZ (1981) para áreas de clima tropical.

É possível inferir que no norte o processo evolutivo parece estar mais adiantado que no sul, com a **antiga cobertura latossólica** já sendo substituída mesmo no topo da encosta (platô) pelo material mais "jovem"

(Btextural), que se estende até o sopé da encosta, ao contrário da Região Sul, onde à jusante ainda não aparecem nem mesmo um horizonte B incipiente, e o volume latossólico ainda domina o platô.

A micromorfologia confirmou que uma organização porosa, estruturada em **micro-peds** arredondados e coalescentes do volume latossólico, GONÇALVES (1987), grada para um material com **plasma contínuo e denso** (horizonte B textural), o que atesta, segundo MIKLÓS et alii (1987) uma transformação progressiva de um material latossólico, para um tipo de organização com estrutura mais desenvolvida, densa e bem orientada (horizonte B textural).

Uma característica que pode contribuir para a hipótese levantada é a espessura do horizonte A; na Região Sul ele é mais espesso ao longo de toda a encosta, o que pode indicar uma menor taxa erosiva sofrida por esse material; ao contrário, no norte, mesmo sob floresta, esse volume é menos espesso, indicando ter sofrido mais erosão e contribuindo para explicar o grau mais avançado de evolução da vertente na região amazônica.

Também a existência da alterita logo abaixo do horizonte A do material de sopé de encosta da Região Sul (solo litólico), atesta que se trata de uma superfície erosiva mais jovem, SANCHEZ (1981), do que a sua correspondente no norte.

As características físicas e químicas dos

sistemas mostraram algumas diferenças marcantes, realçadas pelas curvas de isoteores.

Nota-se que no sul o percentual de argila decresce gradualmente à jusante, o que pode ser explicado pelas sequências normais de intemperismo, enfocadas por LIMA (1979) para solos semelhantes; entretanto na Amazônia essa subfração se concentra na porção média do horizonte B textural, o que é confirmado em microscopia ótica pela maior concentração de cutãs iluviais nesse local. Isso foi entendido como uma evidência de um estágio mais avançado de evolução do sistema da Região Norte, no qual a maior concentração de argila anteriormente restrita ao platô (como acontece atualmente no sul) já se desloca para o material mais jovem (B textural), o qual centraliza a pedogênese atual, concentrando a maior parte do plasma móvel do sistema.

Com relação às características químicas dos sistemas estudados, concluiu-se que a **matéria orgânica** foi o agente responsável pelo comportamento de parâmetros como a CTC, valores S, V e pH, ao longo do sistema da região amazônica, como também constatarem JORDAN (1985) e MARTINS (1987), os quais decrescem em profundidade naquela área.

Para o sul, ao contrário, os parâmetros químicos foram direcionados pelos **ambientes intempéricos** dos volumes estudados: à montante o "ambiente" latossólico condicionou menores valores de pH, CTC, S e V, os quais aumentaram gradativamente à jusante, em direção aos

ambientes menos agressivos, representados segundo BIRKELAND (1974), pelos solos pouco desenvolvidos.

A mineralogia de **silicatos** mostrou que para ambos os sistemas, independentemente do volume considerado, predomina a **caulinita** nas frações argila e silte; esse mineral está amplamente distribuído em materiais pedológicos, fato explicado por DIXON (1982) como devido à sua alta estabilidade em praticamente todos esses tipos de ambiente.

Nas frações mais grosseiras o **quartzo** é um representante importante para as duas regiões, sendo que no norte esse mineral atinge elevados percentuais, em relação aos baixos teores da região sul.

As evidências apontam para uma origem **autígena** do quartzo nos dois sistemas pedológicos estudados, como também concluíram LIMA (1979) e QUEIROZ & KLAMT (1985), o qual foi provavelmente enriquecido nos solos por **concentração residual**. Entretanto o teor relativamente alto desse mineral no sistema da Região Norte, sugere uma possível contribuição também por aporte externo, como verificou SINGER (1966) para solos de basalto.

Com relação aos **óxidos**, algumas diferenças foram observadas entre os dois sistemas.

Na região amazônica não se constatou **gibbsita** nos volumes pedológicos, a não ser no córtex de

alteração das rochas da região. Ao contrário no sul esse mineral está muito disseminado em todo o sistema estudado.

A ampla ocorrência de gibbsita no sul poderia levar a se pensar em um sistema mais intemperizado ou mais evoluído para aquela região, já que a presença desse mineral segundo BESOAIN (1985), é uma indicação de intemperismo avançado.

Entretanto, a presença desse mineral no sul (e sua ausência na Amazônia) pode ser creditada ao baixo teor de quartzo daquela região (em contraste ao alto teor encontrado no norte), onde o sistema receberia um baixo influxo de H_4SiO_4 , fato que segundo GOEDERT et alii (1975) e MOLLER & KLAMT (1985) favorece a cristalização dos óxidos de alumínio.

Portanto a presença de gibbsita no sistema da Região Sul não deve ser vista como um indicativo de um sistema mais evoluído, mas sim devido à baixa taxa de sílica condicionada pelo reduzido teor de quartzo no sistema, o qual propiciou a gênese desse mineral.

Os **óxidos de ferro** também são diferentes nas duas regiões: na Amazônia predomina a **goethita**, a qual imprime cores mais "amareladas" para os solos daquela área e é explicada por MELFI et alii (1979) pelo regime mais úmido do norte do país. Já no sul a **hematita** é dominante, condicionando solos mais vermelhos e relacionada a meios bem drenados, onde as águas são constantemente renovadas, como também relatam os mesmos autores.

A **pedologia experimental** constatou diferenças na dinâmica atual dos dois sistemas pedológicos.

Para o norte concluiu-se que atualmente acontece uma **"podzolização"** do sistema como um todo, ROBERT et alii (1979), entendendo-se por isso uma tendência intempérica **ácido-complexante** na evolução das organizações daquela área.

Por outro lado no sul, estaria ocorrendo uma **"acidificação"** do sistema, ROBERT et alii (1979), ou seja, uma tendência à acentuação de um intemperismo tipo latossólico, mais agressivo e lixiviante.

6. CONCLUSÕES

A partir do estudo de coberturas pedológicas sobre rochas básicas de duas regiões do Brasil, uma na Região Norte (Amazônia), caracterizada por clima tropical úmido, relevo de planalto e floresta equatorial; e outra na Região Sul (Paraná), sob clima subtropical úmido, relevo de planalto e floresta tropical, pode-se ressaltar as seguintes conclusões:

Região Norte

* A cobertura pedológica desta região é composta por seis volumes: horizonte B textural, horizonte B latossólico, camada com mosqueamento, liteira, horizonte A e córtex de alteração. Os cinco primeiros desses volumes, os quais coincidem com os horizontes pedológicos, são de natureza contínua no espaço, sendo o último (córtex) de natureza descontínua.

* As características físicas da cobertura pedológica mostraram que os maiores teores de argila, em torno de 65%, estão no horizonte B textural, o que foi relacionado com o estágio evolutivo desse volume, onde atualmente predominam mecanismos de movimentação e concentração iluvial daquela

subfração granulométrica. Os maiores teores de areia, 25 a 30%, de composição quartzosa, encontram-se no volume pedológico superficial (horizonte A), devido principalmente à processos de concentração residual.

