

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS**

**INTEMPERISMO QUÍMICO DE ROCHAS GRANÍTICAS NA ZONA BRAGANTINA
NORDESTE DO PARÁ**

Tese Apresentada por

ANTONIO TARANTO GOULART

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOQUÍMICA

**Conferido pelo Programa de Pós-Graduação em
Ciências Geofísicas e Geológicas da
Universidade Federal do Pará**

Aprovado: 12.05.80.

JUAN R. ZOLETA RONCAL

(ORIENTADOR)

RAIMUNDO NETUNO N. VILLAS

EMMANUEL DE SOUZA CRUZ

Comitê de Tese

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Juan Rolando Zuleta Roncal, pela firme e dedicada orientação dada ao autor, durante a realização deste trabalho.

À Eliana F. Goulart, minha esposa, pelo incentivo e apoio material.

Aos Drs. Emmanuel de Souza Cruz e Raimundo Netuno Nobre Villas, pelas sugestões dadas ao examinarem este trabalho.

Ao Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da Universidade Federal do Pará, pelo apoio.

Aos técnicos Sonia Rodrigues, Raimundo Nonato, José Herculano e aos bolsistas Nikita e Severino pelas suas valiosas participações nos desenvolvimentos das análises químicas.

À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES-PICD) e à Fundação Universidade Federal do Mato Grosso (FUFMT) pelo suporte financeiro.

À todas as pessoas e entidades que, de modo direto ou indireto, tornaram possível a realização deste trabalho

os agradecimentos do autor.

R E S U M O

Visando caracterizar o intemperismo químico de rochas graníticas ocorrentes na região Bragantina - NE do Pará - perfis de solos residuais derivados dessas rochas, sob condições de relevo suave, boa drenagem e clima tropical úmido com estações chuvosa e de estiagem bem definidas, foram estudados sob o ponto de vista mineralógico e geoquímico.

Os solos da área objeto de estudo são constituídos essencialmente por quartzo, seguido de caolinita e pequenas quantidades de muscovita, óxidos secundários, feldspatos e minerais pesados, produtos da decomposição dos minerais das rochas originais que se degradaram na seguinte sequência: biotita>feldspatos>muscovita>quartzo e minerais pesados. Predominantemente são solos quartzo-arenosos, resultantes da decomposição da caolinita condicionada pela elevada pluviosidade da região.

A grande resistência do quartzo, associada à intensa lixiviação dos perfis, permitiu o desenvolvimento de solos textualmente homogêneos.

A B S T R A C T

Profiles of residual soils derived from granitic rocks which occur in the Bragantina Region, Northeastern Pará, were studied chemically and mineralogically. These soils were developed in an area of gentle topography and good drainage under tropical conditions with well defined "dry" and rainy seasons.

The mineral composition of these soils consists essentially of quartz and with decreasing abundances also appear kaolinite, muscovite, secondary oxides, feldspar and heavy minerals. This mineral assemblage resulted from the chemical weathering of the parent granitic rocks whose original minerals were decomposed in the following sequence: biotite, feldspars, muscovite, quartz and heavy minerals. The soils are dominantly sandy from which significant amounts of kaolinite, produced during the earlier stages of weathering, were lost in consequence of the intense leaching that is favored by the high pluvial precipitation over the region. The great stability of quartz under tropical conditions together with the intense leaching of the regolith has led to the development of texturally homogeneous soils in the Bragantina Region.

S U M Á R I O

Pag

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações Preliminares	1
1.2. Área de Estudo	2
2. METODOLOGIA	5
2.1. Metodologia de Campo	5
2.2. Metodologia de Laboratório	5
3. FRAÇÕES DE SOLO	11
3.1. Variação da Composição Mineralógica das Frações Areia, Silte e Argila nos Perfis	11
3.2. Distribuição das Frações do Solo nos Perfis	16
3.3. Geoquímica das Frações Areia, Silte, Argila e Óxido	18
3.3.1. Alumínio	18
3.3.2. Ferro	20
3.3.3. Silício	22
3.3.4. Titânio	22
3.3.5. Potássio	24
3.3.6. Sódio	27
3.3.7. Cálcio e Magnésio	27
3.3.8. Manganês	27
3.3.9. Cobre	31
4. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	34
4.1. pH Atual	34
4.2. Textura	34
4.3. Comportamento dos Elementos Al, Si, Fe, Ti, Ca, Mg, Mn, Cu, Na e K	36
5. CONCLUSÕES	44
6. BIBLIOGRAFIA	45

ANEXOS

I - Processamentos Analíticos das Amostras

II - Tabelas

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

- 1 Mapa geológico da área em estudo.
- 2 Perfis de solo desenvolvido sobre rochas graníticas (P_1 , P_2).
- 3 Perfil de solo desenvolvido sobre rocha granítica (P_3).
- 4 Descrição marcoscópica dos Perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 5 Fluxograma dos processamentos analíticos.
- 6 Variação da Composição mineralógica da fração areia nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 7 Variação da composição mineralógica da fração silte nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 8 Variação da composição mineralógica da fração argila nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 9 Distribuição das frações areia, silte, argila e óxido nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 10a Distribuição do Al_2O_3 nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 10b Distribuição do Fe_2O_3 nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 10c Distribuição do SiO_2 nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 10d Distribuição do TiO_2 nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 10e Distribuição do K_2O nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 10f Distribuição do Na_2O nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 10g Distribuição do CaO nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 10h Distribuição do MgO nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 10i Distribuição do MnO nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 10j Distribuição do CuO nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 11 Variação do pH nos perfis P_1 , P_2 e P_3 .
- 12 Distribuição das amostras de solo em variogramas areia-silte-areia.

FIGURAS

- 13 Distribuição de feldspatos e/ou micas, argilo- minerais e óxidos, representados por seus teores em A₂O₃, no perfil 3.
- 14 Variação da relação Al₂O₃(óxido)/Al₂O₃(argila) no perfil 3.

ANEXOS

I. Processamentos analíticos das amostras

- I.1. Determinação Potenciométrica do pH do Solo em Água.
- I.2. Destruição da Matéria Orgânica.
- I.3. Extração da Fração Óxido.
- I.4. Separação da Fração Areia.
- I.5. Separação das Frações Silte e Argila.
- I.6. Determinação Analítica dos Elementos Al, Si, Fe, Ti, Ca, Mg, Mn, Cu, Na e K nas Frações Areia, Silte e Argila.
- I.7. Determinação da Composição Mineralógica das Frações Silte e Argila.
- I.8. Determinação da Composição Mineralógica da Fração Areia.

II. Tabelas

- 1 Composição química da fração areia no perfil 1.
- 2 Composição química da fração silte no perfil 1.
- 3 Composição química da fração argila no perfil 1.
- 4 Composição química da fração óxido no perfil 1.
- 5 Composição química da fração areia no perfil 2.
- 6 Composição química da fração silte no perfil 2.
- 7 Composição química da fração argila no perfil 2.
- 8 Composição química da fração óxido no perfil 2.
- 9 Composição química da fração areia no perfil 3.
- 10 Composição química da fração silte no perfil 3.
- 11 Composição química da fração argila no perfil 3.
- 12 Composição química da fração óxido no perfil 3.
- 13 Composição química dos solos. Amostras procedentes do perfil P₁.
- 14 Composição química dos solos. Amostras procedentes do

perfil P₂.

- 15 Composição química dos solos. Amostras procedentes do perfil P₃.
- 16 Composição química dos granitos aflorantes na área em estudo.
- 17 Teores das frações areia, silte, argila e óxido nos solos.
- 18 Valores de pH-atual nos perfis P₁, P₂ e P₃.
- 19 Teores das frações areia, silte e argila.
- 20 Teores de Al₂O₃ no perfil 3 devidos a feldspatos e/ou minerais, argilo-minerais e óxidos.
- 21 Valores da relação Al₂O₃(óxido)/Al₂O₃(argila) no perfil 3.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Preliminares

O meio ambiente em profundidades próximas da superfície da Terra, se caracteriza por apresentar baixos valores de pressão e temperatura, quando comparado com aqueles de regiões mais profundas da crosta terrestre. Também nesta região superficial se encontra um dos mais ativos agentes químicos do intemperismo, que é a água meteórica, a qual contém significantes quantidades de dióxido de carbono e oxigênio dissolvidos (Verhoogen et alii, 1970).

De modo geral, as rochas e, particularmente aquelas formadas em profundidades, sob rígidas condições de pressão e temperatura, ao serem expostas às condições de superfície, sofrem uma série de transformações químicas num processo conhecido como "Intemperismo Químico", cuja extensão é controlada por vários fatores dentre os quais está, principalmente, o clima, relevo, movimento de águas subterrâneas, material original e atividade biológica. O intemperismo é um fenômeno dinâmico, de modo que a região intemperizada se encontra sofrendo um processo contínuo de destruição dos materiais existentes e de formação de novos componentes. Tal processo envolve uma constante diferenciação, controlada principalmente pela mobilidade relativa dos elementos químicos.

A mobilidade dos elementos nos ambientes secundários tem sido tratada por vários autores, os quais realizaram trabalhos considerando fatores tais como temperatura, pH do meio, solubilidade dos minerais, etc. Para o caso particular dos elementos maiores presentes nas rochas silicatadas, foram citadas as seguintes seqüências, com os elementos colocados na ordem crescente de suas mobilidades:

Si>Al>Fe>Ca>Mg>(K)>Na (Mason, 1971)

Al = Fe>Si>K>Na>Ca (Anderson e Hawkes, 1958)

Al = Fe>Si>K>Mg>Na>Ca (Smyth, 1913)

Estas sequências servem de base para as hipóteses de que os componentes imóveis que podem ser encontrados fazendo parte de materi-

ais residuais são SiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3 (Chesworth, 1973), enquanto os mais móveis, que podem temporariamente ser retidos nos solos (Ex.: Mg^{2+} retido em clorita secundária), são os alcalinos e alcalinos terrosos (Norton, 1973). Assim, o estudo do intemperismo químico de rochas silicatadas pode ser feito através da determinação dos teores e da distribuição dos elementos Al, Si, Fe, K, Ca, Mg e Na, além de outros tais como Ti, Mn e Cu, ao longo de perfis intemperizados desenvolvidos sobre as mesmas.

O presente trabalho visa estudar o intemperismo químico de rochas graníticas, através da caracterização de perfis de solos delas derivados, em uma área de relevo suave e boa drenagem e submetida a condições de clima tropical úmido, com estações chuvosas e de estiagem bem definidas.

1.2. Área de Estudo

A área onde se desenvolveu o presente trabalho está localizada na Região Bragantina, NE do Pará (Fig. 1).

A litologia da área é representada essencialmente por rochas graníticas e filíticas, observáveis em pequenos morros localizados às proximidades de Mirasselvas e Tracuateua, com as primeiras constituindo o embasamento cristalino da região. Os granitos de Mirasselvas e Tracuateua são corpos granitóides tardíos e pós-cinemáticos respectivamente. Resultados relativos às datações radiométricas de amostras encaminhadas ao Laboratório de Geocronologia da USP, indicam uma idade de 1960 ± 76 m.a. para os corpos graníticos destas duas localidades. Tais datações foram obtidas através de uma isócrona de Rb/Sr que forneceu uma razão inicial de $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ igual a 0,708 (NCGG-Projeto Integrado, 1980). Estes granitos são cortados por inúmeros veios pegmatíticos (Arantes et alii, 1972). Mineralogicamente são constituídos por quartzo, microclina, plagioclásio sódico, muscovita e biotita, tendo como minerais acessórios berilo, turmalina e granadas (Francisco et alii, 1971). Os filitos apresentam-se bastante alterados, porém conservando ainda feições típicas como a xistosidade (algumas vezes vertical). Sua composição mineralógica não foi identificada face ao avançado estado de alteração dos afloramentos. Esta rocha é cortada por inúmeros veios de quartzo, ora apresentando granula-

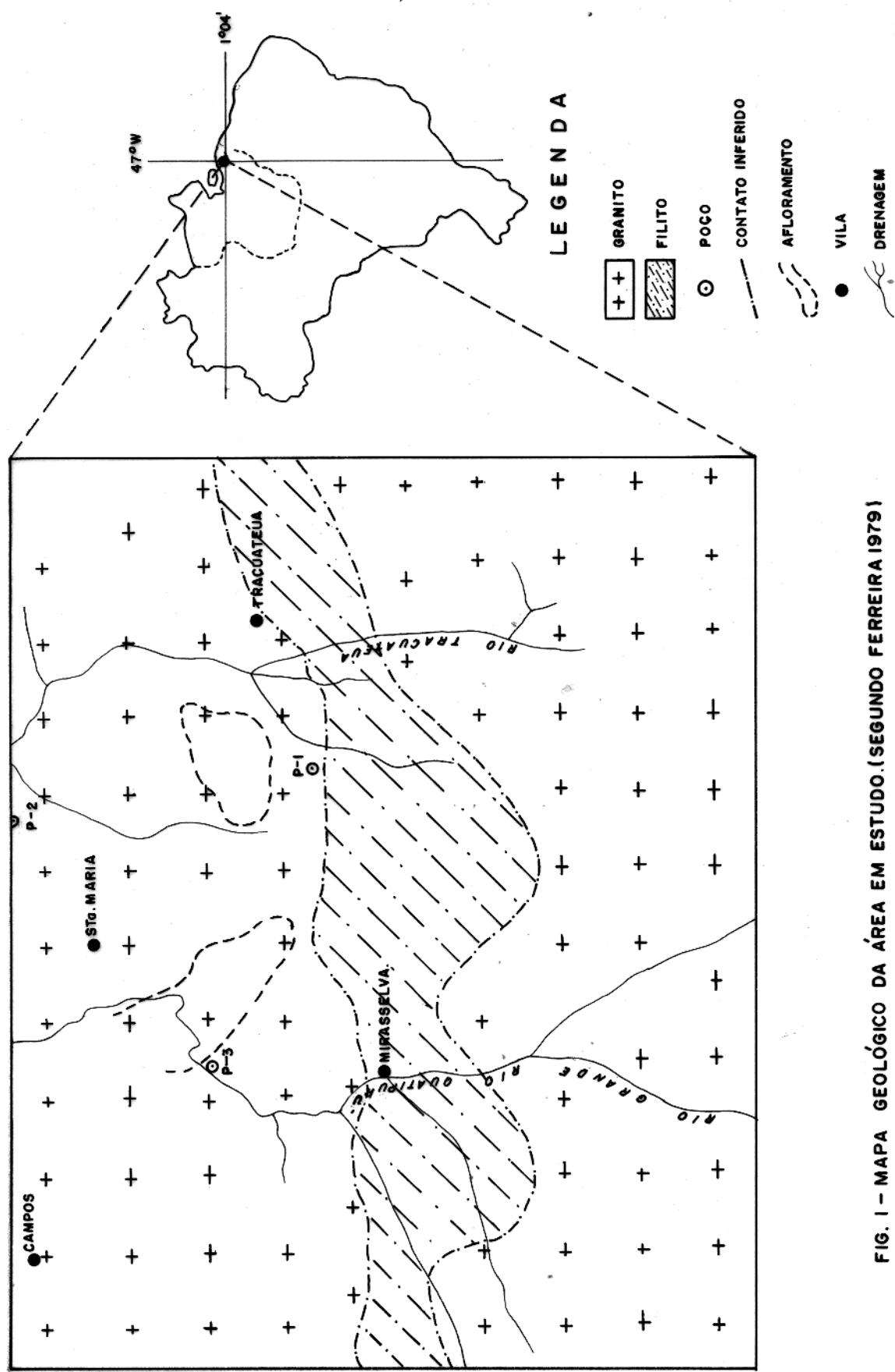


FIG. I - MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA EM ESTUDO (SEGUNDO FERREIRA 1979)

ção grosseira, ora fina.

O clima predominante na região é do tipo tropical úmido, com meses de estiagem, como setembro, outubro e novembro e meses de maior precipitação, fevereiro, março e abril, quando então o percentual de precipitação, em relação à total, é da ordem de 49%. A temperatura média anual é de 26,4°C, com máximas e mínimas absolutas de 32,1°C e 22,0°C respectivamente. O relevo na área é predominantemente plano, apresentando, esporadicamente, ondulações de cerca de 48 m de altitude e o solo desenvolvido nas mesmas está representado por latossolos amarelos (Falesi et alii, 1967).

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, duas fases distintas foram estabelecidas, uma referente ao trabalho realizado no campo e outra àquele efetuado no laboratório.

2.1. Metodologia de Campo

Visando obter amostras de perfis de solos sobre rochas graníticas, foram perfurados 3 poços, aqui identificados por P₁, P₂ e P₃ (Figs. 2 e 3), com profundidades de 1,20 m, 5,35 m e 4,60 m respectivamente. Objetivava-se alcançar as rochas frescas subjacentes, mas devido a dificuldades técnicas isto só foi possível no P₁. Suas localizações (Fig. 1) foram determinadas com base nos seguintes critérios:

- Proximidades de afloramentos de rochas graníticas.
- Indícios mineralógicos de solos derivados deste tipo de rocha.
- Relevos elevados, buscando-se com isto obter camadas intemperizadas pouco espessas e evitar a presença de material transportado.

Em seguida realizou-se a descrição macroscópica dos perfis obtidos (Fig. 4), levando-se em consideração fatores tais como presença de matéria orgânica, textura, cor ocorrências de concreções, etc. e determinaram-se os limites entre os horizontes A e B de cada perfil. Procedeu-se então às amostragens dos perfis, sendo as mesmas efetuadas segundo a técnica de "Coleta Contínua de Canal". Foi obtido um total de 26 amostras, contendo cada uma, em média, dois quilogramas de material.

2.2. Metodologia de Laboratório

Este tópico refere-se aos diversos tratamentos a que foram submetidas as amostras, objetivando-se:

- determinar a variação do pH atual ao longo dos perfis.
- determinar as proporções relativas das frações óxidos,

P₁

P₂



FIG. 2 - PERFIS DE SOLO DESENVOLVIDOS SOBRE ROCHAS GRANÍTICAS (P₁, P₂) NA REGIÃO BRAGANTINA, NE DO PARÁ.

P₃



FIG. 3 - PERFIL DE SOLO DESENVOLVIDO SOBRE ROCHAS GRANÍTICAS (P₃)
NA REGIÃO BRAGANTINA, NE DO PARÁ.

