

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

DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, Ti, Cu, K e Na EM  
SOLOS DESENVOLVIDOS NA REGIÃO DO GRANITO CENTRAL DA SERRA DOS  
CARAJÁS - SUL DO ESTADO DO PARÁ.

Tese Apresentada por

NINA ROSA LEAL DAMOUS

como requisito parcial à obtenção do grau em

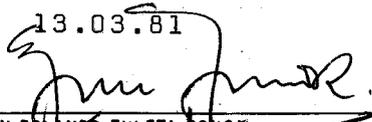
MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

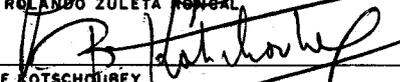
GEOQUÍMICA \*

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

Aprovado: 13.03.81

  
JUAN ROLANDO ZULETA ROMO

(ORIENTADOR)

  
BASILE KOTSCHOUBEY

  
ULRICH GRIMM

Comitê de Tese

Ao Nemer e à Issa

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi orientado pelo Prof. Juan Rolando Zuleta Roncal, ao qual a autora registra seus agradecimentos.

Agradecimentos especiais são dedicados aos técnicos do NCGG Sônia Rodrigues, Raimundo Nonato Oliveira e José Hercula no da Silva Neto pelas suas valiosas participações nos trabalhos de espectrofotometria e difratometria de Raios-X; ao colega Antônio Taranto Goulart pela colaboração na seleção bibliográfica e às amigas Waldise Lima da Silva e Regina Cunha Almeida pelo incentivo.

A autora agradece ainda à Amazônia Mineração S/A (AMZA) e ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro para a realização desta pesquisa.

## R E S U M O

A distribuição dos elementos nos produtos intemperizados das rochas é afetada, entre outros fatores, pelo clima, relevo e material original. No presente trabalho é estudada a distribuição dos elementos Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, Ti, Cu, K e Na nos produtos intemperizados do granito central da Serra dos Carajás, sul do Pará, numa área caracterizada por relevo ondulado e sujeita a clima tropical úmido. A amostragem foi feita em perfis de solos pelo método de coleta contínua de canal. Os tratamentos analíticos envolveram determinação potenciométrica do pH atual, determinação das composições química e mineralógica das frações areia, silte e argila e determinação da composição química da fração óxido.

Os perfis estudados apresentam características que revelam um intenso processo de desfeldspatização do granito original, com formação de um latossolo texturalmente classificado como argiloso a argilo-arenoso. Nesse processo, o quartzo foi conservado e foram formados argilo-minerais e hidróxidos de alumínio e ferro, constituindo a assembléia dominante do solo. Elementos tais como Ca, Mg, Mn, Na e K, contidos na rocha original, foram quase totalmente lixiviados, encontrando-se atualmente em pequenas quantidades nos feldspatos ou adsorvidos nos argilo-minerais. Por outro lado, Ti, contido principalmente nos minerais resistentes, é mantido em quantidades constantes e comparáveis às do material original. O elemento Cu é ligeiramente enriquecido no perfil por adsorção nos argilo-minerais.

A presença de quantidades muito pequenas de feldspato ao longo dos perfis, evidencia a grande intensidade dos processos intempéricos atuando sobre a rocha granítica. A transformação direta dos feldspatos em argilo-minerais ou óxidos de alumínio está relacionada com as condições climáticas (períodos chuvosos e secos) atuantes na área.

## A B S T R A C T

The distribution of elements in the weathered ~~products of~~ rocks is effected mainly by climate, geomorphology and parent material. The present study deals with the distribution of Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, Ti, Cu, K and Na in the weathered products of the Central Granite at Serra dos Carajas - Para, Brazil, which occurs in an area which is characterized by undulated relief and humid tropical climate. Samples representing two selected weathering profiles were collected to depths that did not exceed 6 m. The analytical treatment consisted of potentiometric determinations of pH values, the determination of the chemical and mineralogical compositions of the sand, silt and clay fractions, and the determination of the chemical composition of the oxide fraction.

