

**ESTUDO PEDOLÓGICO DE PERFIS DE  
SOLOS DO GRANDE GRUPO RUBROZEM  
DA BACIA DE CURITIBA-PR**

**VALMIQUI COSTA LIMA**

Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada à Escola Superior  
de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Uni-  
versidade de São Paulo, para obtenção do  
título de Mestre

**PROF. DR. JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ**

Orientador

**PIRACICABA**  
Estado de São Paulo  
1974

Aos meus pais,

*Wismar e Angela,*

dedico.

## A G R A D E C I M E N T O S

O autor expressa seus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

- Prof. Dr. José Luiz Ioriatti Demattê, pela orientação dada a este trabalho;
- Prof. Dr. Antonio Carlos Moniz, pelo auxílio nas determinações ana líticas, colaboração na redação e sugestões;
- Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos, pela revisão do texto, microfogra-  
fias de seções delgadas e sugestões;
- Prof. Dr. João Bertoldo de Oliveira, pelo auxílio na classificação dos solos e sugestões;
- Prof. Dr. Geraldo Victorino França pela revisão do texto e suges-  
tões;
- Prof. Dr. Darcy Martins da Silva, Engenheira Agrônoma Neusa de Li-  
ma Nogueira e Sr. Antonio Edelcio Lucafó, pelo auxílio na obtenção das microfotografias eletrônicas;
- Dr. Francisco Grohmann pelo auxílio nas determinações granulométr cas;
- Prof. Hélio Olímpio da Rocha pela obtenção das fotografias dos per fis de solos;
- Prof. Dr. Deodato Miguel P. Souza pela ajuda na seleção dos perfis de solos;
- Conselho de Ensino e Pesquisas da Universidade Federal do Paraná pela concessão de bolsa de estudo;
- Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de aperfeiçoamento;
- Seção de Pedologia do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo pela cessão dos laboratórios e aparelhos para análises.

Esses agradecimentos são extensivos a todos que, de uma forma ou de outra, colaboraram para a realização do presente trabalho.

# I N D I C E

	<u>página</u>
1. INTRODUÇÃO . . . . .	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . . . . .	03
3. O MEIO FÍSICO . . . . .	07
3.1. Geologia . . . . .	07
3.2. Clima . . . . .	10
3.3. Vegetação . . . . .	11
3.4. Relêvo . . . . .	13
4. MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .	14
4.1. Materiais . . . . .	14
4.1.1. Solo . . . . .	
4.1.2. Aparelhagem . . . . .	
4.2. Métodos . . . . .	16
4.2.1. Coleta de amostras . . . . .	16
4.2.2. Análise física . . . . .	17
4.2.3. Análise química . . . . .	18
4.2.4. Mineralogia da fração areia . . . . .	20
4.2.5. Mineralogia da fração argila . . . . .	20
4.2.5.1. Preparo de amostras . . . . .	20
4.2.5.2. Análise qualitativa . . . . .	25
4.2.5.3. Análise quantitativa . . . . .	27
4.2.6. Análise micropedológica . . . . .	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	33
5.1. Características físicas . . . . .	33
5.2. Características químicas . . . . .	42
5.3. Características morfológicas . . . . .	47
5.4. Mineralogia da fração areia . . . . .	61
5.5. Mineralogia da fração argila . . . . .	62
5.5.1. Análise qualitativa . . . . .	62
5.5.2. Análise quantitativa . . . . .	77

5.6. Análise micropedológica . . . . .	87
5.7. Classificação do solo . . . . .	91
5.7.1. Classificação segundo a <i>EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO (1972)</i> . . . . .	91
5.7.2. Classificação segundo o <i>SOIL SURVEY STAFF (1967)</i> . . . . .	98
6. RESUMO E CONCLUSÕES . . . . .	103
7. SUMMARY AND CONCLUSIONS . . . . .	106
8. BIBLIOGRAFIA CITADA . . . . .	108

## INDICE DAS FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>página</u>
1	Distribuição dos sedimentos da Bacia de Curitiba no primeiro planalto do Paraná, segundo <i>MAACK (1953)</i> . . . . .	09
2	Balanço hídrico anual da cidade de Curitiba, segundo <i>THORN-THWAITE &amp; MATHER (1955)</i> . . . . .	12
3	Difratogramas do horizonte IIB <sub>22t</sub> . Perfil Paraíso. Amostras da fração argila total . . . . .	63
4	Difratogramas do horizonte IIC. Perfil Aeroporto. Amostras da fração argila total . . . . .	64
5	Difratogramas da rocha (argilito), Perfil Menino Deus. Amostras da fração argila total . . . . .	65
6	Difratogramas do horizonte A <sub>1</sub> . Perfil Cajuru. Amostras da fração argila total . . . . .	67
7	Difratogramas do horizonte B <sub>1</sub> . Perfil Fazenda. Amostras da fração argila total . . . . .	68
8	Difratogramas do horizonte IIB <sub>22t</sub> . Perfil Cajuru. Amostras da fração argila total . . . . .	69
9	Difratogramas da rocha (argilito). Perfil Pinheirinho. Amostras da fração argila total . . . . .	70
10	Difratogramas de horizontes do perfil Menino Deus. Amostras naturais da fração argila total . . . . .	71
11	Difratogramas de horizontes do perfil Pinheirinho. Amostras naturais da fração argila total . . . . .	73
12	Difratogramas de horizontes do perfil Aeroporto. Amostras naturais da fração argila total . . . . .	74

Figuras

página

13	Difratogramas de horizontes do perfil Aeroporto. Amostras naturais da fração argila grossa . . . . .	75
14	Termogramas da fração argila de horizontes do perfil Menino Deus, mostrando os picos de gibbsita (G) e caulinita (C)	82

## INDICE DOS QUADROS

<u>Quadro</u>		<u>página</u>
1	Precipitação e temperaturas médias mensais da região de Curitiba. Período de 1946/1961 . . . . .	10
2	Espaçamentos interplanares ( $\bar{A}$ ) dos minerais de argila segundo o tratamento da amostra . . . . .	26
3	Dados físicos dos perfis Menino Deus e Pinheirinho . .	35
4	Dados físicos dos perfis Fazenda e Aeroporto . . . . .	36
5	Dados físicos dos perfis Paraíso e Cajuru . . . . .	37
6	Distribuição das partículas por tamanho, recalculadas com ausência da fração argila dos 6 perfis de Rubrozem estudados . . . . .	39
7	Amplitude de variação das características físicas nos horizontes A, B e C dos 6 perfis de Rubrozem estudados.	42
8	Dados químicos dos perfis Menino Deus e Pinheirinho . .	43
9	Dados químicos dos perfis Fazenda e Aeroporto . . . . .	44
10	Dados químicos dos perfis Paraíso e Cajuru . . . . .	45
11	Amplitude de variação das características químicas nos horizontes A, B e C dos 6 perfis de Rubrozem estudados.	48
12	Características morfológicas do perfil Menino Deus . .	49
13	Características morfológicas do perfil Pinheirinho . .	50
14	Características morfológicas do perfil Fazenda . . . . .	51
15	Características morfológicas do perfil Aeroporto . . . .	52
16	Características morfológicas do perfil Cajuru . . . . .	53
17	Composição mineralógica da fração argila (em porcentagem) dos perfis Menino Deus e Pinheirinho . . . . .	79

Quadropágina

18	Composição mineralógica da fração argila (em porcentagem) dos perfis Fazenda e Aeroporto . . . . .	80
19	Composição mineralógica da fração argila (em porcentagem) dos perfis Paraíso e Cajuru . . . . .	81
20	Composição mineralógica média (em porcentagem) e intemperismo médio da fração argila dos 6 perfis de Rubrozem estudados . . . . .	85
21	Composição mineralógica média (em porcentagem) e intemperismo médio da fração argila de alguns perfis de Podzólico Vermelho-Amarelo segundo diversos autores . . . .	86

## INDICE DAS ILUSTRAÇÕES

### Fotografia

### página

- |   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Perfil típico de solo Rubrozem. Corte de estrada próximo ao perfil Cajuru, município de Curitiba-PR . . . . .              | 56 |
| 2 | Linha de seixos em um perfil de Rubrozem. Corte de estrada próximo ao perfil Aeroporto, município de Curitiba-PR . . . . . | 60 |

### Microfotografia eletrônica

- |   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Amostra da fração argila total constituída por hexágonos de caulinita e placas de mica. Camada R, perfil Pinheirinho. 36 000X . . . . .                    | 76 |
| 2 | Presença de "moiré fringes" em partícula de argila (provavelmente mica). Amostra da fração argila total. Horizonte A, perfil Pinheirinho 72 000X . . . . . | 78 |

### Microfotografia

- |   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Presença de cutan iluvial com aspecto de camadas concêntricas. Horizonte IIB <sub>22t</sub> , perfil Paraíso. Nicóis cruzados. 120X . . . . . | 88 |
| 2 | Horizonte B <sub>1</sub> , perfil Fazenda, onde não ocorrem cutans iluviais. Nicóis cruzados. 120X . . . . .                                  | 89 |

## 1. INTRODUÇÃO

Os estudos de gênese e classificação de solos se desenvolveram notavelmente nos últimos anos. Para esse progresso muito contribuíram as pesquisas relacionadas com a fração argila dos solos, assim como o aparecimento, nos Estados Unidos e França, de novos conceitos genéticos e novos sistemas de classificação.

Visando iniciar pesquisas nesses setores da Ciência do Solo, propusemo-nos a estudar os solos, conhecidos como Rubrozens que ocorrem na bacia sedimentar de Curitiba-PR. O fato desses solos serem frequentemente utilizados como material de ensino no curso de Agronomia, em Curitiba, associado à área de ocorrência - bacia de sedimentação - e a presença de linha de seixos, separando horizontes de subsuperfície, constituiram justificativa para a realização deste trabalho.

Este trabalho tem, portanto, como objetivo fundamental o estudo pedo-

lógico dos solos pertencentes ao grande grupo Rubrozem visando a caracterização mineralógica da fração coloidal inorgânica e o seu enquadramento nas classificações de solos adotadas pela *EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO (1972)* e *SOIL SURVEY STAFF (1967)*.

Provavelmente, este trabalho conterà omissões que deverão ser posteriormente abordadas. Todavia, espera-se que o mesmo seja recebido como uma modesta tentativa no sentido de serem iniciadas pesquisas semelhantes no Estado do Paraná.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 1954, Bramão e Simonson, durante uma viagem de estudos ao sul do Brasil, observaram em Curitiba, Estado do Paraná, a ocorrência de um solo com um horizonte A escuro e espesso seguido de um horizonte de subsuperfície de coloração vermelha a bruno muito escuro. Por não se assemelhar com nenhum outro solo até então conhecido foi considerado, por esses autores, como um novo grande grupo. Para a sua caracterização foi coletado um perfil em que se realizou, além da descrição morfológica, algumas determinações químicas e físicas.

De posse desses dados analíticos, os citados autores apresentaram, no 6º Congresso de Ciência do Solo, realizado em Paris, no ano de 1956, um trabalho propondo um novo grande grupo de solos para o qual foi sugerido o nome Rubrozem.

A denominação de Rubrozem foi proposta por *BRAMÃO & SIMONSON (1956)*

por considerarem que este solo apresenta;

- horizonte superficial semelhante ao Chernozem
- horizonte de subsuperfície semelhante ao Podzólico Vermelho-Amarelo.

De acôrdo com os mesmos autores, as principais características do grande grupo Rubrozem são:

- sequência de horizontes A-B-C;
- horizonte A espêsso ( $\pm$  40 cm), escuro, rico em matéria orgânica ( $\pm$  10%), 52% de argila;
- horizonte subsuperficial de acumulação de argila, grau de estrutura moderada a forte, consistência duro, firme, plástico ou muito plástico e pegajosa; cor entre 2,5 YR e 10 R; 72% de argila;
- quimicamente é um solo fortemente ácido (pH 4,0), capacidade de troca catiônica elevada (30 e.mg/100 g), baixa saturação de bases (< 5 e.mg/100 g) e altos teores em alumínio trocável.

Mais tarde, em boletim preliminar distribuído pela *F.A.O. (1956)* a especialistas em solos, é observação que o horizonte A não é considerado chernozêmico devido ao baixo teor em bases e à elevada relação C/N.

*TAVERNIER & SMITH (1957)*, estudando os conceitos de Brown Forest Soil, da Europa e dos Estados Unidos, verificaram que muitos dos solos escuros que ocorrem limitando as estepes apresentam características em comum. Dentre eles são citados os Degraded Chernozem, Degraded Brunizem, Reddish Prairie Soils, Degraded Chestnut e Rubrozem.

*RANZANI et al. (1959)*, realizaram estudos morfológicos e analíticos de um solo desenvolvido no município de Itararé, Estado de São Paulo, o qual denominaram de Rubrozem. Esta classificação baseou-se no perfil modal paraense descrito pioneiramente por *BRAMÃO & SIMONSON (1956)*. Observaram, ainda que: "A acidez é elevada e há evidência de predominância de argilas cauli

níticas".

O novo sistema americano de classificação de solos, em sua 7a. aproximação (*SOIL SURVEY STAFF, 1960*), incluiu os solos Rubrozem na ordem dos Ultisols, subordem Umbrults. Esclarece, também, que os mesmos possuem um epipedon úmbrico e um horizonte argílico. Entretanto, no suplemento de 1967 (*SOIL SURVEY STAFF, 1967*) esta subordem foi eliminada e incluída entre os Humults.

Este grande grupo foi cartografado em Curitiba por *PAULA SOUZA (1961)*, que registrou uma área de ocorrência correspondente a 48% no município, o que equivale a 202 km<sup>2</sup>.

*SMITH (1964)*, relatando suas impressões sobre os solos do Brasil, emitiu breves comentários a respeito dos solos Rubrozem de Curitiba. De acordo com o mesmo, verifica-se nos Estados Unidos, principalmente nos Estados de Oregon, Washington e Califórnia, a ocorrência de solos similares ao Rubrozem, aonde recebem diversas denominações entre as quais a de Brown Lateritic, Yellowish Brown ou Brown Forest Soils.

*BENNEMA (1963)*, inclui os solos Podzólicos Vermelho-Amarelo juntamente com os Rubrozens na classe dos Lateritic Podzolic Soils. Segundo este autor, os Lateritic Podzolic Soils compreendem solos com as seguintes características: horizonte de subsuperfície argiloso, de textura mais pesada do que o horizonte A (horizonte B textural), com uma estrutura em blocos ou prismática bem desenvolvida e apresentando cerosidade. Observa, também, que os solos descritos como Rubrozens podem ser considerados como sendo os membros que apresentam um horizonte A extremamente desenvolvido.

*BENNEMA & CAMARGO (1964)*, ao realizarem o esboço parcial para a classificação dos solos brasileiros, incluíram os Rubrozens, em alto nível categórico, na classe dos solos com horizonte B textural (não hidromórficos). Em nível inferior, os Rubrozens foram enquadrados entre aqueles solos com por-

centagem de alumínio superior a 50% e com saturação de bases no horizonte B inferior a 35%. Finalmente, neste mesmo esboço, em nível categórico mais baixo, são colocados entre os solos com horizonte A muito fortemente desenvolvido.

*BODZIAK & PAULA SOUZA (1965)*, estudando os solos do município de Curitiba, observaram ser o grande grupo Rubrozem originado a partir dos depósitos pleistocênicos. Reconhecem, também, o horizonte superficial como sendo chernozêmico e o horizonte B como podzólico.

*CAMARGO & BENNEMA (1966)*, admitem os solos Rubrozem como unidade pedológica afim do Podzólico Vermelho-Amarelo. Em nível superior, incluem os Rubrozems na Associação de Solos das Zonas Mais Elevadas do Planalto de Sudeste e Sul:

Nas definições das unidades de solos, *DUDAL (1968)* correlaciona os solos Rubrozem como os Humic acrisols.

Observa-se por esta revisão, que as referências bibliográficas ao grande grupo Rubrozem são em pequeno número e que, em sua maior parte, dizem respeito à sua colocação em classificações. Mineralogicamente, entretanto, o que se sabe com relação ao mesmo é bem pouco e normalmente está relacionado com sua capacidade de troca catiônica. Assim é que, *BRAMÃO & SIMONSON (1956)* dizem o seguinte (pág. 27): "Se esta capacidade de troca catiônica fosse atribuída somente à argila, esta fração poderia ter uma capacidade de aproximadamente 40 e.mg/100 g. Este valor é característico dos minerais de argila do grupo illita". Em continuação, revelam, ainda que: "A dominância do grupo illita é também sugerida pela ausência de expansão e contração apreciáveis, a despeito do alto conteúdo de argila e moderada capacidade de troca catiônica".

### 3. O MEIO FÍSICO

Os solos aqui estudados são provenientes da intemperização de materiais da bacia sedimentar de Curitiba. Esta bacia está situada no primeiro planalto paranaense e ocupa uma área de três mil quilômetros quadrados. Suas dimensões extremas são de sessenta quilômetros no sentido leste-oeste e cinquenta quilômetros no sentido norte-sul. Caracteriza-se por possuir contornos irregulares, sendo limitada por todos os lados por terrenos pré-cambrianos, que constituem o embasamento de seus depósitos (*BIGARELLA & SALAMUNI, 1962*).

#### 3.1. Geologia

Segundo *BIGARELLA & SALAMUNI (1962)*, a geologia da bacia de Curitiba é constituída por três agrupamentos distintos: o embasamento cristalino, os sedimentos do quaternário antigo e os sedimentos do holoceno.

a. Embasamento cristalino

É constituído por biotita-gnaisses e camadas de quartzitos de espessuras variadas. Ocorrem, também, diques de diabásio que são, igualmente, parte integrante do embasamento da bacia. Estas rochas constituíram a fonte dos sedimentos para duas fases distintas de deposição: uma pleistocênica e outra holocênica.

b. Sedimentos do quaternário antigo

São considerados os principais constituintes da bacia. Os seus mais importantes componentes litológicos são os argilitos e os arcóseos. *BIGARELLA & SALAMUNI (1962)*, propuseram para estes sedimentos a denominação de Formação Guabirota.

Os sedimentos que caracterizam a Formação Guabirota provieram dos extensos mantos de intemperismo que se desenvolviam em espessuras variáveis sobre gnaisses e outros complexos litológicos pré-cambrianos, tanto na bacia como na sua periferia.

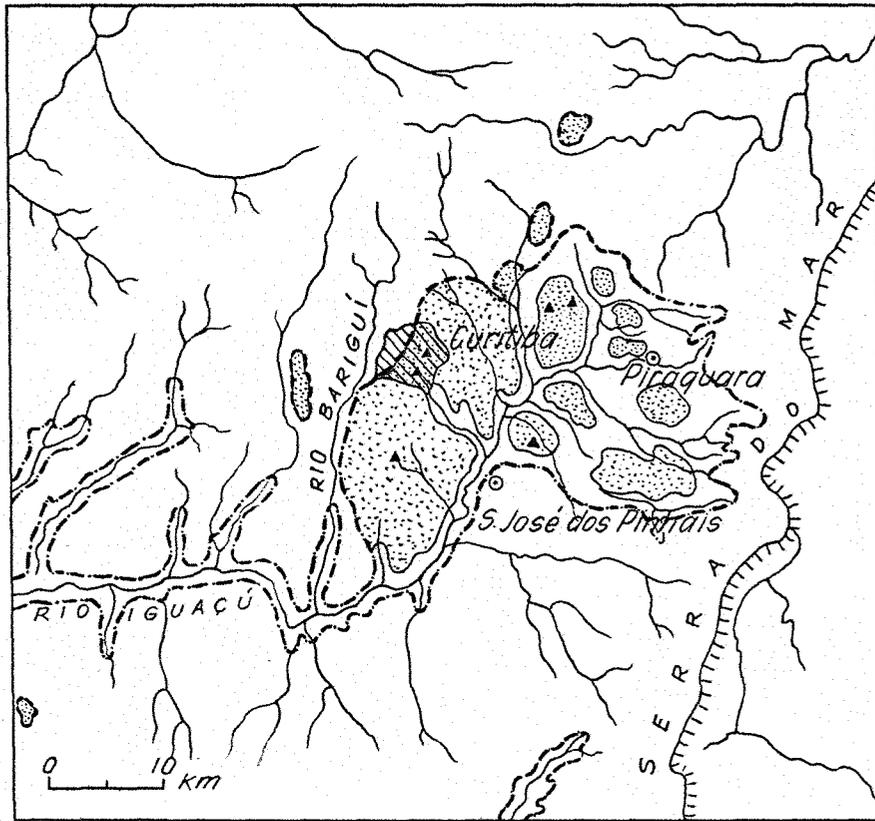
A origem da Formação Guabirota é bastante controvertida. Contudo, *BIGARELLA & SALAMUNI (1962)*, concluem ter sido a mesma depositada em ambiente semi-árido e lhe atribuem a idade plio-pleistocênica, até que se consiga uma melhor caracterização do ponto de vista cronológico.

É nesta Formação que se localizam os perfis de solos amostrados para a realização do presente trabalho.

c. Sedimentos do Holoceno

São os sedimentos mais recentes da bacia. São depósitos sem nenhum grau de consolidação. Estão representados por argilas, areias finas e grossas, argilas turfosas e cascalhos.

O mapa apresentado na Figura 1 ilustra a distribuição das unidades



-  Formação Guabirotuba
-  Sedimentos Holocênicos
-  Localização dos perfis de solo
-  Limite da Bacia

*Fig 1 Distribuição dos sedimentos da Bacia de Curitiba, no primeiro planalto do Paraná (Maack, 1953)*

geológicas presentes na bacia de Curitiba. Nesta mesma Figura pode-se observar a localização dos perfis de solo apresentados neste estudo.

### 3.2. Clima

O clima da bacia de Curitiba enquadra-se no tipo climático C<sub>f</sub>b, segundo a classificação de Koeppen. É um clima mesotérmico, úmido, sem estação seca e com a média do mês mais quente inferior a 22<sup>o</sup>C.

O quadro 1 apresenta os valores médios de temperatura e precipitação mensais da região estudada.

QUADRO 1 - Precipitação e temperaturas médias mensais da região de Curitiba. Período de 1946/1961 (MAACK, 1968).

Mês	Temperatura ( <sup>o</sup> C)	Precipitação (mm)
Janeiro	20,4	203
Fevereiro	20,1	188
Março	19,0	137
Abril	16,3	85
Mai	14,2	91
Junho	13,1	100
Julho	12,8	91
Agosto	14,1	80
Setembro	15,4	129
Outubro	16,2	127
Novembro	17,6	101
Dezembro	18,9	153
Ano	16,5	1 485

Observa-se deste Quadro que julho é o mês mais frio com  $12,8^{\circ}\text{C}$  e janeiro o mais quente com  $20,4^{\circ}\text{C}$ . A temperatura média anual é de  $16,5^{\circ}\text{C}$ .

A temperatura do solo foi estimada de acordo com as indicações de Smith & Newhall, citados por OLIVEIRA (1972b). De acordo com esses autores, a temperatura atmosférica subtraída de  $1^{\circ}\text{C}$ , equivale à temperatura média anual do solo a uma profundidade de 50 cm.

O balanço hídrico está representado na Figura 2 (HOLZMANN, 1966), podendo-se notar que existe um excedente hídrico da ordem de 689 mm.

Em fase dos dados climáticos apresentados, o clima da região de Curitiba pode ser enquadrado, para fins de classificação de solos, como térmico (temperatura média anual do solo entre  $15$  e  $22^{\circ}\text{C}$  e diferença entre temperatura média de verão e de inverno superior a  $5^{\circ}\text{C}$ ) e údico (sem falta de água no perfil) (SOIL SURVEY STAFF, 1970).

### 3.3. Vegetação

A bacia de Curitiba caracteriza-se principalmente por três aspectos fitofisionômicos de importância que são os campos edáficos, os campos limpos e os capões (KLEIN & HATSCHBACH, 1962).

Os campos edáficos, também chamados de inundações, acham-se localizados às margens dos rios. São constituídos por gramíneas e ciperáceas características.

Os campos limpos ou naturais ocupam grande parte da área de ocorrência da Formação Guabirotuba, alternando-se com os capões que são pequenos núcleos de vegetação arbustiva e arbórea de forma aproximadamente circular.

Os perfis amostrados ocorrem sob vegetação de gramíneas.

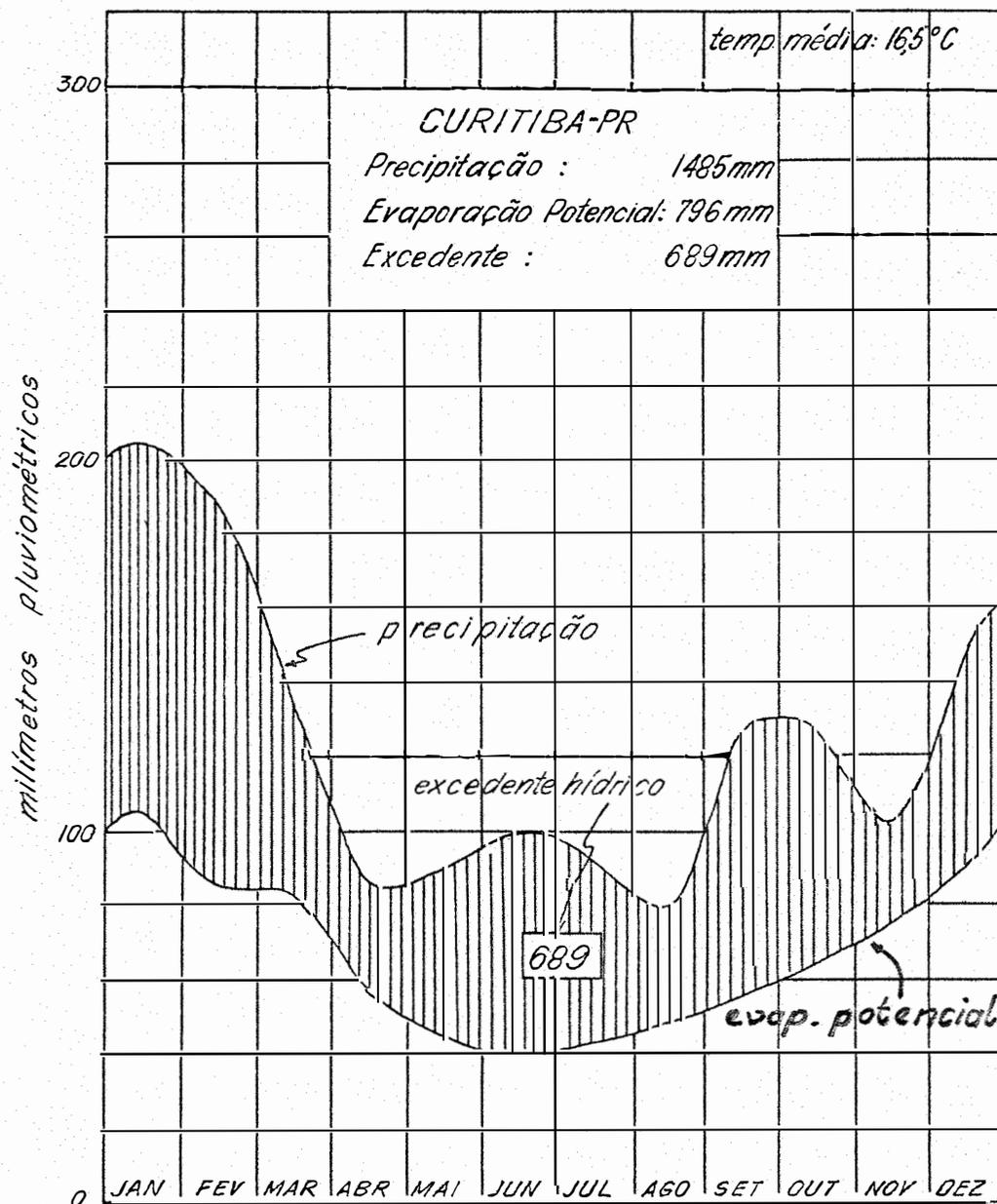


Fig. 2. Balanço hídrico anual da cidade de Curitiba, segundo Thornthwaite & Mather (1955). (Holzmann, 1966).