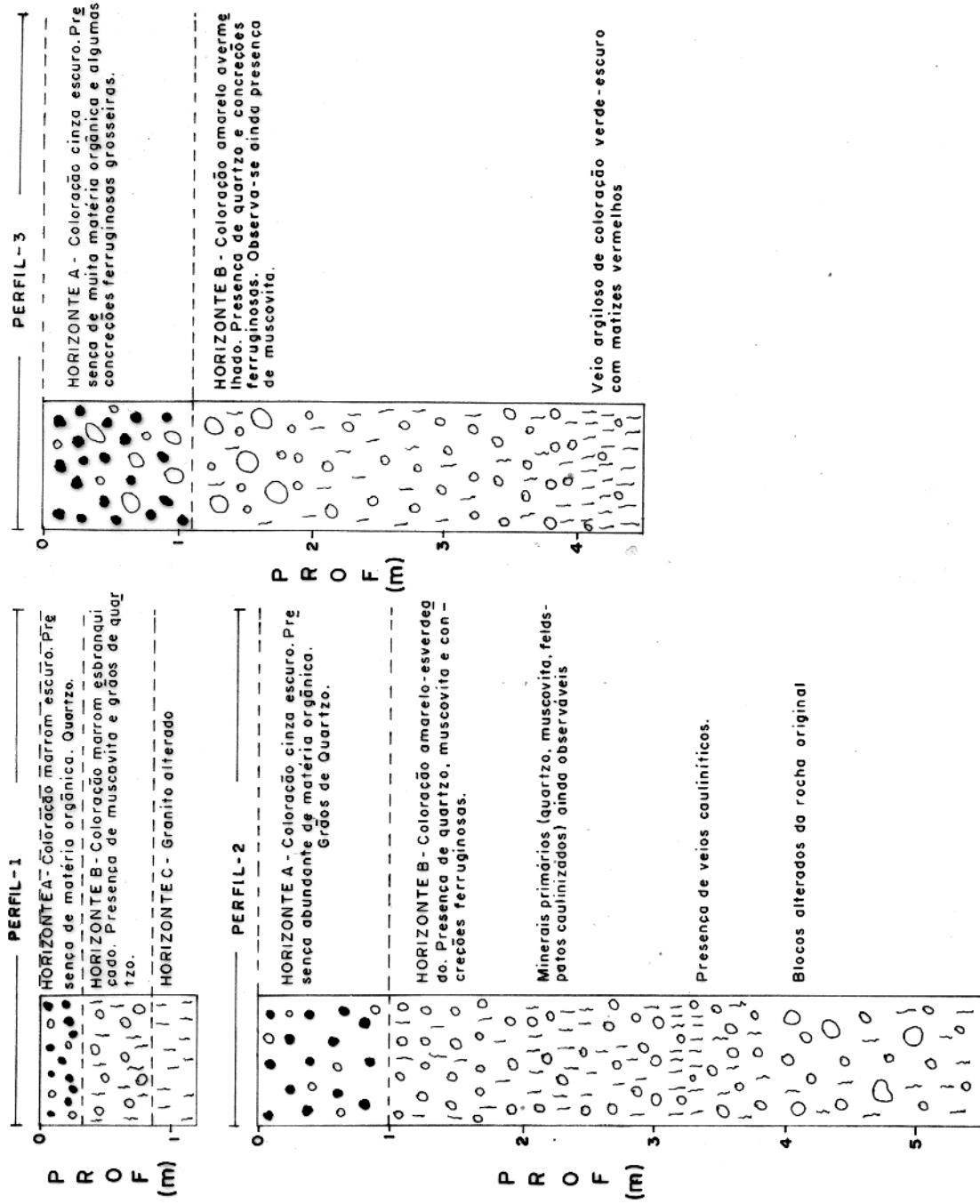


FIG. 4 - DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DOS PERFIS P₁, P₂ e P₃

areia, silte e argila, bem como suas composições química e mineralógica.

As amostras secas ao ar foram desagregadas manualmente, peneiradas (ϕ 2 mm) e quarteadas. Um dos quartos foi destinado à determinação de pH e outro reservado às análises químicas e mineralógicas. A sequência dos tratamentos analíticos (Anexo I) é ilustrada na figura 5.

Para efeitos de comparação foram também analisadas 4 amostras de granitos não alterados, ocorrentes na área em estudo. Os resultados destas análises são mostrados na tabela 6 (Anexo II).

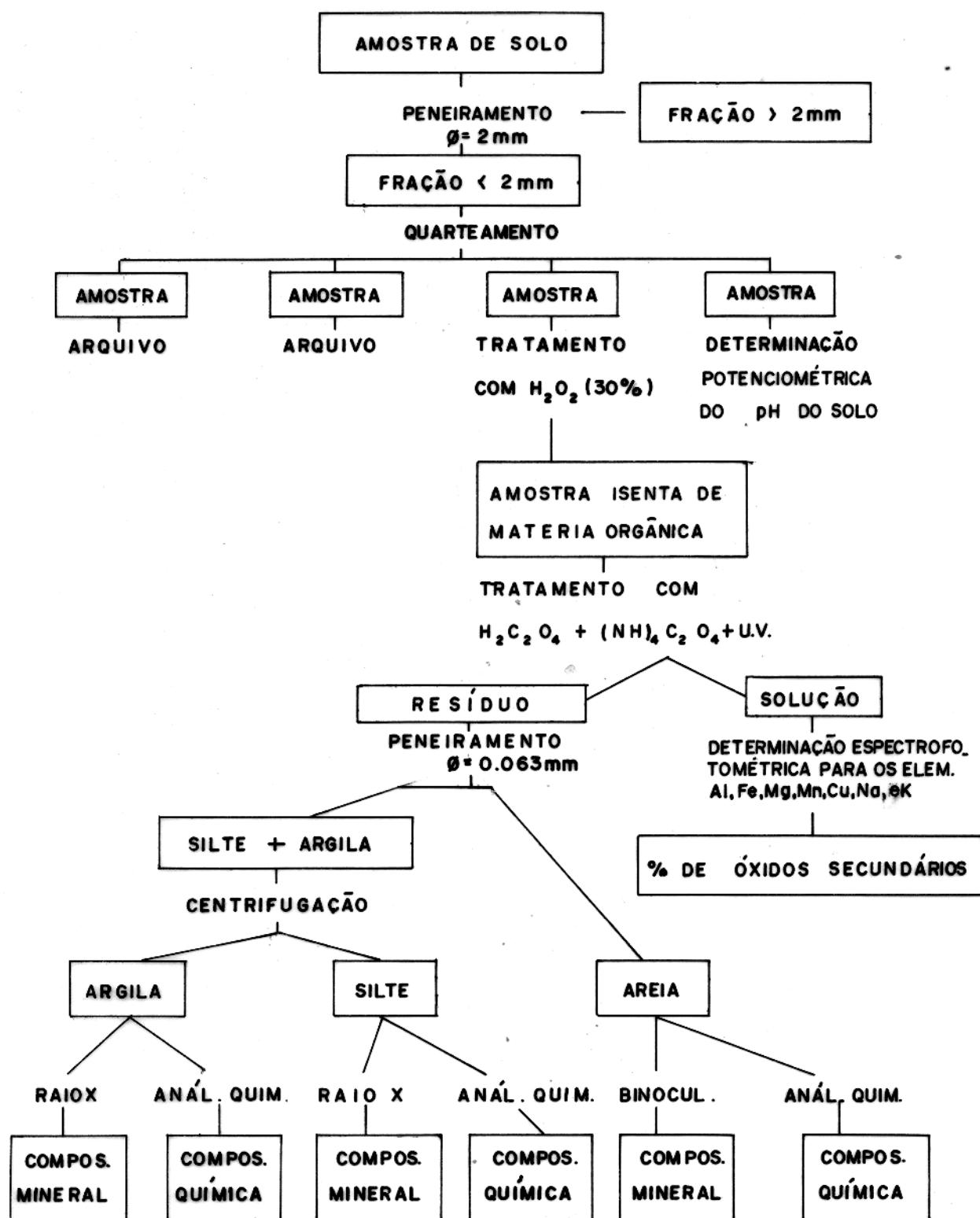


FIG. 5 - FLUXOGRAMA DOS PROCESSAMENTOS ANALÍTICOS.

3. FRAÇÕES DE SOLO

Para o desenvolvimento deste trabalho, as partículas constituintes do solo foram agrupadas conforme a granulometria, segundo Blockwerk (in Muller, 1967), nas frações areia, silte e argila. Considerou-se ainda uma "fração óxido", composta de óxidos secundários que aparecem cimentando as frações acima referidas. Esta sistemática foi seguida, visando estudar a distribuição e a composição químico-mineralógica das frações de solo, visto que, de modo geral, as partículas maiores são constituídas de minerais primários, enquanto as menores compreendem os minerais secundários (Moziz, 1972).

Nas discussões que se seguem consideram-se os perfis sempre no sentido de suas maiores profundidades para a superfície. Esta direção foi escolhida por ser compatível com o aumento do grau do intemperismo.

3.1. Variação da Composição Mineralógica das Frações Areia, Silte e Argila nos Perfis.

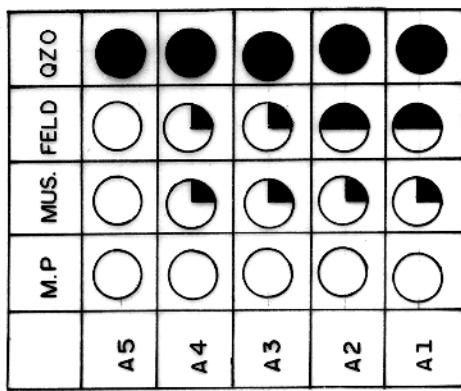
A assembleia mineralógica da fração areia é constituída, essencialmente, por quartzo, feldspatos, muscovita e minerais pesados (ilmenita, rutilo, zircão e turmalina).

Em todos os perfis se observa o caráter dominante do quartzo sobre os outros minerais, enquanto os feldspatos e muscovita se apresentam em quantidades subordinadas (3 a 10%) ou abundantes (10 a 50%), tendendo a desaparecer no topo dos perfis. Os minerais pesados se mantêm raros (<3%) em todos os perfis (Fig.6).

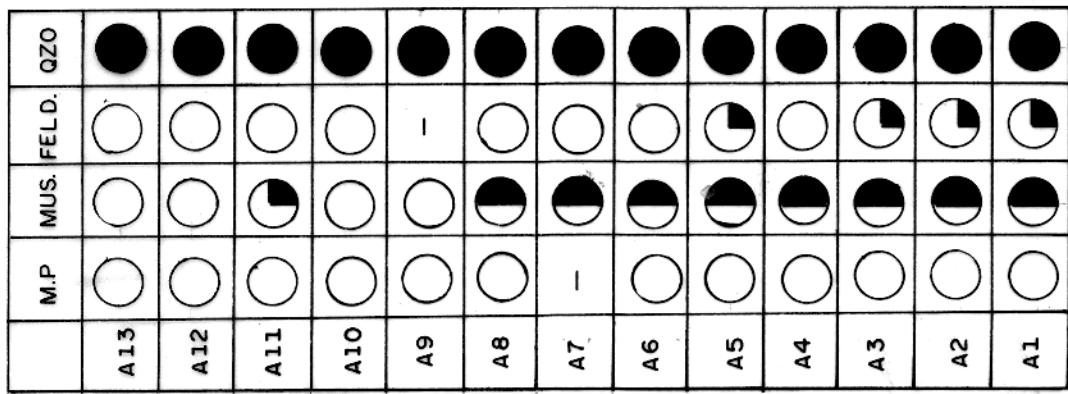
Os elevados teores de quartzo estão relacionados com sua elevada estabilidade frente aos processos intempéricos. Esse mineral se comporta inerte quimicamente, nas faixas de pH e temperaturas ocorrentes na região em estudo, isto é, pH 4,5 a 6,5 e temperatura 22,0°C a 32,1°C (Garrels e Mackenzie, 1971).

A decomposição da muscovita e dos feldspatos nos perfis deve-se principalmente à moderada estabilidade destes minerais frente ao intemperismo. Suas proporções relativas nos perfis, quan-

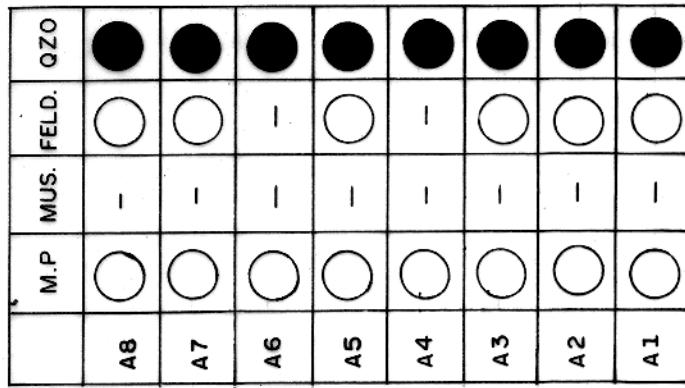
PERFIL - 1



PERFIL - 2



PERFIL - 3



DOMINANTE > 50 %

ABUNDANTE 10 - 50 %

SUBORDINADO 3 - 10 %

RARO < 3 %

— NÃO DETETADO

M.P MINERAIS PESADOS

MUS. MUSSCOVITA

Feld. FELDOSPATOS

QZO QUARTZO

FIG. 6 - VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DA FRAÇÃO AREIA NOS
PERFIS P₁, P₂ e P₃.

do comparadas com aquelas nas rochas graníticas, evidenciam a maior estabilidade da muscovita em relação aos feldspatos. A nota da ausência de biotita nos perfis estudados, mas cuja presença foi constatada nos granitos subjacentes, deve-se à baixa estabilidade desta mica em relação à muscovita. Esta menor estabilidade da biotita é causada pela presença, em sua estrutura, de ferro ferroso que se oxida facilmente a ferro férrico e de magnésio, que expõe a camada de octaedros a um maior ataque por parte das soluções ácidas que percolam a rocha (Moniz, 1972).

A composição mineralógica da fração silte (Fig. 7) é constituída por quartzo, feldspatos, muscovita e caolinita.

O quartzo e a muscovita mostram na fração silte comportamento idêntico àquele apresentado na fração areia, com o quartzo sendo o mineral dominante, enquanto a muscovita de abundante tende a desaparecer nas proximidades da superfície. Os feldspatos, por sua vez, aparecem nesta fração, em todos os poços, apenas como raros. Tais comportamentos são explicados com os mesmos argumentos abordados para a fração areia. Também na fração silte fica evidenciada a menor resistência do feldspato, em relação à muscovita, frente ao intemperismo na região estudada.

A observada ausência de minerais pesados nesta fração silte deve-se à ocorrência destes, em teores abaixo do limite de detecção do método usado nestas determinações (difratometria de raios-X), uma vez que minerais com menos de 3% do total da amostra não aparecem nos difratogramas. Porém suas presenças foram constatadas através de processos químicos.

A retenção de caolinita na fração silte deve-se à ocorrência de partículas deste argilo-mineral com dimensões superiores ao limite de separação entre silte e argila (2μ) adotado neste trabalho. A caolinita pode apresentar partículas com até 4μ de dimensões (Grim, 1968).

A fração argila é representada essencialmente pela caolinita (Fig. 8), exceto no nível inferior do poço 3 onde ocorre um veio de montmorilonita (smectita).

A dominância de caolinita em todos os perfis estudados é condizente com as condições de clima tropical úmido da região.

A formação de montmorilonita exige a presença de Al, Si,

PERFIL - 3

PERFIL - 2

PERFIL - 1

	CAO.	MUS.	FELD.	QZO.
A5	○	○	○	●
A4	○	○	○	●
A3	○	○	○	●
A2	○	○	○	●
A1	○	○	○	●

	CAO.	MUS.	FELD.	QZO.
A13	○	○	○	●
A12	○	○	○	●
A11	○	○	○	●
A10	○	○	○	●
A9	○	○	○	●
A8	○	○	○	●
A7	○	○	○	●
A6	○	○	○	●
A5	○	○	○	●
A4	○	○	○	●
A3	○	○	○	●
A2	○	○	○	●
A1	○	○	○	●

	CAO.	MUS.	FELD.	QZO.
A8	○	○	○	●
A7	○	○	○	●
A6	○	○	○	●
A5	○	○	○	●
A4	○	○	○	●
A3	○	○	○	●
A2	○	○	○	●
A1	○	○	○	●

DOMINANTE > 50 %

ABUNDANTE 10 - 50 %

SUBORDINADO 5 - 10 %

RARO < 5 %

— NÃO DETETADO

CAOLINITA

MUSCOVITA

FELDSPATOS

QUARTZO

FIG. 7 - VARIACÃO DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DA FRAÇÃO SILTE NOS PERFIS P₁, P₂ e P₃.

PERFIL - 3

	CAO.	ILI.	MONT	QZO	CAO.	ILI.	MONT	QZO	CAO.	ILI.	MONT	QZO
A5	●	○	-	○	A13	○	-	○	●	○	-	○
A4	●	○	-	○	A12	○	-	○	●	○	-	○
A3	●	○	-	○	A11	○	-	○	●	○	-	○
A2	●	○	-	○	A10	○	-	○	●	○	-	○
A1	●	○	-	○	A9	○	-	○	●	○	-	○
					A8	○	-	○	●	○	-	○
					A7	●	-	○	●	○	-	○
					A6	●	-	○	●	○	-	○
					A5	○	-	○	●	○	-	○
					A4	○	-	○	●	○	-	○
					A3	●	-	○	●	○	-	○
					A2	●	-	○	●	○	-	○
					A1	○	-	○	●	○	-	○

PERFIL - 2

	CAO.	ILI.	MONT	QZO	CAO.	ILI.	MONT	QZO	CAO.	ILI.	MONT	QZO
A5	●	○	-	○	A13	○	-	○	●	○	-	○
A4	●	○	-	○	A12	○	-	○	●	○	-	○
A3	●	○	-	○	A11	○	-	○	●	○	-	○
A2	●	○	-	○	A10	○	-	○	●	○	-	○
A1	●	○	-	○	A9	○	-	○	●	○	-	○
					A8	○	-	○	●	○	-	○
					A7	●	-	○	●	○	-	○
					A6	●	-	○	●	○	-	○
					A5	○	-	○	●	○	-	○
					A4	○	-	○	●	○	-	○
					A3	●	-	○	●	○	-	○
					A2	●	-	○	●	○	-	○
					A1	○	-	○	●	○	-	○

PERFIL - 1

	CAO.	ILI.	MONT	QZO
A5	●	○	-	○
A4	●	○	-	○
A3	●	○	-	○
A2	●	○	-	○
A1	●	○	-	○

DOMINANTE > 50 %

ABUNDANTE 10 - 50 %

SUBORDINADO 3 - 10 %

RARO < 3 %

— NÃO DETETADO

— Cao CAOLINITA

— Ilita ILITA

Mont. MONTMORILONITA

Quarto QUARTZO

FIG. 8 - VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DA FRACÇÃO ARGILA NOS PERFIS P₁, P₂ e P₃.

Fe e Mg em quantidades suficientes e condições de pH alcalino (Degens, 1968). A ocorrência do nível montmorilonítico no poço 3 estaria relacionada com a intemperização de veios de biotita e plagioclásio, tais como os encontrados nos granitos aflorantes nas proximidades deste poço, os quais forneceriam os elementos alumínio, silício, ferro e magnésio necessários à formação deste grupo de argilo-minerais. Os elevados valores de pH medidos no já referido nível (Fig. 11) teriam favorecido o desenvolvimento deste argilo-mineral.

Os maiores teores de ilita no poço 1, em relação aos de mais (Fig. 8), estão relacionados com o menor desenvolvimento deste perfil. Segundo Jackson (in Grim, 1968) a abundância de ilita, dentre outros minerais na fração argila, sugere uma menor intemperização da rocha original.

A fração óxido foi extraída e mantida em solução. Este fato impediu a determinação da composição mineralógica desta fração. Uma possível evaporação não mostrou-se viável, visto ocorrer a decomposição dos oxalatos por mecanismos desconhecidos (Wakatsuki et alii, 1977).