The two profiles reveal an intense process of feldspar removal from the parent granite and the formation of a sand-clayey lato-soil. In this process, quartz has been preserved and clay minerals and aluminium and iron hydroxides have been formed constituting the dominant assemblage of the soil. Ca, Mg, Mn, Na and K from the parental rock were nearly completely leached away to the extent that these elements are only found in small amounts in the remaining feldspars or adsorbed on clay minerals. On the other hand, Ti present principally in resistant minerals, practically maintains its original concentration. Cu is slightly enriched in the profiles due to adsorption in the clay minerals.

The presence of only very small amounts of feldspar along the profiles shows the great intensity of the weathering process acting on the granitic rocks. The direct transformation of feldspar to clay minerals or aluminium oxides is related to the climatic conditions (rainy and dry seasons) prevalent in the area.

# S U M Á R I O

	Pag
AGRADECIMENTOS	
RESUMO	
ABSTRACT	
<u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
<u>1. MÉTODOS DE COLETA E ANÁLISE DAS AMOSTRAS</u>	
1.1. Metodologia de Campo .....	3
1.2. Metodologia de Laboratório .....	7
<u>2. APRESENTAÇÃO, TRATAMENTO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u>	
2.1. pH Atual .....	10
2.2. Frações do Material Intemperizado .....	12
2.3. Composição Mineralógica das Frações Areia, Silte e Argila .....	12
2.4. Distribuição dos Elementos nas Frações .....	16
2.5. Distribuição dos Elementos ao Longos dos Perfis ..	29
2.6. Retenção dos Elementos no Material Intemperizado ..	36
2.7. Classificação dos Solos .....	38
<u>3. CONCLUSÕES</u> .....	40
<u>4. BIBLIOGRAFIA</u> .....	41
ANEXO 1 - PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS .....	43
ANEXO 2 - TABELAS .....	51
ANEXO 3 - TRATAMENTO DOS DADOS .....	62

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIG. 1 - Mapa Geológico da Área Norte do Granito Central da Serra dos Carajás.
- FIG. 2 - Descrição dos Perfis nos Poços P1 e P2.
- FIG. 3 - Fluxograma do Processamento Analítico dado às Amostras.
- FIG. 4 - Variação do pH atual com a Profundidade dos Poços 1 e 2.
- FIG. 5 - Distribuição das Frações Areia, Silte, Argila e Óxido ao longo dos Poços 1 e 2. % em Peso das Amostras secas ao ar.
- FIG. 6 - Composição Mineralógica das Frações Areia, Silte e Argila das amostras coletadas ao longo dos Poços 1 e 2.
- FIG. 7a - Variação das Composições Química e Mineralógica da Fração Areia com a Profundidade. Poços 1 e 2.
- FIG. 7b - Variação das Composições Química e Mineralógica da Fração Silte com a Profundidade. Poços 1 e 2.
- FIG. 7c - Variação das Composições Química e Mineralógica da Fração Argila com a Profundidade. Poços 1 e 2.
- FIG. 8 - Variação da Composição Química da Fração Óxido com a Profundidade. Poços 1 e 2.
- FIG. 9 - Distribuição dos Elementos ao Longo dos Perfis. Poços 1 e 2.
- FIG. 10 - Conteúdos de Feldspato, Caulinita e Óxido de Alumínio ao Longo dos Perfis 1 e 2 Expressos em Função dos Teores de  $Al_2O_3$  nas Frações.
- FIG. 11 - Classificação Textural do Solo Segundo Normas do Soil Survey Staff.

## INTRODUÇÃO

### I.1. Objetivo

Dos processos que desempenham papel de relevância durante o intemperismo das rochas, os de caráter químico devem ser ressaltados como preponderantes nas regiões tropicais. Esses processos requerem a presença de elevada quantidade de oxigênio e dióxido de carbono dissolvidos, assim como de água abundante para o seu desenvolvimento. Uma série de fatores tais como clima, topografia, material original, atividade biológica e tempo são condicionantes dos citados processos (Jenny, 1941, in Levinson, 1974).

Intemperismo e formação de solos são dois processos que em geral se desenvolvem simultaneamente em um mesmo lugar. O aspecto essencial da formação dos solos é, entre outros, a transformação de um material original de natureza diversa em novos produtos, tais como argilo-minerais e complexos organo-minerais. Assim sendo, em muitos casos, o intemperismo é considerado como a fase inicial dessa transformação.