### 3.4. Relêvo

A bacia de Curitiba apresenta como feição morfológica típica os outeiros suavemente arredondados e, algumas vezes, tabuliformes, esculpido nos sedimentos da Formação Guabirota. O embasamento cristalino, que não raramente aflora na área, apresenta-se com feições mais íngremes contrastando com os sedimentos do holoceno situados em relêvo plano (*BIGARELLA & SALAMUNI 1962*).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Materiais

#### 4.1.1. Solo

Os perfis amostrados pertencem ao grande grupo Rubrozem, unidade de larga ocorrência na Bacia Sedimentar de Curitiba. Na área em questão esses solos se encontram sobre os sedimentos argilosos da Formação Guabirotuba.

As descrições morfológicas dos perfis foram realizadas seguindo-se principalmente, as orientações constantes do Manual de Métodos de Trabalho de Campo - 2a. aproximação, da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (1967).

Na escolha do local para a abertura das trincheiras procurou-se, sempre que as condições permitiram, selecionar áreas afastadas entre si, de forma a se verificar as possíveis variações nas características deste grande

grupo. A denominação dada aos perfis corresponde ao local da amostragem. Foram coletados seis perfis, cuja localização aproximada é a seguinte:

- perfil Paraíso - aproximadamente a 1 km da margem esquerda da rodovia Curitiba-Rio Negro, Vila Paraíso, município de Curitiba;
- perfil Pinheirinho - a 50 metros da margem esquerda da rodovia Curitiba-Rio Negro, km 10, Bairro Pinheirinho, município de Curitiba;
- perfil Cajuru - a 50 metros da margem direita da rodovia Curitiba-Rio Negro, Bairro Cajuru, município de Curitiba;
- perfil Fazenda - situado na Fazenda Experimental da Faculdade de Agronomia, município de Piraquara;
- perfil Menino Deus - a 500 metros da margem direita da rodovia Curitiba-São Paulo (BR 116), km 17, Jardim Menino Deus, município de Piraquara;
- perfil Aeroporto - margem direita da rodovia que liga a cidade de São José dos Pinhais ao Aeroporto Afonso Pena, município de São José dos Pinhais.

#### 4.1.2. Aparelhagem

No decorrer dos trabalhos de análise foram utilizados os seguintes aparelhos:

- aparelho de raios X marca Norelco, da Philips Electronic Instruments Co., N.Y., U.S.A., pertencente à Seção de Pedologia do Instituto Agrônomo de Campinas. Como fonte de radiação usou-se um tubo de cobre com filtro de níquel. As velocidades de varredura e do papel (gráfico) foram de 2<sup>o</sup>/minuto e 4<sup>o</sup>/polegada, respectivamente.
- aparelho de análise térmica diferencial Deltatherm, do Departamento de Solos e Geologia da ESALQ, fabricado pela Technical Equipment Corporation. Suas principais características são as seguintes: unidade básica com registro eletrônico de quatro canais; controle com aumento de temperatura 2-20<sup>o</sup>

C/minuto; dispositivo automático para limitação da temperatura; mufla tipo tubo vertical; temperatura máxima de operação 1 250<sup>o</sup>C; porta-amostras com nove cavidades;

- centrífuga Internacional nº 2, do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", utilizada para o preparo das amostras de argila destinadas às análises difratométricas e quantitativas. Fabricada pela International Equipment Co., Boston, Mass., U.S.A., com indicador de velocidade e marcador de tempo. Como suporte dos tubos foi usado um cabeçote nº 240, com capacidade para oito unidades de 100 ml;
- centrífuga de cabeça em ângulo tipo International Clinical Centrifuge, do Departamento de Solos e Geologia da ESALQ, modelo CL, da International Equipment Co.. Possui suporte fixo com capacidade para doze tubos de 15 ml. Foi empregada no preparo de pequenas quantidades de argila para a confecção de lâminas destinadas às análises de raios X;
- microscópio petrográfico marca Leitz do Departamento de Solos e Geologia da ESALQ, utilizado no exame das seções delgadas e da fração areia;
- microscópio eletrônico Siemens Elmiskop I, pertencente ao Laboratório de Microscopia Eletrônica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) empregado na observação de amostras da fração argila e obtenção de micrografias eletrônicas.

## 4.2. Métodos

Neste ítem serão mencionados os métodos de trabalho de campo, assim como aqueles levados a efeito em laboratório.

### 4.2.1. Coleta de amostras

A área de ocorrência dos solos Rubrozem, representada principalmente por Curitiba e municípios circunvizinhos como São José dos Pinhais e Piraquã

ra, foi percorrida detalhadamente. Para o estudo preliminar dos perfis utilizou-se dos cortes de estradas e, na falta desses, empregou-se o trado holandês.

Em seguida à localização dos perfis, foram abertas trincheiras com dimensões aproximadas de 1,5 m x 1,5 m x 2,0 m, nas quais procurou-se obter uma face vertical bem iluminada, de forma a exibir claramente o perfil e permitir a realização das descrições morfológicas. A profundidade das trincheiras foi de tal ordem que permitisse alcançar o substrato rochoso.

Posteriormente à descrição morfológica, realizou-se a amostragem dos horizontes e da rocha retirando-se, aproximadamente, dois quilogramas de material, que foram colocados em sacos plásticos etiquetados. No laboratório, as amostras foram secadas ao ar, destorroadas e passadas através de peneiras com malha de abertura de 2 mm. A porção que passou nessas peneiras se constituiu na terra fina seca ao ar, onde foram realizadas as determinações analíticas. Para a realização das análises químicas, físicas e mineralógicas foram selecionados os horizontes  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $B_{22}$ , C e camada R de cada perfil.

Para as análises micropedológicas coletaram-se amostras indeformadas. A técnica de coleta (MILLER, 1965) consistiu na retirada de pequenos blocos correspondentes à porção central dos horizontes, os quais eram identificados com o símbolo do respectivo horizonte amostrado, colando-se uma etiqueta em sua parte superior, que também indicava a posição original no perfil. Mais tarde, no laboratório, os blocos foram trabalhados com auxílio de uma espátula de maneira a se obter um cilindro com diâmetro aproximado de 5 cm e que, posteriormente, foi submetido à impregnação em câmara de vácuo, para a obtenção das seções delgadas.

#### 4.2.2. Análise física

As análises físicas consistiram na determinação da composição granulométrica, argila dispersa em água e umidades a 1/3 e 15 atmosferas.

A dispersão das amostras foi realizada segundo as instruções de GROHMANN & VAN RAIJ (1973). Foram tomadas 10 gramas de terra e transferidas para garrafas de Stohman de 1 000 ml, adicionando-se 50 ml de uma solução de NaOH 0,1 N e 20 gramas de areia de diâmetro entre 0,5 e 1,0 mm. A agitação foi realizada no aparelho de Wagner durante 18 horas. As frações argila e silte foram determinadas pelo método da pipeta (KILMER & ALEXANDER, 1949); a fração areia grossa foi determinada gravimetricamente e a fração areia fina por dedução de 100%. A adoção deste método deve-se ao fato de propiciar uma dispersão eficiente mesmo em amostras com altos teores de matéria orgânica e óxidos de ferro.

A argila dispersa em água foi determinada conforma as recomendações de VETTORI (1969).

As determinações de umidades retidas a 1/3 e 15 atmosferas foram feitas pelo emprêgo da panela de pressão e membrana de Richards (RICHARDS, 1949). Os teores de umidades correspondentes foram calculados gravimetricamente com base em peso sêco.

#### 4.2.3. Análise química

As análises químicas das amostras de solo foram realizadas objetivando-se as seguintes determinações: pH, cálcio, magnésio, potássio, acidez titulável e carbono orgânico. Determinou-se, também  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  solúveis em ácido sulfúrico (densidade 1,47).

- índice pH: foi determinado em potenciômetro "Leeds & Northrup", usando-se relação solo-água e solo-solução de KCl de 1:1. O tempo de repouso foi de 1/2 hora;
- cálcio e magnésio trocáveis: estes cátions foram extraídos com solução 1 N de KCl e determinados por quelatometria (GLÓRIA *et al.*, 1964).
- potássio trocável: a extração do potássio trocável foi realizada com solu-

ção 1 N de acetato de amônio. A determinação foi feita em fotômetro de chama;

- alumínio trocável: extraído com solução 1 N de KCl e determinado com NaOH 0,05 N, usando como indicador o azul de bromotimol (*CATANI et al., 1955*);
- acidez titulável ( $H^+ + Al^{3+}$ ): extração com solução 1 N de acetato de cálcio, pH 7, determinando-se por titulometria com NaOH 0,05 N, usando-se fenolftaleína como indicador;
- carbono orgânico: a oxidação foi feita por via úmida empregando-se bicromato de potássio 0,4 N. Na determinação usou-se solução 0,4 N de sulfato de ferro amoniacal e difenilamina como indicador (*VETTORI, 1969*).
- índice Ki: calculado pela relação molecular entre  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$ , determinados segundo as indicações de *VETTORI (1969)*;
- soma de bases trocáveis (S): compreende a soma dos teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis;
- capacidade de troca catiônica (CTC): calculada pela soma de bases trocáveis e acidez titulável:

$$CTC = S + (H^+ + Al^{3+})$$

- porcentagem de saturação de bases (V%): representa a relação entre a soma de bases trocáveis e a capacidade de troca catiônica. Foi calculada pela fórmula:

$$V = \frac{S}{CTC} \times 100$$

Para fins de classificação houve necessidade de transformar os valores de CTC e V%, uma vez que os métodos utilizados no presente trabalho diferem daqueles usados pelo *SOIL SURVEY STAFF (1967)*. Para separar os Ultisols

dos Alfisols utilizou-se o valor de  $V\% = 49$ , conforme foi proposto por *OLIVEIRA (1972b)*. Na transformação dos valores de CTC foi aplicada uma equação extraída do trabalho de *VAN RAIJ & KUPPER (1966)*:

$$Y = 0,721 x + 0,01$$

O emprego dessa equação permite a transformação dos resultados de CTC obtidos neste trabalho em valores equivalentes ao método do acetato de amônio, adotado pelo novo sistema americano de classificação de solos (*SOIL SURVEY STAFF, 1967*). Desta forma, o valor de 24 e.mg/100 g de argila, usado para separar os Typic Palehumult dos Humoxic Palehumult, equivale a 33 e.mg/100 g de argila.

#### 4.2.4. Mineralogia da fração areia

Realizou-se a análise desta fração com a finalidade de separar, ao nível de grande grupo, os Palehumults dos Haploomults. A subfração analisada foi aquela compreendida entre 0,2 e 0,02 mm, conforme especificado pelo *SOIL SURVEY STAFF (1967)*. O exame foi realizado em amostras isentas de óxidos de ferro do horizonte B<sub>2</sub>. As lâminas foram montadas usando-se óleo com índice de refração 1,54 (*BREWER, 1964*). A identificação e estimativa dos minerais foram feitas pelo método de contagem dos grãos localizados na interseção do retículo. Contou-se um total de 300 grãos por lâmina.

#### 4.2.5. Mineralogia da fração argila

##### 4.2.5.1. Preparo das amostras

Sabe-se que a fração argila do solo é composta essencialmente de silicatos hidratados de alumínio cristalinos e amorfos, e de óxidos e hidróxidos de alumínio, ferro e titânio (*MONIZ, 1972*), os quais se encontram íntima

mente reunidos aos colóides orgânicos (*BUCKLANN & BRADY, 1967*).

Como se objetiva exclusivamente a análise dos minerais de argila, torna-se imperioso separá-los daquelas substâncias que normalmente aparecem na fração argila do solo, tais como: matéria orgânica, óxidos de ferro e manganês livres, assim como sais solúveis e cátions divalentes trocáveis. Além de impedir uma eficiente individualização dos minerais de argila, a presença dessas substâncias pode causar (*JACKSON, 1956*):

- diluição da amostra, de forma a diminuir a intensidade de difração das espécies cristalinas presentes;
- impedimento da orientação dos filossilicatos durante a montagem de amostras orientadas.

Para evitar essas interferências, as amostras de argila foram tratadas de forma a se obter:

- destruição de carbonatos e remoção de cátions divalentes trocáveis;
- remoção de sais solúveis;
- eliminação da matéria orgânica e óxidos livres de manganês;
- remoção dos óxidos de ferro livres.

A metodologia seguida em cada caso é especificada a seguir. Todos os tratamentos foram sucessivos e realizados em amostras de 30 gramas de solo. Os métodos empregados foram aqueles propostos por *JACKSON (1956)*.

- Destruição de carbonatos e remoção de cátions divalentes trocáveis

A remoção desses materiais é vantajosa do ponto de vista de se obter uma eficiente dispersão das partículas de solo antes da separação granulométrica.

O processo empregado consistiu no tratamento à quente da amostra de

solo com uma solução tampão, pH 5, de acetato de sódio. A amostra foi tratada por 30 minutos com agitação ocasional. Em seguida, aguardou-se a decantação e o líquido sobrenadante foi sifonado e descartado. Realizaram-se 2 tratamentos, nos quais usou-se 200 ml da solução de acetato de sódio para cada tratamento.

- Eliminação da matéria orgânica e dos óxidos livres de manganês

A eliminação dos colóides orgânicos e óxidos livres de manganês foi efetuada pelo emprego de peróxido de hidrogênio a 30%.

A suspensão de solo, submetida ao tratamento anterior e apresentando reação ácida favorável à oxidação, foi tratada com 5 ml de peróxido de hidrogênio em copo de Beaker de 1 000 ml, o qual foi coberto por um vidro de relógio. Aguardou-se que a reação cessasse, agitando-se ocasionalmente. Em seguida, a mistura foi levada a uma chapa aquecedora, colocando-se uma segunda porção do oxidante. Ao abrandar a reação, foram adicionados mais 10 ml do reagente e prolongado o aquecimento por 4 horas. Esta operação foi repetida até o desaparecimento da reação típica de oxidação. Finalmente, as amostras foram lavadas 3 vezes com uma solução 1 N de acetato de sódio para remoção dos cátions liberados.

- Remoção dos óxidos de ferro livres

A remoção dos óxidos de ferro livres foi feita pelo método do ditio-nito - citrato - bicarbonato de sódio.

Os tratamentos consistiram na adição à suspensão de solo de 40 ml de uma solução 0,3 M de citrato de sódio e 5 ml de solução 1 M de bicarbonato de sódio. Posteriormente, em chapa aquecedora, a temperatura da suspensão foi elevada até aproximadamente 75°C, quando juntou-se mais ou menos, uma grama de ditio-nito de sódio. Agitou-se a suspensão durante todo o primeiro minuto

e, depois, ocasionalmente até completar 15 minutos. Encerrado o período de aquecimento, foram acrescentados 200 ml de solução a 5% de cloreto de sódio para provocar a floculação dos colóides. Repetiram-se os tratamentos até que a amostra exibisse uma coloração clara.

- Dispersão e separação da argila

Após a realização dos tratamentos descritos anteriormente, as amostras foram transferidas para provetas de 1 000 ml e colocadas em suspensão por sucessivas agitações e adições de água destilada. Transcorrido o tempo para sedimentação das partículas com diâmetros superior a 0,002 mm, procedeu-se a sifonação da suspensão de argila a uma profundidade de 10 cm, que foi recebida em copos de Beaker de 1 000 ml. Esta operação foi repetida, até que a limpidez do líquido sobrenadante indicasse ter sido removida a maior parte da fração argila. A argila separada foi floculada pela adição de solução a 5% de cloreto de sódio e transferida para frascos rotulados, aos quais juntou-se uma pequena porção de acetona pura para inibir a proliferação de fungos.

- Saturação das amostras de argila com cátions de magnésio e potássio

A identificação mineralógica dos minerais de argila pela difração de raios X baseia-se na presença de espaçamentos interplanares  $d$ , característicos de cada mineral. Uma vez que diferentes cátions podem se hidratar diferentemente, torna-se necessário que uma amostra de argila, preparada para ser submetida à análise pelos raios X, seja homoiônica de forma a garantir que a expansão resultante da hidratação seja uniforme para todos os cristais de uma mesma espécie.

Os cátions mais frequentemente usados para saturação do complexo trocável são o potássio e o magnésio. O primeiro permite uma adsorção relativamente uniforme de água interlamelar pelos filossilicatos expansivos e o se-

gundo restringe a adsorção de água interlamelar pela vermiculita (WHITTIG, 1965).

As saturações com o íon magnésio foram realizadas transferindo-se aproximadamente 50 ml de argila em suspensão, submetida aos tratamentos anteriores, para tubos de ensaio de 100 ml. A suspensão foi centrifugada e eliminou-se o sobrenadante. Em seguida foram realizadas 3 lavagens com 50 ml de solução 1 N de cloreto de magnésio. O excesso de sais de cloro, causado pelas sucessivas adições de cloreto de magnésio, foi eliminado lavando-se a amostra uma vez com água destilada, uma vez com metanol a 50%, e, finalmente, com metanol puro até que o líquido decantado desse um teste negativo para cloreto na presença de algumas gotas de solução 0,1 N de nitrato de prata.

Procedeu-se de modo idêntico nas saturações das amostras de argila com o íon potássio, nas quais se utilizou de uma solução 1 N de cloreto de potássio. Neste caso, devido às quantidades de argila serem muito pequenas, foram usados tubos de centrífuga com capacidade para 15 ml.

As determinações quantitativas foram realizadas em amostras de argila saturadas com magnésio. Na análise qualitativa pelos raios X usaram-se a mostras saturadas com potássio e magnésio.

#### - Montagem de amostras orientadas

A finalidade da montagem de amostras de argila orientadas consiste em realçar a intensidade dos espaçamentos basais dos minerais de argila quando submetidos à análise pela difração de raios X.

O método adotado (HARWARD & THIESSEN, 1969) devido à sua simplicidade e rapidez, proporciona a obtenção de picos de intensidade satisfatória.

A técnica de montagem resumiu-se na distribuição de uma pequena porção de argila em forma de pasta sobre uma lamina de vidro para microscopia

de, aproximadamente, 1 mm de espessura. A seguir, trabalhou-se o material com o auxílio de uma espátula até a formação de um delgado filme de argila. Em decorrência dessa operação, as partículas de argila, devido ao seu formato laminar, dispõem-se paralelamente à superfície da lâmina, promovendo a sua orientação preferencial.

As amostras orientadas receberam denominações de acordo com o cátion saturante, glicolação e tratamento térmico efetuado. As designações foram as seguintes:

- amostra natural: amostra orientada, saturada com potássio e seca à temperatura ambiente;
- amostra glicolada: refere-se à amostra orientada, magnésio-saturada e tratada com etileno-glicol. O tratamento da amostra com etileno-glicol foi feito adicionando-se 2 gotas deste reagente, na concentração de 5:1 (5 partes de álcool para uma parte de glicol) no momento da montagem das lâminas;
- amostra aquecida: foi a designação recebida pela amostra natural após ter sido submetida às temperaturas de 350 e 550°C.

#### 4.2.5.2. Análise qualitativa

A caracterização qualitativa dos minerais de argila foi realizada pela utilização das técnicas de difração de raios X e microscopia eletrônica.

- Difração de raios X

Os minerais de argila foram identificados por seu espaçamento basal. Os ângulos de difração  $2\theta$  foram medidos diretamente nos difratogramas. A conversão em espaçamentos interplanares foi efetuada utilizando-se uma tabela padrão de conversão da General Electric. Como esses espaçamentos correspondem a mais de um mineral foi necessário o emprego de testes diagnósticos

adicionais para sua diferenciação (MOLLOY & KERR, 1961). Essas técnicas baseiam-se na expansão e contração do espaçamento basal do mineral em análise através do emprego de compostos orgânicos e ação da temperatura.

A interpretação dos espaçamentos interplanares foi feita de acordo com o Quadro 2, compilado de diversos autores (BRINDLEY, 1955; JOHNSON et al. 1963; WARSHAW & ROY, 1963; WHITTIG, 1965; NEVES, 1968).

- Microscopia eletrônica

As observações microscópicas foram realizadas em amostras de argila magnésio-saturadas e isentas de matéria orgânica e óxidos de ferro. As amostras foram dispersas com água destilada em aparelho de ultra som, procurando-se obter uma suspensão bem diluída. A seguir, a suspensão de argila foi misturada com colódio e depositada sobre suportes próprios (telas) de 200 mesh de malha, que anteriormente já tinham recebido uma película de carvão. Após a secagem em estufa, as amostras foram levadas ao microscópio para exame. As observações foram realizadas em microscópio eletrônico Siemens Elmiskop I. As microfotografias foram tomadas com aumentos que variaram de 10000 a 20 000 X.

QUADRO 2 - Espaçamentos interplanares ( $\text{\AA}$ ) de primeira ordem dos minerais de argila, segundo o tratamento da amostra.

Mineral	Tratamentos			
	Natural	Aquecida		Glicolada
		350°C	550°C	
Caulinita	7,1	7,1	-	7,1
Mica	10,0	10,0	10,0	10,0
Montmorilonita	14,0	10,0	10,0	17,0
Vermiculita	14,0	10,0	10,0	14,0
Clorita	10,0	14,0	14,0	14,0
Gibbsita	4,8	-	-	4,8

#### 4.2.5.3. Análise quantitativa

Esta parte dos estudos objetivou estimar a distribuição e quantidades dos minerais de argila nos perfis de solos. Para isto foram realizadas análises químicas e análise térmica diferencial.

##### a. Material amorfo (alofana)

A denominação de material amorfo ou alofana é reservada para distinguir determinados materiais de ocorrência comum nos solos e que, quando submetidos à análise pelos raios X, não apresentam difração por não possuírem uma estrutura cristalina definida.

Em virtude desses materiais exibirem elevada superfície específica e alta capacidade de troca catiônica, exercem uma grande influência na química do solo, justificando, por conseguinte, os trabalhos envolvidos em sua determinação quantitativa (JACKSON, 1958).

A determinação foi realizada empregando-se o método de dissolução seletiva (HASHIMOTO & JACKSON, 1960), modificado para introduzir como agente dissolvente uma solução 0,5 N de hidróxido de potássio (CARVALHO, 1971; DUDAS & HARWARD, 1971).

A análise foi realizada em amostras de argila magnésio - saturadas (0,1 g), previamente moídas em mortár de ágata e sêcas a 105-110°C.

Basicamente, a metodologia consistiu na dissolução da amostra por ebulição em solução 0,5 N de hidróxido de potássio durante dois minutos e meio em copo de metal. Após a ebulição, retirou-se o copo de metal da chapa aquecedora e resfriou-se bruscamente em água corrente. A seguir, filtrou-se a mistura para balão volumétrico de 500 ml, completou-se o volume e agitou-se energicamente. A partir deste extrato foram determinados o silício e o alumínio.

## - Determinação do silício

Tomou-se uma alíquota de 20 ml do extrato contido no balão de 500 ml, transferiu-se para um balão de 50 ml e adicionou-se 10 ml de molibdato de amônio e 5 ml de ácido clorídrico 6 N. Completou-se o volume, agitou-se e realizou-se a leitura em colorímetro.

O teor de sílica na amostra foi calculado pela fórmula:

$$\text{SiO}_2\% = \frac{\text{ppm Si}^{4+} \times 5,35}{20 \times \text{peso amostra}}$$

## - Determinação do alumínio

Foi determinado pelo método do aluminon (HSU, 1963). Transferiu-se 10 ml do extrato para um balão de 100 ml, completando-se o volume. Deste balão foram retirados 20 ml de solução e passados para um balão de 50 ml, adicionando-se em seguida 3 ml de ácido clorídrico 1 N e 2 ml de ácido tioglicólico 1%. Após aquecimento por 30 minutos a 80-90°C, resfriou-se bruscamente e juntou-se 10 ml de aluminon, completando o volume com água destilada. Depois de 1 hora realizou-se leitura em colorímetro.

O cálculo foi feito pelo emprego da seguinte fórmula:

$$\text{Al}_2\text{O}_3\% = \frac{\text{ppm Al}^{3+} \times 4,725}{\text{peso da amostra}}$$

Tendo sido obtidas as percentagens de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , o teor de material amorfo foi calculado através o uso da expressão:

$$\text{Material amorfo \%} = \% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + 20\% \text{ de H}_2\text{O}$$

### b. Determinação da mica

A análise quantitativa da mica foi realizada indiretamente pela determinação do potássio total contido na amostra (JACKSON, 1958).

Consistiu no ataque da amostra de argila com ácido fluorídrico e ácido clorídrico 6 N, em cadinhos de platina, usando-se banho de areia com temperatura ao redor de 250°C. A quantidade de amostra foi de aproximadamente 0,1 g de argila magnésio-saturada. Foram efetuados dois ataques, após o que juntou-se 2 ml de ácido clorídrico 6 N e água destilada até 2/3 do cadinho. Deixou-se aquecer até o desaparecimento de qualquer resíduo. Após a dissolução, o conteúdo dos cadinhos foi transferido para balões volumétricos de 50 ml, completando-se o volume e filtrando-se em seguida. Do filtrado foram pipetadas alíquotas de 10 ml e transferidas para balões de 50 ml. Completou-se o volume com água destilada. A leitura foi realizada em fotômetro de chama.

O conteúdo de mica na fração mineral foi calculado com base no teor de  $K_2O$  obtido, considerando-se que as micas dioctaedrais apresentam 10% de  $K_2O$ . A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$\% \text{ de mica} = \%K_2O \times 10$$

### c. Determinação da vermiculita e montmorilonita

Esta determinação foi feita de acordo com as indicações de ALEXIA-DES & JACKSON (1965).

Consistiu na saturação de uma amostra de argila, pesando aproximadamente 0,1 g, com cálcio por sucessivas lavagens com uma solução 1 N de cloreto de cálcio. O cálcio foi deslocado por uma solução 1 N de cloreto de magnésio e determinado em espectrofotômetro de absorção atômica. O resultado

obtido foi designado de CTC [Ca/Mg]. Procedeu-se de forma idêntica com outra amostra de argila a qual foi saturada com potássio, deslocando-se este catíon por lavagens com cloreto de amônio 1 N. Antes da troca, as amostras foram deixadas em estufa a 105-110°C para fixação do potássio, que foi determinado em fotômetro de chama. O resultado obtido foi designado como CTC (K/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

A porcentagem de vermiculita foi calculada pela fórmula:

$$\% \text{ de vermiculita} = \frac{\text{CTC (Ca/Mg)} - \text{CTC (K/NH}_4)}{154} \times 100$$

A montmorilonita foi determinada pelo emprego da equação:

$$\% \text{ de montmorilonita} = \frac{\text{CTC (K/NH}_4) - 5}{105} \times 100$$

#### d. Determinação da caulinita e gibbsita

A determinação de caulinita e da gibbsita foi realizada por análise térmica diferencial, de acordo com *DIXON (1966)*, modificada para introduzir Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, calcinado a 950°C, ao invés de asbesto, como foi originalmente proposto.

Tomou-se aproximadamente 0,1 g de uma amostra de argila magnésio saturada, seca em estufa a 105-110°C, e triturada em gral de ágata, misturando-se com 0,4 g de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Após a homogeneização, a mistura foi montada nas cavidades do porta amostra do aparelho termo-diferencial, para obtenção dos termogramas.

As curvas de calibração foram obtidas empregando-se caulinita da Fló

rida, U.S.A., e gibbsita de Minas Gerais saturadas com magnésio.

A determinação quantitativa foi realizada nos termogramas, medindo-se as áreas dos picos endotérmicos da gibbsita (320°C) e da caulinita (550°C).

A porcentagem de caulinita ou gibbsita foi obtida pelo emprêgo da equação:

$$\begin{array}{l} \% \text{ de caulinita} \\ \text{ou gibbsita} \end{array} = \frac{\% \text{ caulinita ou gibbsita obtida na curva}}{\% \text{ de argila na mistura c/ Al}_2\text{O}_3}$$

#### 4.2.6. Análise micropedológica

As análises micropedológicas de seções delgadas de solo foram realizadas com o objetivo de se observar a ocorrência de cutans iluviais. A presença dessas entidades pedológicas (em mais de 1% em volume) é considerada diagnóstica na caracterização de horizontes argílicos (SOIL SURVEY STAFF, 1967) uma vez que indicam translocação de argila.

A obtenção de blocos impregnados foi realizada de acôrdo com as indicações de CAMPOS *et al.* (1973).

A impregnação foi realizada em câmara de vácuo, utilizando-se como impregnante resina acrílica de polimerização lenta na proporção de 3 gramas de catalisador (peróxido de benzoila) para 100 ml de resina.