3.2. Distribuição das Frações do Solo nos Perfis

As distribuições das frações estudadas, nos perfis, são mostradas na figura 9. De modo geral não se observam diferenças acentuadas nos padrões de distribuição de frações equivalentes nos diversos perfis, exceto nos 50 cm finais do perfil 3, onde ocorre um horizonte argiloso, originado, provavelmente, da decomposição de um veio rico em biotita e plagioclásio (item 3.1).

Observa-se que os teores de areia decrescem ao longo do horizonte B e crescem ao longo de A. A fração argila apresenta um comportamento antagônico, com áreas de acúmulo, preferencialmente, na transição entre os horizontes A e B. Estas distribuições resultam do desenvolvimento de solos a partir de materiais de granulação grosseira, tais como rochas graníticas, cujos produtos iniciais seriam essencialmente arenosos. Com o desenvolvimento do perfil, os produtos iniciais se degradariam, resultando na acumulação contínua de argila em detrimento da areia. O enriquecimento

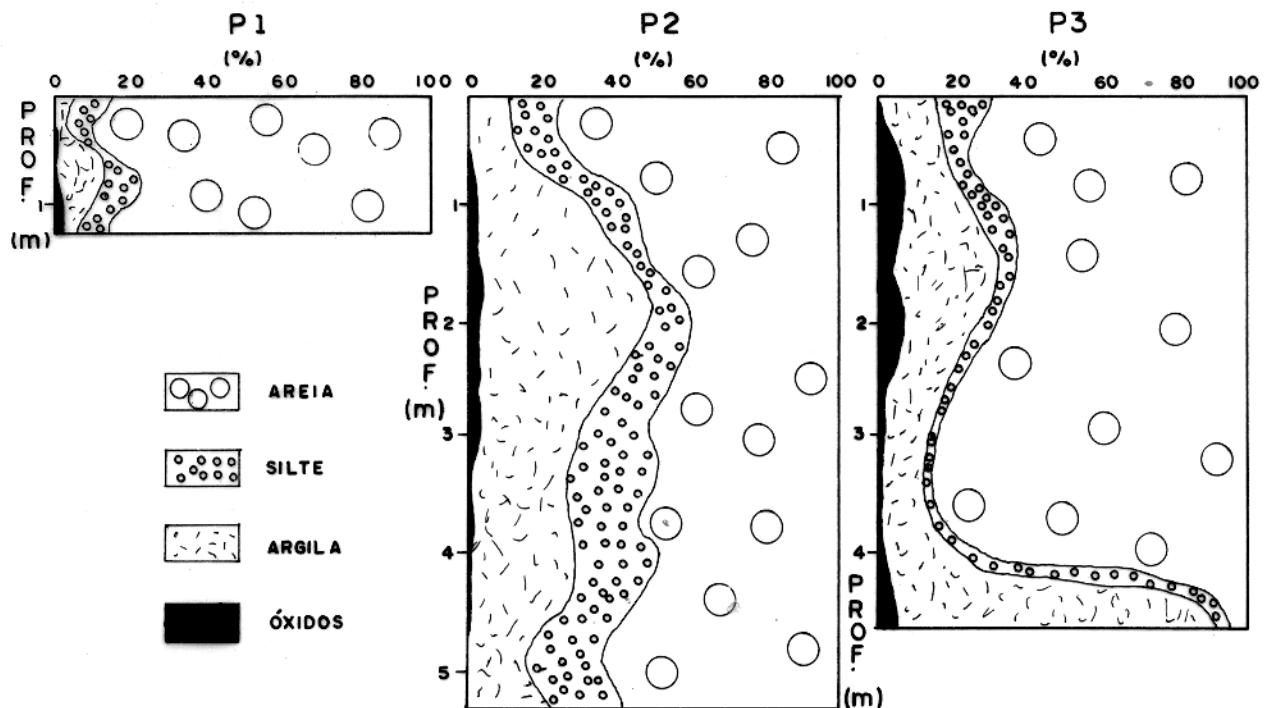


FIG. 9 - DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES AREIA, SILTE, ARGILA E ÓXIDOS NOS PERFIS P₁, P₂ e P₃.

relativo da fração areia no horizonte A, bem como as acumulações de argila nas partes superiores do horizonte B são decorrentes da maior lixiviação que se processa no horizonte A.

As pequenas quantidades de argila (exceto na altura dos 1,5 m - 2,5 m do perfil 2, onde há quase 50% de argila) e a predominância da fração areia (essencialmente quartzosa) mostram os efeitos da intensa lixiviação atuante nos solos da área em estudo. Observa-se ainda na figura 9 que a distribuição da fração óxido assemelha-se à da argila, mostrando também acumulações entre os horizontes A e B.

3.3. Geoquímica das Frações Areia, Silte, Argila e Óxido

As distribuições dos elementos Al, Fe, Si, Ti, Na, K, Ca, Mg, Mn e Cu nos perfis, referentes às frações areia, silte, argila e óxido são mostradas nas figuras 10a a 10j.

3.3.1. Alumínio

O alumínio contido na fração areia (Fig. 10a), presente em concentrações pequenas em relação ao material original, permanece praticamente constante nos perfis 1 e 3, enquanto sofre sensíveis decréscimos no perfil 2. Neste, os decréscimos estão relacionados principalmente com a diminuição dos teores de muscovita, nesta fração, em direção a superfície (Fig. 6). O abaixamento observável no conteúdo de feldspatos no perfil 1 não influencia substancialmente o comportamento do alumínio, face aos moderados teores de alumina nestes minerais, em relação à muscovita.

Na fração silte, nos perfis 1 e 2, os teores de alumínio, inicialmente maiores que os de material original, decrescem notadamente no sentido da superfície (Fig. 10a). Tal comportamento é atribuído ao decréscimo dos conteúdos de muscovita e caolinita nos perfis (Fig. 7). No perfil 3, mais pobre em caolinita e muscovita que os anteriores, os teores de alumínio decrescem menos sensivelmente.

Os teores de alumínio na fração argila (Fig. 10a) não sofrem variações acentuadas nos perfis, visto ser esta fração composta principalmente por argilas caoliníticas (Fig. 8) que sofrem

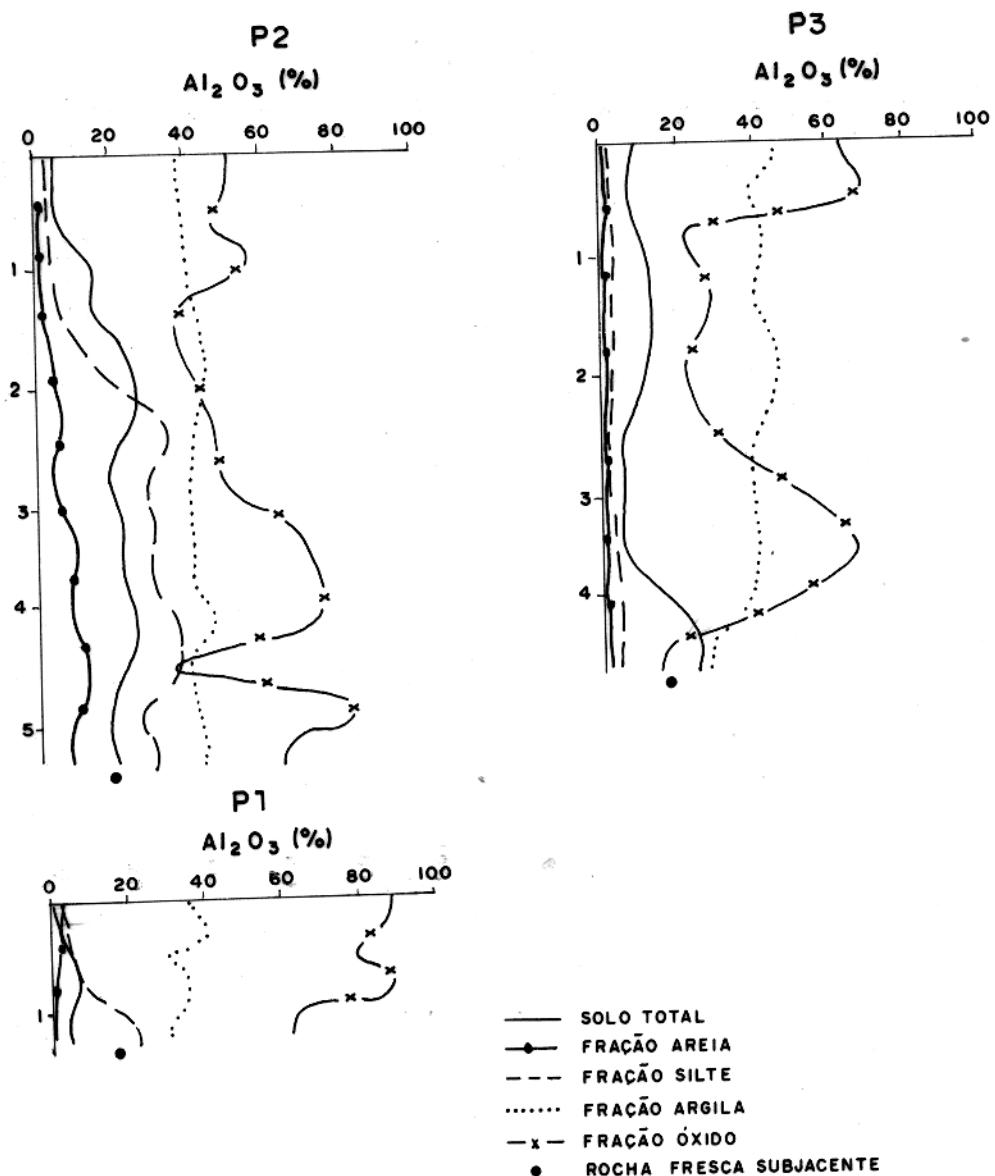


FIG. 10 A - DISTRIBUIÇÃO DO Al_2O_3 NOS PERFIS P_1 , P_2 e P_3 .

substituições isomórficas apenas em pequena escala (Grim, 1968; McBride, 1978). As poucas variações que podem ser observadas são devidas à presença de outros minerais como ilita e montmorilonita, esta última responsável pelos menores teores de alumínio encontrados na maior profundidade do poço 3, uma vez o valor da relação Si/Al na montmorilonita, é maior que na caolinita.

Na fração óxido, a distribuição dos teores de alumínio nos perfis é bastante irregular, devido a mesma estar condicionada a vários fatores, tais como, natureza da degradação dos minerais primários portadores de alumínio, condições de formação dos óxidos secundários e mecanismo de transporte do elemento.

3.3.2. Ferro

O ferro na fração areia, tal como o alumínio, se apresenta em quantidades menores em relação aos materiais originais. Os teores deste elemento decrescem no sentido da superfície (Fig. 10b). Durante o intemperismo, este elemento que ocorre principalmente como Fe^{2+} , fazendo parte das estruturas dos silicatos, é oxidado a Fe^{3+} e hidrolizado, passando a formar óxidos férricos (Garrels e Mackenzie, 1971), ou então sendo absorvido em frações de menor granulometria.

Na fração silte o ferro se apresenta em quantidades maiores que aqueles da fração areia, observando-se enriquecimento no perfil 2 (Fig. 10b). Nesta fração o ferro está, principalmente, absorvido na caolinita, conforme se deduz a partir das figuras 7 e 10b, que mostram comportamentos paralelos entre conteúdos de caolinita e teores de Fe_2O_3 , na fração em discussão.

A fração argila apresenta elevados teores de ferro, praticamente constante no perfil 2 e apresentando amplas oscilações em 1 e 3. As variações dos teores de ferro nos perfis 1 e 3 são correlacionáveis com as ligeiras variações dos teores de alumínio (Figs. 10a e 10b), sugerindo possíveis substituições entre estes dois elementos. De modo geral, os argilo-minerais permitem substituições limitadas de ferro e magnésio em posições tetraédricas e octaédricas (Degens, 1968).

Na fração óxido a distribuição do ferro, em todos os perfis, tal como a referente ao alumínio nesta mesma fração e pelas mesmas razões ali apresentadas, (natureza da degradação dos mine

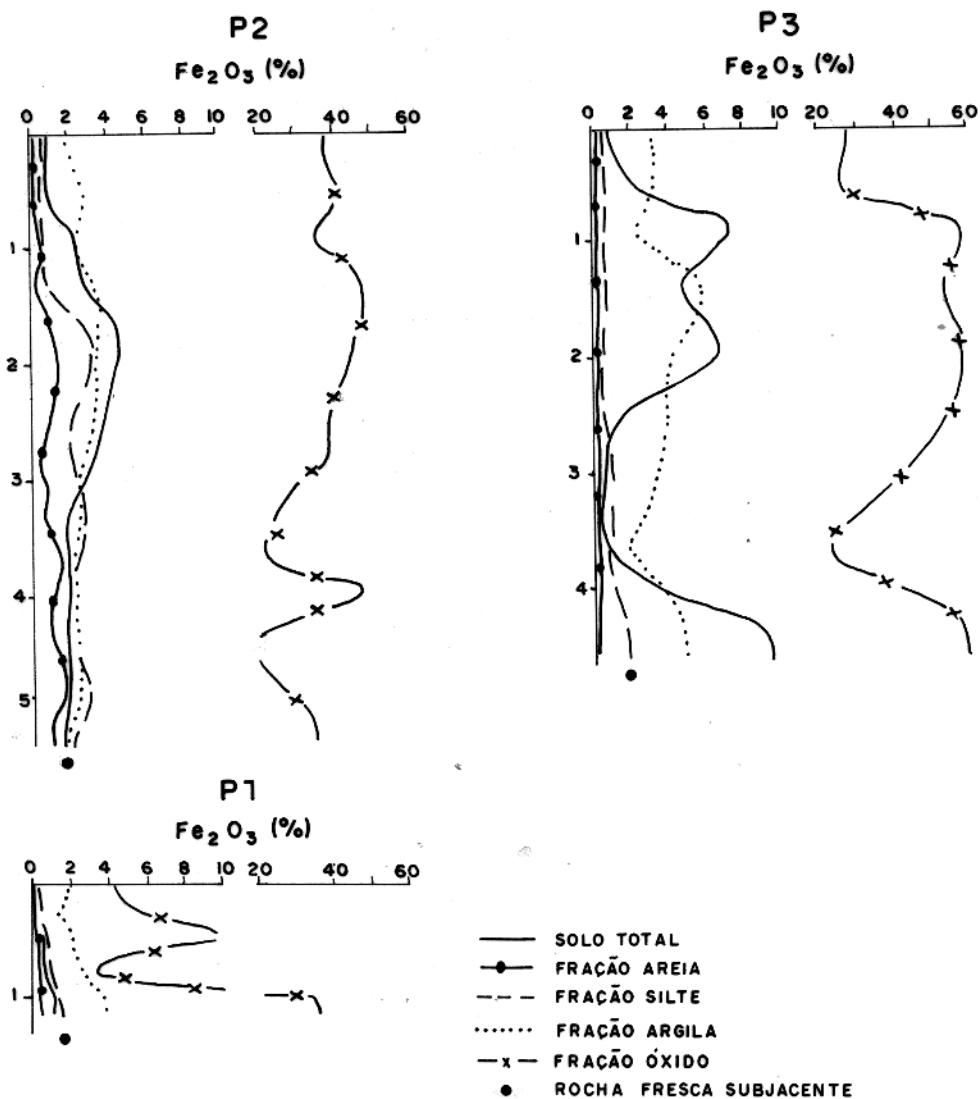


FIG. 10 B - DISTRIBUIÇÃO DO Fe_2O_3 NOS PERFIS P₁, P₂ e P₃.

rais primários portadores de ferro, condições de formação de óxidos secundários e mecanismo de transporte do elemento), são bastante irregulares.

3.3.3. Silício

Os teores de silício na fração areia são notavelmente maiores que nas rochas originais correspondentes. Este elemento apresenta comportamento idêntico nos três perfis estudados, com seus teores crescendo no sentido da superfície (Fig. 10c). Tal fato é atribuído à decomposição dos minerais primários mais sensíveis ao intemperismo e às consequentes concentrações de quartzo, que como já citado anteriormente, é praticamente inerte nas condições físico-químicas encontradas na área em estudo.

Na fração silte os teores de silício apresentam um pequeno enriquecimento relativo, no sentido da superfície (Fig. 10c). Observa-se que nos perfis 1 e 2 os teores deste elemento oscilam de valores menores a valores maiores que os das rochas originais, enquanto que no 3 tais valores se mantêm sempre acima daqueles da rocha original subjacente. Estas distribuições estão relacionadas com a presença, em moderadas quantidades, de caolinita e muscovita relativamente pobres em sílica, nas partes inferiores dos perfis 1 e 2 e a quase ausência destes minerais no perfil 3 (Fig. 7).

Os teores de silício na fração argila, tal como os teores de alumínio nesta mesma fração, não apresentam variações acentuadas ao longo dos perfis, notando-se contudo uma nítida diminuição em direção a superfície, especialmente nos perfis 2 e 3 (Fig. 10c). Este comportamento deve-se à dominância de argilas caoliníticas, pouco suscetíveis de sofrerem substituições isomórficas, conforme já foi salientado anteriormente. As variações observadas são creditadas às ocorrências de minerais como ilita, montmorilonita e quartzo, juntos à fração aqui discutida.