* O comportamento das características químicas como a CTC, valor S e pH, é condicionado pela matéria orgânica, já que atingem os maiores valores em superfície (CTC7: 16 eqmg/100g solo; valor S: 13 eqmg/100 g solo; pH KCl: 5,5). Nos horizontes situados em profundidade como o B latossólico e o B textural, os parâmetros químicos apresentam os menores valores (CTC7: 3 eqmg/100 g solo; valor S: 1 a 2 eqmg/100 g solo; pH KCl: 4,9 a 5,3).

* Os volumes pedológicos apresentam notável uniformidade mineralógica, com caulinita, goethita, quartzo, vermiculita aluminosa, opacos e hematita, distribuídos igualmente em toda a cobertura; a ausência de gibbsita está provavelmente condicionada pelo nível de sílica em solução, fornecida pelo quartzo.

* A presença de quartzo subanguloso, aliada à homogeneidade mineralógica e morfológica dos componentes do sistema sugerem que a cobertura pedológica é autóctone.

* As análises mineralógicas mostraram que o pseudomorfismo é o mecanismo que controla a gênese dos minerais secundários no sistema pedológico.

* As relações espaciais entre os volumes B textural e B latossólico, aliadas às características físicas e químicas, e aos conhecimentos geomorfológicos da área,

permitiram inferir que a cobertura pedológica da Amazônia se encontra em avançado estágio evolutivo, tendo sido caracterizado como um sistema em transformação.

* Os resultados obtidos com os procedimentos experimentais mostraram que atualmente o sistema da Amazônia está submetido a processos de complexólise, com tendência à um ambiente pedológico alcalino a neutro.

Região Sul

* A cobertura pedológica desta região compõe-se de seis volumes: horizonte B textural, horizonte B latossólico, camada com mosqueamento, liteira, horizonte A e horizonte C, todos de natureza contínua.

* As características físicas mostraram que os maiores teores de argila, em torno de 84%, localizam-se no horizonte B latossólico, o que é creditado ao ambiente intempérico mais agressivo desse volume pedológico.

* A matéria orgânica tem influência relativa no sistema, condicionando somente as características químicas do horizonte B textural, onde a CTC7 chega a 20 eqmg/100 g solo. Para o horizonte B latossólico os parâmetros químicos parecem ser controlados pelo ambiente intempérico lixiviante desse volume pedológico, atingindo valores de CTC7 de 7,5 eqmg/100 g solo, pH em KCl de 4,2 a 4,4 e valor S de 1 eqmg/100 g solo.

* Os volumes pedológicos apresentam notável uniformidade

mineralógica, com caulinita, hematita, gibbsita, vermiculita aluminosa, quartzo e opacos; encontrou-se haloisita no horizonte superficial do sopé da vertente. A existência de gibbsita foi correlacionada ao provavelmente baixo teor de sílica fornecida pelo quartzo ao sistema, favorecendo a formação de gibbsita.

* A presença de quartzo subanguloso, inclusive na alterita, aliada à homogeneidade mineralógica e morfológica dos componentes do sistema, sugerem que a cobertura pedológica é autóctone.

* As análises mineralógicas mostraram que o pseudomorfismo é o mecanismo que controla a gênese dos minerais secundários no sistema pedológico.

* As relações espaciais entre os horizontes B textural e B latossólico, aliadas às características físicas e químicas, e aos conhecimentos geomorfológicos da área, permitiram inferir que a cobertura pedológica do sul se encontra em grau evolutivo médio, tendo sido caracterizado como um sistema em transformação.

* Os resultados obtidos com os procedimentos experimentais mostraram que atualmente no sistema da Região Sul ocorre acidólise, com tendência à acidificação do ambiente pedológico.

Comparação entre os sistemas das duas áreas

* A análise comparativa dos sistemas pedológicos das duas áreas mostrou que eles são semelhantes em termos de componentes e organização espacial e interna desses componentes.

* As características macro e micromorfológicas, a geomorfologia e os parâmetros físicos e químicos sugerem que o sistema da Amazônia mostra uma dinâmica de transformação mais avançada que o do sul.

* Para cada região estudada, a existência de diferentes volumes pedológicos não condiciona uma diferenciação mineralógica entre esses volumes.

* As diferenças mineralógicas entre os sistemas estão provavelmente ligadas ao fornecimento de sílica pelo quartzo e às diferenças climáticas entre as regiões.

* Os procedimentos experimentais mostraram que a dinâmica atual do sistema pedológico da Região Norte favorece a complexação dos elementos químicos, o que deve estar ligado ao papel da matéria orgânica naquela área. O sistema da Região Sul encontra-se em processo de acidificação, provavelmente devido ao desequilíbrio ecológico causado pelo desmatamento e agricultura intensiva daquela área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMOURIC, M.; BARONET, A.; NAHON, D. & DIDIER, P.
Electron microscopic investigation of iron oxyhydroxides and accompanying phases in lateritic iron crust pisolites. **Clays and Clay Minerals**, Bloomington, **34**(1):45-52, 1986.

ANDRADE, S.S.; MONIZ, A.C.; SANTOS, H.G. & ALMEIDA, H.C.
Sequência de evolução de solos bem drenados originados de rochas eruptivas básicas da região fisiográfica de Campo Grande, MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XV. Campinas, 1976. Anais. Campinas, 1976. SBCS.

BARNHISEL, R. I. Chlorites and hidroxy interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., ed. **Minerals in Soil Environments**. Madison, Soil Science Society of America, 1982. cap. 10, p.331-350.

- BASTOS, T.X. O clima da Amazonia brasileira segundo Koppen. Belém, CPATU-EMBRAPA. **Pesquisa em andamento** n.87, 1982.
- BEAUDOU, A.G. & CHATELIN, . Methodologie de la représentation des volumes pédologiques. **Cahiers ORSTOM, série Pedologie**, Paris, XV(1):3-18, 1977.
- BEAUDOU, A.G.; FROMAGET, M. & GUICHARA, E. Analyse des organisations micro et macrostructurales de certains sols ferralitiques centrafricains issus de roches basiques. In: FEDOROFF, N.; BRESSON, L.M. & COURTY, M.A., ed. **Micromorphologie des Sols**. Paris, Assoc. Franç. pour l'Étude du Sol. 1987. p. 119-124.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; PICCIRILO, E.M.; WARDY, A.J.R. & ROISENBERG, A. High and low TiO₂ flood basalts from the Paraná Plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. **Neues Jahrbuch Miner. Abh.** Alemanha, 150(3):273-306, 1984.
- BERTHELIN, J. ; SADIO, S.; GUILLET, B. & ROULLIER, J. Alteration experimentale de minéraux argileux di et trioctaédriques dans un podzol et dans un sol brun acide. **Sci. Géol. Mém**, Strasbourg, 71:13-23, 1983.
- BESOAIN, E. **Mineralogia de arcillas de suelos**. San Jose, Costa Rica, -Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1985. 1205 p.