As reações intempéricas se processam mais rapidamente nos trópicos, devido a temperatura mais elevada e particularmente nas áreas onde as condições de precipitação pluviométrica e topográfica são mais favoráveis à lixiviação e migração.

É objetivo do presente trabalho caracterizar os perfis da alteração intempérica desenvolvidos sobre um granito em área submetida a clima tropical, através da distribuição dos seus elementos e, desta forma, obter subsídios que permitam esclarecimentos sobre os possíveis mecanismos de sua formação.

### I.2. Área de Estudo

A área em estudo compreende o Granito Central localizado na Serra dos Carajás, ao sul do Estado do Pará, numa região caracterizada por clima tropical com regime de chuvas distribuído em duas estações distintas: uma estação chuvosa onde ocorre cerca de 90% das precipitações e uma estação seca, ambas totalizando em média 2000 mm anuais (Beisiegel et alii, 1973).

Morfologicamente a área apresenta um relevo ondulado, tendo sua drenagem controlada pela estrutura e pela história geomórfica da região. A região apresenta cobertura de floresta equato

rial quase contínua, típica de terras firmes da Amazônia.

Mineralogicamente o granito é constituído de ortoclásio perfitico, quartzo, oligoclásio, biotita e hornblenda. Do ponto de vista textural, o corpo se apresenta predominantemente equigranular grosseiro derivando localmente para fácies ora granular fina, ora porfirítica (Silva et alii, 1974).

## 1. MÉTODOS DE COLETA E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

A coleta e análise das amostras usadas para o desenvolvimento deste trabalho envolveram uma metodologia que se dividiu em duas fases distintas. Estas fases correspondem aos trabalhos executados no campo e em laboratório os quais, a seguir, passarão a ser abordados de modo mais detalhado.

### 1.1. Metodologia de Campo

O objetivo específico desta fase foi a coleta de amostras em perfis intemperizados da rocha granítica. Para isto foram abertos dois poços de onde se retirou 17 amostras pelo método da coleta contínua de canal, estando estas distribuídas segundo a Tabela 1.