3.3.4. Titânio

O elemento titânio nas frações areia e silte tem sua presença devida principalmente aos minerais pesados (rutílio e ilme-

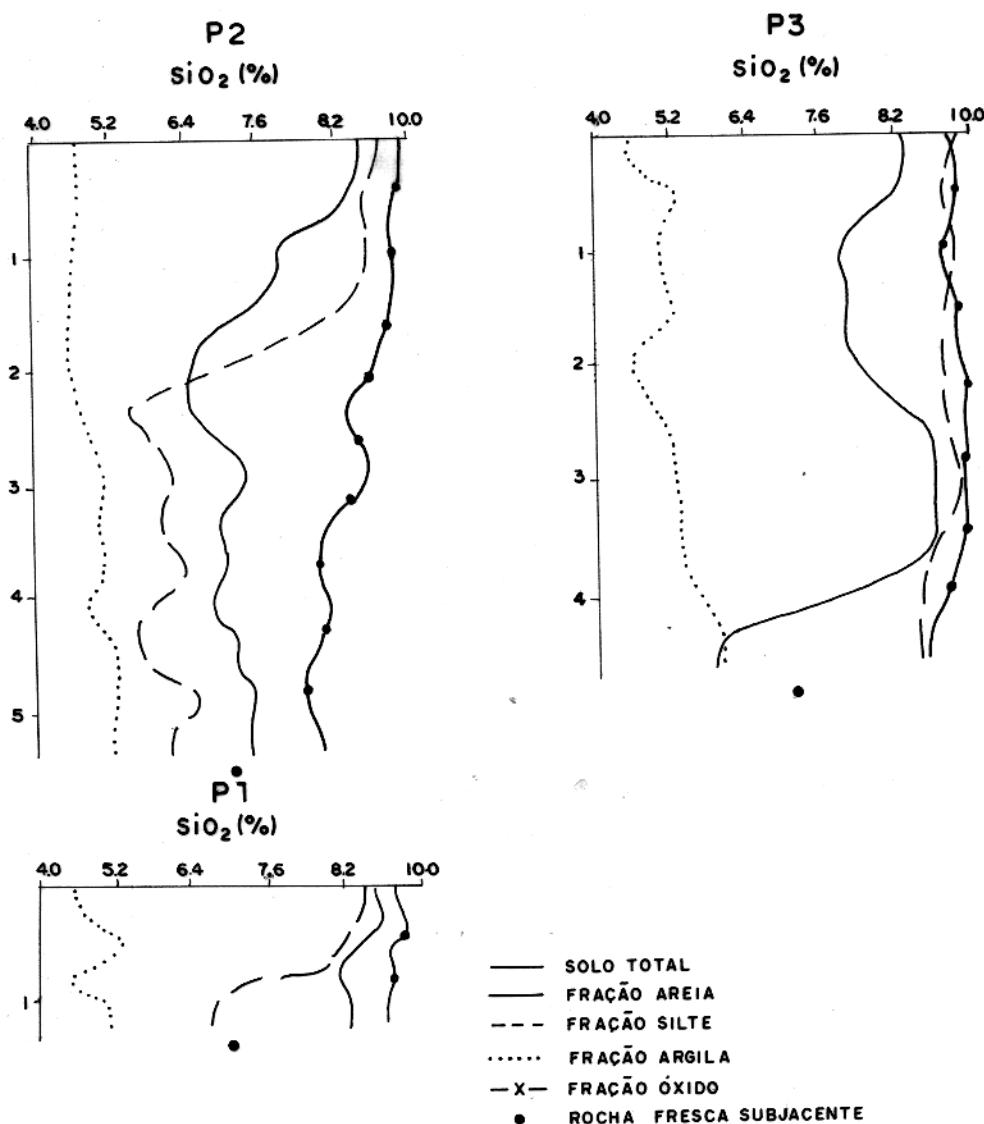


FIG. IO C - DISTRIBUIÇÃO DO SiO_2 NOS PERFIS P₁, P₂ e P₃.

nita). As distribuições dos teores de titânio nos perfis é praticamente constante na fração areia, exceto no perfil 1 onde observa-se um sensível decréscimo no sentido da superfície e apresenta acentuadas oscilações no silte, exceto no perfil 3 (Fig. 10d). Observa-se ainda, que entre estas duas frações o titânio se concentra principalmente na fração silte, onde apresenta valores superiores àqueles encontrados nas rochas originais subjacentes.

Na fração argila, os teores de titânio apresentam amplas oscilações nos perfis (Fig. 10d). A presença deste elemento nessa fração é atribuída à lixiviação da biotita, onde o titânio pode ocorrer substituindo em até 10% o alumínio, ou talvez o magnésio (Klockmann et alii, 1961) e ainda como finas agulhas de rutílo localizadas nos planos de clivagens desta mica. Estas agulhas uma vez liberadas incrustam-se nos argilo-minerais, tornando-se os principais responsáveis pelas ocorrências de titânio junto a esta fração (Goldschmidt, 1970). Os enriquecimentos relativos observados, principalmente nos perfis 1 e 3, são devidos à imobilidade do titânio.

3.3.5. Potássio

As distribuições do potássio nas diferentes frações estudadas são mostradas na figura 10e.

Na fração areia, de modo geral, se observa um decréscimo dos teores de potássio em relação ao material original. O comportamento deste elemento está caracterizado por perdas relativas, em duas escalas diferentes (micas e feldspatos), resultantes da lixiviação diferencial do feldspato-potássico, da muscovita e da biotita. Assim é que, devido à presença de muscovita nos perfis 1 e 2 (Fig. 6) estes apresentam maiores teores de potássio que o 3, onde não se constatou a presença desta mica.

No silte repete-se a situação descrita no parágrafo anterior, justificando-se os teores mais elevados de potássio nesta fração em relação à areia, pela presença adicional de caolinita, que é reconhecidamente capaz de adsorver quantidades apreciáveis deste elemento.

A presença do potássio na fração argila está relacionada com efeitos de absorção do mesmo pelos argilo-minerais, componentes essenciais desta fração e pelo maior ou menor grau de decompo-

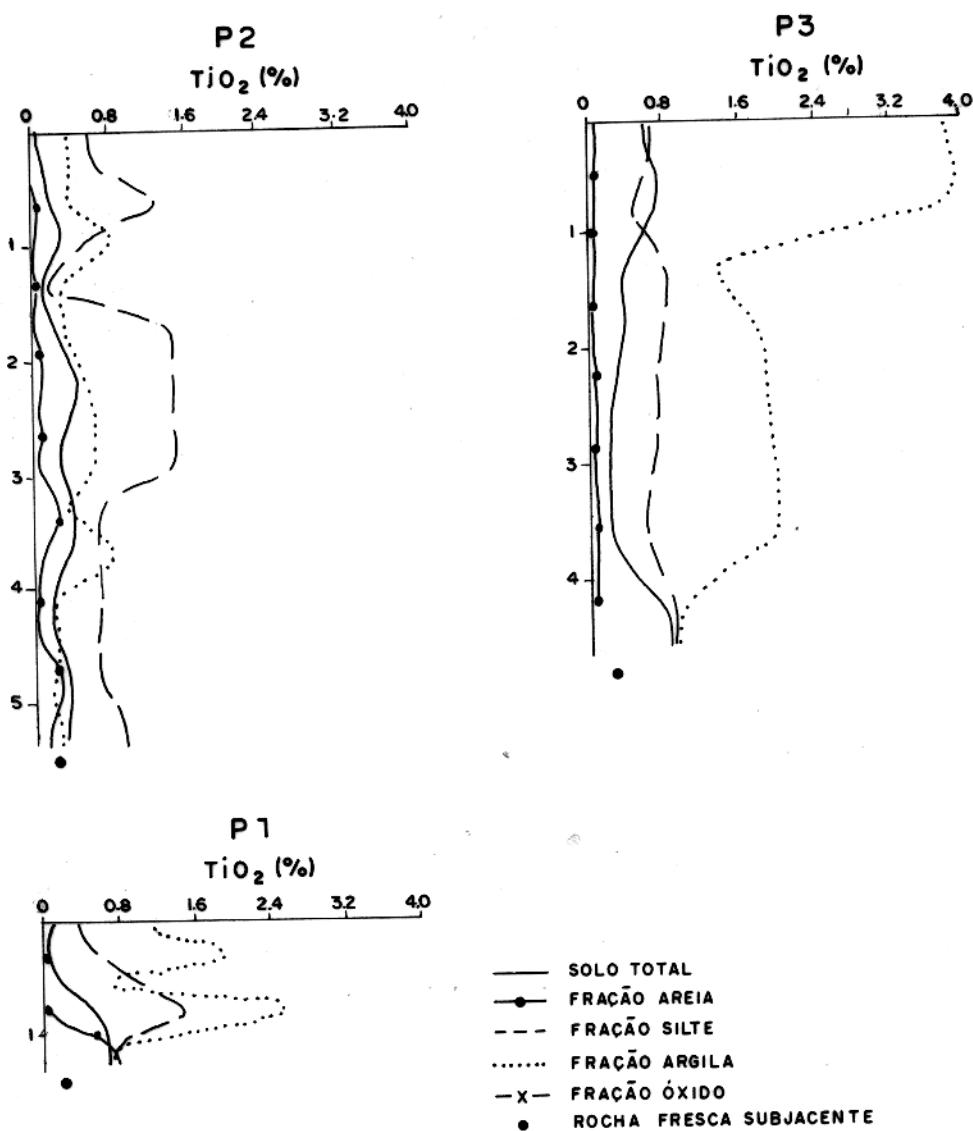


FIG. 10 D - DISTRIBUIÇÃO DO TiO₂ NOS PERFIS P₁, P₂ e P₃.

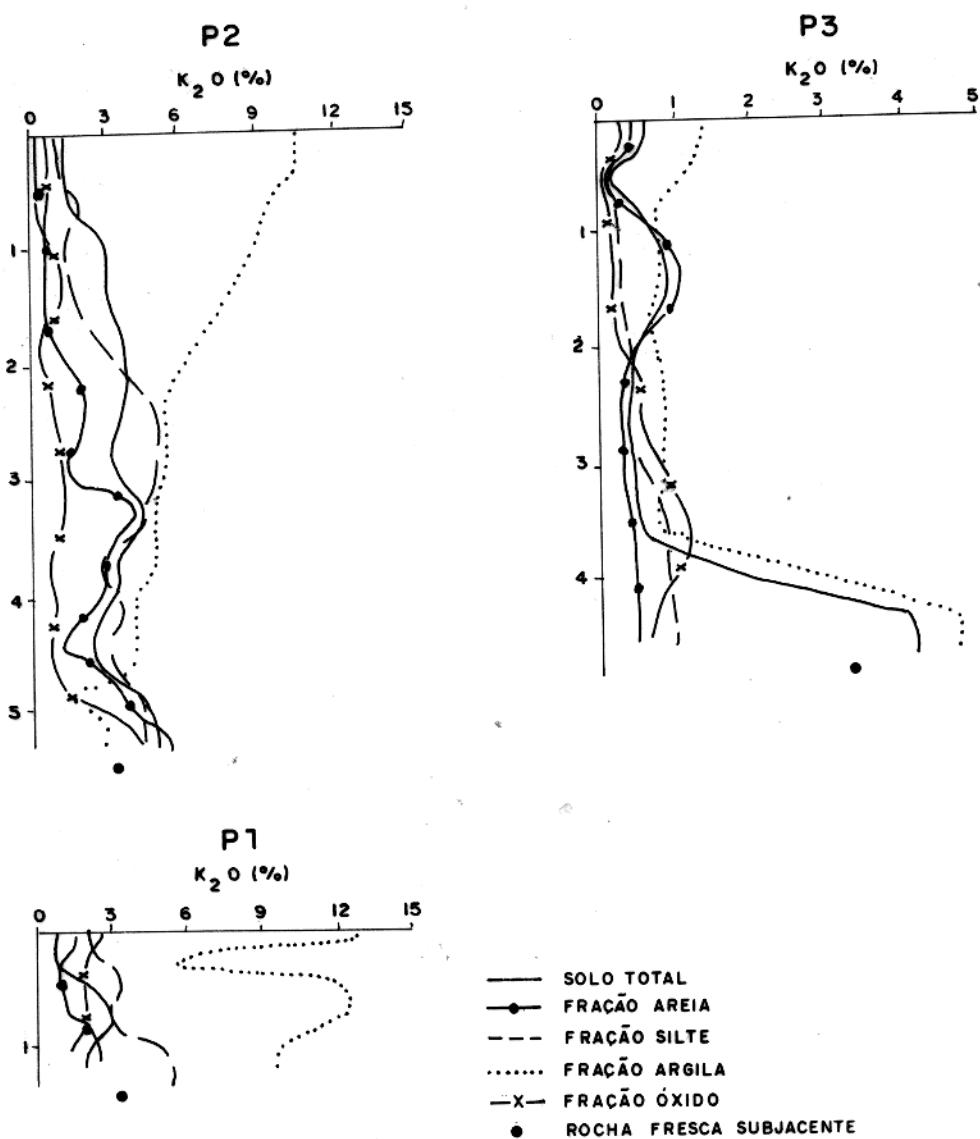


FIG. 10 E - DISTRIBUIÇÃO DO K_2O NOS PERFIS P₁, P₂ e P₃.

sição dos minerais primários portadores de potássio. Este comportamento é bastante evidente no perfil 2, onde decréscimos e acréscimos dos teores de potássio na fração argila correspondem a acréscimo e decréscimos dos teores deste elemento nas frações areia e silte.

Os teores de potássio na fração óxido mantém-se baixos e aproximadamente constantes em todos os perfis.

3.3.6. Sódio

As distribuições do sódio nos perfis, nas diversas frações estudadas, são apresentadas na figura 10f. De modo geral, as frações são caracterizadas pelos baixos teores do referido elemento. Nas frações areia e silte, a diminuição do sódio em relação ao material original é consequência da baixa estabilidade do plagioclásio frente ao intemperismo.

Os teores de sódio observados na fração argila quando comparados com os de potássio, indicam a maior mobilidade do sódio em ambientes superficiais.

Em todos perfis, as distribuições do sódio nas diversas frações, não mostram "trends" bem definidos, observando-se apenas ligeiras correlações entre as distribuições deste elemento nas frações argila e óxido.

3.3.7. Cálcio e Magnésio

Os baixos teores de minerais portadores de cálcio e magnésio no material original, assim como a elevada mobilidade destes elementos durante o intemperismo são ressaltados pela quase ausência dos mesmos nas frações areia, silte e argila, nos perfis estudados (Figs. 10g e 10h). Na fração óxido observa-se valores relativamente altos de cálcio nas maiores profundidades dos perfis 1 e 3. No perfil 1 este fato deve-se a presença do material original (alterado) enquanto no perfil 3 o fenômeno deve-se à ocorrência de argila montmorilonítica, ali detectada.

3.3.8. Manganês

O comportamento geoquímico do manganês, quanto a suas

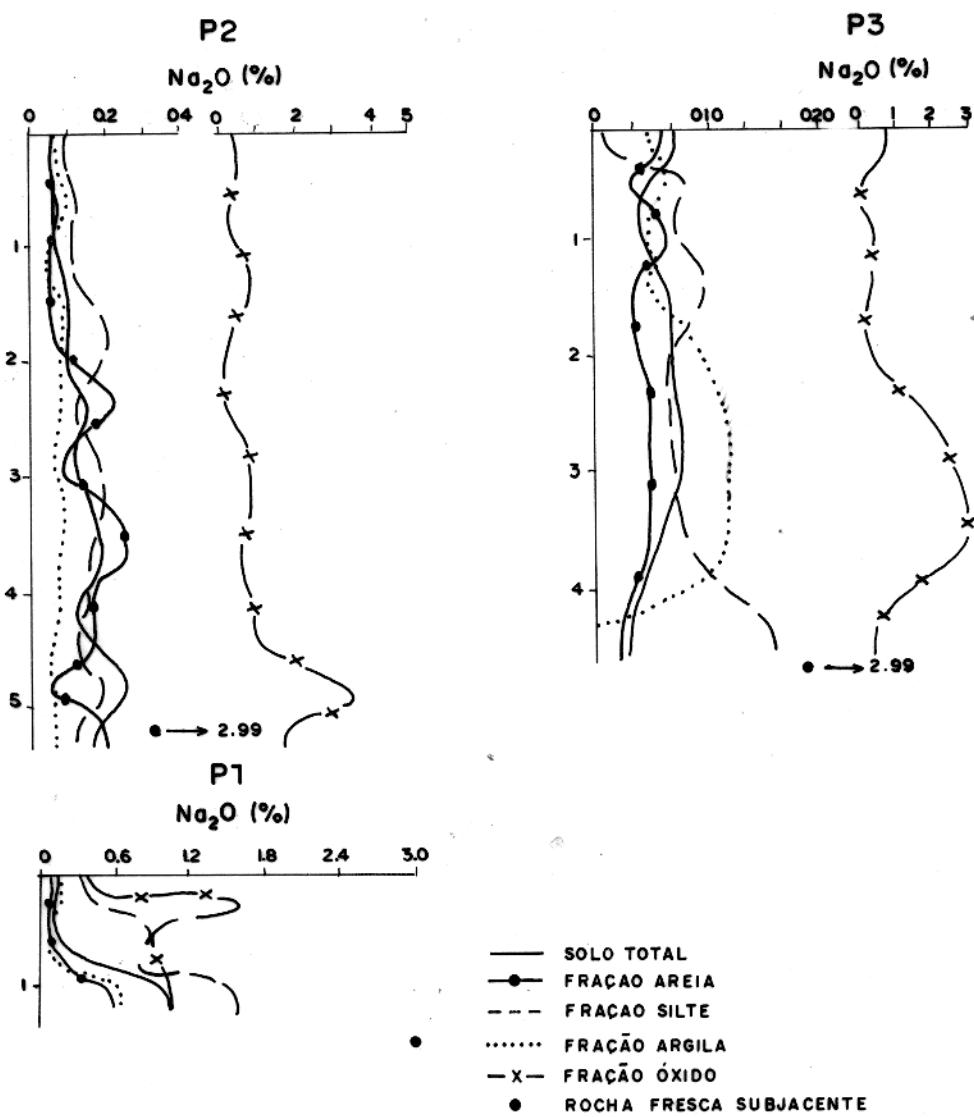


FIG. IO F - DISTRIBUIÇÃO DO Na_2O NOS PERFIL P_1 , P_2 e P_3 .

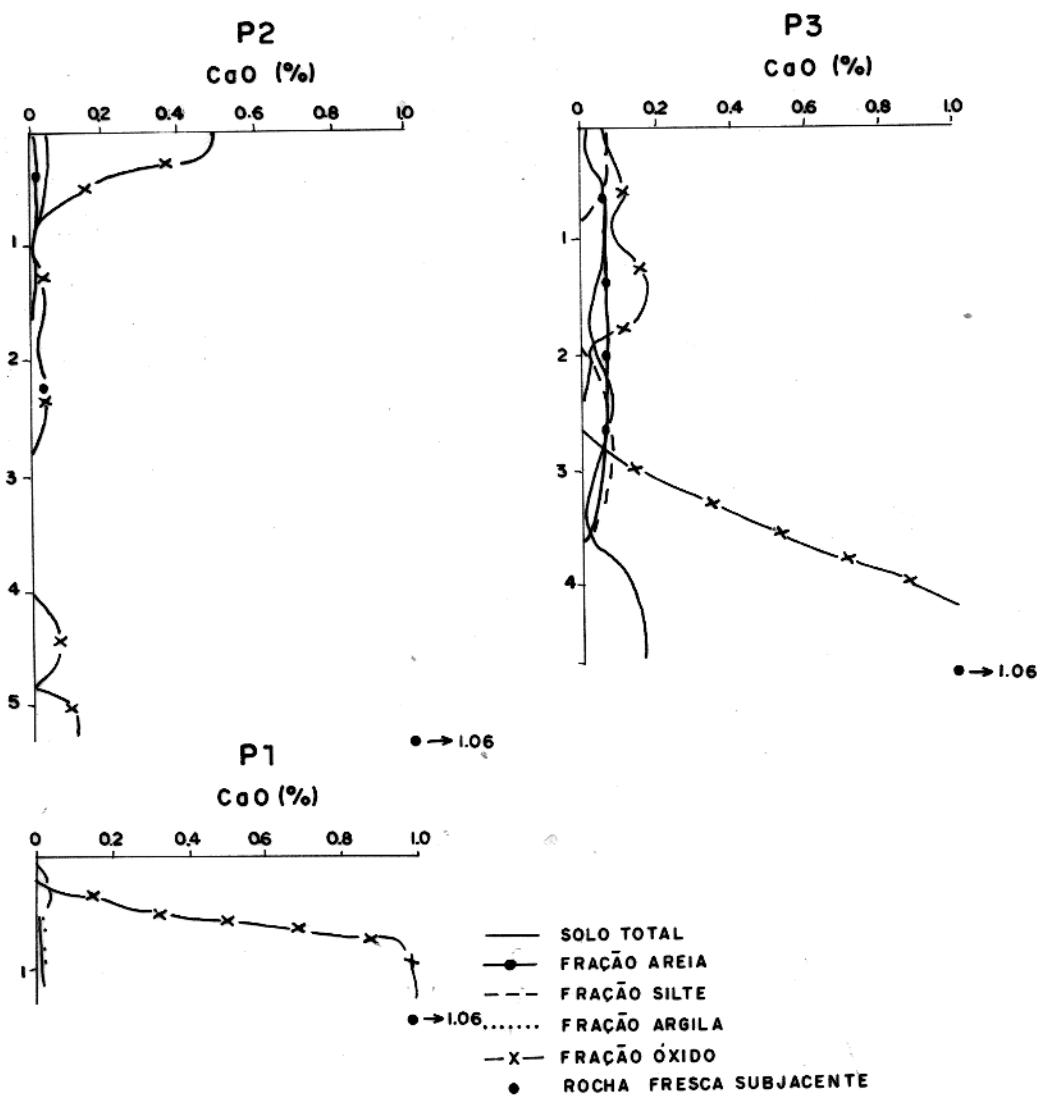


FIG. 10 G - DISTRIBUIÇÃO DO CaO NOS PERFIS P₁, P₂ e P₃.