- BIGHAM, J.M.; GOLDEN, D.C.; BOWEN, L.H.; BUOL, S.W. & WEED, S.B. Iron oxide mineralogy of well-drained Ultisols and Oxisols. I. Characterization of iron oxides in soil clays by Mossbauer spectroscopy, X-ray diffractometry and selected chemical techniques. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, Madison, **42**: 816 - 825, 1978.
- BINKLEY, D. & MATSON, P. Ion exchange resin bag method for assessing forest soil nitrogen availability. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, Baltimore, **47**(5):1050-1052, 1983.
Madison, Soil Sc. Am.
- BINKLEY, D. Ion exchange resin bags: factors affecting estimates of nitrogen availability. *Soil Sc. Soc. Am. J.* Madison, **48**(5): 1181-1184, 1984.
- BINKLEY, D. & HART, S.C. Correlations among indices of forest soil nutrient availability in fertilized and unfertilized loblolly pine plantations. *Plant and Soil*, Netherlands, **85**: 11-21, 1985.
- BIRKELAND, P.W. *Pedology, Weathering and Geomorphological Research*. New York, Oxford University Press, 1974. 255p.
- BITOM, D. Organisation et evolution d'une couverture ferrallitique en zone tropicale umide (Cameroun). France, 1988. (Doutorado - Université de Poitiers)

- BITTENCOURT, A.V.L. Aspectos hidrogeoquímicos da alteração intempérica de basaltos da Bacia do Paraná : bacia hidrográfica do Jacutinga (PR). **Rev. Br. Geoc.**, São Paulo, **10**: 202-212. 1980.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.X. & LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leur principaux apports à la connaissance des sols. **Cahiers ORSTOM série Pédologie**, Paris, **XIX(4)**: 309-321, 1982.
- BOUMA, J. Hydrology and soil genesis of soils with aquatic moisture regimes. In: WILDING, L.P.P.; SMECK, N.E. & HALL, G.F., ed. **Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions**. Amsterdam, Elsevier, 1984. cap. 9, p. 253-279.
- BRAVARD, S. & RIGHI, D. Geochemical differences in an Oxisol-Spodosol toposéquence of Amazonia, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, **41(1)**:29-42. 1989.
- BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York, Krieger. 1976. 482 p.
- BROWN, G. & BRINDLEY, G.W. **Crystal structures of clay minerals and their X-Ray identification**. London, Mineralogical Society. 1980. 495 p.

- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E. & KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada nos levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Soc. Br. Ci. Solo**, Campinas, 12 (1): 11-33. 1987.
- CARDOSO DE LIMA, P. & ESWARAN, H. The microfabric of soil belonging to the acric-great groups of Oxisols. In: FEDOROFF, N. e BRESSON, L.M., ed. **Micromorphologie des Sols**. Paris, Assoc. Franç. pour l'Étude du Sol. 1987. p.145-150.
- CARVALHO, A.; CHAUVEL, A. & GONÇALVES, N.M.M. Alteration of basalt and formation of kaolinitic and gibbsitic material in the region of Ribeirão Preto (SP), Brazil. In: MELFI, A.J. & CARVALHO, A. ed. **Lateritisation Processes**. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico/ USP. 1983. 590 p.
- CARVALHO, A.; OLIVEIRA, J.B. & MENK, J.R. Variabilidade de características mineralógicas em duas áreas homogêneas de oxissolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XIV, Sta. Maria, RS. 1973, Anais. Campinas, SBCS, 1974.
- CHURCHMAN, G.J.; WHITTON, J.S.; CLARIDGE, G.G.C. & THENG, B.K.G. Intercalation method using formamide for differentiating halloysite from kaolinite. **Clays and Clay Minerals**, Bloomington, 32(4):241-248. 1984.

CORREA, A.R.; GODOY, H. & BERNARDES, L.R.M. Características climáticas de Londrina. **Circular IAPAR**, Londrina, número 5. Maio, 1982. 16 p.

CREUTZBERG, D. & SOMBROEK, W. G. Micromorphological characteristics of nitosols. In: FEDOROFF, N.; BRESSON, L.M. & COURTY, M.A., ed. **Micromorphologie des Sols**. Paris, Assoc. Franç. pour l'Étude du Sol. 1987. p. 151-156.

CURI, N.; CARDOSO DE LIMA, P. & LEPSCH, I.F. Terminologia de micromorfologia de solo. **Boletim Informativo da Soc. Br. Ci. Solo**. Campinas, 10 n.2. Maio - agosto, 1985.

CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Sc. Soc. A. J.**, Baltimore, 48():341-346. 1984.

DEMATTE, J. L. I. Levantamento detalhado dos solos da Estação Experimental do IAPAR, Vol. I. São Paulo, Companhia de Planejamento Técnico INTARCO. 1973. 127 p. (com mapa).

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

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Carta geológica do Brasil ao milionésimo. **Folhas Assuncion e Curitiba.** Brasília, Ministério das Minas e Energia. 1974a (com mapa).

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Projeto Sulfetos de Altamira-Itaituba**, vol. I. Belém, convênio DNPM/CPRM. 1977. 700 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. **Folha Paranapanema.** Brasília, Ministério das Minas e Energia, 1978. (com mapa).

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Projeto RADAM , vol. 5. **Folha Belém.** Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia, 1974 b. (Levantamento de Recursos Naturais).

DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA. Levantamento de reconhecimento dos solos de uma área prioritária na Rodovia Transamazônica entre Altamira e Itaituba. **Boletim Técnico 34** . Belém, 1973 c. (com mapa).

DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA. Levantamento de reconhecimento dos solos do nordeste do estado do Paraná. **Boletim Técnico 16.** Curitiba, 1971.

DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA. Estudo expedito de solos no trecho Itaituba-Estreito da Rodovia Transamazônica para fins de classificação e correlação. **Boletim**

Técnico 31. Rio de Janeiro, 1973 a..

DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA. Levantamento exploratório dos solos que ocorrem ao longo da Rodovia Transamazônica (trecho Itaituba-Estreito). **Boletim Técnico 33.** Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. 1973b.

DIXON, J.B. Kaolinite and serpentine group minerals. In: DIXON, J. B. & WEED, S. B. **Minerals in Soil Environments.** Madison, Soil Sc. Soc. Am. 1982. cap. 11, p. 357-398.

DOUGLAS, L.A. Vermiculites. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. **Minerals in Soil Environments.** Madison, Soil Sc. Soc. Am., 1982. cap. 8, p. 259-288.

EMBRAPA. Investigações coligadas em variedades selecionadas de latossolos do Brasil sudeste e sul. Rio de Janeiro, Serv. Nac. Lev. Cons. Solos, 1984. 186p.

ESCHENBRENNER, V. Les glébules des sols de Côte d'Ivoire. **Travaux et documents microédités.** Paris, ORSTOM, 1988.

ESWARAN, H. Micromorphological indicators of pedogenesis in some tropical soils derived from basalts from Nicaragua. **Geoderma**, Amsterdam, 7(1/2):15-31, 1972

FALESI, I.C. Solos da Rodovia Transamazônica. **Boletim Técnico** 55. Belém, Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte, 1972.

FASSBENDER, H.W. **Química de Suelos - con énfasis en suelos de América Latina**. San Jose, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1984. 398 p.