Outra série de amostras foi impregnada com a resina Polylyte T 208, preparando-se uma solução de 55% da resina, 45% de monômero de estireno e 6 gotas de catalisador (peróxido de metil etil cetona) por 100 ml de resina (TEIXEIRA MENDES *et al.*, 1971). Utilizou-se também como material impregnante o plástico Carbowax 6 000, conforme técnica descrita por BREWER (1964).

Após a impregnação dos blocos, os mesmos foram cortados em serra com disco de diamante. A seguir, uma das faces foi polida e montada sobre lâmina de microscopia com cimento Lakeside 70. Passou-se, então, à confecção da seção delgada pelo sucessivo polimento da face livre do bloco até conseguir-se atingir uma espessura aproximada de 0,30 u. Sobre a seção delgada obtida foi colocada uma lamínula e fixada com Bálsamo do Canadá.

As observações foram realizadas sob microscópio polarizante de acordo com as instruções de *BREWER (1964)*.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste ítem optou-se pela apresentação e discussão simultânea dos resultados. A sequência obedecida foi: características físicas, químicas, morfológicas, mineralógicas e micropedológicas. Encerrando o capítulo, os perfis do grande grupo Rubrozem estudados foram classificados segundo os critérios taxonômicos estabelecidos pela *EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO (1972)* e *SOIL SURVEY STAFF (1967)*.

A apresentação dos perfis, nos quadros de resultados, foi realizada por ordem crescente de profundidade não havendo, entretanto, nenhum motivo especial para este procedimento.

### 5.1. Características físicas

Examinando-se, inicialmente, os dados referentes à composição granu-

lométrica, verifica-se que os solos em estudo são predominantemente argilosos. (Quadros 3, 4 e 5). Os teores de areia total variam entre 10,0 e 29,9%, com uma nítida tendência para decrescerem em profundidade. No horizonte A, onde se verificam os maiores teores, são encontrados valores compreendidos entre 17,0 e 29,9%. No horizonte B a amplitude de variação é mais ampla, ocorrendo valores entre 10,0 e 26,0%. O horizonte C apresenta teores entre 12,0 e 24,9%. Nas subfrações areia ocorre uma marcante predominância da areia fina. A areia grossa apresenta teores muito baixos e que variam entre 0,3 e 8,2%. Os horizontes de superfície são aqueles que contêm os teores mais elevados em areia grossa. A partir dos horizontes localizados inferiormente à linha de seixos, verifica-se uma queda brusca nos teores dessa subfração. Observa-se mesmo que, em alguns perfis, não se verifica a presença de areia grossa nessa porção do solo. Empregando-se a relação areia grossa / areia fina, proposta por *AGUIAR & SILVA (1969)*, são encontradas variações acentuadas ao longo do solo, refletindo a descontinuidade litológica evidenciada morfologicamente pela linha de seixos.

Em trabalhos anteriores com os solos Rubrozem (*BRAMÃO & SIMONSON, 1956; PAULA SOUZA, 1961*), observa-se, também, que a distribuição dos teores de areia grossa no perfil é semelhante àquela obtida neste estudo, muito embora não tivesse sido relacionada a uma possível ocorrência de descontinuidade litológica.

Na 7a. aproximação (*SOIL SURVEY STAFF, 1960*), encontra-se a seguinte referência: "Uma descontinuidade litológica é uma mudança significativa na distribuição das partículas por tamanho ou na sua mineralogia". Adverte, ainda, que: "Um dos propósitos na identificação das descontinuidades litológicas é separar as diferenças entre horizontes resultantes da pedogênese daquelas originadas por dessemelhanças geológicas".

A distribuição dos separados do solo pode dar indicações importantes. *FOSS & RUST (1968)*, trabalhando com solos derivados de materiais superpostos do glacial verificaram, pela composição granulométrica, que os dados

Quadro 3 - Dados físicos dos perfis Menino Deus e Pinheirinho

Horizontes	Composição granulométrica (%)							Umidade (%)		GF <sup>***</sup> (%)	** ag af
	Simbo- lo	Prof. (cm)	areia grossa	areia fina	areia total	silte	Argi- la	Argi- la*	1/3 atm.		
<u>Perfil Menino Deus</u>											
A <sub>1</sub>	0-13	2,5	27,4	29,9	15,7	54,4	6,7	37,3	29,2	88	0,09
IIB <sub>1</sub>	25-35	1,6	24,4	26,0	14,4	59,6	1,3	29,4	23,4	98	0,07
IIB <sub>22t</sub>	47-66	0,3	18,9	19,2	18,2	62,6	0,4	31,6	24,8	99	0,02
IIC	76-90	0,4	24,5	24,9	14,5	60,6	0,2	32,4	23,3	99	0,02
IIR	90+	0,4	21,6	22,0	16,6	61,4	0,0	31,6	21,7	100	0,02
<u>Perfil Pinheirinho</u>											
A <sub>1</sub>	0-14	5,0	19,1	24,1	17,1	58,8	5,8	40,6	29,9	90	0,26
IIB <sub>1</sub>	26-46	7,4	15,7	23,1	13,9	63,0	1,3	30,3	23,8	98	0,47
IIB <sub>22t</sub>	61-79	0,0	12,3	12,3	20,5	67,2	0,4	38,4	26,6	99	0,00
IIC	89-102	0,0	13,1	13,1	18,8	68,1	0,6	35,5	29,4	99	0,00
IIR	102+	0,0	13,1	13,1	16,5	70,4	0,0	39,3	28,8	100	0,00

\*\*

\* - argila dispersa em água; ag = areia grossa; af = areia fina; GF = grau de floculação

Quadro 4 - Dados físicos dos perfis Fazenda e Aeroporto

Horizontes	Composição granulométrica (%)							Umidade (%)			GF*** (%)	ag** af
	Simbo lo	Prof. (cm)	areia grossa	areia fina	areia total	silte	argi- la	argi- la	1/3 atm.	15 atm.		
<u>Perfil Fazenda</u>												
A <sub>1</sub>	0-20	2,3	19,6	21,9	13,2	64,9	5,6	40,0	28,5	69	0,12	
B <sub>1</sub>	34-49	1,4	18,4	19,8	14,2	66,0	4,1	30,2	24,9	94	0,08	
IIB <sub>22t</sub>	61-81	0,0	14,1	14,1	16,5	69,0	1,2	38,7	26,7	98	0,00	
IIC	95-108	0,0	19,6	19,6	12,9	67,5	1,3	38,3	26,4	98	0,00	
IIR	108+	0,0	12,2	12,2	20,8	67,0	0,8	38,6	26,1	98	0,00	
<u>Perfil Aeroporto</u>												
A <sub>1</sub>	0-18	1,5	14,1	15,6	13,8	70,6	10,4	43,9	33,7	85	0,11	
IIB <sub>1t</sub>	33-50	0,1	9,5	9,6	13,8	76,6	1,4	32,6	28,7	98	0,01	
IIB <sub>22t</sub>	65-85	0,0	11,0	11,0	12,7	76,3	1,0	39,5	30,9	99	0,00	
IIC	97-120	0,0	12,0	12,0	12,0	76,0	1,0	41,0	32,3	99	0,00	
IIR	120+	0,3	14,0	14,3	11,6	74,1	1,0	42,1	29,6	99	0,00	

\* argila dispersa em água; \*\* ag = areia grossa, af = areia fina; \*\*\* GF = grau de flocculação

Quadro 5 - Dados físicos dos perfis Paraíso e Cajuru

Horizontes		Composição granulométrica (%)					Umidade (%)		GF***	ag**	
Simbo	Prof.	areia	areia	areia	argi	argi-	1/3	(%)	af		
lo	(cm)	grossa	fina	total	la	la*	atm.				
lo	(cm)	grossa	fina	total	la	la*	atm.				
<u>Perfil Paraíso</u>											
A <sub>1</sub>	0-24	8,2	17,7	25,9	14,9	59,2	8,1	39,5	28,7	86	0,46
IIB <sub>1t</sub>	37-56	7,9	14,5	22,4	11,5	66,0	0,9	34,9	27,7	99	0,54
IIB <sub>22t</sub>	71-95	1,9	17,6	19,5	14,1	66,4	0,4	44,2	31,2	99	0,11
IIC	107-135	1,3	18,6	19,9	10,2	69,9	0,6	42,8	30,2	99	0,07
IIR	135+	1,6	8,7	10,3	9,7	80,0	1,3	41,7	28,1	98	0,18
<u>Perfil Cajuru</u>											
A <sub>1</sub>	0-22	2,3	13,9	16,2	10,7	73,1	11,0	40,1	31,9	85	0,17
B <sub>1t</sub>	38-54	0,3	10,1	10,4	7,1	82,5	4,2	30,2	27,3	95	0,03
IIB <sub>22t</sub>	70-104	0,3	9,7	10,0	5,3	84,7	1,2	30,5	26,0	98	0,03
IIC	110-139	0,0	14,0	14,0	16,0	69,1	1,0	36,1	29,6	98	0,00
IIR	139+	0,0	18,0	18,0	12,0	70,0	1,0	38,5	31,5	98	0,00

\* argila dispersa em água; \*\*ag = areia grossa; af = areia fina; GF = grau de floculação

refletiam mudanças no material originário e no intemperismo do próprio solo. Constataram que variações abruptas nas percentagens de areia grossa e areia fina indicavam descontinuidades litológicas.

A variação na distribuição dos teores de areia ao longo do perfil é frequentemente inferida como uma indicação da falta de uniformidade do material de origem (*COMISSÃO DE SOLOS, 1958, 1960, 1962; MILLET & DREW, 1963; ROWLES, 1969; BUSHUE et al., 1970*).

No presente caso, os dados de granulometria sugerem que os horizontes superficiais se desenvolveram a partir de um material mais arenoso que a rocha subjacente originária das porções mais inferiores desses solos. Provavelmente o horizonte A original foi retirado pela atuação de processos erosivos, enquanto que a parte do perfil que permaneceu foi recoberta por uma camada de seixos. A deposição dessa camada de seixos é considerada como devida às enxurradas que se verificaram na bacia de Curitiba (*BIGARELLA & SALAMUNI, 1962*). Posteriormente, através de colúviação e sedimentação, deu-se o recobrimento dos seixos por materiais provenientes das cotas mais elevadas do relêvo, a partir dos quais se desenvolveu o atual horizonte A.

Com relação à fração silte nota-se que, à semelhança da fração areia, também se apresenta desigualmente distribuída nos perfis. No horizonte A os teores estão situados entre 7,0 e 17,1%, no B entre 11,0 e 18,2% e no C entre 9,0 a 18,8%. Recalculando-se os dados granulométricos com base na ausência da fração argila (*KELLOG, 1962*), a variação nas percentagens de areia e silte no perfil torna-se mais evidente (Quadro 6). Nota-se que, neste caso, a descontinuidade litológica é refletida pela variação da areia grossa e silte, coincidente com os horizontes inferiores à linha de seixos. A areia grossa varia abruptamente em todos os perfis; para o silte a variação verificou-se nos perfis Menino Deus, Pinheirinho, Fazenda e Paraíso. A fração areia fina varia apenas nos perfis Menino Deus e Paraíso.

Quanto à fração argila, verifica-se a ocorrência de valores conside-

Quadro 6 - Distribuição das partículas por tamanho, recalculadas com ausência da fração argila, dos 6 perfis de Rubrozem estudados.

Horizonte	Areia grossa	Areia fina	Silte
<u>Perfil Menino Deus</u>			
A <sub>1</sub>	5,4	60,1	34,4
B <sub>1</sub>	4,0	60,4	35,6
IIB <sub>22t</sub>	0,8	50,5	48,7
IIC	1,0	62,2	36,8
IIR	1,0	56,0	43,0
<u>Perfil Pinheirinho</u>			
A <sub>1</sub>	12,1	46,4	41,5
B <sub>1</sub>	20,0	42,4	37,6
IIB <sub>22t</sub>	0,0	37,5	62,5
IIC	0,0	41,1	58,9
IIR	0,0	44,3	55,7
<u>Perfil Fazenda</u>			
A <sub>1</sub>	6,5	55,8	37,6
B <sub>1</sub>	4,1	54,1	41,7
IIB <sub>22t</sub>	0,0	46,1	53,9
IIC	0,0	60,3	39,7
IIR	0,0	37,0	63,0
<u>Perfil Aeroporto</u>			
A <sub>1</sub>	5,1	48,0	41,9
IIB <sub>1</sub>	0,4	40,6	57,7
IIB <sub>22t</sub>	0,0	46,4	53,6
IIC	0,0	50,0	50,0
IIR	1,2	54,0	44,8
<u>Perfil Paraíso</u>			
A <sub>1</sub>	20,1	43,4	36,5
IIB <sub>1t</sub>	23,3	42,8	33,9
IIB <sub>22t</sub>	5,6	52,4	42,0
IIC	4,3	61,8	33,9
IIR	8,0	43,5	48,5
<u>Perfil Cajuru</u>			
A <sub>1</sub>	8,5	51,7	39,8
B <sub>1t</sub>	1,7	57,7	40,6
IIB <sub>22t</sub>	1,0	53,4	34,6
IIC	0,0	48,2	51,8
IIR	0,0	60,0	40,0

ravelmente elevados em todo o perfil do solo. No horizonte A os seus teores estão compreendidos entre 54,4 e 74,0%, no B entre 59,6 e 83,0% e no C entre 60,6 e 76,0%.

A variação textural entre os horizontes A e B é pequena. Como consequência a relação B/A apresenta valores reduzidos e da ordem de 1,0 a 1,1. Nos perfis Fazenda, Aeroporto e Paraíso ocorre uma variação textural inferior a 5,0% e, nos demais perfis, é ligeiramente superior a 8,0%.

Alguns autores, como *BARTELLI & ODELL (1960)* e *GOSS & ALLEN (1968)*, interpretaram um maior teor de argila no horizonte B em relação ao eluvial, como uma evidência quantitativa para suportar a hipótese de translocação de material dos horizontes superiores. Outros, como *BARSHAD (1955)*, *STEPHEN (1960)*, *MCKEAGUE & ARNAUD (1969)* e o *SOIL SURVEY STAFF (1967)* reconhecem que o aumento de argila em profundidade não indica necessariamente a natureza iluvial do horizonte B e consideram, também, que a quantidade de argila transportada para os horizontes inferiores é muito pequena. De acordo com os mesmos autores, o acúmulo de argila nos horizontes de subsuperfície seria devido principalmente aos seguintes processos:

- herança do material de origem
- formação no próprio horizonte
- desuniformidade do material originário

Com o advento de novas técnicas de estudo, o processo de formação de horizontes iluviais vem sendo gradativamente esclarecido. Assim é que *BREWER (1968)*, estudando perfis de Red-Brown Earths e Red Podzolic Soils, que apresentavam horizonte B<sub>t</sub> de máximo acúmulo de argila, obteve interessantes conclusões, das quais destacamos as seguintes:

- nos solos examinados a proporção de argila iluvial é insignificante
- outros processos devem estar envolvidos na formação de horizontes de acúmulo de argila, tais como intemperismo diferencial entre os horizontes A e B

e estratificação do material originário.

Atualmente, o *SOIL SURVEY STAFF* (1967), considera a argila translocada como básica no reconhecimento de horizontes iluviais. A presença de cutans iluviais é considerada como critério diagnóstico na identificação de horizontes argílicos. Desta forma, a existência de variação textural em um perfil de solo não deve ser tomada como característica definitiva no reconhecimento de um horizonte iluvial. Em determinados casos, inclusive, a variação textural não pode ser levada em consideração.

Nos perfis em estudo a variação textural entre os horizontes A e B não pode ser usada para definir um horizonte iluvial. A existência de uma descontinuidade litológica, sugerindo a falta de uniformidade do perfil, impede a possibilidade de se correlacionar os horizontes A e B em termos de perda e de ganho de argila. Nessas condições, conforme prevê o *SOIL SURVEY STAFF* (1967), é suficiente a presença de "clay skins" para comprovar a natureza iluvial do horizonte B.

Com relação à argila dispersa em água verifica-se uma variação entre 0,1 e 11,0%. Os teores mais altos são encontrados nos horizontes de superfície, talvez por influência da grande porcentagem de matéria orgânica presente (*SOIL SURVEY STAFF*, 1967; *BENAVIDES*, 1973). Nos horizontes subsuperficiais os teores sofrem uma diminuição brusca; em consequência, o grau de floculação atinge valores muito altos.

Os valores obtidos para a umidade retida nas tensões de 1/3 e 15 atmosferas são elevados. Também aqui se fazem sentir os efeitos das maiores quantidades de matéria orgânica em superfície, pois os valores encontrados nessa porção do solo são os mais altos de todo o perfil.

A amplitude de variação das características físicas dos perfis estudados está relacionada no Quadro 7.

Quadro 7 - Amplitude de variação das características físicas nos horizontes A, B e C dos 6 perfis de Rubrozem estudados

Característica (%)	Horizontes		
	A	B	C
Areia grossa	1,5- 8,2	0,0- 7,9	0,0- 1,3
Areia fina	13,9-27,4	9,5-24,4	12,0-24,5
Areia total	15,6-29,9	9,6-26,0	12,0-24,9
Silte	10,7-17,1	5,3-20,5	10,2-18,8
Argila	54,4-73,1	59,6-84,7	60,6-76,0
Argila dispersa em água	5,6-11,0	0,4- 0,2	0,2- 1,3
Umidade a 1/3 de atmosfera	37,3-43,9	29,4-44,2	32,4-42,8
Umidade a 15 atmosfera	28,5-33,7	23,4-31,2	23,3-32,5

## 5.2. Características químicas

Os dados analíticos (Quadros 8, 9 e 10) mostram que os teores de cálcio são baixos (CATANI *et al.*, 1955), atingindo valores mais elevados no horizonte A<sub>1</sub> e na rocha subjacente. Os maiores teores deste elemento somente são encontrados no perfil Paraíso. O magnésio apresenta uma distribuição muito variável, sendo que se note uma tendência a mostrar um maior acúmulo na rocha. Os teores de potássio são, de uma maneira geral, maiores no horizonte A e na rocha.

Com relação ao alumínio trocável pode-se notar teores muito altos em todo o perfil do solo. Ocorre um aumento progressivo em profundidade a par-

Quadro 8 - Dados químicos dos perfis Menino Deus e Pinheirinho

Horizontes	pH	e.mg/100 g de solo							C or ganí co (%)	V m (%)	K <sub>i</sub> (%)				
		Simbo- lo	Profun- didade (cm)	H <sub>2</sub> O	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>				S	Al <sup>3+</sup>	CTC	CTC <sup>*</sup>
<u>Perfil Menino Deus</u>															
A <sub>1</sub>	4,8	0-13	3,9	1,56	1,33	0,08	2,97	5,11	22,25	40,90	19,28	5,39	13	76	1,6
B <sub>1</sub>	5,0	25-35	3,9	0,31	0,20	0,18	0,70	6,88	14,44	24,23	13,74	1,60	5	90	2,4
IIB <sub>22t</sub>	5,0	47-66	3,7	0,68	0,55	0,34	1,57	12,00	15,76	25,18	14,19	0,30	10	88	2,6
IIC	5,1	76-90	3,8	0,30	0,29	0,25	0,84	9,68	14,58	24,06	13,74	0,49	6	92	2,3
IIR	5,2	90+	3,7	1,55	1,05	0,38	2,98	11,87	17,12	27,88	14,14	0,11	17	80	2,4
<u>Perfil Pinheirinho</u>															
A <sub>1</sub>	4,6	0-14	3,7	2,00	1,28	0,32	3,60	7,20	24,1	41,05	20,54	5,59	15	67	2,0
B <sub>1</sub>	4,9	26-46	3,8	0,20	0,20	0,12	0,52	8,01	15,7	24,92	15,18	1,87	3	94	2,0
IIB <sub>22t</sub>	5,2	61-79	3,9	0,40	0,44	0,30	1,14	12,43	17,7	26,28	16,52	0,49	6	92	3,1
IIC	5,2	89-102	3,6	0,89	1,11	0,27	2,27	15,20	19,9	29,30	17,68	0,10	11	87	2,7
IIR	5,2	102+	3,5	1,60	1,36	0,40	3,36	16,00	21,6	30,68	18,24	0,06	15	83	2,8

\* e.mg/100 g de argila; \*\*m = 100.Al<sup>3+</sup> / Al<sup>3++S</sup>

Quadro 9 - Dados químicos dos perfis Fazenda e Aeroporto

Horizontes	pH	e.mg/100 g de solo										C or ganí co (%)	V m (%)(%)	** K <sub>i</sub>	
		H <sub>2</sub> O	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	S	Al <sup>3+</sup>	CTC	CTC <sup>*</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>				
Simbo lo	Profun didade (cm)														
<u>Perfil Fazenda</u>															
A <sub>1</sub>	0-20	4,8	3,8	1,10	0,51	0,28	1,89	6,77	24,50	37,75	22,61	5,57	8	78	2,0
B <sub>1</sub>	34-49	5,0	3,8	0,29	0,19	0,18	0,66	7,14	18,25	27,65	17,60	2,01	4	91	2,3
IIB <sub>22t</sub>	61-81	5,0	3,7	0,46	0,64	0,36	1,46	11,28	18,58	26,93	17,12	0,64	8	88	2,6
IIC	95-108	4,8	3,5	1,78	1,42	0,45	3,65	13,12	20,79	30,80	17,14	0,24	17	78	2,8
IIR	108+	4,7	3,5	3,81	1,63	0,48	5,92	14,59	23,28	34,75	17,36	0,00	25	71	2,7
<u>Perfil Aeroporto</u>															
A <sub>1</sub>	0-18	4,9	3,8	1,33	0,59	0,21	2,13	5,82	27,25	38,60	25,12	6,36	8	73	1,8
B <sub>1</sub>	33-50	4,9	3,8	0,29	0,05	0,09	0,43	6,98	16,35	21,34	15,92	1,55	3	94	2,2
IIB <sub>22t</sub>	65-85	4,9	3,7	0,48	0,67	0,37	1,52	12,51	19,52	25,58	18,00	0,41	8	89	2,6
IIC	97-120	4,7	3,5	1,49	1,23	0,48	3,20	16,29	23,60	31,05	20,40	0,14	13	84	2,5
IIR	120+	4,7	3,8	2,30	1,30	0,46	4,06	15,18	22,96	30,99	18,90	0,09	18	79	2,5

\*e.mg/100 g de argila; \*\*m = 100.Al<sup>3+</sup>/Al<sup>3+</sup>+S

Quadro 10 - Dados químicos dos perfis Paraíso e Cajuru

Horizontes	pH	e. mg/100 g de solo						CTC	CTC*	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	C or gani co (%)	V m ** (%)	Kl		
		Simbo lo	Profun didade (cm)	K <sub>2</sub> O	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>							K <sup>+</sup>	S
<u>Perfil Paraíso</u>															
A <sub>1</sub>	4,9	0-24	3,8	2,99	0,97	0,30	4,26	8,62	24,86	41,99	20,60	5,24	17	67	2,4
IIB <sub>1t</sub>	5,2	37-56	3,8	0,89	0,71	0,27	1,87	10,88	19,80	30,00	17,93	1,53	9	85	2,9
IIB <sub>22t</sub>	5,1	71-95	3,6	3,68	1,76	0,08	5,52	14,83	23,34	35,15	17,82	0,41	24	73	2,6
IIC	5,0	107-135	3,6	8,88	2,24	0,08	11,20	12,91	26,83	38,38	15,63	0,10	42	53	2,8
IIR	5,1	135+	3,6	13,61	1,62	0,08	15,31	8,90	27,13	33,91	11,82	0,06	56	37	3,1
<u>Perfil Cajuru</u>															
A <sub>1</sub>	4,8	0-22	3,8	0,98	0,52	0,24	1,74	5,12	24,48	33,49	22,74	5,61	7	75	1,6
IIB <sub>1t</sub>	5,0	38-54	3,9	0,13	0,17	0,12	0,42	4,42	10,48	12,69	10,06	1,78	4	91	1,6
IIB <sub>22t</sub>	5,4	70-104	3,8	0,19	0,17	0,14	0,50	4,58	10,63	12,55	10,13	0,11	5	90	1,7
IIC	5,0	118-139	3,5	1,87	2,13	0,25	4,25	10,08	19,40	28,08	15,15	0,10	22	70	2,5
IIR	4,8	139+	3,5	3,30	1,18	0,26	4,74	15,50	24,74	35,34	20,00	0,00	19	77	2,6

\* e. mg/100 g de argila; \*\* m = 100, Al<sup>3+</sup> / Al<sup>3+</sup> + S

tir do horizonte IIB<sub>22t</sub>. O efeito complexante da matéria orgânica nos horizontes de superfície, tende a reduzir os valores deste elemento. A presença de alumínio trocável nos solos é atribuída à sua liberação das posições octaedrais da grade cristalina dos minerais de argila, devido a condições fortemente ácidas do meio (KELLER, 1964).

A porcentagem de saturação neste elemento é sempre superior a 50,0%, que é considerada como nível tóxico à maioria das plantas cultivadas.

No que se refere ao pH estes solos apresentam uma acidez elevada. Os valores obtidos em água são da ordem de 4,6 e 5,2 e em KCl variam entre 3,5 a 3,9. Os menores valores de pH em KCl indicam predominância de carga negativa nos colóides do solo (BENAVIDES, 1973).

A soma de bases permutáveis apresenta valores baixos e médios. Atinge um máximo no horizonte superficial, decrescendo nos horizontes seguintes e voltando a se elevar na rocha. A porcentagem de saturação de bases apresenta valores muito baixos devido à predominância de alumínio trocável no complexo coloidal e sua distribuição no perfil é idêntica à soma de bases. Os seus valores são inferiores a 50% em todos os perfis estudados.

O conteúdo em carbono orgânico é elevado nos horizontes superficiais, constituindo-se numa característica marcante da unidade estudada. Mesmo os horizontes de subsuperfície mostram valores significativos neste elemento. A grande porcentagem de carbono desses solos é atribuída ao fato de estarem sujeitos a um clima relativamente ameno e sob uma vegetação graminóide, cujas raízes decompondo-se em profundidade, conferem uma espessura considerável ao horizonte de superfície.

A capacidade de troca catiônica é, também, muito alta. Os horizontes superficiais apresentam os valores maiores em função da presença de altos teores de matéria orgânica. A elevada capacidade de troca catiônica desses solos, mesmo nos horizontes pobres em matéria orgânica, é explicada pela

presença de minerais de argila do tipo 2:1. Quando referidos a 100 g de argila os valores de capacidade de troca catiônica situam-se próximos a 24 e.mg, indicando alta atividade desta fração.

A relação molecular  $K_i$  apresenta no horizonte B valores compreendidos entre 2,0 e 3,1, os quais estão de acordo com os resultados igualmente e levados de capacidade de troca catiônica e os dados de análise quantitativa da fração argila que revelam significativos teores de minerais do grupo da mica, vermiculita e montmorilonita. Os valores de  $K_i$  encontrados comparam-se com aqueles estabelecidos para a conceituação de B textural (*COMISSÃO DE SOLOS, 1962*) uma vez que são superiores a 1,8, limite estabelecido para os solos do Estado de São Paulo.

Sob o aspecto químico constata-se, portanto, que os Rubrozems são solos pobres, com uma baixa saturação em bases, elevada acidez e com o complexo coloidal predominantemente saturado por alumínio trocável. Estas são as principais características que limitam a utilização dessa unidade sob o ponto de vista agrícola.

No Quadro 11, são apresentadas as características químicas e respectiva variação nos perfis estudados.

### 5.3. Características morfológicas

Em virtude dos perfis apresentarem uniformidade morfológica, optou-se pela descrição completa de um dos perfis estudados sendo que, para os de mais, dá-se apenas um resumo das principais características (Quadros 12, 13, 14, 15 e 16).