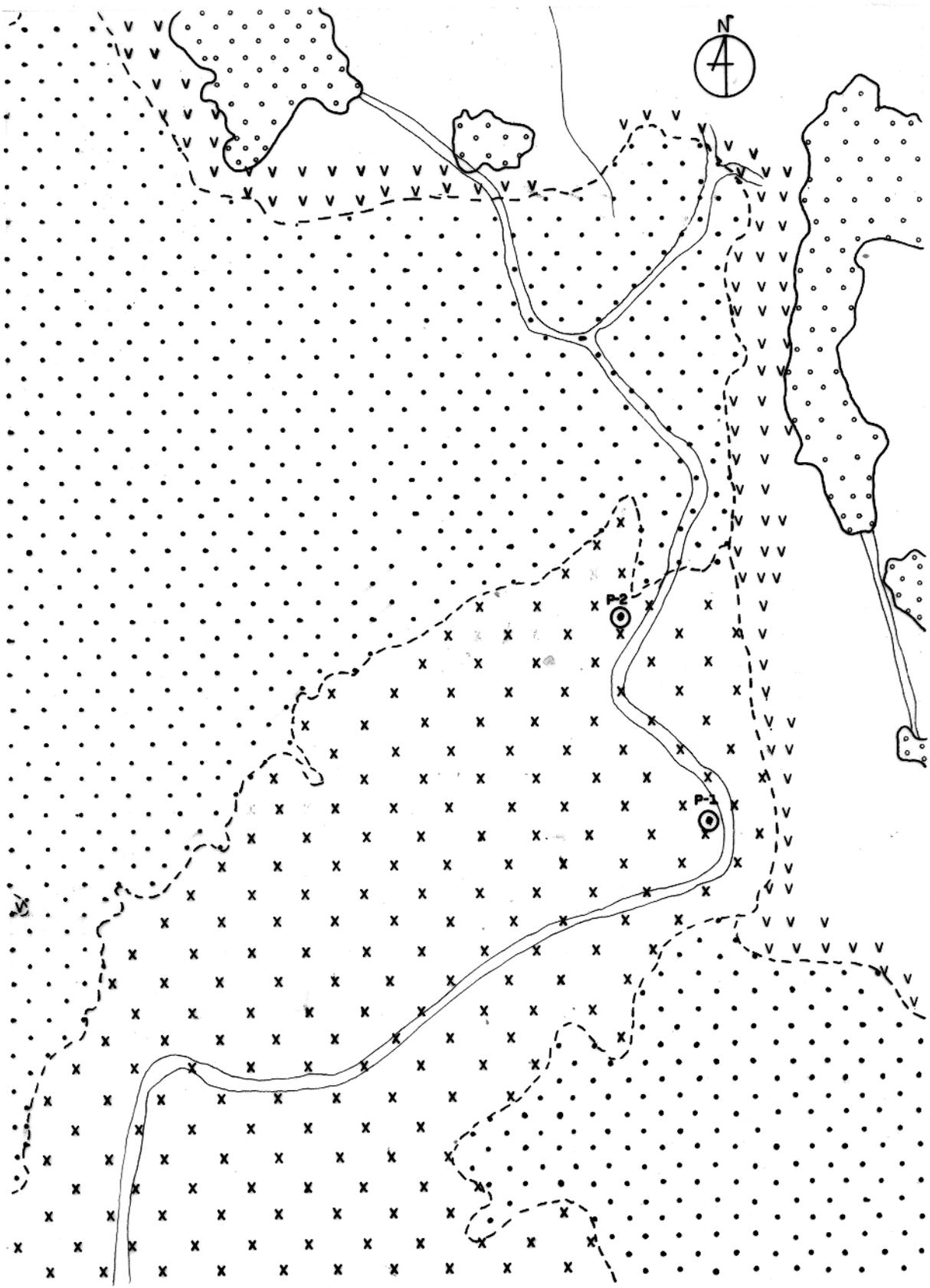
POÇO	SÍMBOLO	PROFUNDIDADE (m)	Nº DE AMOSTRAS
1	P1	0,0 - 6,8	8
2	P2	0,0 - 4,5	9

Tabela 1 - Distribuição das Amostras nos Poços

Os poços acima referidos estão localizados nas proximidades da estrada que une a Serra Norte à Serra Sul, tendo suas posições assinaladas na figura 1.

Os critérios de orientação usados para a localização dos poços prenderam-se aos seguintes pontos principais: proximidade de afloramentos do granito, ocorrência de indícios mineralógicos de material proveniente do granito e relevo relativamente elevado a fim de se obter menor espessura da cobertura intemperizada. Esses critérios tiveram por objetivo diminuir a influência de material eventualmente transportado.

A descrição dos perfis, a separação dos horizontes e a coleta das amostras foram feitas com base em aspectos tais como presença de matéria orgânica, presença de concreções, textura e coloração. Esta descrição, assim como a divisão em horizontes, estão ilustrados na figura 2, na qual também observam-se os ní



- FORMAÇÃO RIOFRESCO
- v ROCHAS MÁFICAS
- ⊙ LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS
- x CORPO DE GRANITO
- MINÉRIO DE FERRO
- ESTRADA

ESC.- 1300.000

FIG. 1 - MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA NORTE DO GRANITO CENTRAL DA SERRA DOS CARAJÁS.