FEDOROFF, N.; BULLOCK, P.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G. & TURSINA, T. **Handbook of Soil Thin Section Description**. Wolverhampton, International Society of Soil Science, 1985. 157 p.

FEDOROFF, N. & ESWARAN, H. Micromorphology of ultisols
In: **Soil Micromorphology and Soil Classification**.
Madison, Soil Sc. Soc. Am., 1985.

FELIX, C. Etude du fonctionnement géochimique comparé des sols acides - utilisation des vermiculites test in situ pour l'étude du fonctionnement saisonnier et actuel de podzols et sols bruns. Nancy, 1987. 82 p. (D.E.A. - Université Nancy I).

GALHEGO, H.R. & ESPÍNDOLA, C.R. Mineralogia da argila de solos desenvolvidos de produtos de alteração de rochas eruptivas básicas de Botucatu, SP. **R. Br.Ci. Solo**, Campinas, 3(2): 131-135. 1979.

- GLASMANN, J.R. & SIMONSON, G.H. Alteration of basalts in soils of western Oregon. **Soil Sc. Soc. Am.Proc.**, Madison, 49(1):262-273. 1985.
- GOEDERT, W.J.; SYERS, J.K. & COREY, R.B. Relações caulinita-quartzó-gibbsita em solos derivados de basaltos no Rio Grande do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XV., Campinas, 1975. Anais. Campinas, SBCS, 1975.
- GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CHILD, G.I. & DUEVER, M.J. **Ciclagem de Minerais em um Ecossistema de Floresta Tropical Úmida**. São Paulo, EPU/EDUSP, 1978. 256 p.
- GONÇALVES, N.M.M. Transformações mineralógicas e estruturais relacionadas à alteração hidrotermal e intempérica de rochas vulcânicas básicas da Bacia do Paraná Setentrional (Região de Ribeirão Preto- SP, Brasil). São Paulo, 1987. 212 p. (Doutorado - Instituto de Geociências/ USP).
- HALL, G.F. Pedology and Geomorphology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E. & HALL, G. F. **Pedogenesis and Soil Taxonomy.I. Concepts and Interactions**. Amsterdam, Elsevier, 1984. cap. 5, p. 117-136.
- HARTER, R.D. Reactions of minerals with organic compounds in the soil. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., ed. **Minerals**

in **Soil Environments**. Madison, SSSA, 1982. 948 p.

HATTON, A.; RANGER, J.; ROBERT, M.; NYS, C. & BONNAUD, P.

Weathering of a mica introduced into four acidic forest soils. **Journal of Soil Science**, London, **38**(2): 179-190. 1987.

ILDEFONSE, P. Analyse pétrologique des altérations pré - météoriques et météoriques de deux roches basaltiques. Paris, 1987. (Doutorado - Université Paris VII).

INRA/CNRF. **Protocoles analytiques concernant l'approche expérimentale du fonctionnement des sols forestiers - les minéraux tests et les résines**. Nancy, Centre National de Recherches Forestiers - Laboratoire Sol et Nutrition. 18 p.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis - advanced course**. Madison, 1969. 895 p.

JORDAN, C.F. Soils of the Amazon rain forest. In: PRANCE, G.T. & LOVEJOY, T.E. **Amazonia**. Exeter, Pergamon Press. 1985. 442 p.

KINJO, T.; SILVEIRA, R.I.; MARCONI, A. & ABRAHÃO, I.O.

Uma técnica de saturação de vermiculita com micronutrientes catiônicos. In: E.S.A. Luis de Queiroz, 1987, Anais, Vol **XLIV** :1189-1199. Piracicaba, ESALQ.

KITAGAWA, Y. Goethite and hematite in some soils from the Amazon region. **Soil Sc. Plant Nutr.**, Japan, 29(2): 209-217. 1983.

KITAGAWA, Y. & MOLLER, R.F. Clay mineralogy of the "Terra Roxa Estruturada" soils from forest/savannah transition in the Amazon region. **Soil Sc. Plant Nutr.**, Japan, 25(3):397-405. 1979.

KOUNESTRON, O.K. Alteration des roches basiques du Mont Agou au Togo. Paris, 1976. (Doutorado - Université Paris VI).

LEMOS, R.C. Os solos de eruptivas básicas do sul do Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XV, Campinas, 1976. Anais. Campinas, SBCS, 1976. p. 351-358.

LEMOS, V.P. & VILLAS, R.N. Alteração supergênica das rochas básicas do Grupo Grão Pará - implicações sobre a gênese do depósito de bauxita de N5, Serra dos Carajás. **Rev. Br. Geoc.**, São Paulo, 13(3):165-177. 1983.

LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** Campinas, Soc. Br. Ci. Solo e Serv. Nac. Lev. Cons. Solos, 1984. 46 p.

- LEVI, F. & MELFI, A.J. Geochemical and mineralogical study on the first stages of weathering of basic and related rocks. Part I. Mineralogical study. *Rev. Br. Geoc.* São Paulo, 1(1):22-28. 1971.
- LEVI, F. & MELFI, A.J. Geochemical and mineralogical study on the first stages of weathering of basic and related rocks. Part 2. Geochemical study. *Rev. Br. Geoc.*, São Paulo, 1(2):1-8. 1972.
- LUCAS, Y. Systemes pedologiques en Amazonie bresilienne - equilibres, disequilibres et transformations. Poitiers, 1989. 158 p. (Doutorado - Université de Poitiers)
- LUCAS, Y.; CHAUVEL, A.; BOULET, R.; RANZANI, G. & SCATOLINI, F. Transição latossolos-podzóis sobre a Formação Barreiras na região de Manaus, Amazonia. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 8(3):325-335. 1984.
- LIMA, V.C. Características e classificação de solos derivados de eruptivas básicas do terceiro planalto paranaense. Piracicaba, 1979. 249 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- MAACK, R. *Geografia Física do Estado do Paraná*. Rio de Janeiro, José Olympio, 1981. 450 p.
- MABESOONE, J.N. *Sedimentologia*. Recife, Editora Universitária. 1983. 475 p.

MARCONI, A.; ABRAHÃO, I.O.; KINJO, T. & SILVEIRA, R.I.

Liberção de cátions de vermiculita incorporada a solos. In: **E.S.A. Luiz de Queiroz**, Anais. Vol **XLIV**:1201-1218. Piracicaba, ESALQ.

MARTINS, P.F.S. Propriedades de solos sob floresta natural e sua alteração em consequência do desmatamento e cultivo, na Amazônia oriental. Piracicaba, 1987. 232p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").

MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Bloomington, 7:317-327.1960.

MELFI, A.J.; PEDRO, G. & VOLKOFF, B. Natureza e distribuição dos compostos ferríferos nos solos do Brasil. **Rev. br. Ci. Solo**. Campinas, 3(1):47-54. 1979.

MOHR, P. Ethiopian flood basalt province. **Nature**, 303(16):577-583. 1983.

MIKLÓS, A.A.; BOULET, R.; ESPÍNDOLA, C.R. & QUEIROZ NETO, J.P. Evolução e diferenciação vertical de horizonte B latossólico em B textural na Terra Roxa Estruturada. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXI, Campinas, 1987. **Anais**. Campinas, SBCS, 1987.