Quadro 11 - Amplitude de variação das características químicas nos horizontes A, B e C dos 6 perfis de Rubrozem estudados

Características	Horizontes		
	A	B	C
pH (H <sub>2</sub> O)	4,6 - 4,9	4,9 - 5,4	4,7 - 5,2
pH (KCl)	3,7 - 3,9	3,6 - 3,9	3,5 - 3,8
Ki	1,6 - 2,4	1,6 - 3,1	2,3 - 2,8
<u>%</u>			
Carbono orgânico	5,24- 6,36	0,11- 2,01	0,10- 0,49
V	7 -17	3 -24	6 -42
m	67 -78	73 -94	53 -92
<u>e.mg/100 g solo</u>			
Cálcio	0,98- 2,99	0,13- 3,68	0,30- 8,88
Magnésio	0,51- 1,33	0,55- 1,76	0,29- 2,24
Potássio	0,08- 0,32	0,08- 0,37	0,08- 0,48
Soma de bases	1,74- 4,26	0,42- 5,52	0,84-11,20
Alumínio	5,12- 8,62	4,42-14,83	9,68-16,29
CTC/100 g solo	22,25-27,25	10,48-23,34	14,58-26,83
CTC/100 g argila	33,49-41,99	12,55-35,15	24,06-38,38

É apresentada, a seguir, a descrição morfológica completa do perfil Paraíso:

Perfil - Paraíso

Classificação - Rubrozem

Localização - Vila Paraíso, município de Curitiba-PR

Situação e declive - Trincheira no topo da encosta com 10 a 15% de declividade

Formação geológica e litologia - Formação Guabirotuba. Argilito

Material originário - Saprolito de argilito

Relêvo local - Suave ondulado

Relêvo regional - Ondulado

Altitude - 910 m s.n.m.

Drenagem - Moderadamente drenado

Erosão - Laminar ligeira

Vegetação local - Gramíneas

Vegetação regional - Gramíneas. Capões esparsos de pinheiros (*Araucaria angustifolia*, (Bert.) O. Kuntze).

Quadro 12 - Características morfológicas do perfil Menino Deus

Horizontes	Côr						Estrutura	Consistência (sêco)	Observações
	Matriz								
	Simbo lo	Prof. (cm)	amostra sêca	amostra úmida	amostra úmida amassada	Mosqueado			
A <sub>1</sub>	0-13	10YR 3/2	10YR 2/2	10YR 3/3	-	gra,md,mod/ft	1.duro	Crotovinas (< 4 cm); nódulos ferruginosos (< 1 cm)	
A <sub>3</sub>	13-25	10YR 3/2	10YR 3/2	10YR 3/3	-	gra,md,mod	1.duro	Idem	
B <sub>1</sub>	25-35	10YR 4/4	10YR 3/3	10YR 4/4	-	subang,md,mod ce,mod,pc	m.duro	Idem	
IIB <sub>21</sub>	35-47	5YR 4/6	5YR 4/6	-	-	subang,md,mod ce,mod,co	m.duro	Idem; linha de seixos subangulares de quartzo aos 35 cm	
IIB <sub>22t</sub>	47-66	2,5YR 5/6	2,5YR 5/6	-	-	subang,med,mod ce,mod,co	e.duro	Crotovinas (< 4 cm); nódulos ferruginosos (1 cm)	
IIB <sub>3</sub>	66-75	5YR 5/4	5YR 5/6	-	10YR 3/1 N7/	subang,md,fr/ mod	duro	Idem	
IIC	75-90	5YR 5/6	5YR 5/6	-	10YR 3/1 N7/	ang,pq/md,ft	duro	Idem; efervescência violenta com H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	
IIR	90+	-	-	-	-	-	-	Argillito com recobrimento de manganes.	

gra = granular; md = média; ft = forte; gr = grande; mod = moderada; pq = pequena; ce = cerosidade; co = comum; ab = abundante; pc = pouca; fr = fraca; m = muito; l = ligeiramente; e = extremamente.

Quadro 13 - Características morfológicas do perfil Pinheirinho

Horizontes	Côr						Estrutura	Consistência (sêco)	Observações
	Matriz		Mosqueado	amostra úmida amassada		amostra úmida amassada			
	amostra sêca	amostra úmida		amostra úmida	amostra amassada				
A <sub>1</sub>	0-14	10YR 3/2	N2/		10YR 3/3		gra,md,ft	1.duro	Crotovinas (< 2 cm); nódulos ferruginosos (< 1 cm).
A <sub>3</sub>	14-26	10YR 3/2	10YR 2/2		10YR 3/3		gra,md,ft	1.duro	Idem
B <sub>1</sub>	26-46	10YR 4/3	10YR 3/3		10YR 4/3		subang,gr,mod ce,mod,pc	duro	Idem
IIB <sub>21</sub>	46-61	10 R 4/6	10 R 4/4		-		subang,md,mod ce,mod,ab	m.duro	Linha de seixos de quartzo (arredondados) aos 57 cm.
IIB <sub>22t</sub>	61-79	10 R 5/4	10 R 5/4		-		subang,md,mod ce,mod,ab	m.duro	Crotovinas (< 2 cm); nódulos ferruginosos (< 1 cm).
IIB <sub>3</sub>	79-89	10 R 5/6	10 R 5/6	N6/	-		subang/ang,md, mod ce,fr,pc	m.duro	Idem
IIC	89-102	10 R 5/4	10 R 5/6	N6/	-		ang,pq/ft	duro	Eferescência violenta com H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .
IIR	102+	-	-	-	-		-	-	Idem Argilito com recobrimentos de manganês.

Quadro 14 - Características morfológicas do perfil Fazenda

Horizontes	Côr										Estrutura	Consistência (sêco)	Observações
	Matriz					Mosqueado	Côr						
	Simbo	Prof. (cm)	amostra sêca	amostra úmida	amostra úmida amassada		10	20	30	40			
A <sub>1</sub>	0-20	10YR 2/1	10YR 2/1	10YR 2/1	10YR 2/2	-	gra, pq/md, mod/ft	1. duro	Crotovinas (< 2 cm); nódulos ferruginosos (< 1 cm).				
A <sub>3</sub>	20-34	10YR 3/2	10YR 2/2	10YR 2/2	10YR 3/2	-	gra, pq/md, mod	1. duro	Idem				
B <sub>1</sub>	34-49	10YR 4/4	10YR 3/2	10YR 3/2	10YR 4/2	-	subang, md, mod	duro	Idem				
IIB <sub>21</sub>	49-61	7,5YR 4/4	7,5YR 4/4	7,5YR 4/4	-	-	subang, md, ft ce, fr, pc	m. duro	Linha de seixos de quartzo (subangulares) aos 58 cm.				
IIB <sub>22t</sub>	61-81	5YR 4/8	5YR 5/8	5YR 5/8	-	-	subang, md, ft ce, fr, pc	m. duro	Crotovinas (< 2 cm); nódulos ferruginosos (< 1 cm).				
IIB <sub>3</sub>	81-95	2,5YR 4/8	2,5YR 5/6	2,5YR 5/6	-	10YR 6/8 N5/	subang/ang, pq, md, ft ce, fr, pc	duro	Idem				
IIC	95-108	10 R 4/6	10 R 4/6	10 R 4/6	-	N5/	ang, pq/md, ft	duro	Idem				
IIR	108+	-	-	-	-	-	-	-	Argillito				

Quadro 15 - Características morfológicas do perfil Aeroporto

Horizontes	Côr						Estrutura	Consistência (sêco)	Observações
	Matriz								
	Simbo lo	Prof. (cm)	amostra sêca	amostra úmida	amostra úmida amassada	Mosqueado			
A <sub>1</sub>	0-18	10YR 2/1	10YR 2/1	10YR 2/1	10YR 3/2	-	gra,md,ft	1.duro	Crotovinas (< 2 cm); nódulos ferruginosos (<1cm)
A <sub>3</sub>	18-33	10YR 2/2	10YR 3/1	10YR 3/1	10YR 3/3	-	gra,md/gr,ft	duro	Idem
IIB <sub>1</sub>	33-50	10 R 3/6	10 R 3/6	10 R 10/6	-	-	subang,md,mod/ft	duro	Linha de seixos de quartzo e lateríticos aos 45 cm.
IIB <sub>21</sub>	50-65	10 R 4/6	10 R 4/6	10 R 4/6	-	-	subang,md,ft ce,ft,ab	e.duro	Crotovinas (< 2 cm); nódulos ferruginosos (< 1 cm)
IIB <sub>22t</sub>	65-85	10 R 4/8	10 R 4/8	10 R 4/6	-	-	subang,md,ft ce,ft,ab	d.duro	Idem
IIB <sub>3</sub>	85-97	10 R 4/8	10 R 4/8	10 R 4/8	-	10YR 6/8 N5/ ft	subang/ang,md, ft	m.duro	Idem
IIC	97-120	10 R 4/6	10 R 4/6	10 R 4/8	-	N5/ ft	ang,md,ft	m.duro	-
IIR	120+	-	-	-	-	-	-	-	Argillito

Quadro 16 - Características morfológicas do perfil Cajuru

Horizontes	Côr								Estrutura	Consi- tência (sêco)	Observações
	Matriz										
	Simbo- lo	Prof. (cm)	amostra sêca	amostra úmida	amostra úmida amassada	Mosqueado					
A <sub>1</sub>	0-22	10YR 3/2	10YR 2/1	10YR 3/2	10YR 3/2	-	gra, pq/md, ft	1.duro	Crotovinas (< 2 cm); nódulos ferru- ginosos (< 1 cm).		
A <sub>3</sub>	22-38	10YR 4/3	10YR 3/3	10YR 3/3	10YR 3/3	-	gra, pq/md, ft	1.duro	Idem		
B <sub>1t</sub>	38-54	10YR 4/4	10YR 3/4	-	-	-	subang, md, ft	1.duro	Idem		
IIB <sub>21t</sub>	54-70	5YR 5/8	5YR 4/8	-	-	-	subang, md, ft ce, mod, co	duro	Idem; linha de seixos de quartzo e lateríticos aos 56 cm.		
IIB <sub>22t</sub>	70-104	2,5YR 4/8	2,5YR 4/6	-	-	-	subang/ang, md, ft ce, mod, co	m.duro	Nódulos ferruginosos (< 1 cm).		
IIB <sub>3</sub>	104-118	2,5YR 4/6	2,5YR 4/6	-	-	10YR 6/3 N5/	subang/ang, md, ft ce, mod, pc	m.duro	Idem		
IIC	118-139	2,5YR 4/6	2,5YR 4/6	-	-	10YR 6/8 N5/	ang, md, ft	duro	Eferlescência violenta com H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .		
IIR	139+	-	-	-	-	-	-	-	Idem; argilito		

- A<sub>1</sub> 0-24 cm; bruno muito escuro (10 YR 2/2 úmido), bruno escuro (10YR 3/3, úmido amassado), bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, sêco); argila; granular média forte; poros grandes, muitos; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- A<sub>3</sub> 24-37 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido), bruno escuro (10YR 3/3, úmido amassado), bruno escuro (10YR 3/3, seco); argila; granular, média, moderada; poros grandes, muitos; li-geiramente duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana.
- IIB<sub>1</sub> 37-56 cm; vermelho amarelado (5YR 4/8, úmido), vermelho amarelado (5YR 4/6, sêco); argila; subangular, grande, moderada; poros pequenos, comuns; cerosidade fraca e pouca; duro, firme, plas-tico e pegajoso; transição clara e plana.
- IIB<sub>21</sub> 56-71 cm; vermelho (10R 5/6, úmido), bruno amarelado (10YR 5/4, sê-co); argila; subangular, média, forte; poros muito pequenos, comuns; cerosidade moderada e comum; muito duro, muito firme, plástico e pegajoso; transição clara e plana.
- IIB<sub>22t</sub> 71-95 cm; vermelho (10R 5/6, úmido), vermelho acinzentado (10R 5/4, sêco); argila; subangular média forte; poros muito pequenos, comuns; cerosidade moderada, comum; extremamente duro, muito fir-me, plástico e pegajoso; transição clara e ondulada.
- IIB<sub>3</sub> 95-107 cm; vermelho (10R 5/6, úmido), vermelho (10R 5/6, sêco); mos-queado abundante, pequeno e proeminente, cinzento muito escuro (10YR 3/1) e cinzento (N/5); argila, subangular, média, modera-da; poros muito pequenos, comuns; muito duro, muito firme, plás-tico e pegajoso; transição clara e ondulada.

IIC 107-135 cm; vermelho (2,5YR 4/6, úmido), vermelho (2,5YR 5/6, sêco), mosqueado abundante, médio e proeminente cinzento muito escuro (10YR 3/1) e cinzento (N/5); argila; angular; média, forte; poros muito pequenos, comuns; muito duro, firme, plástico e pegajoso; transição clara e ondulada.

IIR 135 cm<sup>+</sup>; argilito

Raízes - Fasciculadas finas e abundantes nos horizontes A<sub>1</sub> e A<sub>3</sub>; muito finas e comuns no IIB<sub>1</sub> e IIB<sub>21</sub>; muito finas e poucas no IIB<sub>22</sub>; muito finas e raras no IIB<sub>3</sub> e IIC.

Observações - Crotovinas (< 2 cm) comuns nos horizontes A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub>, IIB<sub>1</sub> e IIB<sub>21</sub>; nódulos poucos, pequenos, duros, esféricos, pretos e ferruginosos em todos os horizontes do perfil com exceção do IIC; linha de seixos rolados de quartzo ou quartzito aos 54 cm.

Os solos em estudo apresentam uma sequência de horizontes A, B e C (Foto 1). O horizonte A é bem desenvolvido, com intensa atividade biológica e com espessura variando entre 25 e 38 cm. É constituído pelos horizontes A<sub>1</sub> e A<sub>3</sub>, nos quais os altos teores de carbono imprimem uma coloração muito escura, de matriz 10YR, com tonalidades e intensidades inferiores a 3,5. A textura é argilosa. A estrutura é granular, moderada a forte e pequena a média. A consistência é ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico ou plástico e ligeiramente pegajoso.

As características químicas e morfológicas apresentadas pelo horizonte A permitem o seu enquadramento como proeminente (*EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO, 1972*). De acordo com a classificação americana (*SOIL SURVEY STAFF, 1967*) são preenchidas as condições de um epipedon úmbrico, que é conceituado como sendo um horizonte de superfície, mineral, escuro e espesso e apresentando as seguintes características:



Foto 1 - Perfil típico de solo Rubro  
zem. Corte de estrada próximo ao per  
fil Cajuru, município de Curitiba-PR

- tonalidades e intensidades inferiores a 3,5
- teor em carbono orgânico superior a 0,58%.
- saturação de bases inferior a 50%
- ausência simultânea de estrutura maciça e consistência dura ou muito dura.

O horizonte B, com espessura variando entre 50 e 80 cm, é argiloso e compreende B<sub>1t</sub> (ou IIB<sub>1t</sub>), IIB<sub>21</sub>, IIB<sub>22t</sub> e IIB<sub>3</sub>. A estrutura é formada por blocos subangulares médios a grandes com desenvolvimento moderado a forte. Quanto à consistência, verifica-se uma variação entre duro e extremamente duro quando seco, firme e extremamente firme quando úmido e ligeiramente plástico a plástico, ligeiramente pegajoso a pegajoso quando molhado. A presença de cerosidade é sempre notada, podendo ser, quanto ao grau de desenvolvimento, fraca a forte e quanto à quantidade, pouco a abundante. Nos cortes de estrada observa-se a presença de superfícies de compressão nos horizontes B e C, indicando a ocorrência de fenômenos de expansão e contração sofridos pela massa do solo, em consequência da existência de minerais de argila de rede expansiva. Sob o aspecto morfológico evidencia-se que este horizonte é um B textural (*EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO, 1972*) ou um argílico (*SOIL SURVEY STAFF, 1967*). É considerado diagnóstico, sendo conceituado pelo *SOIL SURVEY STAFF (1967)*, como um horizonte formado em subsuperfície no qual as argilas silicatadas se acumularam por iluviação em uma quantidade e extensão significativas. Para a sua caracterização devem ser satisfeitas determinadas especificações, as quais referem-se, principalmente, a:

- existência de variação textural entre o argílico e o horizonte eluvial
- espessura
- presença de "clay-skins"

No caso de existência de descontinuidade litológica entre o argílico e o horizonte eluvial somente é exigida a presença de "clay-skins".

Examinando-se os perfis estudados segundo o conceito de horizonte argílico verifica-se, com relação à variação textural, que somente os perfis Menino Deus, Pinheirinho e Cajuru satisfazem a exigência do horizonte iluvial possuir uma porcentagem de argila superior a 8% em relação ao horizonte eluvial. Nos perfis Menino Deus e Pinheirinho, a aplicação da variação textural para evidenciar o horizonte argílico não é válida, uma vez que existe uma descontinuidade litológica separando os horizontes iluvial e eluvial. Nesta situação, é prevista apenas a constatação da ocorrência de cutans iluviais através o exame microscópico de seções delgadas. A existência de uniformidade textural nestes perfis invalida a aplicação do critério anterior, pois não há possibilidade de se determinar se realmente o acúmulo de argila nos horizontes de subsuperfície seria originado pela translocação de material dos horizontes superiores.

No perfil Cajuru, muito embora tenha-se constatado uma variação textural entre o eluvial e o horizonte  $B_{1t}$ , localizado superiormente à linha de seixos, é inviável considerá-lo como parte do argílico visto que não foi verificada a presença de cutans iluviais quando do exame de seções delgadas.

Quanto aos perfis Fazenda, Aeroporto e Paraíso, o fato de não possuírem um horizonte B com acúmulo de argila também não invalida a hipótese da ausência de movimento de colóides, pois apresentam os horizontes eluvial e de subsuperfície separados por descontinuidade litológica.

Como se nota, a presença de seixos nos perfis em estudo torna-se problemática e anula a possibilidade de se aplicar o critério de variação textural como elemento auxiliar na caracterização do horizonte de subsuperfície. Neste caso teve-se que lançar mão de outro critério, ou seja, a verificação de argila iluviada por métodos micropedológicos. Através o emprêgo desses métodos, ficou constatada a ocorrência de argila translocada, de forma a comprovar a natureza iluvial do horizonte diagnóstico de subsuperfície dos perfis investigados, conforme se discute no ítem 5.6.

Com relação ao horizonte C, constituído por saprolito de argilito, as características morfológicas que o distinguem das demais porções do perfil e que mais chamam a atenção, são um mosqueamento intenso e uma estrutura predominantemente angular.

Outro aspecto morfológico importante desses perfis é a presença de linha de seixos que se constitui numa característica constante na unidade em estudo. Por ocasião da escolha dos perfis, por meio de exames em cortes de estradas ou com auxílio do trado, pôde-se perceber a ocorrência muito frequente de linha de seixos subsuperficial. Esta linha localiza-se no horizonte B a uma profundidade média de 50 cm. A sua posição neste horizonte é variável, podendo ser encontrada no horizonte  $B_1$  ou  $B_{21}$ . O que ocorre mais frequentemente, contudo, é a sua presença no horizonte  $B_1$ , próxima ao seu limite inferior, ou mesmo, constituindo o limite deste horizonte com o  $B_{21}$ . Apresenta-se, ora bem pronunciada e regular, ora irregularmente distribuída e menos perceptível, sendo, porém, facilmente constatável. Sua espessura é variável e forma uma camada aproximadamente paralela à superfície do solo, conforme pode-se observar na Foto 2. Os constituintes dessa formação são seixos rolados de quartzo ou quartzito e concreções lateríticas de tamanhos variáveis, podendo atingir até 3 cm. Em alguns casos encontram-se, também, restos de bancada laterítica.

O estudo de formações semelhantes já foi abordado por diversos autores (RHUE, 1958; BALL, 1967; COLLINET, 1969; LEVEQUE, 1969; RIQUEIR, 1969; SEGALEN, 1969; RUELLAN, 1971). Em território nacional a sua constatação é bastante frequente, conforme pode-se observar de inúmeros trabalhos (SETZER, 1949; COMISSÃO DE SOLOS, 1958, 1960, 1962; AB'SABER, 1962; DEMATTE, 1970; ANDRADE, 1971; LOBO, 1971; MEDEIROS, 1971; QUEIROZ NETO & MODENESI, 1971 e DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA, 1972).

Para SETZER (1949), pode-se afirmar, salvo raros casos, que o solo situado acima dos seixos é recente e de origem coluvial, ao passo que o solo



Foto 2 - Linha de seixos em um perfil de Rubrozem. Corte de estrada próximo ao perfil Aeroporto, município de Curitiba-PR.

abaixo é autóctone e gerado pela decomposição da rocha própria da formação geológica do lugar.

Segundo *RHUE (1958)*, a ocorrência de uma linha de pedras ("stone line") em um perfil de solo indica que o mesmo pode ter se desenvolvido em mais de uma espécie de material. Opinião semelhante é sustentada por O'Hoore, citado por *OLIVEIRA (1972a)*, que considera a presença de linha de seixos e restos de camada laterítica como características próprias de material remanejado.

*AB'SÁBER (1962)*, ao realizar uma revisão dos conhecimentos sobre o horizonte subsuperficial de cascalhos do Brasil oriental, afirma que a presença desses horizontes é bastante comum. Reportando-se à natureza dos solos que capeam essa formação, considera-os como não representativos de mantos autóctones, não podendo, portanto, refletir diretamente a rocha subjacente.

As observações desses autores relativas às descontinuidades litológicas, associadas aos dados granulométricos obtidos, vêm favorecer a hipótese poligenética dos perfis em estudo, evidenciando que os solos Rubrozem, na área amostrada, são constituídos por indivíduos desenvolvidos sobre materiais depositados em épocas cronologicamente distintas.

#### 5.4. Mineralogia da fração areia

O exame sob microscópio petrográfico da fração areia, compreendida entre 0,2 a 0,02 mm, revelou uma predominância de quartzo superior a 90%. Uma grande parte dos grãos de quartzo apresentava-se desarestada. Os demais grânulos observados eram, em sua maioria, representados por minerais opacos e concreções ferruginosas. Quando testados com relação à sua atração pelo imã notou-se um magnetismo pronunciado sendo, possivelmente, grãos de magnetita, ilmenita ou hematita. O feldspato foi notado em apenas algumas amostras em número muito reduzido. A turmalina foi constatada em apenas uma amostra. Este horizonte não possui praticamente fonte de reserva em nutrientes para as

plantas, na fração analisada.

Em face dos resultados obtidos os perfis são enquadrados no grande grupo dos Palehumults, por apresentarem um horizonte argílico com uma porcentagem de minerais intemperizáveis inferior a 10% (na fração entre 0,2 e 0,02 mm), conforme prevê o *SOIL SURVEY STAFF (1967)*.

## 5.5. Mineralogia da fração argila

### 5.5.1. Análise qualitativa

#### - Difração de Raios X

As amostras de argila, livres de óxidos e matéria orgânica, orientadas em lâminas de vidro, quando submetidas à difração pelos raios X, revelaram a presença de argilo-minerais pertencentes ao grupo de rede cristalina do tipo 1:1, 2:1 e 2:2. No primeiro grupo constatou-se a presença de caulinita e, no segundo, foram identificados mica, vermiculita e montmorilonita. No terceiro grupo foi identificada a clorita. Foi constatada, também, a ocorrência de gibbsita.

A identificação da mica pode ser observada através das Figuras 3, 4 e 5, correspondentes aos difratogramas de amostras dos horizontes IIB<sub>22t</sub>, IIC e do argilito dos perfis Paraíso, Aeroporto e Menino Deus. Nesses difratogramas podem ser vistos picos relativos aos espaçamentos de 10,0, 5,0 e 3,3 Å, de primeira, de segunda e terceira ordens, respectivamente, que permanecem inalterados em todos os tratamentos sofridos pela amostra, confirmando, portanto, a presença deste mineral.

O diagnóstico da vermiculita foi realizado pelo aparecimento de picos de 14,0 Å nas amostras orientadas naturais os quais, pela expulsão da água interlamelar, devido ao efeito da temperatura, diminuíram de espaçamen-

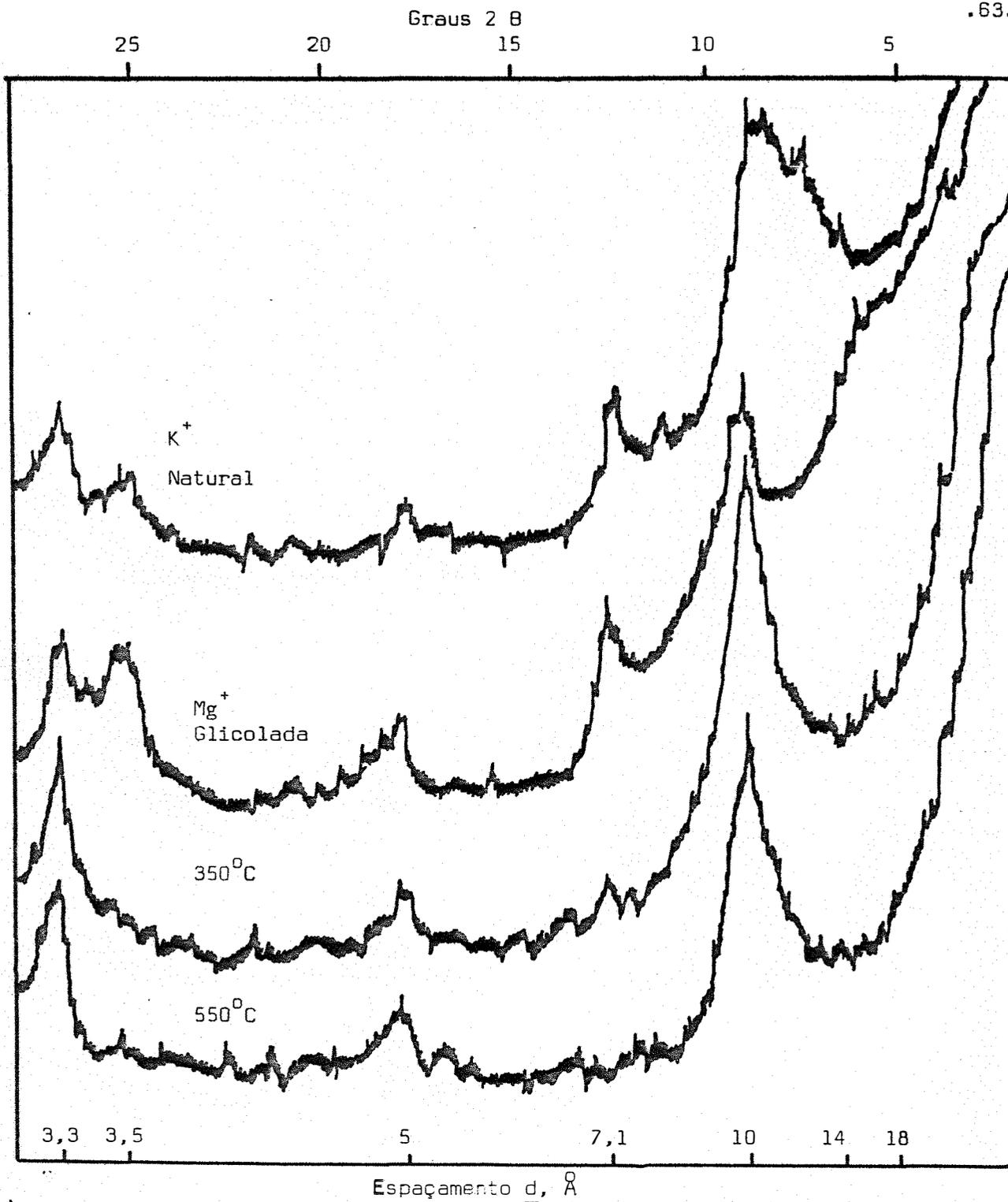


Figura 3 - Difratoqramas do horizonte IIB<sub>22t</sub>. Perfil Paraíso. Amostras da fração argila total.