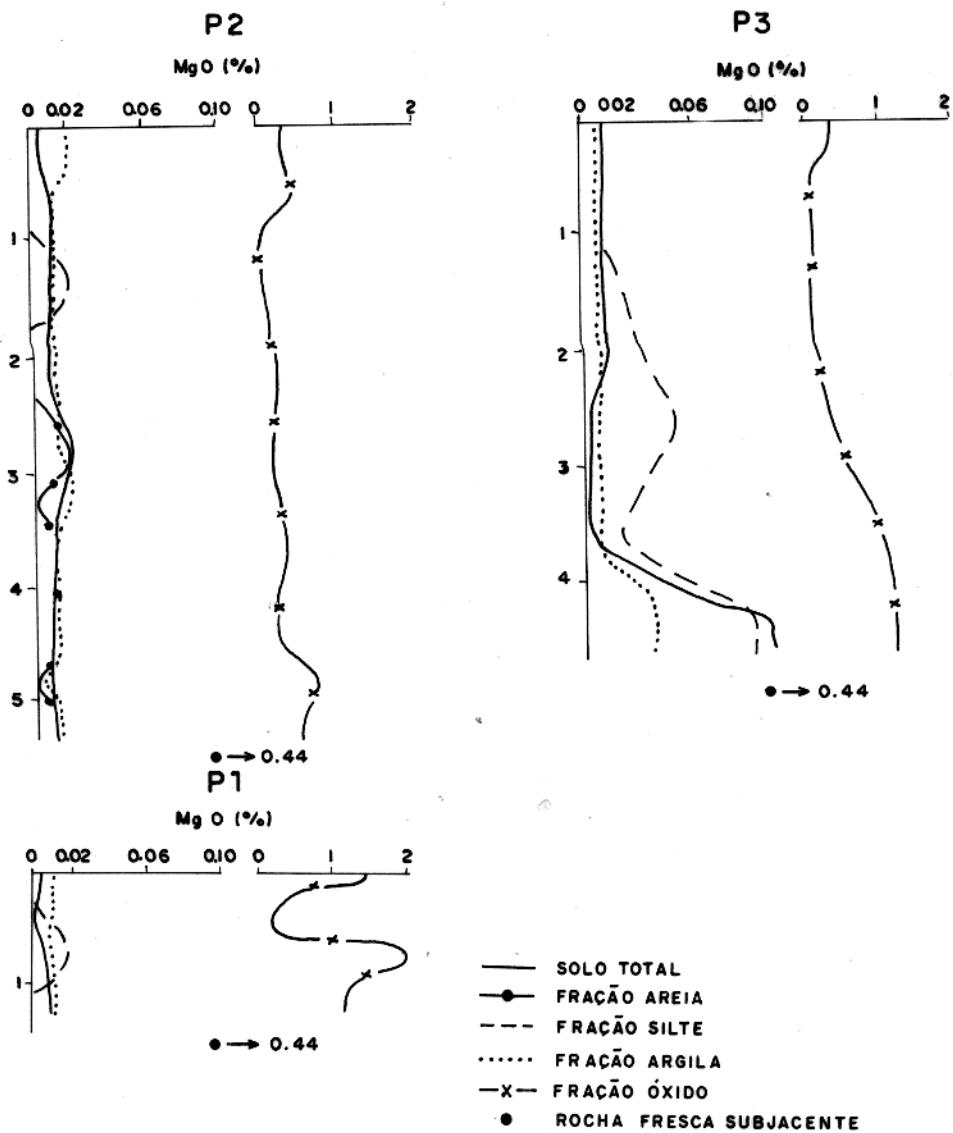


FIG. 10 H - DISTRIBUIÇÃO DO MgO NOS PERFIS P₁, P₂ e P₃.

proporções relativas nas frações e distribuições nos perfis (Fig. 10i) é comparável, em linhas gerais, ao do elemento ferro. Todavia, devido aos baixos teores de manganês não é possível estabelecer correlações com a composição mineralógica das frações. Os maiores teores deste elemento na fração óxido, em relação às demais, deve-se à sua tendência em depositar-se como $MnO_2 \cdot H_2O$ nos produtos do intemperismo (Mason, 1971).

3.3.9. Cobre

A distribuição do elemento cobre nos perfis (Fig. 10 j) mostra características diferentes nas diversas frações. Assim, nas frações areia e silte o elemento em questão está ausente (exceto nas partes mais profundas dos perfis 1 e 3, onde são observadas pequenas ocorrências de cobre, na fração silte) em razão da decomposição e lixiviação dos minerais que o contém. Nas frações argila e óxido observam-se enriquecimentos relativos, o que indica uma razoável capacidade de adsorção do cobre nestas frações.

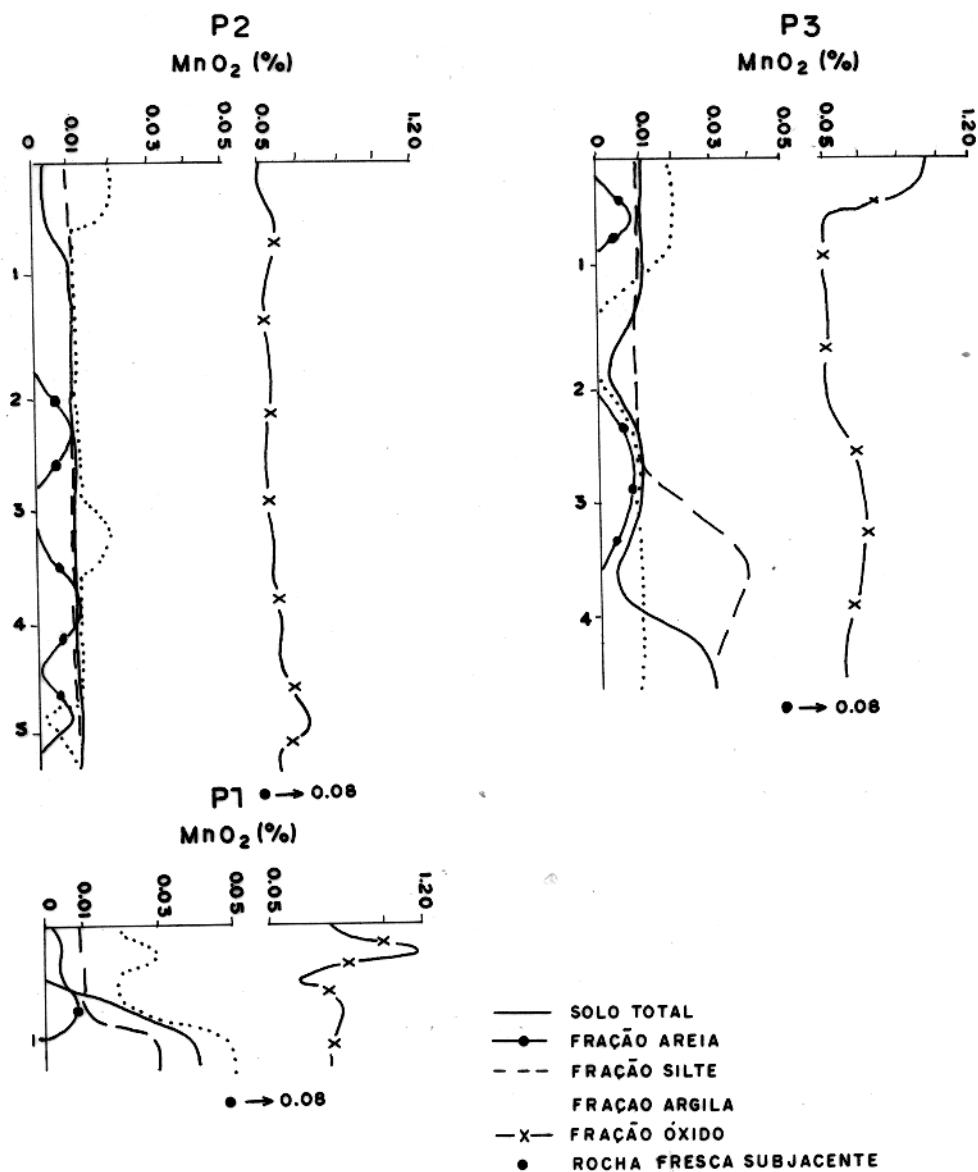


FIG. 10 I - DISTRIBUIÇÃO DO MnO_2 NOS PERFIS P₁, P₂ e P₃.

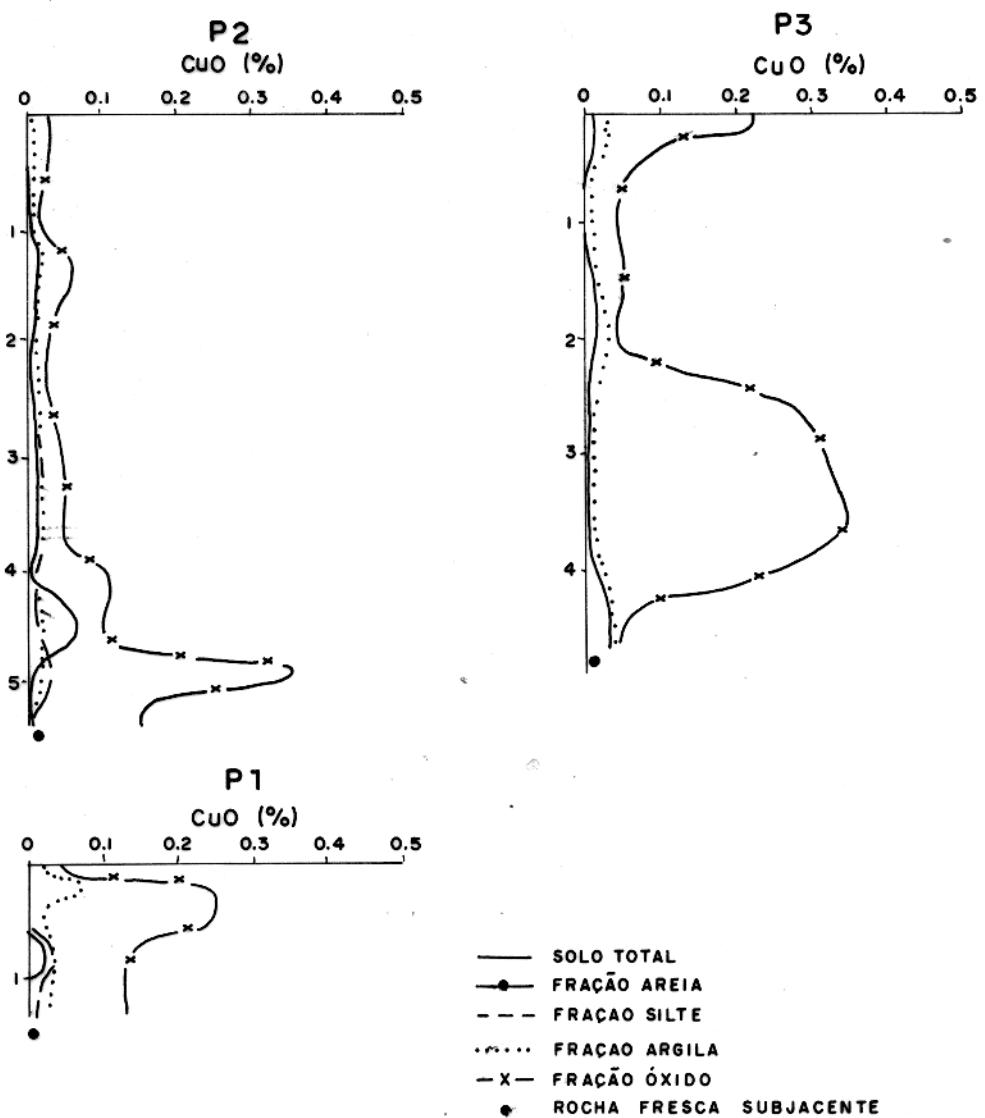


FIG. 10 J - DISTRIBUIÇÃO DO CuO NOS PERFIS P₁, P₂ e P₃.

4. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A caracterização dos perfis desenvolvidos sobre rochas graníticas através da determinação do pH atual, textura do solo e distribuições dos principais elementos, permite verificar a efetividade do intemperismo químico, atuando sobre esta litologia.

4.1. pH Atual

Os valores de pH atual nas diferentes profundidades dos perfis são mostrados na figura 11, a partir da qual observa-se que:

- Os solos da região em estudo apresentam caráter ácido, variando de muito fortemente ácido a fortemente ácido, com o pH oscilando entre 4 e 5,5, exceto na maior profundidade do perfil 3, onde tende para a faixa neutra, em concordância com a presença de argila montmorilonítica neste nível.
- Os perfis 1 e 3 apresentam um aumento progressivo do caráter ácido em direção à superfície, principalmente o perfil 1, onde esta tendência é bem notável. Estes comportamentos são compatíveis com o fato de que nas proximidades da superfície aumentam os teores de ácidos orgânicos e de CO₂. No poço 2 ocorre um ligeiro aumento dos valores do pH nas proximidades da superfície, devido ao forte fluxo de água meteórica que lava o horizonte A, removendo os ácidos orgânicos que estariam aí localizados.

O caráter muito fortemente ácido a fortemente ácido dos perfis é resultado da intensa remoção dos elementos alcalinos e alcalinos-terrosos, que favorece ainda a fixação relativa de elementos tais como alumínio, ferro e silício nos sítios de troca.

4.2. Textura

A classificação adotada neste trabalho é aquela indicada pelo Soil Survey Manual (1951), que é provavelmente a mais difun-

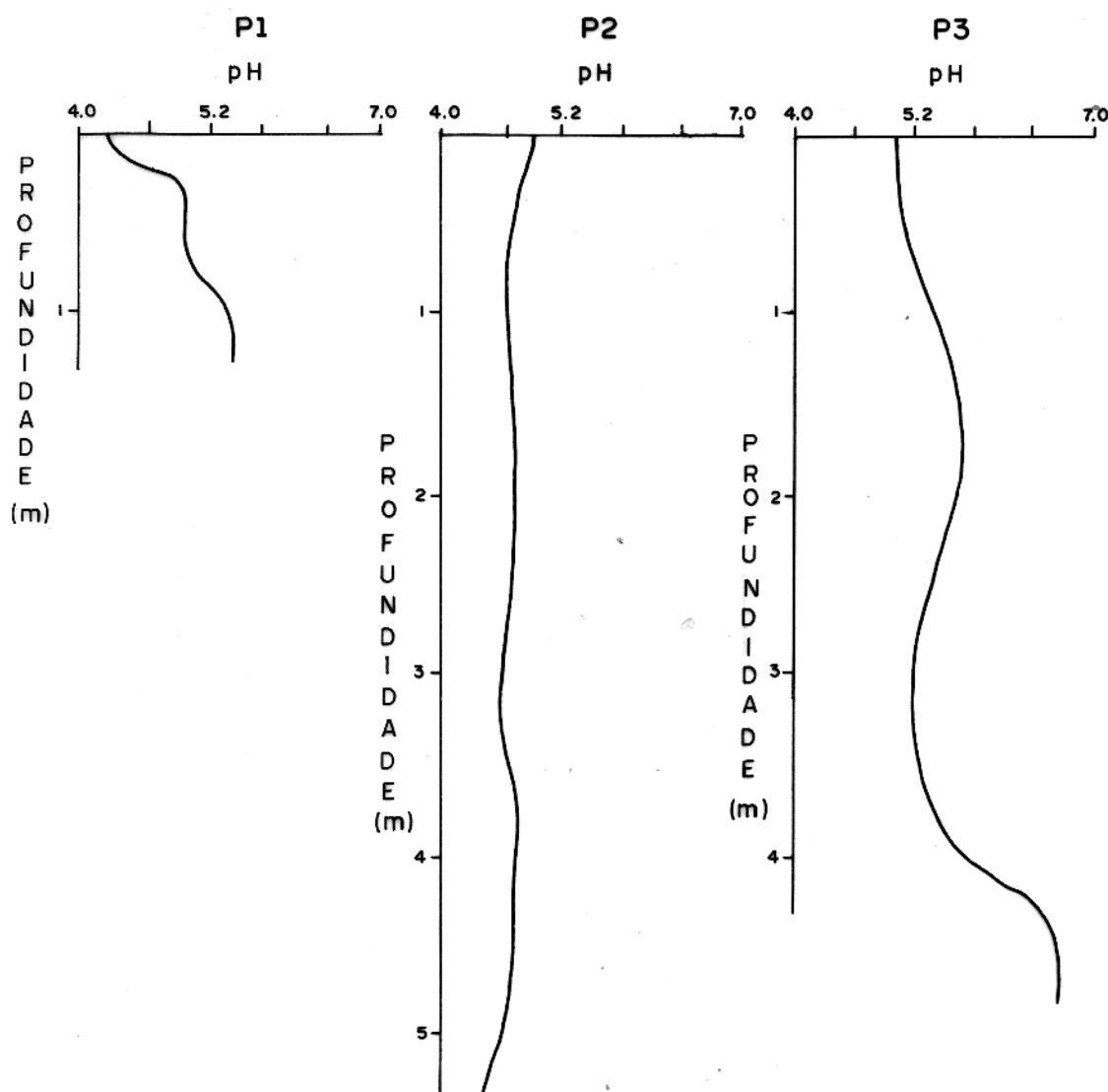


FIG. 11 - VARIAÇÕES DO pH NOS PERFIS P_1 , P_2 e P_3 .

dida entre os técnicos que trabalham em levantamentos de solo (Moniz, 1972) para se utilizar esta classificação, os teores de areia, silte e argila foram recalculados para 100% e os resultados plotados em diagramas triangulares, como indicado na figura 12. Nota-se grande homogeneidade nos solos da região, que podem ser classificados entre "franco arenoso e franco argilo-arenoso". Solos destas classes texturais apresentam porosidade mediana, porém são altamente permeáveis. Esta última propriedade favorece a lixiviação dos perfis, dando origem a espessa camadas intemperizadas (Ferreira, 1979), característica marcante da região.