- MOLLER, M.R.F. & KLAMT, E. Intemperismo de argilo-minerais em Latossolo Roxo. **Rev. br. Ci. Solo**, Campinas, **7** (1):33-38. 1983.
- MONIZ, A.C. & BUOL, S.W. Formation of an Oxisol- Ultisol transition in São Paulo, Brazil: I. Double water flow model of soil development. **S.Sc. Soc. A. J.**, Madison, **46**(6):1228-1233. 1982.
- MONIZ, A.C.; NASCIMENTO, A.C. & PAIVA NETTO, J.E. Mobilidade dos constituintes de rochas básicas de São Paulo durante o intemperismo. **Rev. Br. Geoc.** São Paulo, **3**:201-213. 1973.
- MONIZ, A.C. & OLIVEIRA, J.B. Estudo mineralógico de solos derivados de rochas ígneas básicas da Estação Experimental de Ribeirão Preto, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XIV, Santa Maria, 1973. **Anais.** Campinas, SBCS, 1974. p. 591-601.
- MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Soil Color Chart.** Baltimore, MD. 1954.
- NEVES, A.A.S.; DIAS, A.C.C. & BARBOSA, R.C.M. Levantamento detalhado dos solos da Estação Experimental de Altamira, PA. **Boletim Técnico 84 da CEPLAC**, Bahia, 1981. 27 p.

- NYS, C.; RANGER, J. & ROBERT, M. Approche experimentale du fonctionnement des sols forestier. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL BIOGEOCHEMISTRY, VIII, Nancy, 1987. **Proceedings**. Nancy, France, 1987.
- OLIVEIRA, J.B. & MENK, J.R.F. Latossolos Roxos do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico**. IAC, Campinas 82. 1984. 132 p.
- PAULIPETRO/CESP/IPT. Mapeamento geológico do bloco 74 (norte do Paraná). **Relatório n. 15377/IPT**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo SA . 1981.(com mapas).
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the state of Paraná, Brazil. **Turrialba, 35** (2):131-139. Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura. San Jose, Costa Rica. 1985.
- PEDRO, G. Geochimie, mineralogie et organisation des sols. **Cahiers ORSTOM série Pedologie**, Paris, XXIII(3): 1987.
- PEDRO, G.; CHAUVEL, A. & MELFI, A.J. Recherches sur la constitution et la genése des Terra Roxa Estruturada du Brésil. **Ann. agron.**, Versailles, 27(3):265-294. 1976.

- PETRI, S. & FELFARO, V.J. **Geologia do Brasil**. São Paulo, EDUSP. 1983. 631 P.
- POMBO, L.C.A.; KLAMT, E.; KUNRATH, I. & GIANLUPPI, D. Identificação de óxidos de ferro na fração argila de Latossolo Roxo. **R. br. Ci. Solo**, Campinas, 61:13-17. 1982.
- QUEIROZ, S.B. & KLAMT, E. Mineralogia e gênese de Brunizem Avermelhado e Terra Roxa Estruturada Similar na encosta inferior do nordeste do Rio Grande do Sul. **R. br. Ci. Solo**, Campinas, 9(1):51-57. 1985.
- RANGER, J. & ROBERT, M. Caractérisation du fonctionnement physico-chimique des sols forestiers par une approche expérimentale utilisant l'évolution de minéraux primaires. **Agronomie**, Paris, 5(2):157-168. 1985.
- RANGER, J.; ROBERT, M.; BERTHELIN, J. & NYS, C. Utilisation de la méthode des minéraux tests pour la connaissance du fonctionnement actuel des sols forestiers. **Science du Sol**, Plaisir, 2:183-199. 1986.
- ROBERT, M. Principes de détermination qualitative des minéraux argileux à l'aide de rayons X. **Ann. agron.**, Paris, 26(4):363-399. 1975.
- ROBERT, M.; RAZZAGHI, M.K.; VICENTE, M.A. et VENEAU, G. 1979. Rôle du facteur biochimique dans l'altération

des minéraux silicatés. Science du Sol (2/3):153-174
Versailles, Association Française pour l'Étude du Sol.

ROCHA, G.C. Geologia, geomorfologia e pedologia de uma
catena de solos situada no campus da Escola Superior
de Agricultura de Lavras, MG. Lavras, 1982. 109 p.
(Mestrado - Escola Superior de Agricultura de Lavras)

ROCHA, G. C. Levantamento pedológico detalhado de uma
área piloto da bacia do Ribeirão Cafezal, PR. Londrina,
Projeto Cafezal, boletim n. 1. Universidade de Londrina.
1986. 28 p.

ROISENBERG, A.; GAMERMANN, N. & VIEIRA JUNIOR, N. Argilo
minerais em rochas basálticas inalteradas. In:
CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXIII, Rio de Janeiro,
1984. **Anais**. São Paulo, SBG, 1984.

RIGHI, D.; BRAVARD, S.; CHAUVEL, A.; RANGER, J. & ROBERT,
M. (no prelo). In situ study of podzolization in an
oxisol-spodosol sequence of Amazonia (Brazil).

RUEGG, N. R. Plagioclásios plutônicos e vulcânicos em
diabásios da Bacia do Paraná. **Rev. Br. Geoc.**, São
Paulo, 2:8-17. 1972.

SANCHEZ, P.A. **Suelos del Tropico - características y
manejo**. Costa Rica, IICA. 1981. 634 p.

SCHWERTMANN, U. & KAMPF, N. Properties of goethite and

hematite in kaolinitic soils of southern and central Brazil. **Soil Science**, Baltimore, **139**(4):344-350. 1985.

SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS.

Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Tomos I e II. **Boletim Técnico IAPAR/EMBRAPA**, Londrina, 57. 1984. 414 p.

SINGER, A. The mineralogy of the clay fraction from basaltic soils in the Galilee, Israel. **Journal of Soil Science**, London, **17**(1):136-147. 1966.

SMITH, W.W. Weathering of some scottish basic igneous rocks with reference to soil formation. **Journal of Soil Science**, Oxford, **13**(2):202-215. 1962.

SOIL CONSERVATION SERVICE. Designations for master horizons and layers in soils. Washington, United States Department of Agriculture. 1986.

SOIL SURVEY STAFF. Soil Survey Manual. Washington, United States Department of Agriculture. Handbook n.18. 489 p. 1951.

SOUBIES, F. & CHAUVEL, A. Présentation de quelques systèmes de sols observés au Brésil. **Cahiers ORSTOM série Pédologie**, Paris, **XXI**(4):237-251. 1984.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São

Paulo, Edgard Blucher. 1973.

TAMURA, T. Identification of the 14 A component. **Am. Min.**

42:107-110. 1957.

WILDING, L.P. ; SMECK, N.E. & DREES, L.R. Silica in

Soils: Quartz, Cristobalite, Trydymite and Opal. In:

DIXON, J.B. & WEED, S.B. **Minerals in Soil**

Environments. Madison, S.S.S.A. 1982. 948 p. Cap. 14,

p. 471-542.

WILLIAMS, H.; TURNER, F.I. & GILBERT, C.M. **Petrografia, uma**

introdução ao estudo das rochas em seções delgadas. São

Paulo, Polígono/EDUSP. 1970. 454 p.