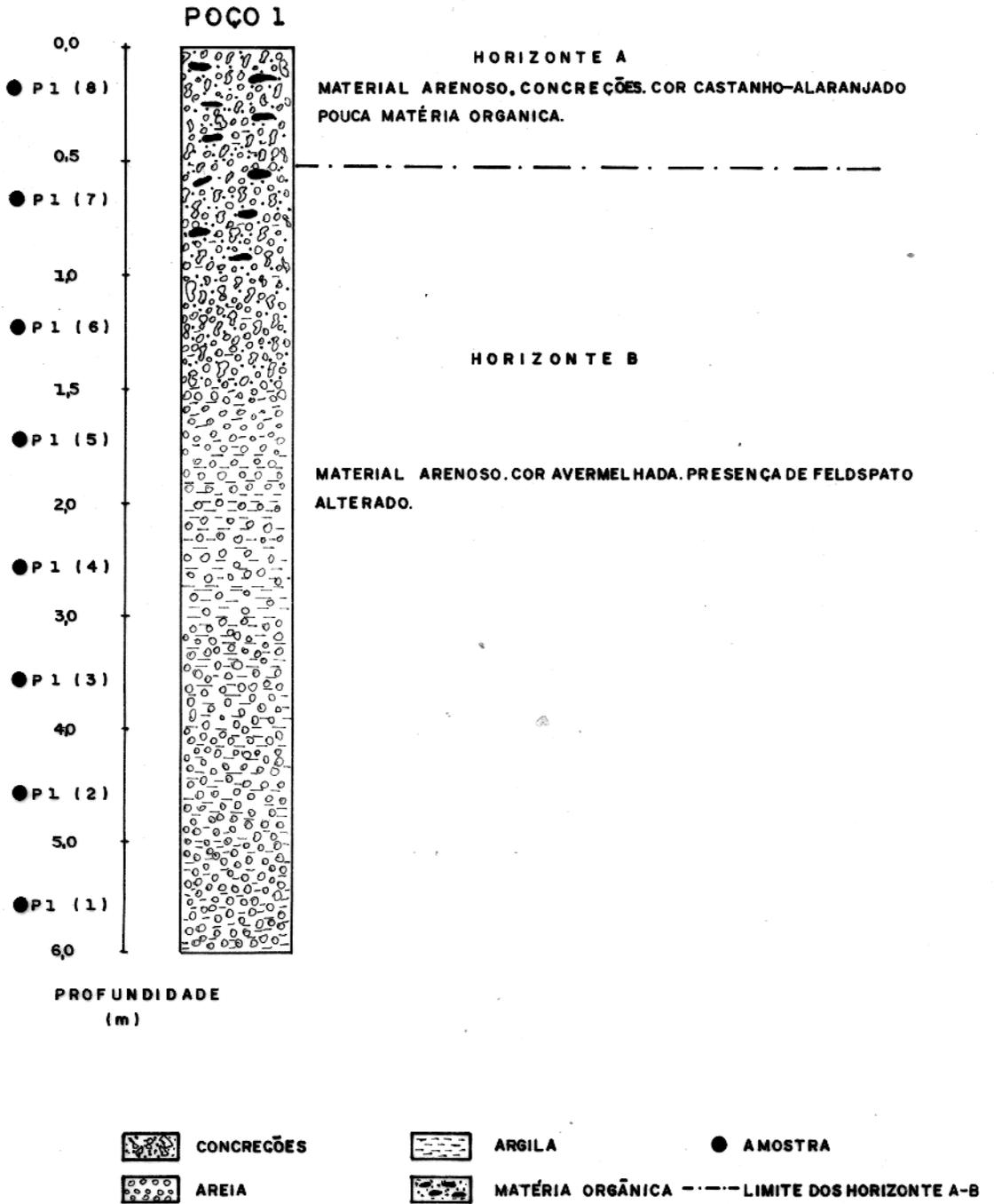