4.3. Comportamento dos Elementos Al, Si, Fe, Ti, Ca, Mg, Mn, Cu, Na e K.

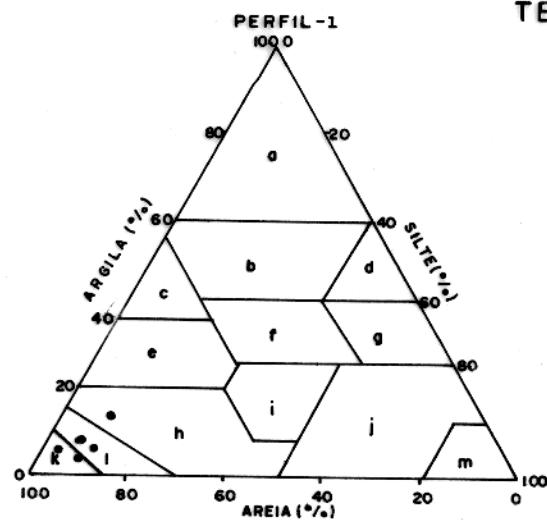
As distribuições do alumínio e do silício nos perfis (Figs. 10a e 10c) refletem aproximadamente aquelas ocorrentes nas frações argila e areia (Fig. 9), respectivamente, uma vez que estes elementos estão contidos essencialmente nestas frações, que são as predominantes. Os teores de silício, com ligeiras oscilações, tendem a crescer no sentido da superfície, enquanto decrescem os de alumínio.

As quantidades de silício mostram grande enriquecimento em relação ao material original, enquanto que os teores de alumínio, em geral, apresentam empobrecimentos. Estes comportamentos são opostos àqueles normalmente observados na decomposição química de rochas silicatadas submetidas à clima úmido, quando então verificar-se-iam perdas de silício durante a transformação de feldspato (52% a 67% de SiO_2) até caolinita (47% SiO_2) e consequentes ganhos relativos de alumínio (Gilkes et alii, 1973).

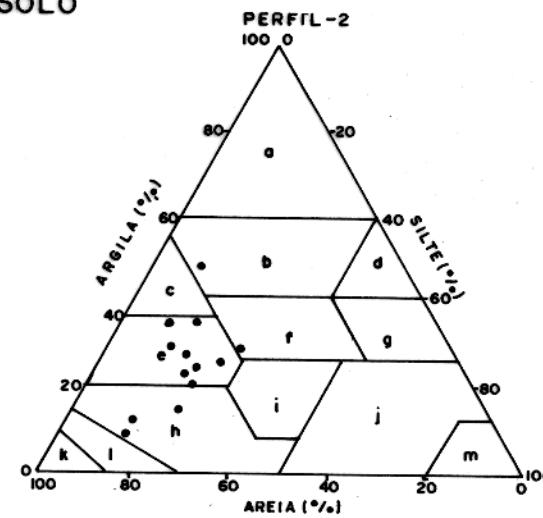
As quantidades de alumínio e silício nos solos estudados estão relacionadas com a extrema predominância da fração areia (essencialmente quartzosa) sobre a fração argila (Fig. 9). Este aspecto específico difere do normalmente esperado para a decomposição de granitos, cujos produtos resultariam em quantidades aproximadamente equivalentes das referidas frações.

Em regiões de clima tropical úmido, com elevados índices de precipitação pluviométrica nos períodos chuvosos, como se ve-

TEXTURA DO SOLO



- a - Argila pesada
- b - Argila
- c - Argila arenosa
- d - Argila siltosa
- e - Franco argilo arenoso
- f - Franco argiloso



- g - Franco argilo siltoso
- h - Franco arenoso
- i - Franco
- j - Franco siltoso
- k - Areia
- l - Areia franca
- m - Silte

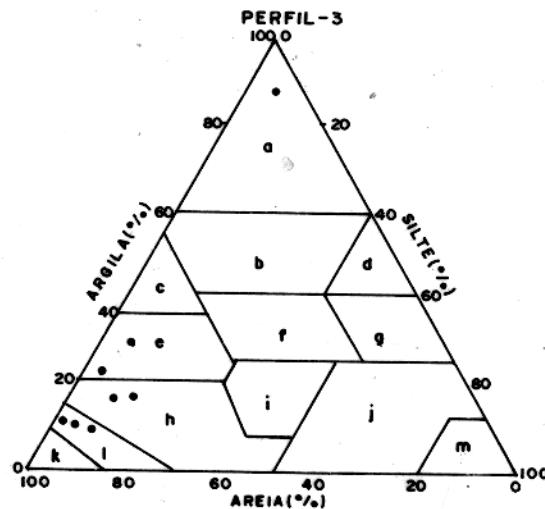


FIG. 12 - DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO EM VARIOGRAMAS AREIA-SILTE-ARGILA, SEGUNDO MÉTODO PROPOSTO POR U.S. DEPT. OF AGRICULTURE (IN MONIZ, 1972).

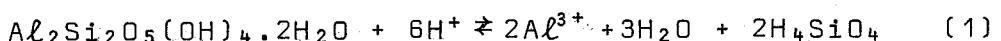
rifica na região em estudo, os solos se encontram submetidos a uma intensa lixiviação. Os íons resultantes da decomposição dos minerais são transportados pelas soluções percolantes, o que é favorecido pelas condições de solos com elevada porosidade e permeabilidade. Nestas condições, o baixo teor de argila e o consequente enriquecimento relativo de areia, como se observa nos perfis estudados, poderá resultar de uma das seguintes opções:

- a. perdas de caolinita através de transporte, em suspensão, pelas águas que percolam no solo.
- b. perdas de caolinita por dissolução e transporte dos íons resultantes.
- c. dissolução dos alúmino-silicatos primários e transporte parcial dos íons liberados.

Das opções anteriores, a segunda hipótese (b) mostra-se a mais provável para explicar os baixos teores de argila nos perfis estudados, como se deduz da teoria e dados a seguir apresentados.

Trabalhos experimentais de Busenberg (1978) mostraram que a formação de caolinita (haloisita) a partir da decomposição dos feldspatos, por soluções aquosas, se realiza na seguintes sequência de processos:

- i. Em um primeiro estágio, forma-se gibsita microcristalina em equilíbrio com a solução.
- ii. Com a crescente dissolução dos feldspatos, surgem fases sólidas com uma relação $\text{Si}/\text{Al}=1$, identificados como haloisita, que controlam as atividades do Al e do Si na solução. A formação de caolinita é explicada pela dissolução da gibsita, originando uma solução em equilíbrio com a argila, segundo a equação:



Prosseguindo-se a dissolução dos feldspatos, o excesso de H_4SiO_4 desloca o equilíbrio da reação (1) para a esquerda, formando-se mais caolinita. Uma vez interrompida a dissolução do feldspato, ou tornando-se a mesma pequena, não mais haverá formação de caolini-

ta, podendo o alumínio se precipitar na forma de gib
sita:

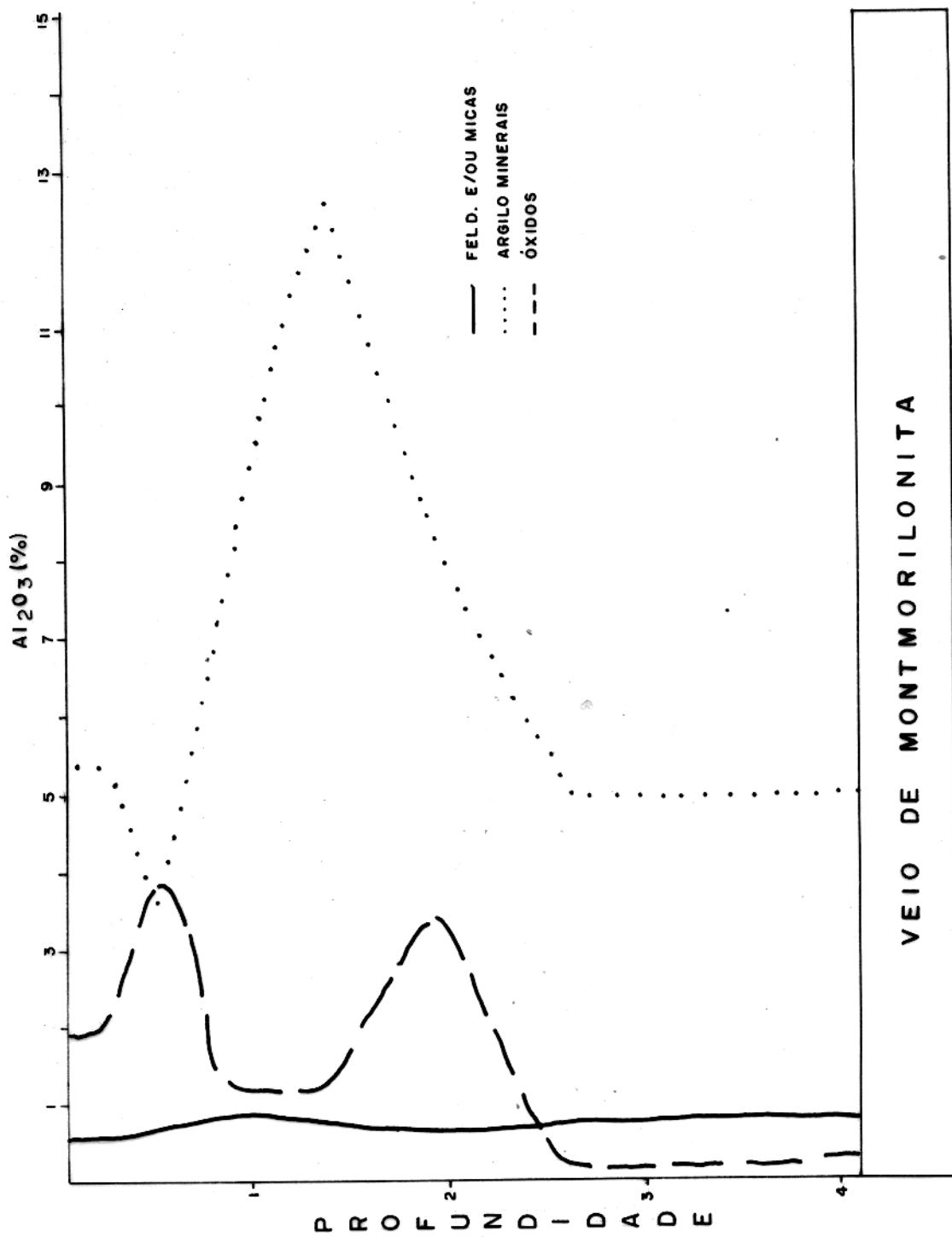


A alta pluviosidade ocorrente na região em estudo, res
ponsável pela elevada diluição das soluções, além do efetivo
transporte de íons em condições ácidas, provocariam o deslocamen
to da reação (1) para a direita, favorecendo a dissolução da cao
linita. Sob condições extremas de diluição e transporte, os teo
res de alumínio nas soluções seriam insuficientes para precipi
tar gibbsita. Da efetiva ação destes processos atuando sobre es
tes solos, resultariam os baixos teores de alúmíno-silicatos pri
mários, caolinita e óxidos de alumínio nos perfis.

As frações de maior granulometria são constituídas por
minerais primários residuais, enquanto as mais finas o são por
minerais secundários (Moniz, 1972). Pode-se então considerar que
no perfil 3 (selecionado por não apresentar assembléias mineraló
gicas em desequilíbrio em suas frações - figuras 6, 7 e 8) os
teores de alumina são devidos aos feldspatos na fração areia, aos
argilo-minerais na fração argila e aos óxidos de alumínio na fra
ção óxido. No silte, onde aparecem muscovita e caolinita (Fig. 7),
os teores de Al_2O_3 são devidos às duas espécies. Representando -
se os alúmíno-silicatos primários, argilo-minerais e óxidos por
seus conteúdos em Al_2O_3 , obteve-se a figura 13. Os teores de alu
mina contidos na muscovita e na caolinita da fração silte, foram
calculados estequiométricamente com base nas composições quími
cas destes dois minerais e na da fração considerada. A figura 13
evidencia os baixos teores de argila, óxidos, feldspatos e/ou mi
cas no perfil.

Plotando-se os valores de $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Óxido})/\text{Al}_2\text{O}_3(\text{argila})$ ob
tidos a partir da figura 13, em função da profundidade, observa
se a existência de uma relação inversa entre suas proporções
(Fig. 14), o que sugere existir relação genética entre as quanti
dades de caolinita e as quantidades de óxidos derivadas.

O ferro distribui-se nos perfis (Fig. 10b) seguindo apro
ximadamente os padrões de distribuição das frações argila e óxi
do (Fig. 9). Esta relação deve-se ao fato do ferro estar quase



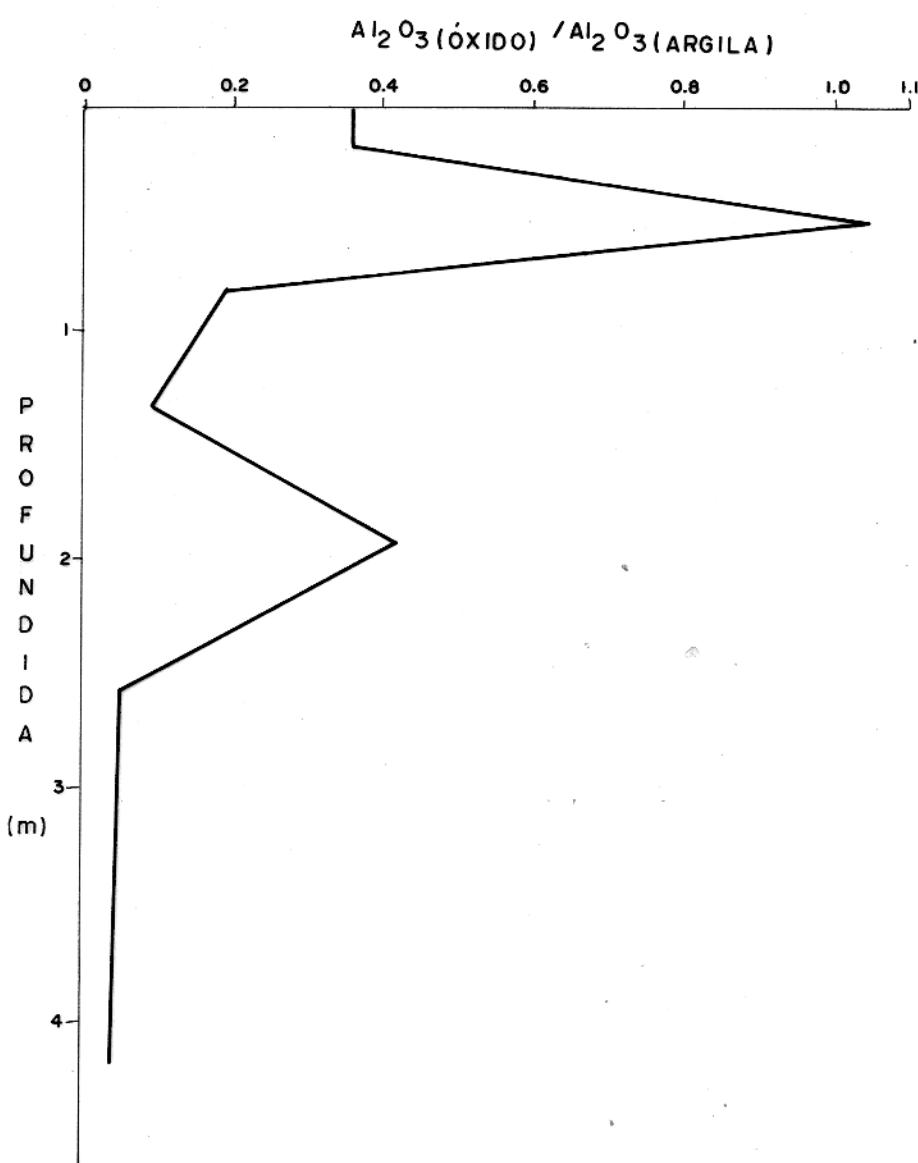


FIG. 14 - VARIACÃO DA RELAÇÃO $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{ÓXIDO}) / \text{Al}_2\text{O}_3(\text{ARGILA})$ NO PERFIL 3.

que totalmente contido nestas frações. O exame da figura 9 mostra ainda, uma correlação entre os conteúdos de ferro e o grau de lixiviação dos perfis. Assim, solos com alto grau de lixiviação (baixos teores de argila) como em P₁, onde o relevo menos acentuado favoreceu uma mais intensa lixiviação apresenta conteúdos de ferro abaixo dos correspondentes valores encontrados no material original.

Os conteúdos de Ti-total mantém-se, de modo geral, praticamente constante com valores próximos àqueles encontrados no material original (Fig. 10d). Os elevados teores deste elemento nas frações argila e silte, fato já mencionado neste trabalho (item 3.3), são resultantes da imobilidade do titânio frente à intensa lixiviação a que estão submetidos os perfis. Estes enriquecimentos relativos, contudo, não influenciam na distribuição do Ti-total, visto serem os teores de argila e silte pequenos em relação a fração areia (Fig. 9).

Os baixos teores de sódio em relação ao seu conteúdo nas rochas originais subjacentes, assim como suas distribuições aproximadamente constante, observáveis nos perfis (Fig. 10f), refletem o esperado comportamento geoquímico deste elemento durante o intemperismo. Comparando-se as figuras 10f e 9 observa-se que o sódio está contido principalmente na fração areia, provavelmente como componente dos alumino-silicatos primários residuais (feldspatos, micas). Durante os estágios iniciais das alterações destes minerais, o sódio é transferido para soluções que percolam pelos perfis.

Os teores de potássio distribuídos nos perfis (Fig. 10e) mostram, em relação às rochas originais correspondentes, que este elemento é bastante removido dos mesmos durante o intemperismo, porém numa escala menor que o sódio. Observa-se que as distribuições do potássio nos perfis destes solos, são governadas pelas correspondentes distribuições das frações areia e argila (Figs. 10e e 9). Nestas frações o potássio se encontra, respectivamente, fazendo parte das estruturas de alumino-silicatos primários e adsorvido nas argilas. Durante o intemperismo, o potássio não é totalmente removido em solução, mas parcialmente adsorvido pelas argilas. Seu empobrecimento é, então, devido à remoção do mesmo diretamente dos minerais primários e à decomposição e transporte das argilas.

Cálcio e magnésio se encontram praticamente ausente destes perfis(Figs. 10g e 10h). As pequenas quantidades detectadas distribuem-se nos perfis, ora na areia como participante das estruturas de minerais primários residuais, ora adsorvidas nas argilas e óxidos.

As figuras 10i e 10j mostram as distribuições do manganês e cobre, respectivamente. Uma característica comum a estes elementos, é estarem retidos essencialmente nas frações argila e óxido. Porém, enquanto o cobre é quase totalmente fixado no perfil, o manganês só é apenas parcialmente.

5. CONCLUSÕES

Latossolos amarelos têm-se desenvolvidos sobre rochas graníticas da área em estudo, como consequência do intemperismo químico atuante sobre as mesmas. Atualmente os solos são constituídos de quartzo, caolinita e pequenas quantidades de muscovita, óxidos secundários, feldspatos e minerais pesados (ilmenita, rutílio, zircão e turmalina).

Os perfis de solo estudados mostram que: (a) os minerais constituintes das rochas originais foram degradados na seguinte seqüência: biotita>feldspatos>muscovita>quartzo e minerais pesados; (b) a decomposição dos minerais primários resulta principalmente na formação de caolinita.