VARGAS, A.V. & OLIVEIRA, N.P. A evolução morfológica e

mineralógica dos perfis de alteração supergênica dos

basaltos da região de Porto Franco Grajaú. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXIII, Rio de Janeiro,

1984. **Anais**. São Paulo, SBG. 1984.

VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C.; VALENTE, M.A. & OLIVEIRA

Jr, R.C. As Terras Roxas Estruturadas da Amazonia. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXI, Campinas,

1987. **Anais**. Campinas, SBCS, 1987.

VOLKOFF, B. Organisations régionales de la couverture

pédologique du Brésil. Chronologie des différentiations.

Cahiers ORSTOM série Pédologie. Paris, XXI(4):225-

236. 1984-1985.

APÊNDICE 1

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS SOLOS ESTUDADOS

1. SOLOS DA REGIÃO NORTE

1.1. Terra Roxa Estruturada

Latossólica Eutrófica

A. DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL - AN

CLASSIFICAÇÃO - Terra Roxa Estruturada Latossólica Eutrófica, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado

LOCALIZAÇÃO - Mata secundária a leste da Fitopatologia da ESTAL aproximadamente 100 metros dentro da mata a partir da bordadura leste do cacau.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - trincheira situada no topo da elevação, com 3% de declive sob cobertura de mata secundária

ALTITUDE - 190 metros

LITOLOGIA - rochas básicas

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Diabásio Penatecaua

PERÍODO - Jurássico-Cretáceo

MATERIAL DE ORIGEM - produtos de decomposição de rochas básicas

PEDREGOSIDADE - não pedregosa

ROCHOSIDADE - não rochosa

RELEVO LOCAL - suave ondulado, com colinas de topo arredondado e vertentes convexas

RELEVO REGIONAL - suave ondulado a ondulado

EROSÃO - laminar ligeira

DRENAGEM - acentuadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - floresta equatorial subperenifólia

USO ATUAL - mata em regeneração

CLIMA - Aw (Koppen)

B.DESCRICÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0-7cm,bruno avermelhado escuro(2,5YR 3/4, úmido),bruno avermelhado(2,5YR 4/4,seco); argila; forte pequena a média blocos angulares; duro, muito friável,ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso;transição plana e difusa.
- Bt 7-63cm,bruno avermelhado (2,5YR 4/4,úmido; 2,5 YR 4/6, seco); argila; forte grande blocos angulares; duro,friável plástico e pegajoso; transição ondulada gradual.
- Bw 63-198cm+ ,bruno avermelhado(2,5YR 4/4,úmido), vermelho amarelado(5YR 5/8,seco);argila; fraca pequena a média blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular com aspecto de maciça porosa in situ;ligeiramente

duro, friável, plástico e pegajoso; transição ondulada gradual.

RAÍZES comuns fasciculadas no Ap, poucas fasciculadas no Bt, raras fasciculadas no Bw.

ATIVIDADE BIOLÓGICA - formigas no Ap (pouca atividade), buracos de 4 a 15 cm ao longo do perfil com maior concentração no Bw e Bt.

OBSERVAÇÕES - perfil descrito e amostrado em dia ensolarado mas sob sombreamento de mata, ausência de cerosidade, fragmentos arredondados milimétricos de carvão vegetal ao longo do perfil com maior concentração no Ap e Bt1. Muitos poros pequenos no Ap e Bt, poros comuns muito pequenos no Bt e Bw. Atração magnética ao longo do perfil.

1.2. Terra Roxa Estruturada Eutrófica

A. DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL - BN

CLASSIFICAÇÃO - Terra Roxa Estruturada Eutrófica, A moderado, relevo ondulado

LOCALIZAÇÃO - mata situada entre a Fitopatologia da ESTAL e o igarapé 101, entrando pelo CPS no final da plantação de cacau, seguindo a divisa com a mata; a 200 metros a norte da estrada do CPS entrada à esquerda seguindo 300 metros por picada em direção ao igarapé 101.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL -
trinchreira situada no terço médio da encosta com 12 %
de declive sob cobertura de mata natural.

ALTITUDE - 150 metros

LITOLOGIA - rochas básicas

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Diabásio Penatecaua

PERÍODO - Jurássico-Cretáceo

MATERIAL DE ORIGEM - produtos de decomposição de rochas
básicas

PEDREGOSIDADE - ligeiramente pedregosa

ROCHOSIDADE - não rochosa

RELEVO LOCAL - ondulado, em vertente convexa

RELEVO REGIONAL - suave ondulado a ondulado

EROSÃO - não aparente

DRENAGEM - bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - floresta equatorial subperenifólia

USO ATUAL - Reserva florestal

CLIMA - Aw(Koppen)

B.DESCRICÃO MORFOLÓGICA

O	3-0cm, mistura de material em estágios diferenciados de desagregação física desde folha e galhos até um pó bem fino de coloração escura predominante
A1	0-6cm,bruno escuro(7,5YR 3/4,úmido),bruno

(7,5YR 4/4,seco);franco argilosa;moderada pequena a média blocos subangulares;ligeiramente duro,firme,plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada gradual.

Bt1 6-26cm,bruno avermelhado escuro(5YR 3/6,úmido), vermelho amarelado(5YR 5/6,seco);argila;forte muito pequena a média blocos angulares; duro,friável,plástico e pegajoso;transição ondulada difusa

Bt2 26-150cm,bruno avermelhado(5YR 4/6,úmido), vermelho amarelado (5YR 5/6,seco); muito argiloso ; moderada pequena a média prismática mista moderada pequena blocos angulares;cerosidade comum e moderada; ligeiramentem duro, friável, plástico e pegajoso; transição ondulada difusa.

Bt3 150-210cm+, bruno avermelhado(2,5YR 4/6, úmido) vermelho(2,5YR 5/8,seco) mosqueado comum pequeno distinto amarelo(5Y 8/8,seco); argila siltosa ; fraca pequena a média prismática mista fraca pequena a média blocos angulares;cerosidade forte e abundante;macio, muito friável,plástico e pegajoso.

RAÍZES muitas fasciculadas no A1 e Bt1, poucas fasciculadas no Bt2,raras no Bt3.

ATIVIDADE BIOLÓGICA - minhocas,formigas em muita atividade no A1; buracos de 4 a 10cm no Bt1 (animal não identificado)

OBSERVAÇÕES - fragmentos de rocha básica alterada no Bt2 e Bt3, poucos, grandes, duros, arredondados, cor cinza no núcleo a amarelo em superfície; apresentam exfoliação esferoidal em camadas concêntricas de material friável. Alguns fragmentos milimétricos de quartzo subangular estão presentes. A parte inferior do perfil a partir do Bt3 está influenciada pelo lençol freático. A estrutura nessa profundidade mostra aspecto "quebradiço". Perfil moderadamente drenado no A1 e Bt1, bem drenado no Bt2 e Bt3. Muitos poros pequenos no A1, poros comuns muito pequenos nos demais horizontes. Atração magnética ao longo do perfil.