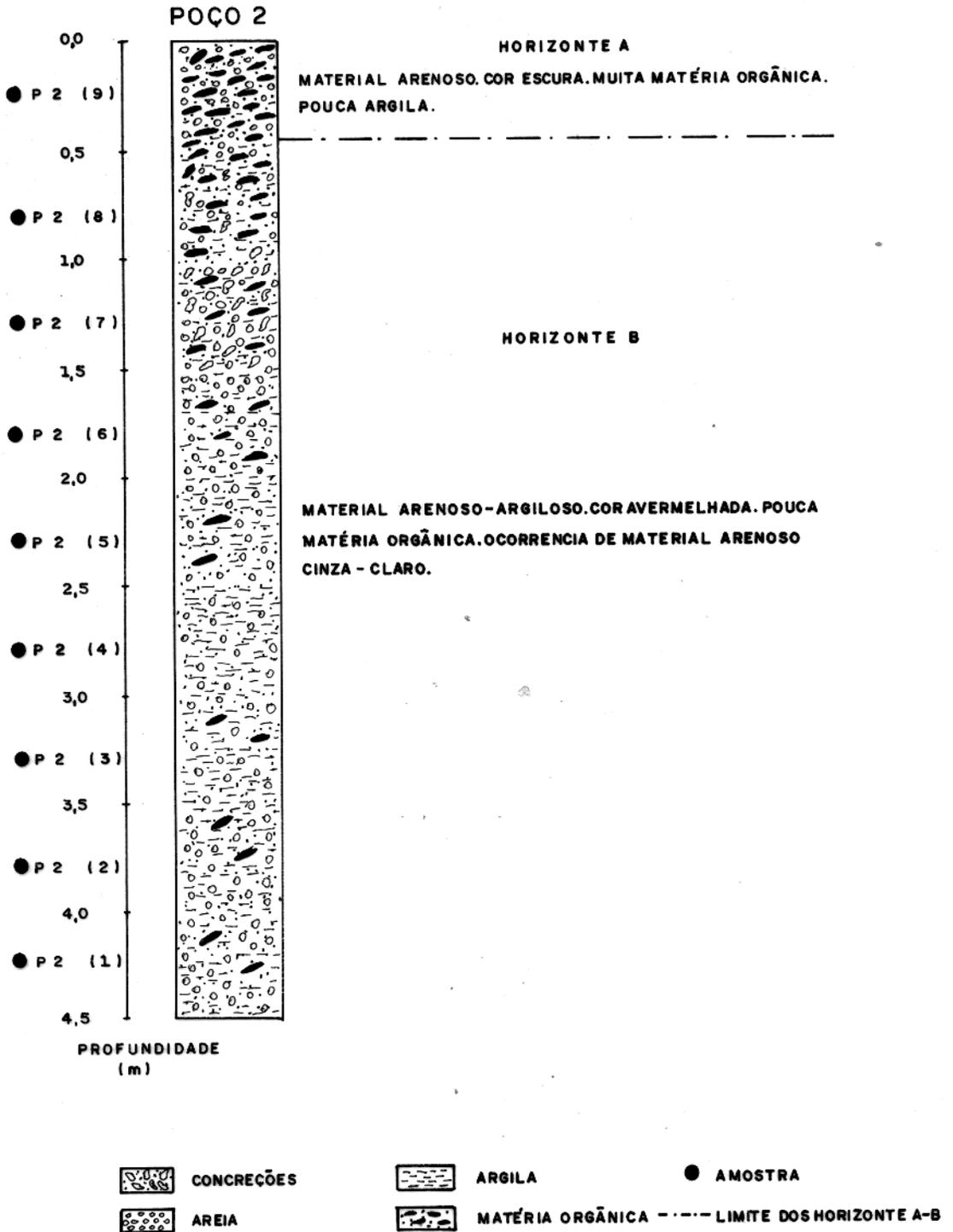