Uma característica notável nos solos estudados é a extrema predominância da fração areia, essencialmente quartzosa, em relação a fração argila. Este aspecto específico difere do normalmente esperado para a decomposição de granitos, cujos produtos resultariam em quantidades maiores de argila. A alta pluviosidade verificada na região é responsável pela dissolução da caolinita e pelo efetivo transporte dos íons resultantes.

A elevada estabilidade do quartzo nas condições impostas à área, associada a intensa lixiviação nos perfis, permitiu o desenvolvimento de solos texturalmente homogêneos (franco arenosos a franco argilo-arenosos).

Os comportamentos geoquímicos mostrado pelos diversos elementos estudados, seguem os padrões normais para as condições climáticas da área. Ressalta-se, contudo, a grande imobilidade apresentada pelo cobre, que é quase totalmente fixado nos perfis apesar da intensa lixiviação a que estão submetidos os solos da área estudada.

6. BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, D.H. & HAWKES, H.E. - 1958 - Relative mobility of the common elements in weathering of some schist and granite areas. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 14:204-210.
- ARANTES, J.L.G.; DAMASCENO, B.C.; KREBS, A.S.J. - 1972 - Projeto Argila-Belém. Belém, DNPM/CPRM, 39p.
- BUSENBERG, E. - 1978 - The products of the interaction of feldspars with aqueous solutions at 25°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 42:1679-1686.
- CHESWORTH, Ward - 1973 - The residue system of chemical weathering. A model for the chemical breakdown of silicate rocks at the surface of the Earth. *Journal of Soil Science.* 24:69-81.
- DEGENS, Egon T. - 1968 - *Geochemie der Sedimente.* Stuttgart. Ferdinand Enke Verlag. 282 p.
- FALESI, I.C.; VIEIRA, L.S.; SANTOS, W.H.P. dos; OLIVEIRA FILHO, J.P.S. - 1967 - Levantamento de reconhecimento dos solos da região Bragantina, Estado do Pará. Belém. Separata da Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.2. IPEAN (Boletim Técnico 47).
- FERREIRA, J.B. - 1979 - Métodos geofísicos aplicados ao mapeamento geológico, numa área da região Bragantina-NE-Pará; Tese de Mestrado, Pará-Belém.
- FRANCISCO, B.H.R.; LOEWENSTEIN, P.; SILVA, O.F. da; SILVA, G.H.- 1971 - Contribuição à geologia da folha de São Luis (SA-23) no Estado do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, nº 17. Belém.
- GARRELS, R.M; MACKENZIE, F.T. - 1971 - Evolution of sedimentary rocks. New York, W.W. Norton 397 p.
- GILKES, R.J.; SCHOLZ, G.; DIMMOCK, G.M. - 1973 - Lateritic deep weathering of granite. *Journal of Soil Science.* 24:523-535.
- GOLDSCHMIDT, V.M. - 1970 - *Geochemistry.* London. Oxford. University Press. 730 p.
- GRIM, R.E. - 1968 - *Clay Mineralogy.* New York. McGraw-Hill Book 596 p.

- GUIMARÃES, G. de A.; BASTOS, J.B.; LOPES, E. de C. - 1970 - Métodos de análise física, química e instrumental de solos. Belém, IPEAN, v. 1, nº 1 (Série: Química de Solos).
- KLOCKMANN, F. & RAMDOHR, P. - 1961 - Tratado de Mineralogia. Barcelona. Editorial Gustavo Gill. 736 p.
- KOLTHOFF, I.M.; SANDELL, E.B.; MEEHAN, E.J.; BRUCKENSTEIN, S. - 1969 - Quantitative chemical analysis. New York. The Macmillan. 1199 p.
- MASON, Brian - 1971 - Princípios de geoquímica. São Paulo, Editora Polígono. 403 p.
- McBRIDE, M.B. - 1978 - Copper (2º). Interactions with Kaolinite factors controlling adsorption. Clays and Clay Minerals. 26:101-106.
- MONIZ, A.C. - 1972 - Elementos de pedologia. São Paulo. Editora Polígono, 459 p.
- MULLER, German - 1967 - Sedimentary Petrology. Part. I; Methods in Sedimentary Petrology. New York, London, Hafner Publishing. 283 p.
- NÓCLEO DE CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS (UFPa) - 1980 - Projeto Integrado de Pesquisas Geológicas, Geofísicas e Geoquímicas Relatório Interno - Belém, NCGG.
- NORTON, Stephen A. - 1973 - Laterite and Bauxite formation. Economic Geology. 68:353-361.
- SMYTH, C.H. - 1913 - The relative solubilities of the chemical constituents of rocks. Journal Geology. 21:105-120.
- SOIL SURVEY STAFF - 1951 - Soil Survey Manual Bureau of Plant Industry, Soils, and Agricultural Engineering, U.S. Dept. of Agriculture.
- VERHOGEN, J.; FRANCIS, J.T.; WEISS, L.E.; WAHRHAFTIG, C. - 1970 - The Earth: and introduction to physical geology. New York. Holt, Rinehart and Winston, 748 p.
- WAKATSUKI, T.; FURUKAWA, H.; KYUMA, K. - 1977 - Geochemical study of the redistribution of elements in soil. I. Evaluation of degree of weathering of transported soil materials by distribution of major elements among the particle size fractions and soil extracts. Geochimica et Cosmochimica Acta

41:891-902.

WEDEPOHL, K.H. ed. - 1969 - Handbook of geochemistry. Berlin.
Springer-Verlag. 442 p. v. 1.

A_N_E_X_O_I

Processamentos Analíticos das Amostras

I.1. Determinação potenciométrica do pH do Solo em Água

Utilizaram-se nestas determinações misturas de água e solo na proporção 1:1 (Guimarães et alii, 1970). Para tanto pesaram-se 100 g de amostra de solo, às quais foram adicionados 100 ml de água destilada, agitando-se vigorosamente. A mistura foi deixada em repouso por 1 hora. Após este período, efetuaram-se as medidas com um pHmetro TOA modelo HM-7B, previamente calibrado com auxílio de padrões de pH 4 e 7.

I.2. Destruição da Matéria Orgânica

Em frasco de polietileno pesaram-se 50 g de amostra de solo, às quais foram adicionados 286 ml de água oxigenada a 30% em volume (Guimarães et alii, 1970). A mistura foi agitada manualmente até homogeneização completa. Alternando-se períodos de repouso com agitações, considerou-se o ataque completo quando o material descorou e cessou a formação de efervescência. A mistura foi então quantitativamente transferida para centrifuga Janetzki, modelo T-23 e procedida a separação das fases líquida e sólida.

I-3. Extração da Fração Óxido

Para a extração da fração óxido, submeteu-se o material, isento de matéria orgânica, ao tratamento com uma mistura 1:1 de soluções 0,2M de ácido oxálico e de oxalato de amônio (Wakatsuki et alii, 1977). As extrações foram conduzidas em frascos de polietileno, usando-se 400 ml da mistura extratora para cada 50 g de amostra, expondo-se o material à ação de luz ultra-violeta, por períodos de 2 horas. Após este procedimento, as soluções contendo os óxidos foram separadas dos resíduos por meio de centrifugação. Repetiu-se o processo até serem obtidas soluções descoloradas e os resíduos adquirirem coloração acinzentada. Tendo em vista que o cálcio forma oxalatos de baixa solubilidade, efetuou-se uma última extração com solução de HCl 0,2 M (Wakatsuki et alii, 1977).

I-4. Separação da Fração Areia

Para separar a fração areia, o material, isento de óxidos, foi disperso em água destilada e passado em peneira de 0,063 mm, lavando-se o resíduo repetidas vezes até a água de lavagem se apresentar totalmente límpida.

I-5. Separação das frações Silte e Argila

Utilizando-se succão realizada com trompas de vácuo aco pladas em velas de filtro, eliminou-se o excesso de água das lavagens da fração areia. O material resultante, contendo as frações silte e argila, foi, então, desagregado por meio de vibrações de alta freqüência (ultra-som) e tratado com solução anti-floculante de hidróxido de amônio a 1%, concentração esta julgada ideal, após comparar-se o seu poder anti-floculante com o de outras soluções de concentrações diversas. Separaram-se estas frações do solo, distribuindo-se a mistura em tubos de centrífuga, até uma altura previamente determinada e submetendo-se a mesma, durante 8 minutos a centrifugação com 500 rpm. Esta velocidade foi escolhida por ser desprezível o tempo necessário para a centrífuga atingi-la. O tempo de 8 minutos foi determinado a partir da equação abaixo, proposta por Svedberg (in Muller, 1967).

$$d = \frac{6}{w} \sqrt{\frac{\eta \cdot 1n S_2/S_1}{2(D_1 - D_2) \cdot t}}$$

Onde w = velocidade angular

S_1 = distância entre o eixo de rotação e o nível superior da suspensão.

S_2 = distância entre o eixo de rotação e a base da suspensão.

d = diâmetro limite entre as partículas que se deseja separar (no caso deste trabalho $d = 2\mu$).

t = tempo de separação

η = viscosidade do líquido

D_1 = densidade das partículas. (Neste trabalho foi usada $D_1=2,65$ - densidade do quartzo - geralmente adotada em trabalhos com sedimentos).

D_2 = densidade do líquido de sedimentação.

I-6. Determinação Analítica dos Elementos Al, Si, Fe, Ti, Ca, Mg, Mn, Cu, Na e K nas frações Areia, Silte e Argila.

Elemento	Técnica Utilizada
Al	AA
Si	VU
Fe	AA
Ti	EE
Ca	AA
Mg	AA
Mn	AA
Cu	EE
Na	AA
K	AA

AA = Espectroscopia de Absorção Atômica

EE = Espectrografia de Emissão

VU = Via Úmida

Aparelhos e/ou métodos utilizado.

Absorção Atômica - Espectrógrafo de Absorção Atômica marca JAR REL ASH modelo 800.

Espectrografia de Emissão - Espectrógrafo de Emissão marca JENA, modelo Q 24.

Via Úmida - Segundo método proposto por Kolthoff et alii (1969).

I-7: Determinação da Composição Mineralógica das Frações Silte e Argila.

Os minerais constituintes das frações silte e argila fo

ram identificados por meio de difratometria de raio X, tendo sido utilizado difratômetro Philips modelo PW 1050/80. Os teores destes minerais foram avaliados semiquantitativamente através da comparação das intensidades das linhas de difração características de cada mineral, com linhas correspondentes em difratogramas obtidos a partir de matrizes sintéticas e classificados como dominantes, abundantes, subordinados ou raros, segundo suas ocorrências nas faixas de 50-100%; 10-50%; 3-10%; menores que 3%, respectivamente.

I-8. Determinação da Composição Mineralógica da Fração Areia

Usou-se binocular ZEISS na determinação das assembleias mineralógicas da fração areia. Inicialmente os minerais foram identificados através da observação visual de propriedades tais como cor, clivagem, brilho e forma. Uma vez identificados, os minerais tiveram seus teores semiquantitativamente avaliados e classificados como dominantes, abundantes, subordinados e raros, conforme ocorrências em intervalos idênticos aos usados nas frações silte e argila.

A N E X O II

Tabelas

PROFOUNDIDA DE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	A R E I A									
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
0,00 - 0,13	P ₁ A ₅	1,65	0,09	97,20	0,02	0	0	0	0	0,11	0,93
0,13 - 0,32	P ₁ A ₄	1,65	0,05	97,60	0	0	0	0	0	0,08	0,60
0,32 - 0,56	P ₁ A ₃	2,83	0,19	95,90	0	0	0	0	0	0,07	1,01
0,56 - 0,86	P ₁ A ₂	1,39	0,22	97,00	0,02	0	0	0,01	0	0,15	1,16
0,86 - 1,20	P ₁ A ₁	1,55	0,36	95,50	0,74	0	0	0	0	0,58	1,29

Tabela 1: Composição química da fração areia no perfil 1.

PROFUNDIDA DE (m)	ELEMENTO AMOSTRA													
		S	I	L	T	E	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %
0,00 - 0,13	P ₁ A ₅	4,16	0,10	92,84	0,42	0	0	0,01	0	0,36	2,09			
0,13 - 0,32	P ₁ A ₄	4,84	0,29	91,44	0,59	0,02	0	0,01	0	0,46	2,35			
0,32 - 0,56	P ₁ A ₃	5,42	0,40	88,82	0,93	0,02	0,01	0,01	0	0,89	3,50			
0,56 - 0,86	P ₁ A ₂	8,89	0,60	85,33	1,51	0	0,02	0,01	0,03	0,82	2,78			
0,86 - 1,20	P ₁ A ₁	23,87	1,67	66,66	0,79	0	0	0,03	0	1,56	5,42			

Tabela 2: Composição química da fração silte no perfil 1.

PROFUNDIDA DE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	A R G I L A									
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
0,00 - 0,13	P ₁ A ₅	37,79	1,95	46,22	1,20	0	0,01	0,02	0,02	0,08	12,70
0,13 - 0,32	P ₁ A ₄	41,77	1,26	48,85	1,95	0	0,01	0,03	0,07	0,18	5,78
0,32 - 0,56	P ₁ A ₃	31,91	2,00	53,29	0,78	0	0,01	0,02	0,02	0,09	11,88
0,56 - 0,86	P ₁ A ₂	36,09	2,28	46,33	2,55	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05	12,61
0,86 - 1,20	P ₁ A ₁	32,81	3,72	51,92	0,66	0	0,01	0,06	0,03	0,67	9,57

Tabela 3: Composição química da fração argila no perfil 1.

PROFOUNDIDA DE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	Ó X I D O							
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	
0,00 - 0,13	P ₁ A ₅	90,50	4,52	0	1,41	0,48	0,05	0,39	2,55
0,13 - 0,32	P ₁ A ₄	89,39	5,59	0	0,41	1,18	0,25	1,60	1,85
0,32 - 0,56	P ₁ A ₃	80,32	16,06	0,28	0,20	0,21	0,20	0,92	1,97
0,56 - 0,86	P ₁ A ₂	90,28	3,47	0,97	2,22	0,55	0,14	0,94	1,92
0,86 - 1,20	P ₁ A ₁	62,96	31,48	1,04	1,21	0,47	0,13	1,06	2,47

Tabela 4: Composição química da fração óxido no perfil 1.

PROFOUNDADE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	A R E I A									
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
0,00 - 0,50	P ₂ A ₁₃	0,82	0,09	98,71	0,02	0,02	0	0	0	0,05	0,28
0,50 - 0,70	P ₂ A ₁₂	1,24	0,14	98,31	0,03	0,02	0	0	0	0,06	0,19
0,70 - 1,10	P ₂ A ₁₁	1,23	0,54	97,53	0,03	0	0	0	0	0,06	0,60
1,10 - 1,50	P ₂ A ₁₀	1,64	0,21	97,61	0,03	0,02	0	0	0	0,06	0,42
1,50 - 2,00	P ₂ A ₉	2,09	0,98	96,06	0,03	0	0	0	0	0,06	0,77
2,00 - 2,63	P ₂ A ₈	6,40	1,32	90,00	0,07	0	0	0,01	0	0,23	1,97
2,63 - 3,00	P ₂ A ₇	4,56	0,43	93,34	0,05	0	0,02	0	0	0,08	1,51
3,00 - 3,50	P ₂ A ₆	7,24	0,68	86,76	0,26	0	0	0	0	0,19	4,86
3,50 - 3,83	P ₂ A ₅	9,91	1,52	85,16	0,09	0	0,01	0,01	0	0,16	3,04
3,83 - 4,20	P ₂ A ₄	9,30	0,99	86,70	0	0	0,01	0,01	0	0,14	2,85
4,20 - 4,65	P ₂ A ₃	12,05	1,23	85,21	0,13	0	0,01	0	0	0,17	1,20
4,65 - 5,00	P ₂ A ₂	11,59	1,58	81,94	0,17	0	0	0,01	0	0,04	3,56
5,00 - 5,35	P ₂ A ₁	8,25	0,88	84,96	0,15	0	0,01	0,01	0	0,19	5,54

Tabela 5: Composição química da fração areia no perfil 2.

PROFOUNDIDADE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	S I L T E									
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
0,00 - 0,50	P ₂ A ₁₃	2,88	0,34	94,98	0,64	0	0	0,01	0	0,10	1,04
0,50 - 0,70	P ₂ A ₁₂	2,67	0,36	93,55	1,33	0	0	0,01	0	0,12	1,96
0,70 - 1,10	P ₂ A ₁₁	3,24	0,45	94,03	0,64	0	0	0,01	0	0,11	1,51
1,10 - 1,50	P ₂ A ₁₀	4,73	0,60	92,93	0,13	0	0,02	0,01	0	0,13	1,45
1,50 - 2,00	P ₂ A ₉	12,50	3,20	79,78	1,49	0	0,01	0,01	0	0,20	2,79
2,00 - 2,63	P ₂ A ₈	34,88	2,52	55,86	1,47	0	0	0,01	0	0,11	5,14
2,63 - 3,00	P ₂ A ₇	28,72	2,20	62,23	1,53	0	0	0,01	0,01	0,16	5,13
3,00 - 3,50	P ₂ A ₆	31,25	2,84	60,40	0,73	0	0	0,01	0,01	0,19	4,56
3,50 - 3,83	P ₂ A ₅	30,04	2,35	63,90	0,67	0	0	0,01	0,01	0,16	2,85
3,83 - 4,20	P ₂ A ₄	35,93	2,01	57,58	0,72	0	0	0,01	0,01	0,16	3,58
4,20 - 4,65	P ₂ A ₃	37,68	2,04	56,36	0,68	0	0	0,01	0,01	0,11	3,11
4,65 - 5,00	P ₂ A ₂	25,56	2,92	66,40	0,74	0	0	0,01	0,03	0,19	4,15
5,00 - 5,35	P ₂ A ₁	31,14	2,03	60,78	0,91	0	0,01	0	0,01	0,12	4,50

Tabela 6: Composição química da fração silte no perfil 2.

PROFOUNDIDADE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	A R G I L A									
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
0,00 - 0,50	P ₂ A ₁₃	38,89	2,14	47,69	0,44	0	0,02	0,02	0,01	0,07	10,70
0,50 - 0,70	P ₂ A ₁₂	39,98	2,72	47,36	0,39	0	0,01	0,01	0,01	0,10	9,43
0,70 - 1,10	P ₂ A ₁₁	40,59	2,46	46,87	0,86	0,06	0,01	0,01	0,01	0,04	9,09
1,10 - 1,50	P ₂ A ₁₀	42,53	3,38	45,80	0,25	0	0,01	0,01	0,01	0,06	7,96
1,50 - 2,00	P ₂ A ₉	43,67	3,31	45,56	0,37	0,06	0,01	0,01	0,01	0,09	6,90
2,00 - 2,63	P ₂ A ₈	43,45	3,44	47,27	0,63	0	0,01	0,01	0,01	0,08	5,08
2,63 - 3,00	P ₂ A ₇	41,19	2,61	50,15	0,66	0,07	0,01	0,01	0,01	0,07	5,21
3,00 - 3,50	P ₂ A ₆	42,64	2,64	49,51	0,35	0,07	0,02	0,02	0,01	0,09	4,64
3,50 - 3,83	P ₂ A ₅	42,02	2,02	50,01	0,83	0,07	0,01	0,01	0,02	0,08	4,91
3,83 - 4,20	P ₂ A ₄	45,81	2,15	47,68	0,25	0	0,01	0,01	0	0,08	4,01
4,20 - 4,65	P ₂ A ₃	40,84	2,28	52,30	0,26	0	0,01	0,01	0,02	0,06	4,22
4,65 - 5,00	P ₂ A ₂	41,65	2,64	52,47	0,19	0	0,01	0	0,02	0,06	1,51
5,00 - 5,35	P ₂ A ₁	43,72	1,65	51,42	0,24	0	0,01	0,01	0,01	0,06	2,87

Tabela 7: Composição química da fração argila no perfil 2.