1.3. Terra Roxa Estruturada Eutrófica

A. DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL - CN

CLASSIFICAÇÃO - Terra Roxa Estruturada Eutrófica, A moderado, relevo ondulado

LOCALIZAÇÃO - na mata entre a Fitopatologia e o igarapé 101. Passando pela trincheira do BN e descendo na encosta aproximadamente 230 metros em direção ao referido igarapé

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL -

trincheira situada no terço inferior da encosta, com 15% de declive, sob cobertura de mata natural

ALTITUDE - 110 metros

LITOLOGIA - rochas básicas

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Diabásio Penatecaua

PERÍODO - Jurássico-Cretáceo

MATERIAL DE ORIGEM - produtos de decomposição de rochas básicas

PEDREGOSIDADE - pedregosa

ROCHOSIDADE - moderadamente rochosa

RELEVO LOCAL - ondulado em final de vertente convexa

RELEVO REGIONAL - suave ondulado a ondulado

EROSÃO - não aparente

DRENAGEM - moderadamente drenado no A1 e A3, bem drenado no Bt1, Bt2 e Bt3

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - floresta equatorial subperenifólia

USO ATUAL - reserva florestal

CLIMA - Aw (Koppen)

B.DESCRICÃO MORFOLÓGICA

O	3-0cm, mistura de material em estágios diferenciados de decomposição física, desde galhos e folhas até um material fino de coloração escura. Transição plana e abrupta.
A1	0-10cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/4 úmido), bruno avermelhado (2,5YR 4/4, seco); argila, moderada pequena a média blocos

- subangulares; ligeiramente duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e gradual.
- A3 10-30cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 5/6, úmido), vermelho (2,5YR 5/6, seco); argila, moderada, média blocos angulares; ligeiramente duro, firme, plástico e pegajoso; transição ondulada difusa.
- Bt1 30-60cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/6, úmido), vermelho (2,5YR 5/8, seco); argila, moderada pequena prismática mista moderada pequena blocos angulares; ligeiramente duro friável, plástico e pegajoso; transição ondulada difusa.
- Bt2 60-130cm, vermelho escuro (10R 3/6, úmido), vermelho (10R 4/8, seco); argila siltosa, moderada muito pequena a pequena prismática; cerosidade moderada comum; ligeiramente duro, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição ondulada difusa.
- Bt3 130-195cm+, bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/6, úmido), vermelho (2,5YR 5/8, seco); argila siltosa, mosqueado comum pequeno distinto amarelo (5Y 8/8, seco); fraca muito pequena a pequena prismática mista fraca pequena blocos angulares; cerosidade abundante e forte; macio friável, plástico e

pegajoso.

RAÍZES comuns fasciculares no A1 e A3, poucas fasciculares no Bt1

ATIVIDADE BIOLÓGICA - pouca atividade (formigas no A1)

OBSERVAÇÕES Fragmentos de carvão vegetal arredondados com diâmetro de 0,5 a 1 cm com concentração nos horizontes A3 e Bt1. Blocos de basalto em decomposição com o núcleo cinza intacto e camadas concêntricas friáveis de cor amarela (exfoliação esferoidal), com diâmetro desde poucos centímetros até 50 cm distribuídos ao longo do solo. A parte inferior do perfil, a partir do Bt3 é influenciada pelo lençol freático, apresentando estrutura com aspecto "quebradiço". Perfil descrito em dia ensolarado. Muitos poros pequenos no A1, poros comuns muito pequenos no A3 e B1, poucos poros muito pequenos no Bt2 e Bt3. Atração magnética ao longo do perfil.

2. SOLOS DA REGIÃO SUL

2.1. Latossolo Roxo Epieutrófico

A. DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL - AS

CLASSIFICAÇÃO - Latossolo Roxo Epieutrófico, A moderado

textura muito argilosa, relevo suave ondulado.

LOCALIZAÇÃO - 5 metros do lado esquerdo da estrada de terra que leva à saída NW da UEL, passando em frente ao Núcleo Esportivo, a 500 metros desse.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - trincheira situada na parte alta e suave da topografia, com 4% de declive e sob cobertura de capim (área em pousio).

ALTITUDE - 595 metros

LITOLOGIA - rochas básicas

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Grupo São Bento, Formação Serra Geral

PERÍODO - Cretáceo inferior

MATERIAL DE ORIGEM - produtos de decomposição de rochas básicas

PEDREGOSIDADE - não pedregosa

ROCHOSIDADE - não rochosa

RELEVO LOCAL - suave ondulado, com colinas de topo arredondados, vertentes convexas de centenas de metros em "U" aberto

RELEVO REGIONAL - suave ondulado a ondulado

EROSÃO - laminar ligeira

DRENAGEM - acentuadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL - área em pousio com capim

CLIMA - Cfa (Koppen)

B. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap	0-5cm,bruno	avermelhado	escuro(2,5YR
----	-------------	-------------	--------------

3/3, úmido; 2,5YR 3/6, seco); muito argiloso; fraca muito pequena a média em grumos; macio muito friável plástico e pegajoso; transição clara e plana.

AB 5-45cm, bruno avermelhado escuro(2,5YR 3/3, úmido; 2,5YR 3/6, seco); muito argiloso; moderada pequena a média blocos angulares; ligeiramente duro firme, plástico e pegajoso; transição gradual e ondulada.

Bw 45-200cm+, vermelho escuro(10 R 3/6, úmido e seco); muito argiloso; fraca pequena a média blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular com aspecto de maciça porosa no local(apédica); macio muito friável plástico e pegajoso.

RAÍZES muitas fasciculares com diâmetro milimétrico no Ap; comuns fasciculares com diâmetro milimétrico no AB e Bw.

ATIVIDADE BIOLÓGICA - canais com diâmetro variando de 5 a 20 mm ao longo do perfil; intensa atividade de formigas, minhocas e besouros no perfil.

OBSERVAÇÕES - muitos poros muito pequenos no horizonte Ap; poros comuns muito pequenos no AB e muitos poros pequenos a médios no Bw. Forte atração magnética em todos os horizontes.

2.3. Solo Litólico Eutrófico

A. DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL - CS

CLASSIFICAÇÃO - Solo Litólico Eutrófico, A moderado, textura argilosa, relevo ondulado

LOCALIZAÇÃO - área de silvicultura do campo experimental da UEL, a 3 metros da antiga estrada de terra que leva à saída sul da universidade, junto à cerca

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - trincheira situada no terço inferior da encosta, com 18% de declive e sob cobertura de remanescentes da mata natural

ALTITUDE - 517 metros

LITOLOGIA - rochas básicas

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Grupo São Bento, Formação Serra Geral

PERÍODO - Cretáceo inferior

MATERIAL DE ORIGEM - produtos de decomposição de rochas básicas

PEDREGOSIDADE - ligeiramente pedregosa

ROCHOSIDADE - ligeiramente rochosa

RELEVO LOCAL - ondulado

RELEVO REGIONAL - suave ondulado a ondulado

EROSÃO - não aparente

DRENAGEM - acentuadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL - silvicultura

CLIMA - Cfa (Koppen).

B. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1 0-30cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/3, úmido 2,5YR 3/4, seco); argila; moderada pequena a grande em grumos; ligeiramente duro friável ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.
- C1 30-100cm, material proveniente do intemperismo de rochas básicas de coloração amarelo-avermelhada (7,5YR 6/6, úmido), intercalado por produto friável de cor bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido; 2,5YR 3/6, seco); fragmentos arredondados com diâmetro variável apresentando exfoliação esferoidal (aloterita) intercalados por material friável com estrutura moderada média a grande blocos subangulares composta de moderada pequena granular; macia friável plástica e pegajosa; transição clara e irregular.
- C2 100-130cm+, material desenvolvido do intemperismo de rochas básicas de coloração bruno clara (7,5YR 6/4, úmido) e amarelo

avermelhada (7,5YR 6/6,úmido). Apresenta estrutura maciça, compacta, cortada por fraturas subverticais por onde penetra material friável das camadas superiores. Trata-se de isalterita de rocha básica com preservação das estruturas da rocha subjacente.

RAÍZES muitas, fasciculares, com diâmetro de poucos milímetros até 30 mm no horizonte A1; poucas, fasciculares, milimétricas na massa do solo (entre os fragmentos da alterita) no C1; raras fasciculares, milimétricas nas fraturas do C2

ATIVIDADE BIOLÓGICA - intensa atividade de minhocas e formigas no perfil; buraco de tatu com diâmetro de 20 cm no horizonte A1; canais milimétricos no perfil; canal de diâmetro de 20 mm preenchido por material cinzento no C1

OBSERVAÇÕES - poros comuns muito pequenos no horizonte A1; atração magnética ao longo do perfil. Fragmentos de rocha básica no A1.

2.2. Terra Roxa Estruturada Eutrófica

A. DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL - BS

CLASSIFICAÇÃO - Terra Roxa Estruturada Eutrófica, A

moderado, textura muito argilosa, relevo ondulado

LOCALIZAÇÃO - reserva florestal da UEL, porção sul, 50 metros ao norte da mina d'água, entrando na mata

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - trincheira situada no terço médio da encosta, com 10% de declive e sob cobertura de mata natural

ALTITUDE - 537 metros

LITOLOGIA - rochas básicas

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Grupo São Bento, Formação Serra Geral

PERÍODO - Cretáceo inferior

MATERIAL DE ORIGEM - produtos de decomposição de rochas básicas

PEDREGOSIDADE - não pedregosa

ROCHOSIDADE - não rochosa

RELEVO LOCAL - ondulado

RELEVO REGIONAL - suave ondulado a ondulado

EROSÃO - não aparente

DRENAGEM - bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL - reserva florestal

CLIMA - Cfa(Koppen)

B.DESCRICÃO MORFOLÓGICA

0 4-0cm, camada escura composta de mistura de fragmentos vegetais e animais em estágios variados de decomposição e/ou não decompostos. Transição plana e abrupta.

- A1 0-25cm,bruno avermelhado escuro(2,5YR 3/3, úmido; 2,5YR 3/4,seco); muito argiloso; fraca pequena a média em grumos;macio friável ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso;transição gradual e ondulada.
- A3 25-60cm,bruno avermelhado escuro(2,5YR 3/3, úmido; 2,5YR 3/4,seco);muito argiloso;fraca média blocos angulares composta de fraca pequena a média granular;macio friável plástico e pegajoso; transição gradual e ondulada.
- B1 60-90cm,vermelho escuro(10 R 3/6, úmido e seco); argila;moderada média a grande blocos angulares composta de fraca pequena a média granular ; ligeiramente duro firme plástico e pegajoso;transição difusa irregular.
- Bt1 90-150cm,vermelho escuro(10 R 3/6,úmido e seco); muito argiloso;moderada pequena a média prismática composta de moderada muito pequena a média blocos angulares;cerosidade forte e abundante;ligeiramente duro firme plástico e pegajoso;transição gradual ondulada.
- Bt2 150-240cm+,bruno escuro(7,5YR 3/4,úmido),bruno (7.5YR 4/4,seco),mosqueado comum pequeno proeminente amarelo laranja(10YR 8/8);muito argiloso;maciça que se desfaz em moderada pequena a média bloco angulares;cerosidade forte e

abundante; ligeiramente duro firme plástico e pegajoso.

RAÍZES muitas, fasciculares, com diâmetro de milímetros até 2cm no horizonte A1; poucas fasciculares com diâmetro milimétrico no A3 e B1; raras fasciculares no Bt1 e ausentes no Bt2.

ATIVIDADE BIOLÓGICA - atividade de formigas e besouros no perfil; buraco de tatu com diâmetro de 20cm englobando os horizontes A1 e A3.

OBSERVAÇÕES - poros comuns muito pequenos em todo perfil. Atração magnética nos horizontes do solo. Influência do lençol freático a partir do horizonte Bt2.

APENDICE 2

PRANCHAS FOTOGRÁFICAS 1 E 2

Fotomicrografias números 1 a 12

PRANCHA FOTOGRAFICA 1

Fotomicrografia n. 1. Córtex de alteração da Região Norte, mostrando litorelíquias de plagioclásio pseudomorfisado em gibbsita (nicois cruzados, aumento de 100 X).

Fotomicrografia n. 2. Cristais de quartzo no horizonte A1 da Terra Roxa Estruturada de sopé de encosta da Região Norte (nicois cruzados, aumento de 35 X).

Fotomicrografia n. 3. Micro-agregados coalescentes do horizonte B latossólico da Região Norte (nicois cruzados, aumento de 35 X).

Fotomicrografia n. 4. Cristais de plagioclásio pseudomorfisados em caulinita na alterita (horizonte C) da Região Sul (nicois cruzados aumento de 100 X).

Fotomicrografia n. 5. Cutãs iluviais organizados em microlitos no horizonte B textural da Região Sul (luz natural, aumento de 100 X).

Fotomicrografia n. 6. Estrutura grumosa do horizonte A1 da Terra Roxa Estruturada da Região Sul (nicois cruzados, aumento de 35 X)

1

2

3

4

5

6

PRANCHA FOTOGRÁFICA 2

Fotomicrografia n. 7. Cristal de quartzo envolto por massa caulinítica no horizonte B textural da Terra Roxa Estruturada de encosta da Região Norte (M.E.V., aumento de 3200 X)

Fotomicrografia n. 8. Paragênese mineralógica (ver texto) do horizonte B latossólico da Região Norte (M.E.T., aumento de 10500 X)

Fotomicrografia n. 9. Agregados goethíticos com diferentes granulometrias no horizonte B latossólico da Região Norte (M.E.T., aumento de 10500 X)

Fotomicrografia n. 10. Cristal de gibbsita em desagregação física no córtex de alteração da Região Sul (M.E.V., aumento de 2500 X)

Fotomicrografia n. 11. Paragênese mineralógica de caulinita e agregados de ferro (goethita e hematita?) do horizonte B latossólico da Região Sul (M.E.T., aumento de 51000 X)

Fotomicrografia n. 12. Halóisita no horizonte superficial do solo litólico da Região Sul (M.E.T., aumento de 51000 X)

7

3,5 μ m

8

1 μ m

9

1 μ m

10

8 μ m

11

0,2 μ m

12

0,1 μ m