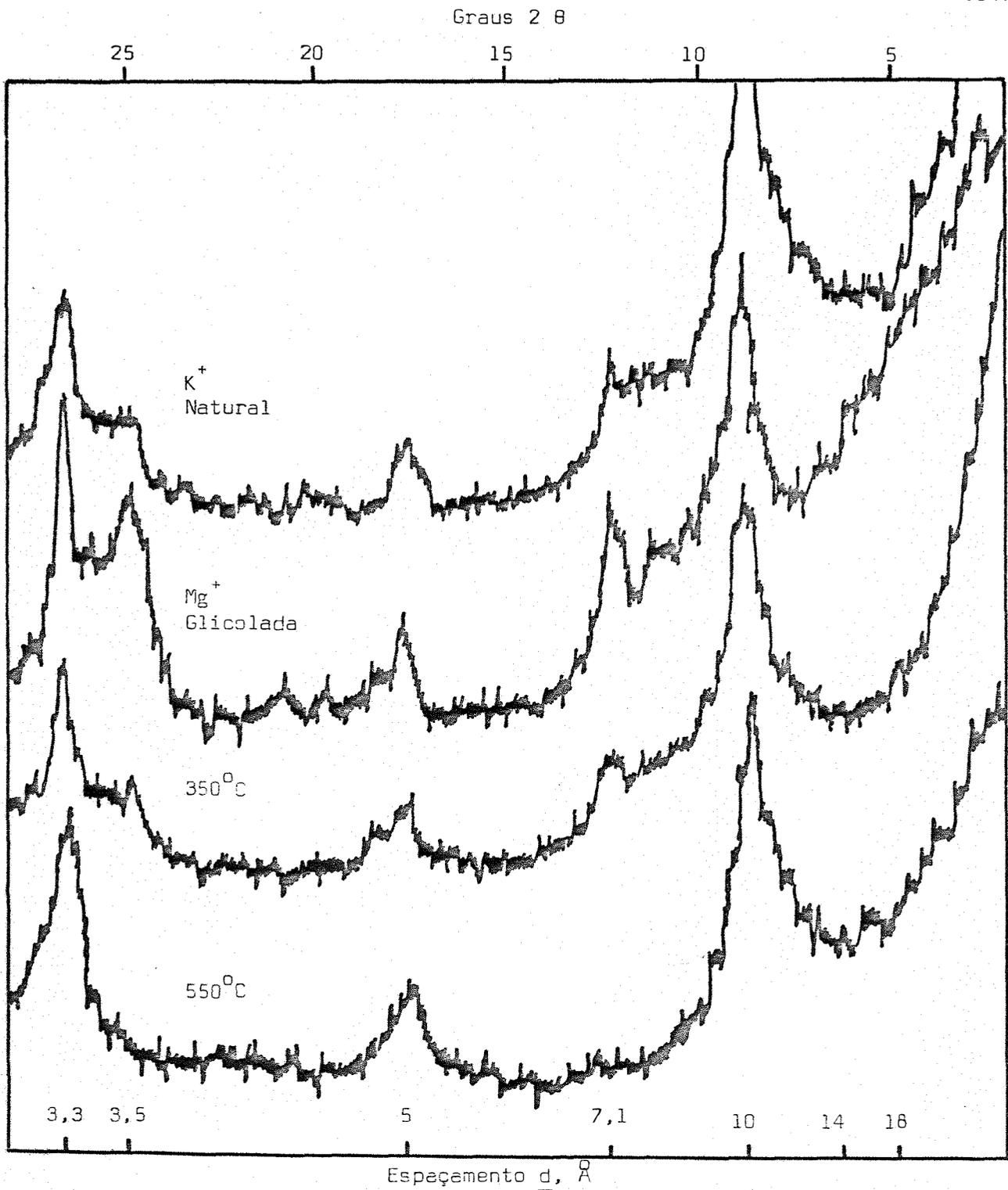


Figura 4 - Difratogramas do horizonte IIC. Perfil Aeroporto. Amostras da fração argila total

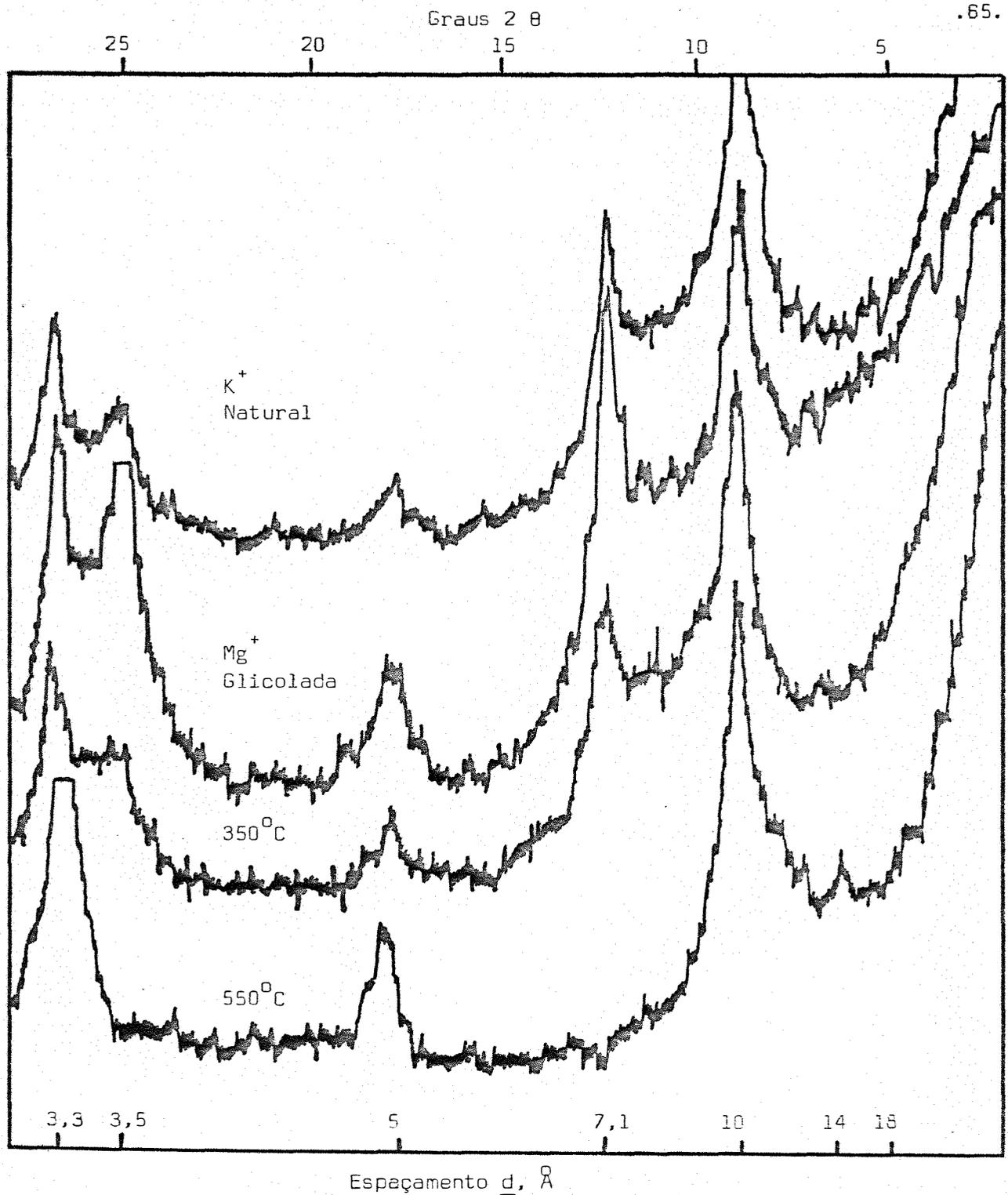


Figura 5 - Difratogramas da rocha (argilito). Perfil Menino Deus. Amostras da fração argila total.

to e se deslocaram para a região de  $10,0 \text{ \AA}$ . Nas amostras glicoladas a expansão das lâminas de Si e Al fez com que os picos retornassem novamente para a posição de  $14,0 \text{ \AA}$ , conforme pode ser notado nas Figuras 6 e 7.

A caulinita pode ser identificada nas Figuras 6, 7 e 8, representativas de difratogramas de amostras dos horizontes  $A_1$ ,  $B_1$  e  $IIB_{22t}$  dos perfis Cajuru e Menino Deus. Nessas figuras, são facilmente reconhecidos os picos de primeira e segunda ordens, relativos aos espaçamentos de  $7,1$  e  $3,5 \text{ \AA}$ . Estes picos não sofreram alteração nos tratamentos de glicolação e aquecimento a  $350^\circ\text{C}$ . Todavia, quando a amostra foi submetida à temperatura de  $550^\circ\text{C}$ , os picos desapareceram devido à destruição da estrutura cristalina da caulinita.

A ocorrência de montmorilonita é indicada no difratograma representado pela Figura 9. Na amostra glicolada pode-se observar um pico de pequena resolução no espaçamento de  $18,0 \text{ \AA}$ . Também nos difratogramas das Figuras 3, 4 e 5 a presença de montmorilonita é sugerida pela ocorrência de bandas deslocadas para a região de  $18,0 \text{ \AA}$  nas amostras que foram submetidas à glicolação.

A clorita foi diagnosticada pelos difratogramas constantes das Figuras 5 e 9. Este mineral apresenta pico característico a  $14,0 \text{ \AA}$  mesmo quando a amostra é submetida à temperatura de  $550^\circ\text{C}$ , o que ocasiona, inclusive, um aumento de sua intensidade.

As Figuras 6, 7 e 8, indicam a presença de gibbsita pela ocorrência de pico característico no espaçamento de  $4,8 \text{ \AA}$ , na amostra natural, e que desapareceu quando realizou-se o aquecimento à temperatura de  $350^\circ\text{C}$ .

Para dar uma noção da distribuição vertical dos minerais de argila no solo foi montada a Figura 10, onde constam difratogramas de amostras do perfil Menino Deus, representado pelos horizontes  $A_1$ ,  $B_1$  e  $IIB_{22t}$  e camada R. Verifica-se, nesta sequência, que a mica e caulinita estão presentes em todos os horizontes do solo, como também no argilito. Pode-se notar, ainda,

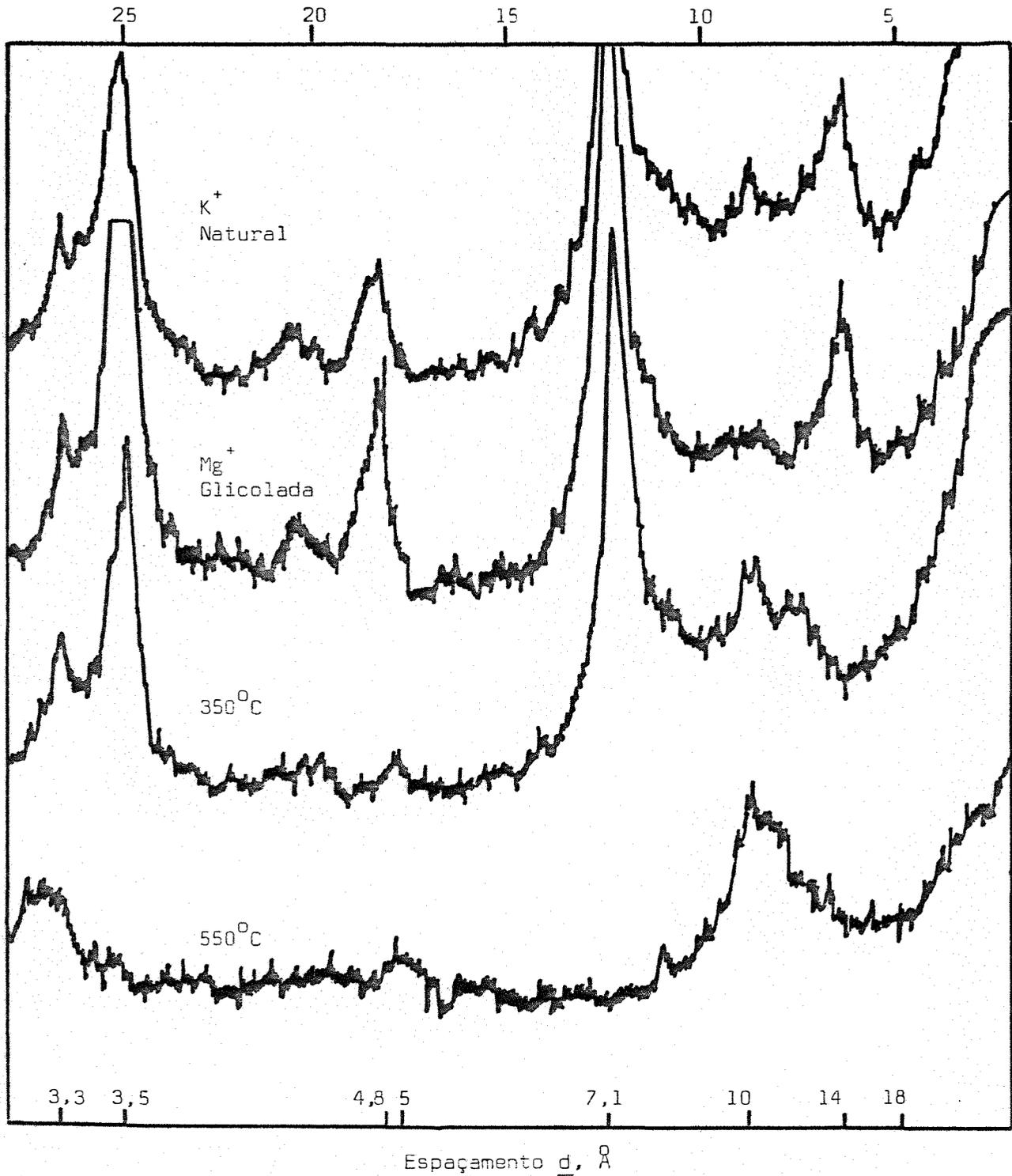


Figura 6 - Difratoigramas do horizonte  $A_1$ . Perfil Cajuru. Amostras da fração argila total.

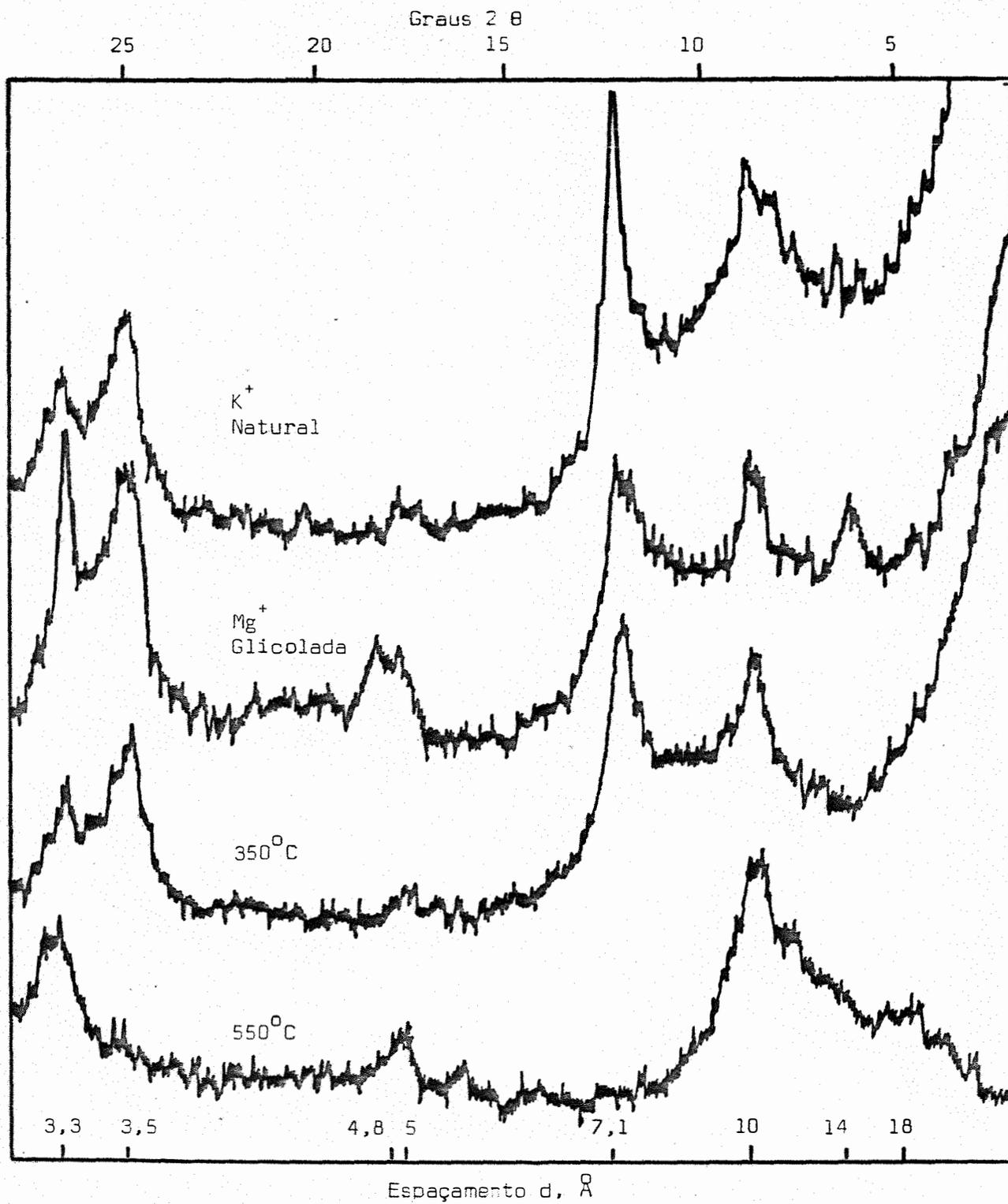


Figura 7 - Difratogramas do horizonte B<sub>1</sub>. Perfil Fazenda. Amostras da fração argila total.

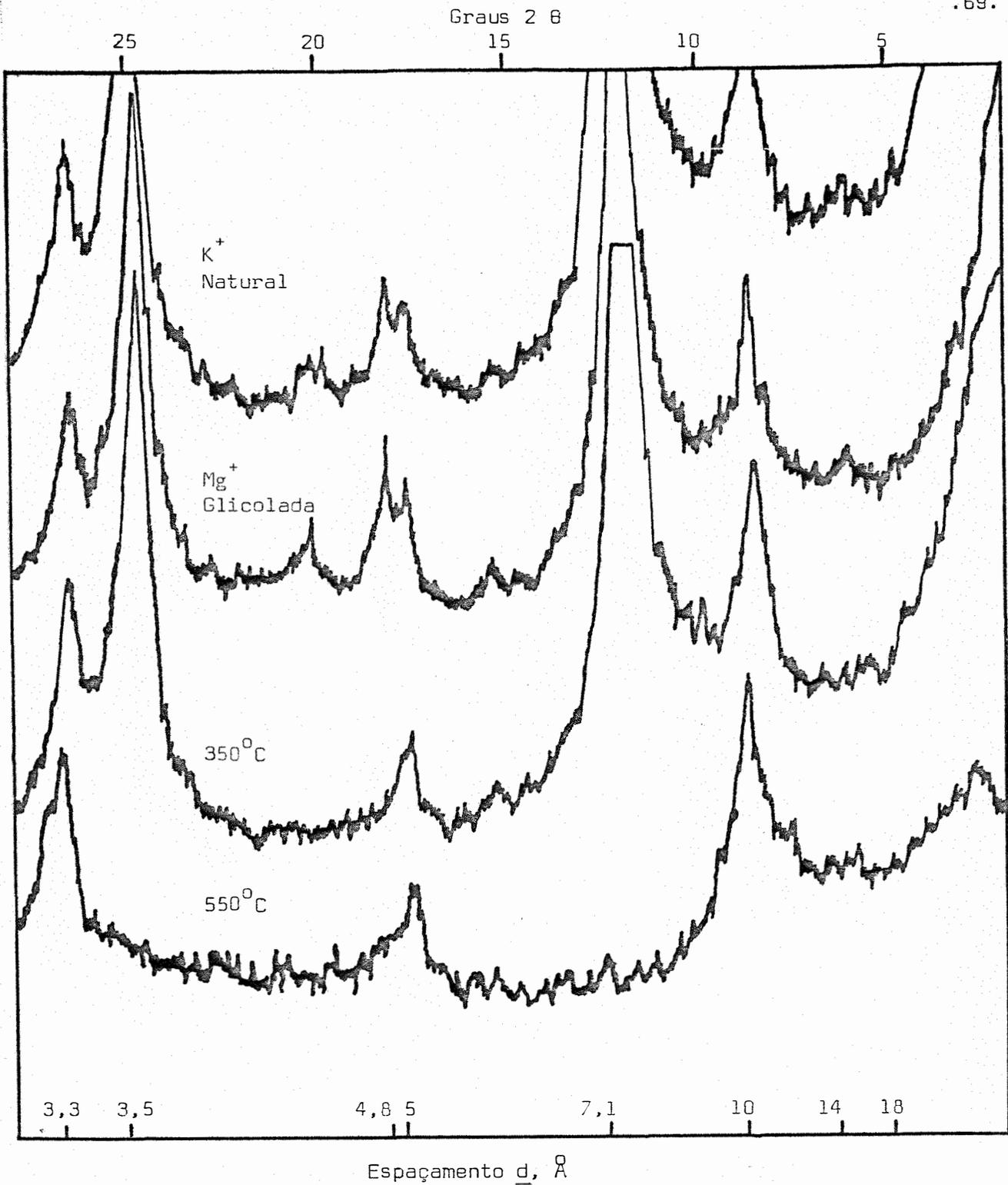


Figura 8 - Difratoogramas do horizonte IIB<sub>22t</sub>. Perfil Cajuru. Amostras da fração argila total.

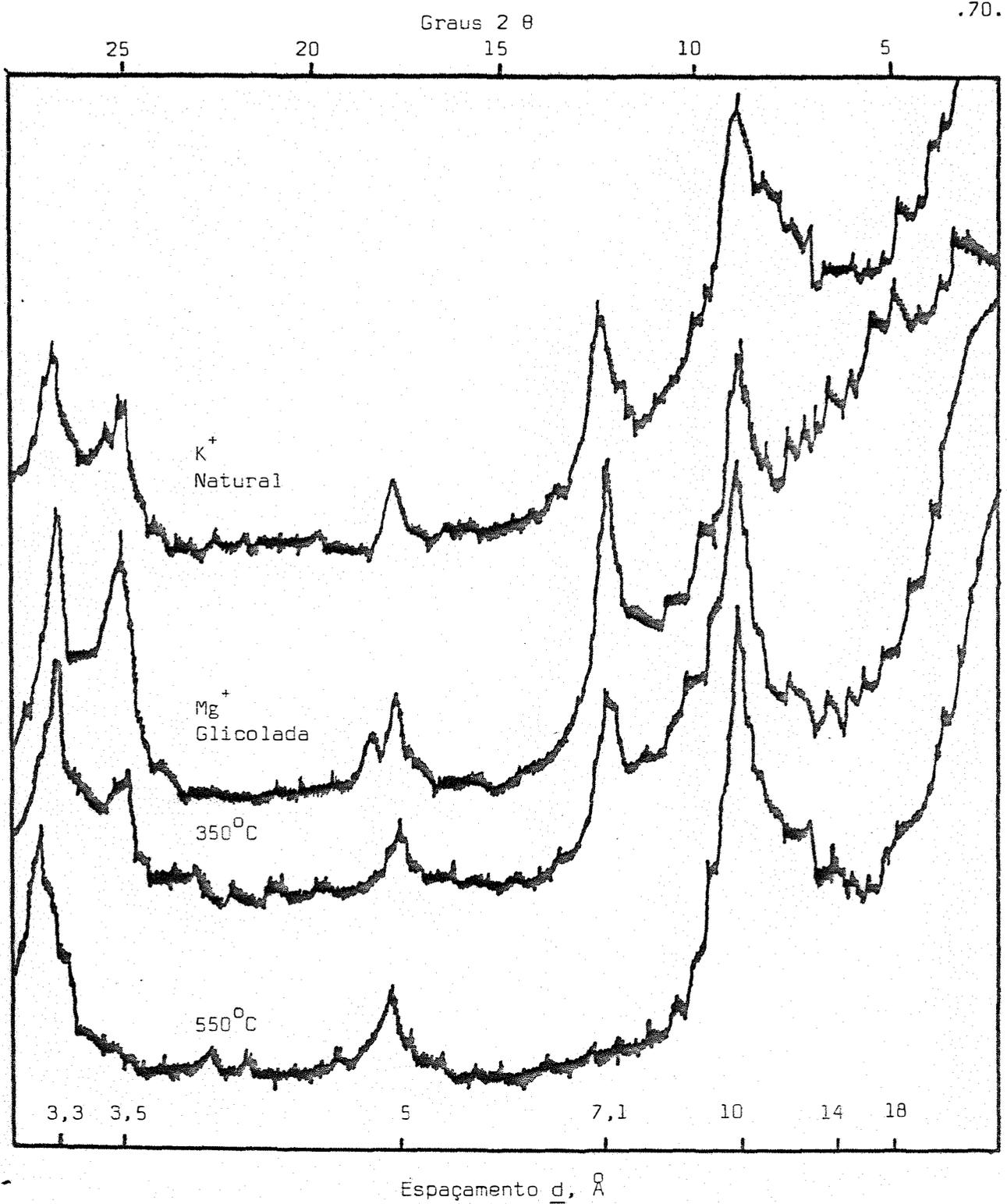


Figura 9 - Difratogramas da rocha (argilito). Perfil Pinheirinho. Amostras da fração argila total.

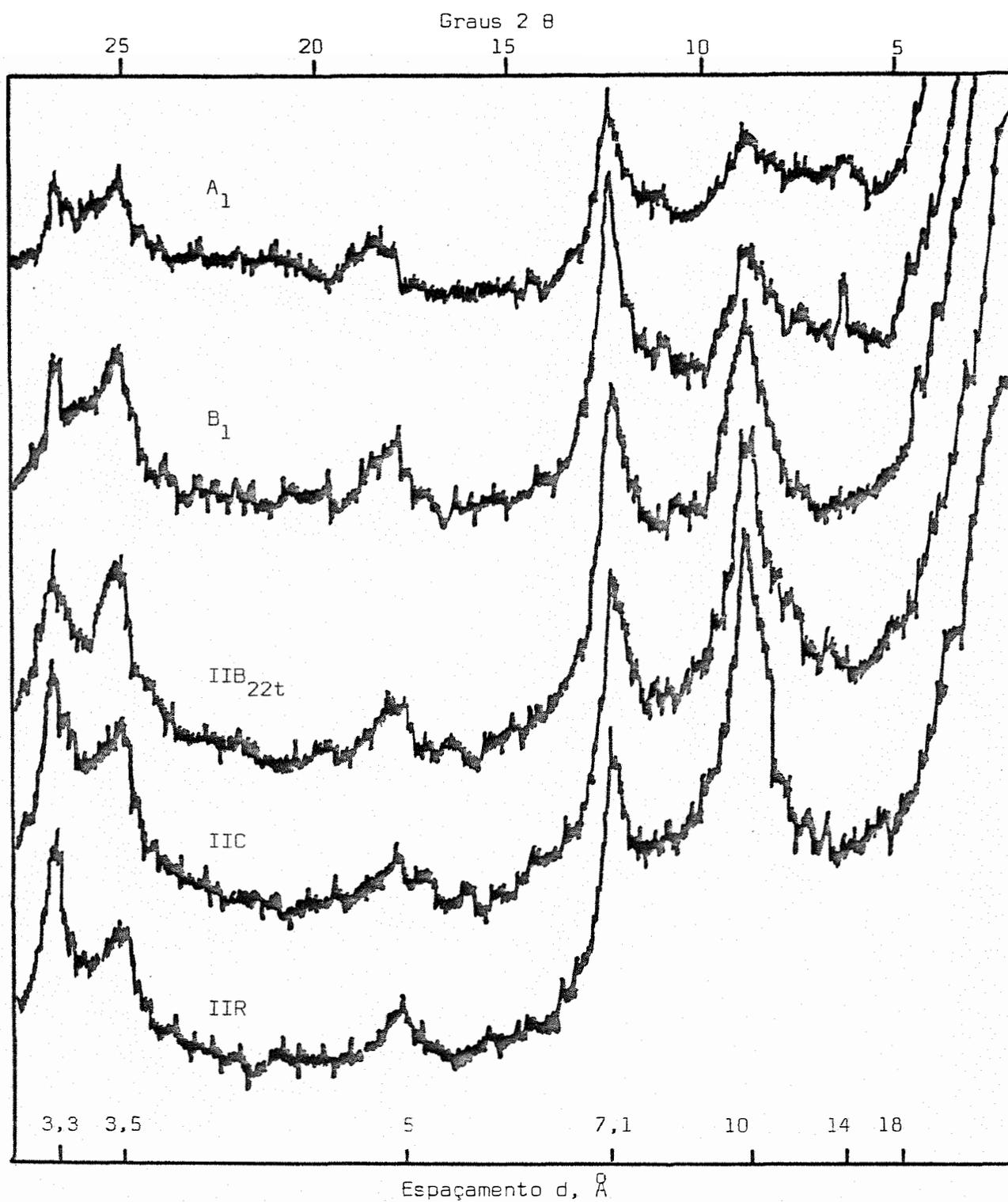


Figura 10 - Difrato gramas de horizontes do perfil Menino Deus. Amostras natu  
rais da fração argila total.

nos picos de 10 Å, uma diminuição na intensidade no sentido da superfície do solo enquanto que nos picos de 7,1 Å ocorre um aumento. Tal fato sugere um decréscimo nos teores de mica em superfície e maior concentração e grau de cristalinidade da caulinita. Situação semelhante pode ser constatada na Figura 11, representativa da sequência vertical de difratogramas dos horizontes do perfil Pinheirinho.