PROFOUNDADE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	ÓXIDOS							
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
0,00 - 0,50	P ₂ A ₁₃	51,70	46,26	0,48	0,32	0,05	0,03	0,50	0,72
0,50 - 0,70	P ₂ A ₁₂	47,07	1,26	0,07	0,43	0,17	0,02	0,43	0,59
0,70 - 1,10	P ₂ A ₁₁	56,94	42,10	0	0,08	0,15	0,01	0,31	0,63
1,10 - 1,50	P ₂ A ₁₀	36,12	61,03	0	0,08	0,07	0,06	0,92	1,39
1,50 - 2,00	P ₂ A ₉	39,71	59,13	0	0,13	0,10	0,03	0,34	0,48
2,00 - 2,63	P ₂ A ₈	46,69	52,14	0,03	0,19	0,10	0,01	0,22	0,75
2,63 - 3,00	P ₂ A ₇	49,10	48,80	0	0,13	0,06	0,04	0,81	1,22
3,00 - 3,50	P ₂ A ₆	68,42	29,24	0	0,12	0,12	0,05	0,81	1,33
3,50 - 3,83	P ₂ A ₅	74,68	23,38	0	0,27	0,14	0,05	0,56	0,74
3,83 - 4,20	P ₂ A ₄	36,04	61,78	0	0,22	0,20	0,11	0,76	0,07
4,20 - 4,65	P ₂ A ₃	83,81	13,33	0,07	0,19	0,19	0,10	1,03	0,77
4,65 - 5,00	P ₂ A ₂	64,34	29,49	0	0,70	0,42	0,35	3,59	1,23
5,00 - 5,35	P ₂ A ₁	50,27	43,09	0,13	0,46	0,09	0,15	1,65	4,25

Tabela 8: Composição química da fração óxido no perfil 2.

PROFUNDIDA DE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	A R E I A									
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
0,00 - 0,30	P ₃ A ₈	0,83	0,19	98,40	0,06	0	0	0	0	0,06	0,46
0,30 - 0,60	P ₃ A ₇	0,81	0,19	98,86	0,04	0,06	0	0,01	0	0,03	0
0,60 - 1,00	P ₃ A ₆	1,22	0,28	97,86	0,05	0,06	0	0	0	0,06	0,46
1,00 - 1,60	P ₃ A ₅	1,23	0,09	97,43	0,02	0,06	0	0	0	0,04	1,13
1,60 - 2,20	P ₃ A ₄	0,83	0,09	98,48	0,03	0,06	0	0	0	0,04	0,46
2,20 - 3,00	P ₃ A ₃	0,84	0,09	98,62	0,03	0,06	0	0,01	0	0,05	0,29
3,00 - 4,10	P ₃ A ₂	0,81	0,28	98,38	0,03	0	0	0	0	0,05	0,45
4,10 - 4,60	P ₃ A ₁	0,83	0,05	98,61	0,03	0	0	0	0	0,02	0,46

Tabela 9: Composição química da fração areia no perfil 3.

PROFUNDIDA DE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	S I L T E									
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
0,00 - 0,30	P ₃ A ₈	0,84	0,50	97,60	0,69	0,07	0,01	0,01	0	0,01	0,28
0,30 - 0,60	P ₃ A ₇	1,28	0,72	97,19	0,64	0,07	0,01	0,01	0	0,08	0
0,60 - 1,00	P ₃ A ₆	0,88	0,52	97,76	0,45	0	0,01	0,01	0	0,07	0,29
1,00 - 1,60	P ₃ A ₅	1,23	0,68	96,87	0,81	0	0,02	0,01	0	0,10	0,27
1,60 - 2,20	P ₃ A ₄	2,10	0,40	96,24	0,76	0	0,03	0,01	0	0,07	0,39
2,20 - 3,00	P ₃ A ₃	1,33	0,53	96,92	0,73	0,07	0,05	0,01	0	0,07	0,29
3,00 - 4,10	P ₃ A ₂	3,18	0,86	94,36	0,61	0	0,02	0,04	0	0,08	0,85
4,10 - 4,60	P ₃ A ₁	4,49	1,59	91,82	0,89	0	0,09	0,03	0	0,16	0,92

Tabela 10: Composição química da fração silte no perfil 3.

PROFUNDIDA DE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	A R G I L A									
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
0,00 - 0,30	P ₃ A ₈	46,34	3,30	45,07	3,83	0	0,01	0,01	0,03	0,05	1,34
0,30 - 0,60	P ₃ A ₇	38,90	3,31	52,58	3,93	0	0,01	0,02	0,01	0,06	1,17
0,60 - 1,00	P ₃ A ₆	42,75	2,35	50,25	3,78	0,07	0,01	0,02	0,01	0,05	0,70
1,00 - 1,60	P ₃ A ₅	40,13	5,93	51,68	1,41	0	0,01	0	0,01	0,05	0,78
1,60 - 2,20	P ₃ A ₄	47,26	4,23	45,85	1,82	0	0,01	0	0,03	0,09	0,71
2,20 - 3,00	P ₃ A ₃	41,18	3,86	51,99	1,93	0,08	0,01	0,01	0,01	0,12	0,80
3,00 - 4,10	P ₃ A ₂	41,82	1,87	53,34	2,00	0	0,01	0,01	0,01	0,12	0,81
4,10 - 4,60	P ₃ A ₁	29,62	4,76	0,93	0,93	0,08	0,04	0,01	0,03	0	4,72

Tabela 11: Composição química da fração argila no perfil 3.

PROFOUNDIDA DE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	Ó X I D O							
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
0,00 - 0,30	P ₃ A ₈	65,49	31,86	0,06	0,33	0,83	0,15	0,77	0,59
0,30 - 0,60	P ₃ A ₇	69,98	29,37	0,11	0,08	0,16	0,06	0,17	0,10
0,60 - 1,00	P ₃ A ₆	22,11	76,84	0,07	0,16	0,09	0,04	0,38	0,20
1,00 - 1,60	P ₃ A ₅	29,10	69,77	0,18	0,13	0,06	0,05	0,41	0,24
1,60 - 2,20	P ₃ A ₄	22,62	76,60	0,03	0,09	0,04	0,04	0,29	0,23
2,20 - 3,00	P ₃ A ₃	30,75	65,89	0	0,26	0,12	0,26	2,20	0,54
3,00 - 4,10	P ₃ A ₂	69,44	24,31	0,49	0,92	0,39	0,35	2,98	1,15
4,10 - 4,60	P ₃ A ₁	17,92	78,03	1,54	1,14	0,16	0,04	0,45	0,67

Tabela 12: Composição química da fração óxido no perfil 3.

PROFOUNDIDA DE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	SiO_2 %	TiO_2 %	CaO %	MgO %	MnO_2 %	CuO %	Na_2O %	K_2O %
0,00 - 0,13	P ₁ A ₅	4,11	0,20	93,72	0,13	0	0,004	0,003	0,002	0,14	1,69
0,13 - 0,32	P ₁ A ₄	2,88	0,10	96,03	0,07	0,002	0,002	0,004	0,002	0,11	0,81
0,32 - 0,56	P ₁ A ₃	5,14	0,36	92,41	0,12	0,004	0,002	0,003	0,003	0,07	1,90
0,56 - 0,86	P ₁ A ₂	7,64	0,57	87,90	0,54	0,01	0,009	0,02	0,02	0,23	3,04
0,86 - 1,20	P ₁ A ₁	5,19	0,97	90,08	0,79	0,01	0,01	0,04	0,01	1,07	1,92

Tabela 13: Composição química dos solos. Amostras procedentes do perfil P₁.

PROFOUNDIDA DE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	TiO ₂ %	CaO %	MgO %	MnO ₂ %	CuO %	Na ₂ O %	K ₂ O %
0,00 - 0,50	P ₂ A ₁₃	5,14	0,71	92,54	0,13	0,05	0,005	0,003	0,001	0,06	1,37
0,50 - 0,70	P ₂ A ₁₂	6,90	1,07	90,08	0,22	0,05	0,01	0,004	0,001	0,07	1,58
0,70 - 1,10	P ₂ A ₁₁	14,14	2,22	80,07	0,34	0,01	0,01	0,01	0,003	0,07	3,11
1,10 - 1,50	P ₂ A ₁₀	15,20	2,77	78,76	0,10	0,03	0,01	0,01	0,01	0,09	3,00
1,50 - 2,00	P ₂ A ₉	23,91	4,65	67,20	0,30	0,02	0,01	0,01	0,01	0,10	3,79
2,00 - 2,63	P ₂ A ₈	26,07	3,82	65,33	0,50	0,001	0,01	0,01	0,01	0,15	3,66
2,63 - 3,00	P ₂ A ₇	19,04	3,13	74,42	0,26	0,01	0,02	0,01	0,01	0,12	2,96
3,00 - 3,50	P ₂ A ₆	22,52	2,23	69,98	0,38	0,01	0,01	0,01	0,01	0,17	4,66
3,50 - 3,83	P ₂ A ₅	22,93	2,16	70,61	0,39	0,01	0,01	0,01	0,01	0,20	3,44
3,83 - 4,20	P ₂ A ₄	25,92	2,07	68,29	0,20	0	0,01	0,01	0,003	0,13	3,33
4,20 - 4,65	P ₂ A ₃	23,91	1,75	71,64	0,26	0,001	0,01	0,01	0,07	0,15	2,20
4,65 - 5,00	P ₂ A ₂	19,31	2,15	74,43	0,34	0	0,01	0,01	0,01	0,26	3,58
5,00 - 5,35	P ₂ A ₁	19,74	1,52	73,34	0,31	0,001	0,01	0,01	0,005	0,16	4,91

Tabela 14: Composição química dos solos. Amostras procedentes do perfil P₂.

PROFOUNDADA DE (m)	ELEMENTO AMOSTRA	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	TiO_2	CaO	MgO	MnO_2	CuO	Na_2O	K_2O
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0,00 - 0,30	P ₃ A ₈	7,66	1,04	89,93	0,66	0,01	0,01	0,01	0,01	0,07	0,60
0,30 - 0,60	P ₃ A ₇	7,65	2,09	89,41	0,70	0,06	0,01	0,01	0,004	0,05	0,01
0,60 - 1,00	P ₃ A ₆	9,50	7,30	81,90	0,66	0,01	0,01	0,01	0,003	0,04	0,50
1,00 - 1,60	P ₃ A ₅	13,66	4,49	80,18	0,40	0,05	0,01	0,01	0,01	0,06	0,96
1,60 - 2,20	P ₃ A ₄	11,49	6,77	80,77	0,35	0,04	0,01	0,002	0,01	0,07	0,49
2,20 - 3,00	P ₃ A ₃	4,99	0,97	93,33	0,22	0,06	0,003	0,01	0,003	0,08	0,34
3,00 - 4,10	P ₃ A ₂	4,84	0,51	93,86	0,22	0,001	0,004	0,003	0,002	0,06	0,49
4,10 - 4,60	P ₃ A ₁	25,65	8,16	60,01	0,83	0,15	0,10	0,02	0,03	0,03	4,14

Tabela 15: Composição química dos solos. Amostras procedentes do perfil P₃.

ELEMENTO (%)	A	M	O	S	T	R	A	S
	A	B	C	D			\bar{X}	
Al_2O_3	18,10	17,00	18,50	18,5			18,03	
SiO_2	70,90	71,40	70,90	70,80			71,00	
Fe_2O_3	1,93	1,81	1,93	1,64			1,83	
TiO_2	0,20	0,19	0,24	0,23			0,22	
CaO	0,92	1,16	0,98	1,18			1,06	
MgO	0,44	0,44	0,44	0,45			0,44	
MnO_2	0,07	0,07	0,08	0,08			0,08	
CuO	0,005	0,005	0,005	0,005			0,005	
Na_2O	3,03	2,99	2,96	2,97			2,99	
K_2O	3,59	3,33	3,27	3,25			3,36	

Tabela 16: Composição química dos granitos aflorantes na área em estudo.

A,B,C,D - Valores obtidos de análises efetuadas em granitos não alterados aflorantes na área em estudo.

\bar{X} - Valores médios dos granitos não alterados aflorantes na área em estudo.

AMOSTRA	F	R	A	Ç	Ó	E	S	(%)
	AREIA		SILTE		ARGILA		ÓXIDO	
P ₁ A ₅	84.39		9.94		5.43		0.23	
P ₁ A ₄	92.30		4.65		2.86		0.19	
P ₁ A ₃	85.44		7.12		7.18		0.27	
P ₁ A ₂	75.96		10.14		13.60		0.30	
P ₁ A ₁	86.92		8.10		3.74		1.24	
P ₂ A ₁₃	76.85		12.76		9.56		0.83	
P ₂ A ₁₂	73.20		12.67		13.05		1.08	
P ₂ A ₁₁	56.25		11.86		29.25		2.64	
P ₂ A ₁₀	54.00		9.30		34.39		2.30	
P ₂ A ₉	39.97		9.97		46.17		3.89	
P ₂ A ₈	42.04		17.28		37.75		2.93	
P ₂ A ₇	53.20		16.39		26.50		3.63	
P ₂ A ₆	48.88		23.39		25.84		1.88	
P ₂ A ₅	53.92		18.53		25.71		1.63	
P ₂ A ₄	48.80		20.08		30.25		0.87	
P ₂ A ₃	56.62		19.33		22.96		1.09	
P ₂ A ₂	62.43		22.70		14.45		0.39	
P ₂ A ₁	57.83		20.60		20.98		0.59	
P ₃ A ₈	69.69		15.56		13.54		1.21	
P ₃ A ₇	77.94		7.56		9.06		5.44	
P ₃ A ₆	69.74		7.51		16.76		5.99	
P ₃ A ₅	62.57		4.33		29.07		4.03	
P ₃ A ₄	68.47		3.29		20.93		7.31	
P ₃ A ₃	85.45		2.11		11.73		0.71	
P ₃ A ₂	86.56		1.39		11.75		0.29	
P ₃ A ₁	5.31		3.77		85.77		5.15	

Tabela 17: Teores das frações areia, silte, argila e óxido nos solos (Recalculados para 100%).

Profundidade (m)	Amostra	pH
0,00 - 0,13	P ₁ A ₅	4,20
0,13 - 0,32	P ₁ A ₄	4,85
0,32 - 0,56	P ₁ A ₃	4,88
0,56 - 0,86	P ₁ A ₂	5,05
0,86 - 1,20	P ₁ A ₁	5,35
0,00 - 0,50	P ₂ A ₁₃	4,90
0,50 - 0,70	P ₂ A ₁₂	4,65
0,70 - 1,10	P ₂ A ₁₁	4,70
1,10 - 1,50	P ₂ A ₁₀	4,65
1,50 - 2,00	P ₂ A ₉	4,75
2,00 - 2,63	P ₂ A ₈	4,75
2,63 - 3,00	P ₂ A ₇	4,70
3,00 - 3,50	P ₂ A ₆	4,60
3,50 - 3,83	P ₂ A ₅	4,80
3,83 - 4,20	P ₂ A ₄	4,70
4,20 - 4,65	P ₂ A ₃	4,73
4,65 - 5,00	P ₂ A ₂	4,65
5,00 - 5,35	P ₂ A ₁	4,45
0,00 - 0,30	P ₃ A ₈	4,98
0,30 - 0,60	P ₃ A ₇	5,18
0,60 - 1,00	P ₃ A ₆	5,35
1,00 - 1,60	P ₃ A ₅	5,60
1,60 - 2,20	P ₃ A ₄	5,55
2,20 - 3,00	P ₃ A ₃	5,25
3,00 - 4,20	P ₃ A ₂	5,23
4,20 - 4,60	P ₃ A ₁	6,55

Tabela 18: Valores de pH-atual nos perfis P₁, P₂ e P₃.

AMOSTRA	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)
P ₁ A ₅	84,59	9,97	5,44
P ₁ A ₄	92,48	4,66	2,87
P ₁ A ₃	85,67	7,14	7,20
P ₁ A ₂	76,19	10,17	13,64
P ₁ A ₁	88,01	8,20	3,79
P ₂ A ₁₃	77,50	12,86	9,64
P ₂ A ₁₂	74,00	12,81	13,19
P ₂ A ₁₁	57,78	12,18	30,04
P ₂ A ₁₀	55,28	9,52	35,20
P ₂ A ₉	41,59	10,37	48,04
P ₂ A ₈	43,31	17,80	38,89
P ₂ A ₇	55,21	17,01	27,78
P ₂ A ₆	49,82	23,84	26,34
P ₂ A ₅	54,93	18,88	26,19
P ₂ A ₄	49,23	20,25	30,51
P ₂ A ₃	57,24	19,54	23,22
P ₂ A ₂	62,71	22,79	14,50
P ₂ A ₁	58,18	20,72	21,10
P ₃ A ₈	70,55	15,75	13,71
P ₃ A ₇	82,42	8,00	9,59
P ₃ A ₆	74,18	7,99	17,83
P ₃ A ₅	65,20	4,51	30,29
P ₃ A ₄	73,87	3,55	22,58
P ₃ A ₃	86,06	2,13	11,81
P ₃ A ₂	86,82	1,39	11,78
P ₃ A ₁	5,60	3,97	90,43

Tabela 19: Teores das frações areia, silte e argila. (Recalcula
do para 100%).

AMOSTRA	Al_2O_3 (F e/ou M) (%)	Al_2O_3 (K) (%)	Al_2O_3 (óxido) (%)
P ₃ A ₈	0,58	5,30	1,89
P ₃ A ₇	0,63	3,62	3,81
P ₃ A ₆	0,85	7,21	1,35
P ₃ A ₅	0,75	12,59	1,17
P ₃ A ₄	0,64	8,14	3,41
P ₃ A ₃	0,72	4,86	0,22
P ₃ A ₂	0,75	4,91	0,20
P ₃ A ₁	0,21	21,19	5,16

Tabela 20: Teores de Al_2O_3 no perfil 3, devidos a feldspatos e/ou micas, argilo-minerais e óxidos.

F = Feldspatos

M = Micas

K = Argilo-Minerais

AMOSTRA	$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{óxido}) / \text{Al}_2\text{O}_3(\text{argila})$
P ₃ A ₈	0,36
P ₃ A ₇	1,05
P ₃ A ₆	0,19
P ₃ A ₅	0,19
P ₃ A ₄	0,09
P ₃ A ₃	0,42
P ₃ A ₂	0,05
P ₃ A ₁	0,04
P A	0,24

Tabela 21: Valores da relação $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{óxido}) / \text{Al}_2\text{O}_3(\text{argila})$ no perfil 3.