FIG. 2 - DESCRIÇÃO DO PERFIL NO POÇO P1.



CONT. DA FIG. 2 - DESCRIÇÃO DO PERFIL NO POÇO P 2.

veis onde foram coletadas as amostras.

## 1.2. Metodologia de Laboratório

Esta fase consistiu da separação das amostras em diferentes frações, assim como da determinação de suas composições química e mineralógica. Para informação complementar, também foi feita a determinação de acidez atual ao longo dos perfis através da análise de amostras totais.

As diferentes frações das amostras foram divididas em dois grupos chamados de "frações detríticas" e "fração química". No primeiro grupo foram consideradas as frações areia, silte e argila (vide anexo 2, tabela 1), enquanto que no grupo 2 considerou-se os óxidos e hidróxidos secundários de Al, Fe, Ca, Mn, Mg, Cu, Na e K. O fluxograma da figura 3 ilustra o processamento analítico dado às amostras, o qual, a seguir, será enfocado mais detalhadamente.

As amostras foram secas ao ar em recipientes rasos e abertos durante 15 dias. A seguir sofreram uma desagregação mecânica dos aglomerados com um rolo revestido de borracha resistente para posteriormente passarem por peneira de 2 mm em um separador vibratório PRODUTEST durante 20 minutos. Obteve-se assim duas frações das quais a de menor granulometria foi aproveitada e quarterada. Desses quartos, dois foram arquivados, um foi utilizado na determinação potenciométrica do pH do solo (vide anexo 1, proced.1). O quarto restante foi submetido a tratamento com água oxigenada para destruição da matéria orgânica, eliminando-se desse modo maiores interferências nas análises granulométricas subsequentes, embora deva-se salientar que pedaços diminutos de madeira ou raízes foram apenas parcialmente destruídos (vide anexo 1, proced. 2).

Após a destruição da matéria orgânica, a separação da fração química das frações detríticas foi feita por extrações com mistura 1:1 em vol. de ácido oxálico e oxalato de amônio em presença de radiação ultravioleta, até obtenção de solução totalmente descolorida (vide anexo 1, proced. 3). Esta mistura foi usada por se tratar de reagentes que apenas removem os óxidos secundários, não atacando, portanto, a estrutura dos argilo-minerais (Le Riche e Weir, 1963). Como as solubilidades dos cátions divalentes, especialmente do íon cálcio, são extremamente baixas em solução de ácido oxálico, foram feitas duas extrações com  $\text{HC1 } 0,2\text{M}$  para