Os difratogramas obtidos com amostras da fração argila total do perfil Aeroporto e dispostos em sequência vertical, estão representados pela Figura 12. Comparando-se estes difratogramas com aqueles constantes da Figura 13, obtidos de amostras da fração argila grossa, pode-se observar que não existe diferença quanto aos minerais presentes.

A existência de uma série de picos entre 10,0 e 14,0 Å parece indicar a presença de minerais interestratificados, como pode ser constatado nas Figuras 6 e 9. De acordo com *BEAVERS (1960)*, a presença desses minerais é frequente em solos, e têm sido constatados por diversos autores (*DIXON & SEAY, 1957; JOHNSON & JEFFRIES, 1957*). Em solos brasileiros a sua presença parece ser igualmente comum (*DEMATTE, 1970; DIAS, 1971; MEDEIROS, 1971; ESCOBAR et al., 1972*). O alargamento característico dos picos nos difratogramas é atribuído por *SCHMEHL & JACKSON (1957)* à interestratificação de minerais de grade 2:1 expansivos e não expansivos.

#### - Microscopia eletrônica

Foram examinadas, por microscopia eletrônica, amostras da fração argila dos horizontes A e B, como também do argilito. A presença de placas hexagonais de caulinita de diversos tamanhos foi observada em todas as amostras examinadas. As partículas de caulinita mais bem formadas foram encontradas em amostras provenientes do argilito (Microfotografia eletrônica 1). A espessura variável de algumas partículas indica, segundo *BATES (1964)*, fragmentos destacados das unidades maiores. Ainda na Microfotografia eletrônica

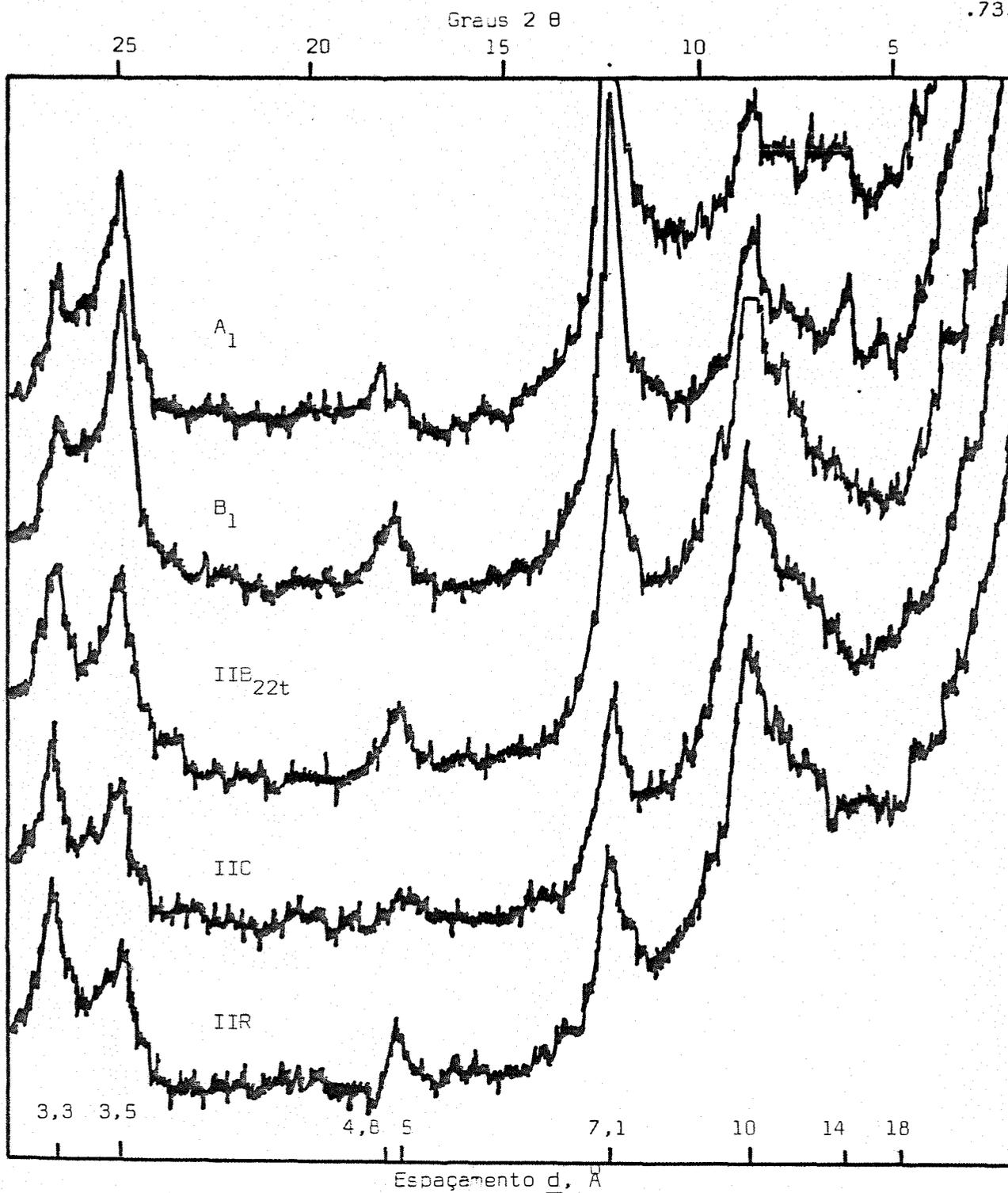


Figura 11 - Difratoqramas de horizontes do perfil Pinheirinho. Amostras naturais da fração argila total.

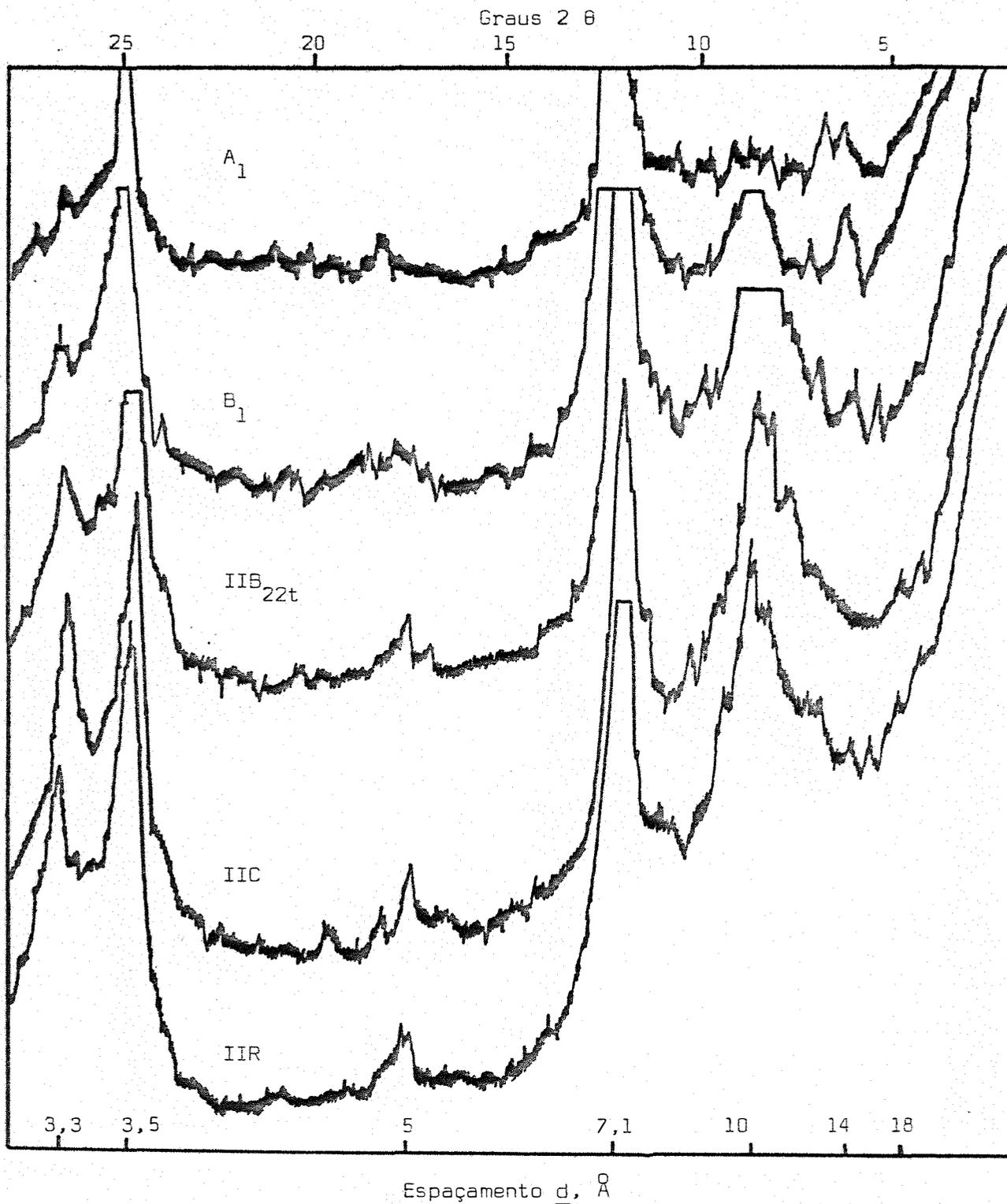


Figura 12 - Difrátogramas de horizontes do perfil Aeroporto. Amostras naturais da fração argila total.

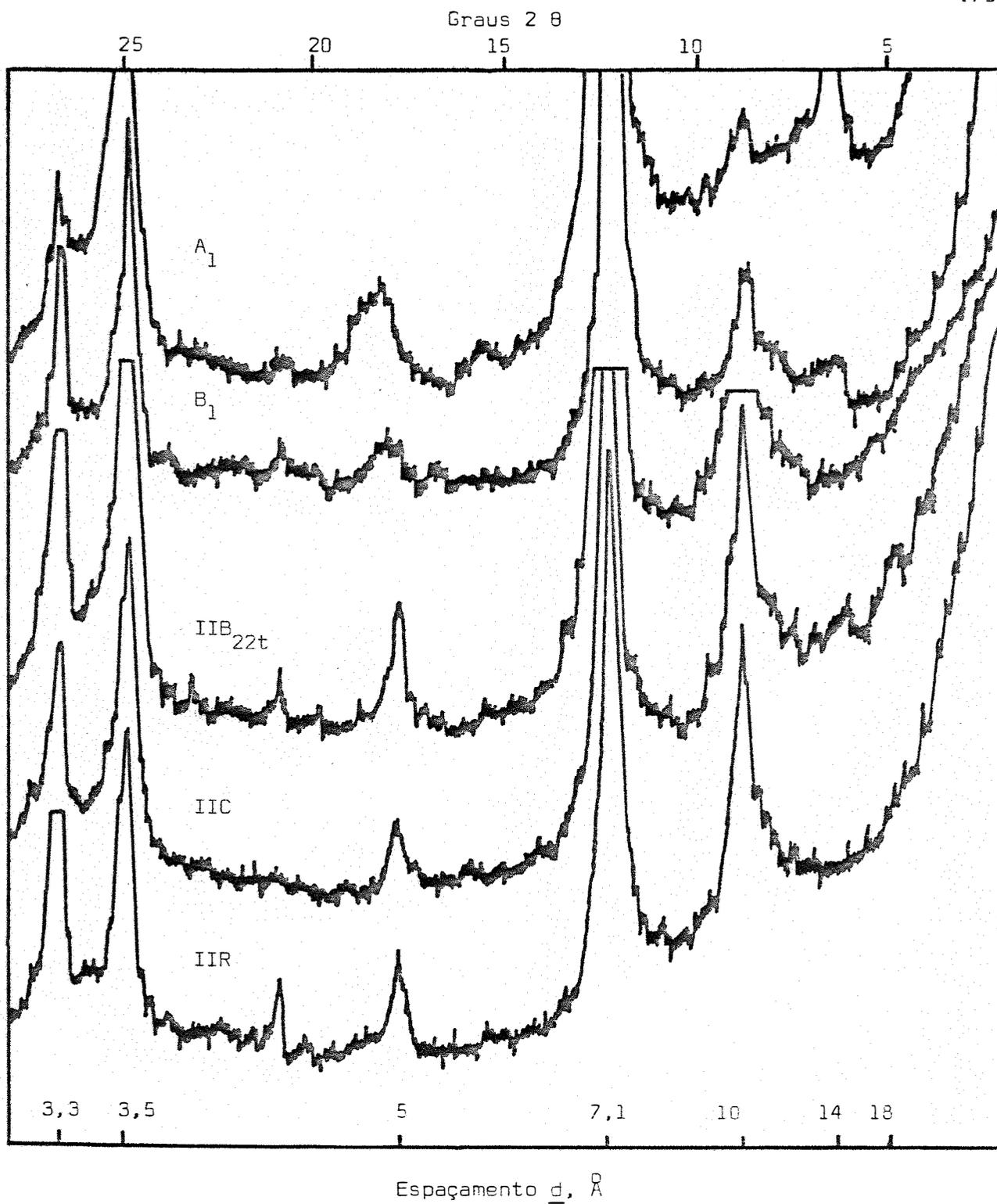
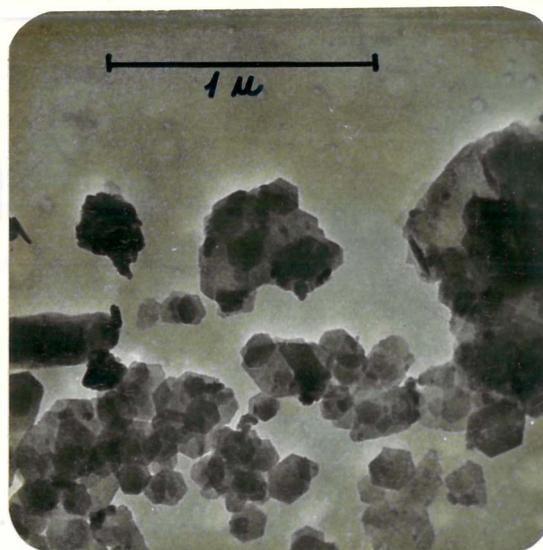


Figura 13 - Difratogramas de horizontes do perfil Aeroporto. Amostras naturais da fração argila grossa.



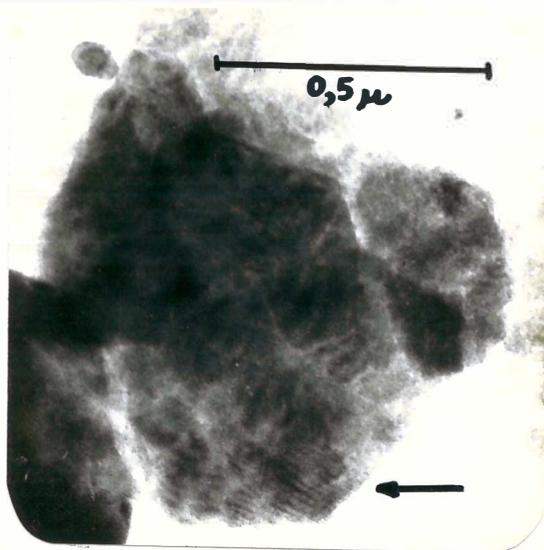
Microfotografia eletrônica 1 - Amostra da fração argila total constituída por hexágonos de caulinita e placas de mica. Camada R, perfil Pinheiro. 36 000X.

l, pode ser constatada a presença de algumas partículas maiores e irregulares de mica. Nas amostras do horizonte A encontrou-se, também, placas de mica apresentando "moiré fringes" (Microfotografia eletrônica 2) o que, de acôrdo com *BORCHARDT et al. (1966)*, evidencia uma associação de mica e silicatos de grade expansiva. A identificação da montmorilonita não foi conseguida. Segundo *BATES (1955)* a morfologia desse argilo-mineral é muito dependente da maneira de preparação da amostra para microscopia eletrônica. Observou-se, esporadicamente, a ocorrência de partículas de formato aproximadamente tubular que não se conseguiu identificar.

### 5.5.2. Análise quantitativa

A caulinita apresenta-se como o mineral de argila dominante, alcançando teores da ordem de 61,0%. Secundariamente aparecem os minerais de rede cristalina 2:1 como mica, montmorilonita e vermiculita. Com porcentagens inferiores também estão presentes a alofana e a gibbsita (Quadros 17, 18 e 19).

Em relação à gibbsita, nota-se a sua ocorrência somente nos horizontes superiores à linha de seixos, estando ausente abaixo do horizonte IIB<sub>1</sub>. Este fato leva a supor duas hipóteses. A primeira é de que, o material originário dos horizontes superficiais, já se encontrava num estágio mais avançado de intemperismo, em relação ao material que deu origem ao restante do perfil, devido a uma intemperização anterior à sua deposição. Como segunda hipótese admite-se que a gibbsita tenha-se originado por intemperismo "in situ", em consequência da maior meteorização sofrida pelas camadas superiores do solo. A tendência da gibbsita é, portanto, de aumentar seus teores em superfície, devido à transformação daqueles minerais que a precedem na sequência de intemperismo. Neste caso, a gibbsita teria se formado a partir da dessilicatização da caulinita ou da alofana, conforme tem sido constatado por vários autores (*TAMURA et al., 1955; BATES, 1960*). O termograma representado pela Figura 14 ilustra a distribuição deste mineral em um dos perfis estudados.



Microfotografia eletrônica 2 - Presença de "moiré fringes" em partícula de argila (provavelmente mica). A mostra da fração argila total. Horizonte A, perfil Pinheirinho. 72000X.

Quadro 17 - Composição mineralógica da fração argila (em porcentagem) dos perfis Menino Deus e Pinheirinho.

Horizonte	Mica	Vermiculita	Montmorilonita	Caulinita	Alofana	Gibbsita	Total	I.M.*
<u>Perfil Menino Deus</u>								
A <sub>1</sub>	21,0	7,3	22,6	36,0	8,6	2,5	98,0	9,9
B <sub>1</sub>	22,5	8,6	18,7	41,0	7,2	3,0	101,0	9,0
IIB <sub>22t</sub>	23,9	7,4	15,6	36,5	7,7	0,0	91,0	8,9
IIC	21,9	11,2	12,9	61,0	6,6	0,0	113,6	9,1
IIR	22,6	10,0	17,8	43,0	5,3	0,0	98,7	8,9
<u>Perfil Pinheirinho</u>								
A <sub>1</sub>	15,4	9,4	18,7	42,5	11,9	2,5	100,4	9,2
B <sub>1</sub>	15,8	7,2	20,4	41,0	11,3	3,0	98,7	9,2
IIB <sub>22t</sub>	20,0	6,8	27,1	42,5	9,9	0,0	106,3	9,0
IIC	21,5	11,2	28,7	43,0	8,1	0,0	112,5	9,0
IIR	24,0	15,1	21,2	31,5	9,7	0,0	101,5	8,8

\* - índice de intemperismo médio

Quadro 18 - Composição mineralógica da fração argila (em porcentagem) dos perfis Fazenda e Aeroporto.

Hori- zonte	Mica	Vermi- culita	Montmori- lonita	Cauli- nita	Material amorfo	Gibbsita	Total	I.M.
<u>Perfil Fazenda</u>								
A <sub>1</sub>	21,4	11,3	19,3	31,5	10,5	2,0	96,0	8,9
B <sub>1</sub>	16,4	15,0	21,3	35,6	7,8	0,0	96,1	8,9
IIB <sub>22t</sub>	28,3	11,6	22,2	37,5	8,4	0,0	108,0	8,8
IIC	31,3	13,0	32,3	25,5	7,9	0,0	110,0	8,6
IIR	23,4	14,4	30,0	35,0	8,2	0,0	111,0	8,8
<u>Perfil Aeroporto</u>								
A <sub>1</sub>	12,7	9,5	26,4	37,0	10,4	2,0	98,0	9,2
IIB <sub>1</sub>	16,2	8,3	13,8	54,5	8,7	0,0	101,5	9,2
IIB <sub>22t</sub>	16,6	8,4	8,9	49,5	8,0	0,0	91,4	9,0
IIC	15,7	9,7	36,3	33,5	9,0	0,0	104,2	9,0
IIR	15,1	11,1	29,2	32,5	8,4	0,0	96,3	9,0

Quadro 19 - Composição mineralógica da fração argila (em porcentagem) dos perfis Paraiso e Cajuru

Hori- zonte	Mica	Vermi- cullita	Montmori- lonita	Cauli- nita	Material amorfo	Gibbsita	Total	I.M.
<u>Perfil Paraiso</u>								
A <sub>1</sub>	21,5	13,1	18,2	45,0	10,2	1,0	109,0	9,0
IIB <sub>1t</sub>	23,2	8,0	25,1	43,0	9,3	1,0	109,6	9,0
IIB <sub>22t</sub>	25,1	12,0	28,1	34,0	7,8	0,0	107,0	8,8
IIC	22,5	13,2	21,5	36,5	8,7	0,0	102,4	8,9
IIR	21,2	15,3	20,1	37,5	9,9	0,0	104,0	8,9
<u>Perfil Cajuru</u>								
A <sub>1</sub>	13,4	9,0	15,3	49,1	13,5	5,5	105,3	9,4
B <sub>1t</sub>	19,3	8,7	18,3	37,5	14,6	6,5	104,9	9,2
IIB <sub>22t</sub>	22,7	6,5	10,4	48,4	12,2	6,0	106,2	9,2
IIC	24,7	9,0	29,1	35,0	8,0	0,0	105,8	8,8
IIR	21,0	9,4	15,0	38,0	8,7	0,0	92,1	8,9

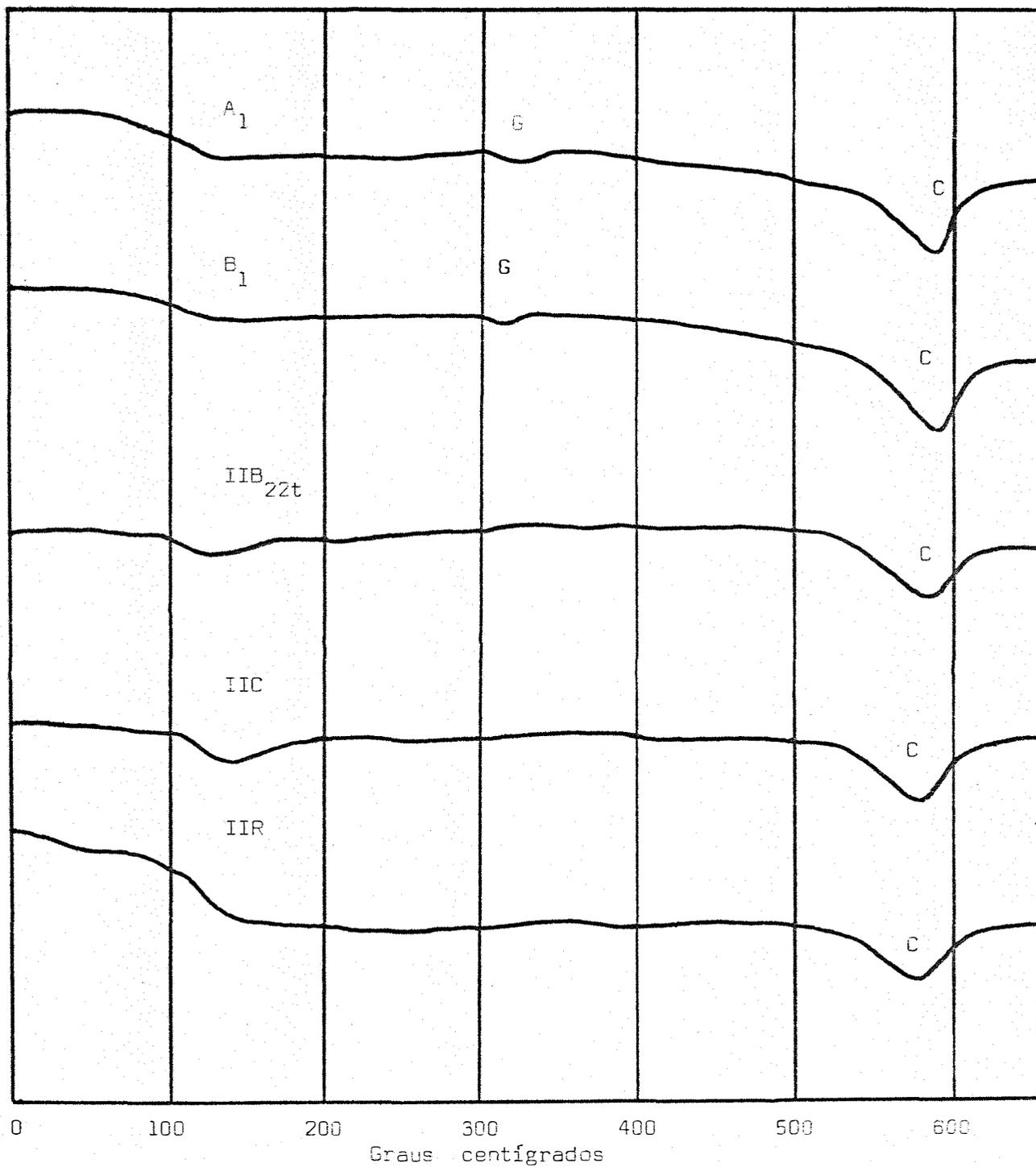


Figura 14 - Termogramas da fração argila de horizontes do perfil Menino Deus, mostrando os picos da gibbsita (G) e caulinita (C).

Os teores de mica apresentam-se praticamente uniformes ao longo do perfil, com variações pouco expressivas. Em solos com B textural de São Paulo, derivados de rochas sedimentares e com teor de mica semelhante (DEMATTE, 1970), tem sido constatado uma diminuição significativa dos teores daquele mineral nas camadas superficiais do solo. Contudo, no presente caso, esta tendência não foi observada. O horizonte B dos seis perfis em estudo apresenta-se com porcentagens de mica muito próximas do substrato rochoso. Estes dados demonstram uma evolução mineralógica muito pequena dos materiais argilosos do solo em relação à rocha subjacente, em que pese a grande transformação morfológica que ocorreu para dar origem a um solo com B textural.

Observa-se, com relação à montmorilonita, que este mineral apresenta-se com valores relativamente elevados em todos os horizontes do perfil e inclusive no argilito. Mesmo no horizonte A, onde a intensidade pedogenética é mais intensa, constatam-se teores significativos de montmorilonita. A sua presença nas camadas superficiais vem a ser mais um indício da pequena alteração mineralógica sofrida pela rocha para dar origem ao solo. A persistência deste mineral em solos sob condições de grande intensidade de intemperismo é explicada por BUOL *et al.*, (1973) como sendo resultante da drenagem lenta devido à natureza argilosa de alguns materiais.

De acordo com KELLER (1964), a gênese dos argilo-minerais do grupo de montmorilonita está associada a condições caracterizadas por uma elevada relação Si/Al, relativa abundância de Mg, Ca, Na, K e Fe e uma baixa concentração de íons H. Estas condições não são, todavia, encontradas nos solos em estudo, visto que os mesmos apresentam-se empobrecidos em bases e muito ácidos, constituindo-se num ambiente desfavorável à formação da montmorilonita. Para BIGARELLA & SALAMUNI (1962), os sedimentos da bacia de Curitiba teriam se depositado em um ambiente semi-árido. Nessas condições, postula KELLER (1964), quando ocorrem períodos úmidos, dá-se a hidrólise dos silicatos. Posteriormente, durante a fase de evaporação, a solução de cátions, originalmente diluída, torna-se mais concentrada em íons Mg, Ca, Na, K e Fe, os quais

combinam-se com O-Si-Al para originar a montmorilonita. Esta parece a hipótese mais provável para justificar a ocorrência de montmorilonita.

Procurando-se auxiliar a compreensão dos efeitos do intemperismo nos perfis estudados, calculou-se o índice de intemperização média (IM) para cada horizonte do solo (*JACKSON & SHERMANN, 1953*). Confrontando-se os valores de IM percebe-se que os horizontes superficiais apresentam índices mais elevados indicando, portanto, serem mais meteorizados. Os valores de IM dos perfis (Quadro 20) demonstram serem muito próximos, o que leva a considerá-los em um mesmo estágio de evolução.

A composição mineralógica média dos perfis (Quadro 20), indica que os minerais de argila 2:1 constituem, aproximadamente, 50% da fração argila. O restante é ocupado pela caulinita, alofana e gibbsita. Estes resultados vem, portanto, contrariar a afirmativa de *BRAMÃO & SIMONSON (1956)* que, baseados em valores da capacidade de troca catiônica do solo, admitiram, nos Rubrozens, a predominância de minerais de argila pertencentes ao grupo da illita (mica).

Em função da afinidade dos Rubrozens com os Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos (*CAMARGO & BENNEMA, 1966*), julgou-se interessante comparar estas duas unidades no que se refere à mineralogia da fração argila. No Brasil, a mineralogia da fração argila dos Solos Podzólicos Vermelho - Amarelos já foi investigada por diversos autores (*DEMATTE, 1970; DIAS, 1971, SOUZA, 1971; ESCOBAR et al., 1972*). Os dados obtidos por estes pesquisadores foram reunidos (Quadro 21), determinando-se, a partir dos mesmos, a composição mineralógica média e o IM desta unidade. Os dados coletados indicam que a fração argila dos Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos é caracterizada pela presença de caulinita, mica e alofana. Com menor frequência aparecem também a vermiculita, montmorilonita e gibbsita. Estes últimos minerais, quando ocorrem, apresentam teores baixos. Comparativamente aos Rubrozens, verifica-se uma similaridade quanto às espécies minerais presentes, assim como pela predominância da caulinita. As porcentagens de minerais do tipo 2:1 são me-

Quadro 20 - Composição mineralógica média (em porcentagem) e intemperismo médio da fração argila nos 6 perfis de Rubrozem estudados.

Perfil	Porcentagem do mineral						IM do perfil
	Mi	V	Mt	C	A	G	
Menino Deus	22	9	17	43	7	3	9,0
Pinheirinho	19	10	23	40	10	3	9,1
Fazenda	24	13	25	22	9	2	9,0
Aeroporto	19	9	23	41	9	2	9,1
Paraíso	23	12	23	40	9	1	8,9
Cajuru	20	8	18	42	11	6	9,2
Média	20	10	21	40	9	3	9,0

Mi = mica; V = vermiculita; Mt = montmorilonita; A = alofana; G = gibbsita

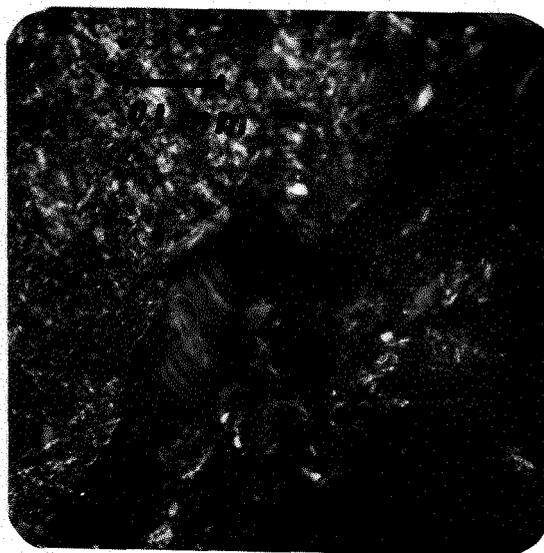
Quadro 21 - Composição mineralógica média da fração argila (em porcentagem) de alguns perfis de Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos, segundo diversos autores.

Localidade	Material de origem	Porcentagem do mineral				IM do perfil	Autor		
		Mi	V	Mt	C				
Rio das Pedras-SP	folhelho siltito	10	11	-	50	12	9,4	ESCOBAR (1969)	
Piracicaba-SP	folhelho siltito	16	7	-	57	12	2,5	9,4	DEMATTE (1970)
Piracicaba-SP	folhelho siltito	12	6	-	60	14	2,0	9,5	DEMATTE (1970)
Iracemápolis-SP	arenito arenoso tratificado	12	15	15	43	15	1,0	9,2	SOUZA (1971)
Recôncavo Bahiano	arenito argiloso	14	-	6	61	8	-	9,5	DIAS (1971)
Recôncavo Bahiano	arenito argiloso	16	-	6	60	4	-	9,4	DIAS (1971)
Média		13	9	9	55	11	2	9,4	

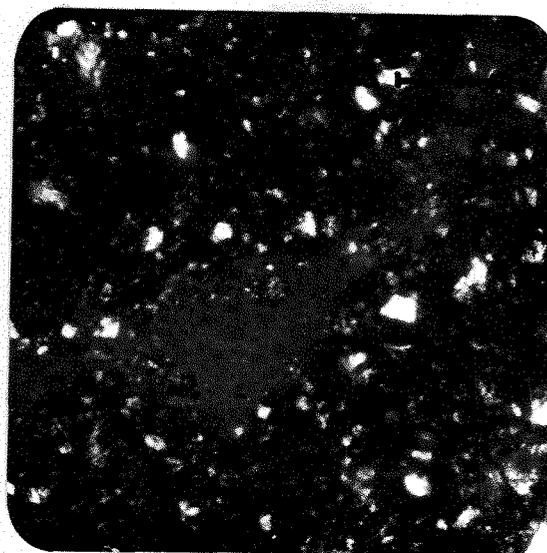
nores nos Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos, enquanto que os teores de caulinita e alofana são superiores àqueles encontrados nos Rubrozens. Os valores de IM demonstram a tendência da fração argila dos Solos Podzólicos Vermelho-Amarelos se encontrar em um estágio de intemperismo ligeiramente superior à dos Rubrozens.

### 5.6. Análise micropedológica

O exame de seções delgadas, obtidas a partir de amostras orientadas do horizonte IIB<sub>22t</sub> dos perfis estudados, evidenciou a presença de material classificado como cutan iluvial (Microfotografia 1). Sob o microscópio, as cutans apresentavam-se com grau de separação e orientação fortes, propriedades que estabelecem o seu caráter iluvial (BREWER, 1964). Por outro lado, não foi observada a ocorrência de cutans no horizonte B<sub>1</sub>, o que se atribuiu ao fato de ser proveniente de material transportado e, portanto, de permanência mais recente no perfil, comparativamente ao substrato originário do horizonte IIB<sub>22t</sub> (Microfotografia 2). O volume ocupado pelas cutans não foi microestereometricamente determinado em consequência do líquido acrílico, utilizado como impregnante, ter exercido efeito expansivo nas amostras e perturbado a sua condição natural. De uma maneira geral, pode-se notar que, embora bem formadas, as cutans se apresentavam em quantidade relativamente pequena. A explicação para este fato refere-se, principalmente, ao gradativo desaparecimento do material cutânico pela ação dispersante da água de percolação, conforme considerações de BUOL e HOLE (1961). O clima da bacia de Curitiba, onde se acham localizados os perfis, apresenta um excesso de chuvas da ordem de 689 mm anuais (Figura 2, página 12), o que sugere uma intensa movimentação de água no corpo do solo. Com tal regime pluviométrico, as condições são mais favoráveis à destruição do material cutânico. Segundo Minashima, citado por MILLER (1965), a existência de períodos secos e úmidos é de considerável importância na formação de cutans iluviais. É pouco provável, portanto, que a formação dessas entidades pedológicas tenha-se dado durante a



Microfotografia 1 - Presença de cutan iluvial com aspecto de camadas concentricas. Horizonte IIB<sub>22t</sub>, perfil Paraíso. Nicóis cruzados. 120X.



Microfotografia 2 - Horizonte B1, perfil Fazenda, onde não ocorrem cutans iluviais. Nicóis cruzados. 120X.

vigência do atual clima da região, visto que a inexistência de períodos de estiagem é um sério impedimento à formação de cutans iluviais. A evidência litológica de um paleoclima, na referida bacia (*BIGARELLA & SALAMUNI, 1958*), com períodos secos e úmidos definidos, é inferida pela presença de bancadas lateríticas em solos da região. De acordo com *ALEXANDER & CADY (1962)* a alternância de estações úmidas e secas, é uma condição indispensável na gênese das lateritas. Por conseguinte, esse tipo de material é um importante testemunho das mudanças climáticas ocorridas no passado.

Em face dessas observações, considera-se viável reconhecer que o processo pedogenético de transporte de material (*SIMONSON, 1959*) participou na formação do horizonte de subsuperfície dos solos estudados, podendo, portanto, ser considerado como argílico.

Com relação aos impregnantes utilizados, constatou-se que o líquido acrílico proporcionou a obtenção de blocos com uma impregnação satisfatória. Contudo, devido ao efeito expansivo que exerce em amostras de solos com argilas 2:1, o seu uso não é aconselhável quando se pretende realizar determinações volumétricas em seções delgadas. Minutos após a sua aplicação, notou-se que as amostras rompiam-se nas superfícies de contato entre os elementos estruturais. Quanto à resina Polilyte observou-se que, na formulação usada, não proporcionou a impregnação do interior de amostras do horizonte B<sub>22</sub>. Em solos de textura argilosa, sugere-se a realização de testes de impregnação com soluções mais diluídas. Com relação ao plástico Carbowax 6 000, a sua utilização também provocou o aparecimento de trincas nas amostras. Em virtude de sua baixa dureza, a confecção de seções delgadas é bastante problemática, não se tendo conseguido a obtenção de lâminas satisfatórias. Percebe-se, portanto, que nenhum dos impregnantes usados demonstrou condições ideais para o emprêgo nos solos estudados, sendo necessário que se testem diferentes formulações para a resina Polilyte, bem como novos produtos existentes no comércio. Acredita-se que, informações relativas ao tipo de fábrica do solo, assim como pedorelíquias existentes, obtidas a partir de investigações micrope

dológicas detalhadas, venham a contribuir significativamente para um melhor entendimento da gênese da unidade estudada.

## 5.7. Classificação do Solo

### 5.7.1. Classificação segundo a *EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO (1972)*

Neste ítem procurou-se:

- realizar uma análise comparativa entre os solos Rubrozem e o grande grupo Podzólico Vermelho-Amarelo;
- estabelecer uma comparação entre os perfis estudados neste trabalho com aqueles descritos por autores que anteriormente estudaram os solos Rubrozem;
- classificar, tentativamente, os solos Rubrozem de acordo com os critérios atuais da classificação de solos, desenvolvida pela *EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO*, atual *DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLOGICA* do Ministério da Agricultura.

Em face da afinidade dos Rubrozens com os Podzólicos Vermelho-Amarelos (*BENNEMA, 1963; CAMARGO & BENNEMA, 1966*), julgou-se interessante realizar uma análise comparativa entre as principais características dessas unidades. Para efeito desta comparação foram consultadas as publicações dos levantamentos de solos de alguns estados brasileiros (*COMISSÃO DE SOLOS, 1958, 1960, 1962; DIVISÃO DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO, 1967; EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO, 1968, 1969, 1970a, 1970b, 1970c, 1972; DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLOGICA, 1971a, 1971b, 1972*).

Segundo *BRAMÃO & SIMONSON (1956)*, os solos Rubrozem deveriam se constituir num grande grupo à parte dos Podzólicos Vermelho-Amarelos, principalmente por apresentarem:

- horizonte A mais desenvolvido
- ausência de horizonte A<sub>2</sub>.

Efetivamente, a conceituação do grande grupo Podzólico Vermelho-Amarelo (*THORP & SMITH, 1949*), não admitia o enquadramento de solos com essas características, o que levou *BRAMÃO & SIMONSON (1956)* a considerarem os Rubrozens como um novo grande grupo.

Ao serem iniciados os levantamentos de solos no Brasil a *COMISSÃO DE SOLOS (1958, 1960, 1962)*, atual Divisão de Pesquisa Pedológica do Ministério da Agricultura, adotou, em linhas gerais, o conceito de *THORP & SMITH (1949)* para a caracterização do Podzólico Vermelho-Amarelo-orto. Em 1960, ao ser procedido o levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo (*COMISSÃO DE SOLOS, 1960*), foram observadas unidades com algumas características morfológicas e analíticas que fugiam do conceito modal dos Podzólicos Vermelho-Amarelos e que foram identificadas como variações de grande grupo. Como exemplo, pode-se citar o Podzólico Vermelho - Amarelo - variação Piracicaba, o qual não apresenta o horizonte  $A_2$ . Com o prosseguimento dos levantamentos nos demais Estados, foram incluídos, dentro do grande grupo Podzólico Vermelho-Amarelo, solos que apresentavam alta saturação em bases, aos quais foi dada a denominação de Podzólico Vermelho-Amarelo - equivalente eutrófico (*DIVISÃO DE PESQUISAS PEDOLÓGICAS, 1971a, 1971b*). Mais recentemente, no levantamento dos solos do nordeste brasileiro (*EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO, 1972; DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA, 1972*), também foram enquadrados, junto aos Podzólicos Vermelho-Amarelos-orto, unidades que não apresentavam horizonte  $A_2$  abandonando-se, portanto, o conceito original do grande grupo Podzólico Vermelho-Amarelo conforme definido por *THORP & SMITH (1949)*. Observa-se, assim, que a classificação de solos, como qualquer sistema taxonômico, está sempre em evolução. Por conseguinte, face ao aparecimento de novos conceitos taxonômicos, inexistente justificativa para continuar considerando-se os solos Rubrozem, em relação aos Podzólicos Vermelho-Amarelos, nos termos propostos por *BRAMÃO & SIMONSON (1956)*.

Comparativamente aos Podzólicos Vermelho-Amarelos, os solos Rubrozem apresentam algumas características similares, enquanto que outras são peculiares desta última unidade.

Confrontando-se inicialmente os dados químicos observa-se, no que se refere à soma de bases, que os Rubrozens apresentam valores sempre baixos. Já nos Podzólicos Vermelho-Amarelos a soma de bases pode ser alta ou baixa. Na primeira unidade a porcentagem de saturação em bases é constantemente inferior a 35%, enquanto que nos Podzólicos Vermelho-Amarelos esse valor muitas vezes é ultrapassado (Podzólicos Vermelho-Amarelos-eutróficos).

Com relação à capacidade de troca catiônica ocorre uma diferença bastante significativa entre os Podzólicos Vermelho-Amarelos e os Rubrozens. Muito embora já tenham sido encontradas unidades com alta capacidade de troca catiônica (*DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA, 1971a, 1971b, 1972*), os Podzólicos Vermelho-Amarelos são solos nos quais esta característica apresenta-se normalmente baixa. Nos Rubrozens a capacidade de troca catiônica é elevada, mesmo quando os resultados são corrigidos para eliminar a influência da matéria orgânica.

As altas porcentagens de carbono nos solos Rubrozem parecem constituir-se, do ponto de vista químico, na mais importante diferença em relação aos Podzólicos Vermelho-Amarelos. Nesta última unidade os teores de carbono raramente ultrapassam o valor de 2%. Por outro lado, nos Rubrozens este elemento se apresenta superior a 5% nos horizontes superficiais caracterizando um tipo de horizonte A. A elevada quantidade de carbono imprime um coloração muito escura a este horizonte de forma a satisfazer os requisitos para o seu enquadramento como A proeminente (*EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO, 1972*) ou úmbrico (*SOIL SURVEY STAFF, 1967*). Nos Podzólicos Vermelho-Amarelos, de uma maneira geral, o horizonte A é um epipedon ócrico (*SOIL SURVEY STAFF, 1967*) ou, de acordo com a *EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO (1972)*, um horizonte A moderado ou fraco.

Comparando-se os dados de alumínio trocável, observa-se serem excepcionalmente elevados nos solos Rubrozem, atingindo valores da ordem de 16 e.mg/100 g de solo. A porcentagem de saturação neste elemento é superior a 50%. Nos Podzólicos Vermelho-Amarelos, a quantidade deste elemento não che-

ga a ser tão elevada, embora algumas unidades como Podzólico Vermelho-Amarelo -orto e variação Piracicaba, ambas no Estado de São Paulo, apresentem-se com teores altos. Também no Paraná (*DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA, 1971a*) foram mapeadas algumas unidades de Podzólicos Vermelho-Amarelos que mostram teores altos em alumínio trocável.

Quanto à relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Ki) os Rubrozens apresentam valores altos e superiores aos Podzólicos Vermelho-Amarelos-orto, equivalendo-se, entretanto, aos Podzólicos Vermelho-Amarelos-eutróficos e aqueles com argila de alta atividade.

Com respeito à composição granulométrica os Podzólicos Vermelho-Amarelos possuem, de uma maneira geral, teores mais elevados em areia. Algumas unidades (perfil 10, da Paraíba) exibem valores da ordem de 80,0% nesta fração (*EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO, 1972*). A subfração areia grossa também alcança valores altos. No caso dos Rubrozens, a fração predominante em todo o perfil é a argila, com valores de até 80,0%, enquanto que a areia grossa não ultrapassa 10,0%. Embora esporádicos, há casos de unidades de Podzólicos Vermelho-Amarelos apresentarem baixas porcentagens em areia podendo-se citar, como exemplos, os Podzólicos Vermelho-Amarelos - variação Piracicaba, de São Paulo (*COMISSÃO DE SOLOS, 1960*) e os Podzólicos Vermelho-Amarelo - equivalente eutrófico (perfil 21 da Paraíba) (*EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO, 1972*). Este último tem como material originário saprolito de biotita-gnaiss e o primeiro, argilito ou folhelho. Os altos teores de areia normalmente encontrados nos Podzólicos Vermelho-Amarelos refletem a influência do material originário na constituição granulométrica desta unidade, uma vez que, em sua maioria, são constituídos por saprolitos de rochas cristalinas ricas em quartzo, como granitos e gnaisses. Quanto aos Rubrozens o saprolito é proveniente de sedimentos argilosos do quaternário.

Do ponto de vista morfológico, as diferenças que se verificam entre as duas unidades em comparação, relacionam-se principalmente com a profundidade do perfil e espessura dos horizontes. Os Rubrozens apresentam perfis

pouco profundos, estando a média centralizada nos 120 cm. Os horizontes são bem diferenciados e também poucos espessos. Os Podzólicos Vermelho-Amarelos são solos mais profundos e, geralmente, os valores se situam ao redor de 200 cm. Profundidades inferiores também foram ocasionalmente constatadas, não constituindo, porém, regra geral. Com relação à cor, os Podzólicos Vermelho-Amarelos podem apresentar horizontes superficiais escuros ou claros. O horizonte B também possui uma coloração variável, podendo ser vermelha ou amarelada. No caso dos Rubrozens, o horizonte A é normalmente escuro (10YR 3/3, úmido) e o horizonte B apresenta cores mais próximas ao vermelho (10R, úmido). É de se ressaltar ainda que, embora atualmente não seja caráter obrigatório na definição da unidade (*DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLOGIA, 1972*), os Podzólicos Vermelho-Amarelos apresentam, com frequência, um horizonte A<sub>2</sub>, enquanto que nos solos Rubrozem não se constata a ocorrência deste horizonte de máxima perda.

No tocante à mineralogia da fração argila, a comparação entre essas unidades pedológicas foi efetuada no item 5.4.2. (análise quantitativa), tendo-se constatado serem os Rubrozens solos que se encontram em estado evolutivo um pouco inferior aos Podzólicos Vermelho-Amarelos. Os estudos relativos à fração argila dos Podzólicos Vermelho-Amarelos ainda não são em número suficiente para se concluir de forma definitiva sobre a mineralogia de sua porção coloidal inorgânica. Provavelmente, nos Podzólicos Vermelho-Amarelos que apresentam argila de atividade alta, o estágio de evolução seja menos avançado.

Desta breve comparação pode-se notar que os Rubrozens apresentam, em relação aos Podzólicos Vermelho-Amarelos, algumas características semelhantes, enquanto que outras são específicas da primeira unidade. Devido à inexistência de critérios quantitativos, fixados para a separação de unidades de solos ao nível de grande grupo, esta tarefa torna-se problemática, dificultando a determinação das características afins e diferenciais. Esta situação é, ainda, agravada pelo fato dos Podzólicos Vermelho-Amarelos apresentarem características com uma amplitude de variação muito grande.

Certamente, os Rubrozens mostram características similares às dos Podzólicos Vermelho-Amarelos. Todavia, em conjunto, nenhuma unidade de Podzólico Vermelho-Amarelo apresenta reunidas essas características, as quais são, vez ou outra, exibidas isoladamente por um perfil. Conforme foi anteriormente observado por *BRAMÃO & SIMONSON (1956)*, ao proporem o grande grupo Rubrozem, a característica definitiva desses solos é aliar um horizonte A escuro, rico em matéria orgânica e muito desenvolvido, associado a um horizonte B avermelhado, o que lhes confere um aspecto bastante peculiar.

Esta análise sumária indica tratarem-se de unidades afins porém com diferenças, principalmente morfológicas, que justificam a colocação dos Rubrozens em um grande grupo distinto, conforme proposição pioneira de *BRAMÃO & SIMONSON (1956)*. É de se ressaltar, contudo, a inadequação do nome proposto, uma vez que a terminação *zem*, até então, era restrita a solos com elevados teores em bases trocáveis, como os Chernozens e Brunizens.

Comparando-se os perfis estudados neste trabalho com aqueles investigados por outros autores (*BRAMÃO & SIMONSON, 1956; PAULA SOUZA, 1961*), observa-se que as diferenças principais se relacionam com a profundidade do perfil e espessura dos horizontes. Nota-se, também, que os mesmos não fazem menção à presença de linhas de seixos nesses solos, muito embora esta seja muito comum.

Com referência às características químicas, nota-se disparidade quanto aos valores de capacidade de troca catiônica. Os perfis pesquisados neste estudo apresentaram valores que variaram entre 7,0 e 27,0 e.mg/100 g de solo, enquanto que os dados obtidos pelos citados autores foram sempre superiores a 24 e.mg/100 g de solo.

É de se observar, também, que, nos trabalhos anteriores, encontrou-se um gradiente textural alto, de forma a caracterizar a presença de um horizonte B textural. No presente estudo o gradiente encontrado foi menor e esteve ao redor de 1,1. A justificativa para este fato pode, talvez, ser explicada:

- a. pela presença de linha de seixos separando os horizontes A e B ou, ainda por
- b. dispersão parcial das amostras do horizonte A, em virtude do alto conteúdo em matéria orgânica, uma vez que os autores precedentes não fazem referência à sua eliminação.

Mesmo ocorrendo algumas diferenças, compreensíveis pela metodologia empregada, julgamos que os perfis ora estudados pertencem ao grande grupo Rubrozem conforme conceituado por *BRAMÃO & SIMONSON (1956)*. Exceção deve ser feita ao perfil Cajuru, muito embora fosse o membro que, sob o aspecto morfológico, mais se aproximasse do conceito modal dos Rubrozems. A objeção refere-se à baixa capacidade de troca catiônica apresentada pelo horizonte B deste perfil. O perfil Cajuru constitui-se, muito provavelmente, numa transição para a unidade Latossol húmico intergrade para Rubrozem (*PAULA SOUZA et al., 1967*), a qual faz contato com os solos Rubrozem e ocupa as posições mais baixas no relevo.

Utilizando-se os critérios de classificação dos solos brasileiros desenvolvida pela *EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO (1972)*, do Ministério da Agricultura, procurou-se, tentativamente, classificar os solos Rubrozem. De acordo com esses critérios, o tipo de horizonte A é classificado como proeminente por apresentar os requisitos de espessura, porcentagem de carbono, baixa saturação de bases e côr. A textura é classificada como argilosa, pois todos os perfis possuem um teor da fração argila superior a 35,0%. O horizonte de subsuperfície admite enquadramento como B textural, uma vez que corresponde ao horizonte argílico, conforme conceituado pelo *SOIL SURVEY STAFF (1967)*. Os altos valores de capacidade de troca catiônica fazem com que esses solos sejam classificados como de argila de atividade alta.

Portanto, os Rubrozems podem ser, em alto nível categórico, considerados como solos com horizonte B textural e argila de atividade alta (não hidromórficos), álicos, textura argilosa, com A proeminente. Na bacia de Curi-

tiba ocorrem sob vegetação de campo, em relêvo ondulado, sobre sedimentos argilosos da formação Guabirota.

Em virtude das características de porcentagem de saturação de bases e saturação em alumínio terem sido relegadas às categorias inferiores pela atual classificação de solos da *EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO (1972)*, a presente classificação dos Rubrozens difere da apresentada por *BENNEMA & CAMARGO (1964)*. Nesta, os Rubrozens foram enquadrados junto aos solos com argila de baixa atividade em função do valor V e porcentagem de saturação em alumínio trocável.

### 5.7.2. Classificação segundo o *SOIL SURVEY STAFF (1967)*

Para a classificação taxonômica dos perfis de solos apresentados neste trabalho foram seguidos principalmente os conceitos emitidos pelo *SOIL SURVEY STAFF (1967)*, no Suplemento ao Sistema de Classificação de Solos (7a. Aproximação). Quando necessário recorreu-se, também, ao Soil Taxonomy (*SOIL SURVEY STAFF (1970)*).

Os dados utilizados foram apresentados e discutidos em outras partes deste estudo e são: químicos, físicos, mineralógicos, morfológicos, micropedológicos e climáticos.

Para o enquadramento dos solos nas diversas categorias do sistema de classificação utilizado, adotou-se os seguintes critérios:

#### a. seção de controle

No caso dos perfis em estudo, nos quais verifica-se para o horizonte argílico um limite inferior mais profundo que 25 cm e um limite superior que dista a menos de 100 cm da superfície, o *SOIL SURVEY STAFF (1970)* recomenda que a seção de controle seja constituída:

- pelo conjunto do horizonte argílico se o perfil tiver menos de 50 cm de

argílico.

- pelos primeiros 50 cm do horizonte argílico caso o perfil tenha mais de 50 cm de argílico.

Contudo, devido ao fato do horizonte B<sub>21</sub> não haver sido eleito para a realização das determinações analíticas, consideramos como seção de controle apenas a porção dos perfis representada pelo horizonte IIB<sub>22t</sub>.

#### b. classe de textura

Os perfis receberam a mesma denominação dada à classe de textura da seção de controle. Desta forma, foram classificados como muito argilosos, uma vez que a porcentagem de argila naquela seção foi sempre superior a 60,0%.

#### c. classe de mineralogia

Em função dos solos terem sido incluídos na classe de textura muito argiloso, a fração considerada para o enquadramento nas classes de mineralogia foi aquela inferior a 0,002 mm. Devido ao fato de todos os perfis não apresentarem nesta fração nenhum mineral com teor superior a 50,0%, foram classificados como pertencentes à classe de mineralogia mista.

#### d. classe de temperatura

O agrupamento dos perfis nesta classe foi realizado entre os solos térmicos por apresentarem:

- diferença entre temperatura média de verão e temperatura média de inverno superior a 5<sup>o</sup>C
- uma temperatura média anual do solo, a uma profundidade de 50 cm, compreendida entre 15 e 22<sup>o</sup>C.

### e. horizontes diagnósticos

A caracterização dos horizontes diagnósticos foi discutida anteriormente neste trabalho, tendo sido classificados da seguinte forma:

- horizonte diagnóstico de superfície: úmbrico
- horizonte diagnóstico de subsuperfície: argílico

### f. classificação nas categorias mais elevadas

Ao nível de ordem os perfis foram enquadrados entre os Ultisols. Os requisitos que permitiram a sua colocação nesta ordem foram:

- presença de horizonte argílico
- saturação de bases inferior a 35,0%
- temperatura média anual do solo superior a 8°C
- temperatura média de verão superior a 15°C
- ausência de horizonte óxico ou espódico
- ausência de plintite formando fase contínua.

Ao nível de subordem os perfis se enquadram junto aos Humults, devido:

- ausência de período de encharcamento
- horizonte argílico com porcentagem de carbono superior a 1,5%.

Ao nível de grande grupo o enquadramento foi realizado entre os Palehumults, por preencherem as seguintes condições:

- horizonte argílico com menos de 10,0% de minerais intemperizáveis na fração de 0,2 a 0,02 mm.
- distribuição da fração argila no perfil que não decresce, em profundidade, de 20,0% de seu máximo.

Ao nível de subgrupo os perfis foram classificados da seguinte forma:

- perfil Paraíso: classificado como Typic Palehumult, devido:
  - CTC/100 g de argila superior a 24 e.mg
  - ausência de mosqueado nos 25 cm superiores do horizonte argílico
  - ausência de período seco na profundidade de 18 a 50 cm
  - ausência de camada com textura mais fina que areia fina barrenta nos 75 cm superiores que apresente densidade aparente (a 1/3 de atmosfera) igual ou inferior a  $0,95 \text{ g/cm}^3$  e que possua uma das seguintes características:
    - relação argila/umidade a 15 atmosferas igual ou inferior a 1,25
    - relação CTC/umidade a 15 atmosferas superior a 1,5
    - acidez trocável superior à soma de bases mais alumínio trocável.
- perfis Menino Deus, Pinheirinho, Fazenda, Aeroporto e Cajuru: foram classificados como Humoxic Palehumults por apresentarem uma capacidade de troca catiônica inferior a 24 e.mg/100 g de argila, além das demais características dos Typic Palehumults.

#### g. classificação nas categorias inferiores

A classificação nestas categorias foi realizada somente até o nível de família.

Os perfis foram classificados conforme especificado a seguir:

- perfil Paraíso: Typic Palehumult, muito argiloso, misto, térmico.
- perfis Menino Deus, Pinheirinho, Fazenda, Aeroporto e Cajuru: Humoxic Palehumult, muito argiloso, misto, térmico.

Todos os perfis estudados podem ser considerados como pertencentes a famílias paralelas (*SOIL CONSERVATION SERVICE, 1967*) pois, embora se encon-

trem em sub grupos distintos, possuem características idênticas no que se relaciona à textura, mineralogia e temperatura.

Como existe uma tendência por parte dos cientistas de solo do Brasil em sugerir o subgrupo Allic (*KLANT & BEATY, 1972*), que enquadraria solos com elevados teores de alumínio trocável, os Rubrozens poderiam ser perfeitamente situados neste subgrupo, pois é uma unidade que apresenta alta concentração neste elemento.

## 6. RESUMO E CONCLUSÕES

O principal objetivo deste trabalho foi o estudo mineralógico e taxonômico de alguns perfis de solos do grande grupo Rubrozem da bacia sedimentar de Curitiba, Estado do Paraná.

Além das descrições morfológicas foram realizadas análises mineralógicas das frações argila e areia, assim como determinações químicas, físicas e micropedológicas de amostras de solo.

A composição mineralógica da fração argila foi determinada por difração de raios X, análise térmica diferencial, análise química e microscopia eletrônica. As observações micromorfológicas foram realizadas em amostras indeformadas do horizonte B. Na fração areia foram analisados os constituintes no intervalo de tamanho compreendido entre 0,2 a 0,02 mm.

A presença de linha de seixos e os resultados granulométricos eviden

ciaram uma descontinuidade litológica e sugerem a origem poligenética dos perfis estudados.

A fração argila dos solos Rubrozens é constituída predominantemente por caulinita (40%), seguida de montmorilonita (21%), mica (20%), vermiculita (10%), alofana (9%) e gibbsita (3%). A gibbsita presente é possivelmente de origem pedogenética. Constatou-se, também, a ocorrência de clorita e minerais interestratificados.

O índice de intemperismo médio (IM) indicou que os solos estudados encontram-se entre os estádios montmorilonítico e caulinitico, na sequência de meteorização apresentada por JACKSON *et al.* (1948), o que leva a considerá-los como pouco evoluídos do ponto de vista mineralógico. Os índices de intemperismo médio (IM) dos perfis revelam grau de evolução mineralógica semelhante, a despeito da diferença de profundidade, entre os mesmos.

Os dados morfológicos e químicos permitiram classificar o epipedon como úmbrico. O horizonte diagnóstico de subsuperfície foi classificado como argílico com base na presença de cutans iluviais.

Utilizando-se da classificação desenvolvida pelo SOIL SURVEY STAFF (1967) os perfis foram classificados da seguinte forma:

- perfil Paraíso: Typic Palehumult, muito argiloso, misto, térmico
- perfis Menino Deus, Pinheirinho, Fazenda, Aeroporto e Cajuru: Humoxic Palehumult, muito argiloso, misto, térmico.

Na classificação adotada pela EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO (1972), os Rubrozens foram enquadrados como solos com horizonte B textural e argila de atividade alta (não hidromórficos), álicos, textura argilosa, com A proeminente.

Os Rubrozens constituem unidade afim aos solos Podzólicos Vermelho-Amarelos; diferenças de caráter morfológico, principalmente, permitem situá-

-los em um grande grupo à parte, conforme proposição original de *BRAMÃO & SIMONSON (1956)*.

Sob o aspecto agrícola as principais limitações impostas à utilização desses solos referem-se à sua baixa fertilidade natural e presença de altos níveis de alumínio trocável.

## 7. SUMMARY AND CONCLUSIONS

Selected soils profiles from Rubrozem Great Soil Group were collected at the Curitiba Sedimentary Basin, State of Paraná, with the specific objective of studying their mineralogy and classification. Samples from the representative horizons were analyzed chemically, physically and mineralogically. Sand and clay fractions were studied as to their mineralogical composition.

Thin sections were prepared for micropedological studies of some selected horizons. Clay mineralogy was studied by means of X-ray diffraction, DTA, chemical analysis and electron microscopy. Sand fraction in the size range of 0,2 to 0,002 mm was analyzed to determine its constituents.

The presence of a stone line and the particle size distribution indicated a profile discontinuity and the polygenetic origin of the profiles studied.

The clay fraction of these Rubrozem profiles was predominantly of

kaolinite (40%). Other components were: montmorillonite (21%), mica (20%), vermiculite (10%), allophane (9%) and gibbsite (3%). Gibbsite is probably of pedogenetic origin. In smaller amounts chlorite and interstratified minerals were also found.

The mean weathering index indicated that the soils under study are between the montmorillonitic and kaolinitic stages, according to Jackson's weathering sequence (*JACKSON et al.*, 1948). They are thus considered to be in the earlier stages of weathering from the stand point of their mineralogy. Little difference was found between the profiles in this respect.

Chemical and morphological data allowed for the identification of an umbric epipedon and an argillic subsurface horizon.

The soil profiles were classified, according to the Soil Taxonomy System developed by the USDA *SOIL SURVEY STAFF (1967)*, as follows:

- Paraizo profile: Typic Palehumult, clayey very-fine, mixed, thermic;
- Menino Deus, Pinheirinho, Fazenda, Aeroporto and Cajuru profiles: Humoxic Palehumult, clayey very-fine, mixed, thermic.

The Rubrozem was classified according to the classification adopted by the *EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO (1972)*, as having a textural B horizon, highly active clay (non-hidromorphic), allic, clayey, with prominent A horizon .

The Rubrozem are similar to the Red-Yellow Podzolic soils; morphological differences place them in a separate Great Soil Group (*BRAMÃO & SIMONSON, 1956*).

From the standpoint of agriculture the main limitations for use are its low natural fertility and high exchangeable aluminum content.

## 8. BIBLIOGRAFIA CITADA

- AB'SAËR, A.N. - 1962.* Revisão dos conhecimentos sobre o horizonte sub-superficial de cascalhos inhumados do Brasil oriental. Bol. Univ. do Paraná, Geografia Física, nº 2, 32 pp.
- AGUIAR, F.Q.B. & SILVA, J.J.V. - 1969.* A importância das formações de recobrimento numa zona de solos ferralíticos em Angola. Série Científica nº 8. Lisboa, Instituto de Investigação Agronômica de Angola.
- ALEXANDER, L.T. & CADY, J.G. - 1962.* Genesis and hardening of Laterite in Soils. USDA. Soil Conservation Service. Tech. Bull. nº 1282.
- ALEXIADES, C.A. & JACKSON, M.L. - 1965.* Quantitative determination of vermiculite in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 522-527.
- ALEXIADES, C.A. & JACKSON, M.L. - 1966.* Quantitative clay mineralogical analysis of soils and sediments. In: Conference on Clays and Clay Minerals, 14 th, Proceedings. Oxford, Pergamon Press, pp. 35-52.

- ANDRADE, S.C.* - 1971. Gênese e classificação de solos de três catenas nos municípios de Piracicaba e Rio Claro. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", para obtenção do título de Mestre. pp. 74.
- BALL, D.F.* - 1967. Stone pavements in soils of Caenarvonshire, North Wales. *J. Soil Sci.* 18: 103-108.
- BARSHAD, I.* - 1955. Soil development. In: F.E. Bear (ed.) *Chemistry of the soil*. New York, Reinhold, pp. 373.
- BEAVERS, A.H.* - 1960. Use of X-ray spectrographic analysis for the study of soil genesis. *Int. Cong. Soil Sci. Trans.* 7th. (Madison, Wis.) 2: 1-9.
- BARTELLI, L.J. & ODELL, E.T.* - 1960. Laboratory studies and genesis of a clay-enriched horizon in the lowest part of the solum of some Brunizem and Gray-Brown Podzolic Soils in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24: 390-395.
- BATES, T.F.* - 1955. Electron microscopy as a method of identifying clays. In: *National Conference on Clays and Clay Technology, 1th Proceedings*. San Francisco, Department of Natural Resources. pp. 130-148.
- BATES, T.F.* - 1960. Rock weathering and clay formation in Hawaii. *The Penn. State University, USA, Min. Ind.* 29, nº 8: 1-6.
- BATES, T.F.* - 1964. The application of electron microscopy in soil clay mineralogy. In: *Soil Clay Mineralogy: A Symposium*, C.I. Rich & G.W. Kunze ed., University of North Carolina Press, Chapel Hill, pp. 125-147.
- BENAVIDES, S.T.* - 1973. Mineralogical and chemical characteristics of some soils of the Amazonia of Colombia. A thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State, University at Raleigh, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.

- BENNEMA, J.* - 1963. The red and yellow soils of the tropical and subtropical uplands. *Soil Sci.* 95: 250-257.
- BENNEMA, J. & CAMARGO, M.N.* - 1964. Segundo esboço parcial de classificação de solos brasileiros. Rio de Janeiro, Div. Ped. Fert. Solo. 33 fls. (mimeografado).
- BIGARELLA, J.J. & SALAMUNI, R.* - 1958. Considerações sobre o paleoclima da bacia de Curitiba. *Bol. Inst. Hist. Nat., Geologia 1. Curitiba-PR.* pp. 10.
- BIGARELLA, J.J. & SALAMUNI, R.* - 1962. Caracteres texturais dos sedimentos da bacia de Curitiba. Contribuição à geologia regional. *Bol. da Univ. do Paraná, Geologia n° 7.* pp. 164.
- BODZIAK, C. & PAULA SOUZA, D.M.* - 1965. Contribuição ao estudo dos solos de Curitiba. *Rev. Esc. Agron. Vet.* 1: 45-63.
- BORCHARDT, G.A., JACKSON, M.L. & HOLE, F.D.* - 1966. Expansible layer silicate genesis in soils depicted in mica pseudomorphs. *In: Int. Clay Conf., Israel, Proceedings. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translation, Vol. 1:* 175-185.
- BRAMÃO, D.L. & SIMONSON, R.W.* - 1956. Rubrozem - A proposed great soil group. *Séme. Congr. de la Science du Sol. Paris.* 4: 25-29.
- BREWER, R.* - 1964. *Fabric and Mineral Analysis of Soils.* John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 470.
- BREWER, R.* - 1968. Clay illuviation as a factor in particle-size differentiation in soil profiles. *Trans. (9th) In. Cong. Soil Sci.* 4: 489-499.
- BRINDLEY, G.W.* - 1955. Identification of clay minerals by X-ray diffraction analysis. *National Conference on Clays and Clay Technology, 1th Proceedings. San Francisco, Department of Natural Resources.* pp. 119-129.
- BUCKMAN, H.C. & BRADY, N.C.* - 1967. *Natureza e Propriedade dos Solos.* Rio de Janeiro. Livraria Freitas Bastos. pp. 594.

- BUOL, S.W. & HOLE, F.D. - 1961.* Clay skin genesis in Wisconsin Soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 377-379.
- BUOL, S.W., HOLE, F.D. & McCracken, R.J. - 1972.* Soil genesis and classification. Iowa State University Press, Ames. pp. 347.
- BUSHUE, L.J., FEHRENBACHER, J.B. & RAY, B.W. - 1970.* Exhumed paleosols and associated modern till soils in Western Illinois. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 665-669.
- CAMARGO, M.N. & BENNEMA, J. - 1966.* Delineamento esquemático dos solos do Brasil. Pesq. agropec. bras. 1: 47-54.
- CAMPOS, D.A.F., PERECIN, D. & BORDUCHI, H. - 1973.* Impregnações de amostras de solos com resinas acrílicas. Rev. Agric. 1: 11-16.
- CARVALHO, A. - 1971.* Study of Terra Roxa Estruturada and Latossolo Roxo on a topographic sequence in São Paulo State, Brazil. A thesis presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (Soil Science) of the University of Newcastle upon Tyne. pp. 93.
- CATANI, R.A., GALLO, J.R. & GARGANTINI, H. - 1955.* Amostragem de solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Campinas, IAC, Boletim 69. pp. 28.
- COLLINET, J. - 1969.* Contribution à l'étude des "stone-lines" dans la région du Moyen-Ogooué (Gabon). Cah. Pédol. ORTOM 7: 1-42.
- COMISSÃO DE SOLOS do C.N.E.P.A. - 1958.* Levantamento de reconhecimento dos Solos do Estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal. Boletim nº 11, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. pp. 350.
- COMISSÃO DE SOLOS DO C.N.E.P.A. - 1960.* Levantamento de reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo. Boletim nº 12, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, pp. 634.

- COMISSÃO DE SOLOS DO C.N.E.P.A.* - 1962. Levantamento de reconhecimento dos solos sob influência do Reservatório de Furnas. Boletim nº 13, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, pp. 462.
- DEMATTE, J.L.I.* - 1970. Gênese e classificação dos solos originados de sedimentos do grupo geológico Estrada Nova no município de Piracicaba. Tese apresenta à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Livre Docente. pp. 123.
- DIAS, A.C.P.* - 1971. Mineralogia da fração argila de alguns solos da Bacia Sedimentar do Recôncavo Bahiano. Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre. pp. 75.
- DIVISÃO DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO* - 1967. Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul, primeira etapa, Planalto Rio-grandense. Pesq. Agropec. Bras. 2: 71-209.
- DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA* - 1971a. Levantamento de reconhecimento dos solos do Nordeste do Estado do Paraná (informe preliminar). Curitiba DNPA. Ministério da Agricultura. Bol. Téc. nº 10. pp. 139.
- DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA* - 1971b. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte. Recife. DNPA. Ministério da Agricultura. Bol. Técn. nº 15. Série Pedologia 8. pp. 531.
- DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA* - 1972. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Vol. II (Descrições de perfis de solos e análises). DNPA. Ministério da Agricultura. Recife. Bol. Técn. nº 26. pp. 354.
- DIXON, J.B.* - 1966. Quantitative analysis of kaolinite and gibbsite in soils by differential thermal and selective dissolution methods. In: Proc. 14th. Conf. on Clays and Clay Minerals. pp. 83-98.

- DIXON, J.B. & SEAY, W.A. - 1957.* Identification of clay minerals in the surface horizons of four Kentucky soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 603-607.
- DUDAL, R. - 1968.* Definitions of soil units for the soil map of the world. Rome, FAO, World soil resources reports 33.
- DUDAS, J.J. & HARWARD, M.E. - 1971.* Effect on dissolution treatments on standard and soil clays. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 134-140.
- EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO - 1968.* Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos que ocupam a parte baixa do Núcleo Colonial de Macaé. Rio de Janeiro. EPE. Ministério da Agricultura. pp.99.
- EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO - 1969.* Levantamento de reconhecimento dos solos do Núcleo Colonial de Gurgéia. Rio de Janeiro. EPE. Ministério da Agricultura. Bol. Técn. nº 6. pp. 79.
- EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO - 1970a.* Levantamento de reconhecimento dos solos da zona do Médio Jequitinhonha-MG. Rio de Janeiro. EPE. Ministério da Agricultura. Bol. Técn. nº 9. pp. 340.
- EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO - 1970b.* Levantamento de reconhecimento dos solos da zona de Iguatemi-MT. Rio de Janeiro. EPE. Ministério da Agricultura. Bol. Técn. nº 10. pp. 99.
- EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO - 1970c.* Levantamento exploratório dos solos da região sob influência da Cia. do Vale do Rio Doce. Rio de Janeiro. EPE. Ministério da Agricultura. Bol. Técn. nº 13. pp. 154.
- EQUIPE DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO - 1972.* Levantamento exploratório -reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. EPE. Ministério da Agricultura. Bol. Técn. nº 15. Série Pedologia 8. pp. 670.

- ESCOBAR, E.H., DEMATTÊ, J.L.I. & MONIZ, A.C. - 1972.* Génesis y clasificación de algunos suelos de la cuenca del arroyo Tijuco Preto, Município de Rio das Pedras, San Pablo. I. Análisis mineralógico cuantitativo de la fracción arcilla. Rev. Invest. Agropec. INTA, B.Ayres. Rep. Argentina, Série 3, Clima y Suelo, Vol. IX, nº 3: 89-108.
- F.A.O. - 1956.* Terra Roxa and Rubrozem soils of Brazil. Soil description 1 and 2. Rome (mimeografado) pp. 17.
- FOSS, J.E. & RUST, R.H. - 1968.* Soil genesis study of lithologic discontinuity in glacial drift in western Wisconsin. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 394-396.
- GLORIA, N.A. da, CATANI, R.A. & MATUO, T. - 1964.* Método do EDTA na determinação do cálcio e magnésio trocável do solo. Anais da ESALQ 21: 220-228.
- GOSS, D.W. & ALLEN, B.L. - 1968.* A genetic study of two soils developed on granite in Llano County. Texas. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32: 409-413
- GROHMANN, F. & VAN RAIJ, B. - 1973.* Influência dos métodos de agitação na dispersão da argila do solo. Apresentado no Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, XIV, Santa Maria-RS.
- HARWARD, M.E. & THIESEN, A.A. - 1962.* A paste method for preparation of slides for clay mineral identification by X-ray diffraction. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 335-341.
- HASHIMOTO, I. & JACKSON, M.L. - 1960.* Rapid dissolution of Allophane and kaolinite-halloysite after dehydration. In: Conference on Clays and Clay Minerals, 7th. Proceedings. Oxford, Pergamon Press, pp. 102-113.
- HOLZMANN, M. - 1966.* Balanço hídrico do Paraná. Tese para provimento da Cátedra de Física da Escola de Agronomia e Veterinária da Universidade Federal do Paraná. pp. 55.

- HSU, P.H. - 1963. Effect of initial pH, phosphates and silicates, in determination of aluminum with aluminon. Soil Sci. 96: 230-238.
- JACKSON, M.L. - 1958. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall, INC. Englewood Cliffs. N.J. pp. 498.
- JACKSON, M.L. - 1956. Soil Chemical Analysis. Advanced Course. Publicado pelo autor, Dept. of Soils, Univ. of Wis. pp. 991.
- JACKSON, M.L. & SHERMAN, G.D. - 1953. Chemical weathering of minerals in soils. Adv. Agron. 5: 219-318.
- JACKSON, M.L., TYLER, S.A., WILLIS, A.L., BOURBEAU, G.A. & PENNINGTON, R.P. - 1948. Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments. J. Phys. Col. Chem. 52: 1237-1260.
- JOHNSON, L.J. & JEFFRIES, C.D. - 1957. The effect of drainage on the weathering of the clay minerals in the Allenwood catena of Pennsylvania. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 539-542.
- JOHNSON, L.J., MATELSKI, R.P. & ENGLE, C.F. - 1963. Clay minerals characterization of modal soil profiles in several - Pennsylvania counties. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 568-572.
- KELLER, W.D. - 1964. Processes of origin and alteration of clay minerals. In: Soil Clay Mineralogy: A Symposium, C.I. Rich and G.W. Kunze, ed., University of North Carolina Press, Chapel Hill. pp. 3-76.
- KELLOG, C.E. - 1962. The place of the laboratory in soil classification and interpretation. USDA. Soil Cons. Serv. Washington, D.C. pp. 21
- KILMER, V.J. & ALEXANDER, L.T. - 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. Soil Sci. 68: 15-24.
- KLANT, E. & BEATY, M.T. - 1972. Gênese de uma sequência de solos da região do Planalto Médio Riograndense. Pesq. Agrop. Bras. Ser. Agron. 7: 99-109.

- KLEIN, R.M. & HATSCHBACH, G. - 1962.* Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica do município de Curitiba e arredores (Paraná). Bol. Univ. Paraná, Geografia Física 4. pp. 29.
- LEVÊQUE, A. - 1969.* Le problème des sols à nappes de gravats au Togo. Cah. Pedol. ORTOM 7: 43-69.
- LOBO, A.E.M. - 1971.* Descontinuidade litológica de alguns solos da região de Piracicaba. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre. pp. 68.
- MAACK, R. - 1953.* Mapa geológico do Estado do Paraná, escala 1:750.000. Inst. de Biol. e Pesq. Tec. Curitiba-PR.
- MAACK, R. - 1968.* Geografia Física do Estado do Paraná. Publicado sob os auspícios do Banco de Desenvolvimento do Paraná (sucessor da CODEPAR), da Universidade Federal do Paraná e do Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas. Curitiba-PR. pp. 350.
- MCKEAGUE, J.A. & ARNAUD, R.J. ST. - 1969.* Pedotranslocation: eluviation-illuviation in soils during the quaternary. Soil Sci. 107: 428-434.
- MEDEIROS, G.B. - 1971.* Genese e classificação de alguns solos da Bacia do Ribeirão das Palmeiras. Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo para obtenção do título de "Magister Scientiae". pp. 80.
- MILLET, J.L. & DREW, J.V. - 1963.* Characterization and genesis of Pawnee and Adair soils in southeaster Nebraska. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 683-688.
- MILLER, F.P. - 1965.* Physical, chemical and mineralogical properties related to the micromorphology of the Canfield silt loam - a Fragiudalf. A thesis submitted to the graduate School of the Ohio State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. pp. 218.

- MOLLOY, M.W. & KERR, P.F. - 1961. Diffractometer patterns of A.P.I. reference clay minerals. *Am. Mineralogist* 46: 583-605.
- MONIZ, A.C. - 1972. Composição química e estrutura dos minerais de argila. *In: Elementos de Pedologia*. A.C.Moniz, coord. Edit. Polígono. Univ. São Paulo. 29-44.
- NEVES, L.E. - 1968. Estudo prático de argilas por difratometria de raios X. *Bol. Téc. Petrobrás*, 11: 123-135.
- OLIVEIRA, J.B. - 1972a. Fatores de formação. *In: Elementos de Pedologia*. A.C.Moniz, coord. Edit. Polígono. Univ. de São Paulo. 275-288.
- OLIVEIRA, J.B. - 1972b. Variação de características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas em duas áreas de Oxissolo. Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. pp. 199.
- PAULA SOUZA, D.M. - 1961. Grande grupo de solo "Rubrozem". Contribuição à carta de solos do Paraná. Tese de Doutorado apresentada à Cadeira de Geologia Agrícola do Curso de Agronomia da Escola Superior de Agricultura e Veterinária do Paraná. Curitiba-PR. pp. 62.
- PAULA SOUZA, D.M., TOURINHO, L.C. & OLIMPIO DA ROCHA, H. - 1967. Levantamento de reconhecimento dos solos das áreas 4 e 5 do Estado do Paraná. Não publicado.
- QUEIROZ NETO, J.P. & MODENESI, M.C. - 1971. Observações preliminares sobre as relações entre solos e a geomorfologia na área de Itu-Salto, Estado de São Paulo. XIII Congresso Bras. Ciência Solo, Guarapari, Vitória-ES.
- RANZANI, G., FREIRE, O., SILVEIRA, C.O. & INCLAN, R.S. - 1959. Solo rubrozêmico paulista. VII Cong. Bras. Ciência Solo. Piracicaba-SP.
- RICHARDS, L.A. - 1949. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.* 58: 95-112.

- RIQUIER, J.* - 1969. Contribution à l'étude des "stone-lines" en régions tropicale et équatoriale. Cah. Pédol. ORTOM 7: 71-111.
- ROWLES, C.C.* - 1969. Suelos Venezolanos. Centro de Investigaciones Agronômicas. Maracay. Venezuela. pp. 115 (mimeografado).
- RUELLAN, A.* - 1971. L'histoire des sols: quelques problèmes de définitions et d'interprétation. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 9, 3: 335-343.
- RHUE, R.V.* - 1958. Stone lines in soils. Soil Sci. 87: 223-231.
- SCHMEHL, W.R. & JACKSON, M.L.* - 1957. Mineralogical analysis of clays from Colorado surface soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 373-380.
- SEGALEN, P.* - 1969. Le remaniement des sols et la mise en place de la "stone line" en Afrique. Cah. Pédol. ORTOM 7: 113-127.
- SETZER, J.* - 1949. Os solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro. Conselho Nacional de Geografia, pp. 387.
- SIMONSON, R.W.* - 1959. Outline of a generalized theory of soil genesis. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 23: 152-156.
- SMITH, G.D.* - 1964. Impressions on soils of Brazil. A speech given to Ministry of Agriculture in Rio de Janeiro. pp. 12 (mimeografado).
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO* - 1967. Manual de métodos de trabalho de campo (2a. aproximação) Rio de Janeiro - pp. 33.
- SOIL CONSERVATION SERVICE* - 1967. Application of the soil classification system in developing or revising series concepts and in naming mapping units. Soils Memorandum 66, USDA.
- SOIL SURVEY STAFF* - 1960. Soil Classification: a comprehensive system, 7th Approx. Washington, Govt. Print. Off., pp. 265.
- SOIL SURVEY STAFF* - 1967. Supplement to soil classification system (7th approximation). Washington, Govt. Print. Off. Second Printing, pp. 207.
- SOIL SURVEY STAFF* - 1970. Soil Taxonomy (selected chapters from the undited text). Washington.

- SOUZA, J.J. de* - 1971. Estudo pedológico de perfis de solos da região de Iracemópolis. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre. pp. 100.
- STEPHEN, I.*-1960. Pedology, clay orientation in soils. Sci. Progress 48: 322-331.
- TAMURA, T., JACKSON, M.L. & SHERMAN, G.D.* - 1955. Mineral content of a Latosolic Brown Forest soil and a Humic Ferruginous Latossol of Hawaii. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 90-91.
- TAVERNIER, R. & SMITH, G.D.* - 1957. The concept of Braunerd (Brown Forest Soil) in Europe and the United States. Adv. Agr. 9: 217-289.
- TEIXEIRA MENDES, A.C., FALCI, S.C., DEMATTÊ, J.L.I.* - 1971. Seções delgadas de Solos, métodos de impregnação. XIII Congr. Bras. Ciência do Solo, Guarapari, Vitória-ES.
- THORP, J. & SMITH, G.D.* - 1949. Higher categories of soil classification: order, suborder and great soil groups. Soil Sci. 67: 117-126.
- VAN RAIJ, B. & KUPPER, A.* - 1966. Capacidade de troca de cátions em solos. Estudo comparativo de alguns métodos. *Bragantia* 25: 327-336.
- VETTORI, L.* - 1969. Métodos de análise de solo. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Rio de Janeiro. Bol. Técn. nº 7. pp. 24.
- WARSHAW, M.C. & ROY, R.* - 1963. Classification and a scheme for identification of layers silicates. Bol. Geol. Soc. Am. 72: 1455-1492.
- WHITTIG, L.D.* - 1965. X-ray diffractions techniques for mineral identification and mineralogical composition. In: C.A. Black et al. (ed.) Methods of soils analysis, Part I. Agronomy 9: 671-698.