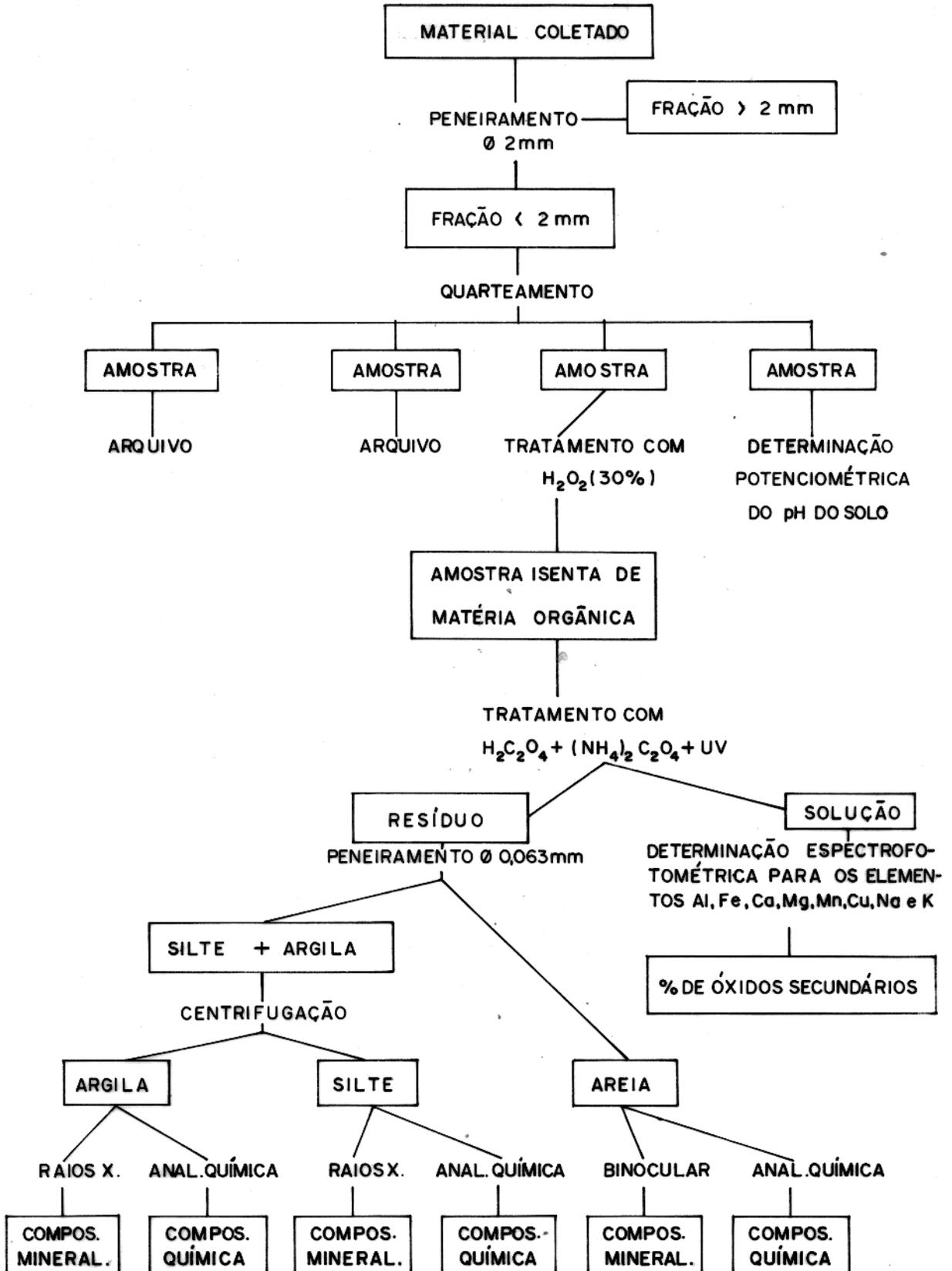


FIG. 3 - FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO ANALÍTICO DADO ÀS AMOSTRAS.

remover do resíduo estes componentes insolúveis (Wakatsuki et alii, 1977) (vide anexo 1, proced. 4).

Os extratos foram então analisados por espectrofotometria de absorção atômica para os elementos Al, Fe, Ca, Mn, Mg, Cu, Na e K, com auxílio de um espectrofotômetro JARRELL ASH modelo 800 (vide anexo 1, proced. 5). Estando a fração química constituída apenas de óxidos e hidróxidos secundários, doravante será referida com a denominação de "fração óxido".

Após a retirada dos óxidos, o material residual foi passado por peneira plástica de malha 0,063 mm e lavado várias vezes com água destilada. A finalidade desse tratamento era isolar a fração areia, a qual posteriormente foi seca em estufa a 110°C, resfriada em dessecador e pesada.

A suspensão proveniente da lavagem da fração areia foi concentrada em filtro de vela acoplado à trompa de vácuo, a fim de se obter melhores condições para separar a argila do silte.

O silte foi separado da argila pelo método da centrifuga, segundo Müller (1967), usando-se para isso um instrumento JANETZKI modelo T-23 e como anti-floculante uma solução a 1% em volume de hidróxido de amônio (vide anexo 1, proced. 6). O resíduo foi removido quantitativamente com água destilada para uma cápsula de porcelana, onde foi seco em estufa a 110°C, resfriado em dessecador e pesado; o material sobrenadante foi coletado também em cápsula de porcelana, seco a 50°C para não destruir a estrutura dos argilo-minerais, resfriado em dessecador e pesado.

Depois de separadas, as diferentes frações foram analisadas quimicamente por absorção atômica para os elementos Al, Fe, Ca, Mn, Mg, Na e K num espectrofotômetro JARRELL ASH Modelo 800; cobre e titânio foram determinados por espectrografia de emissão num instrumento JENA Q-24 e silício por gravimetria. A composição mineralógica dessas frações foi estimada semiquantitativamente para silte e argila por difratometria de raios-X, com auxílio de um difratômetro PW-1050/80; no caso da areia, a estimativa foi feita com lupa binocular CARL-ZEISS Modelo W10x/25. Os métodos utilizados nas análises e expostos neste parágrafo estão descritos no anexo 1, procedimentos 7, 8, 9, 10 e 11.

## 2. APRESENTAÇÃO, TRATAMENTO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 2.1. pH Atual

Os valores de pH atual das amostras coletadas ao longo dos perfis nos poços 1 e 2, estão indicados na tabela 2 do anexo 2. A partir desses valores foi construída a figura 4, mostrando a variação do pH com a profundidade para os dois poços.

A análise da figura 4 demonstra que o material em estudo apresenta um caráter ligeiramente ácido, com valores de pH praticamente constantes. Uma exceção observa-se no intervalo de 0,0 a 0,5 m, onde ocorre um decréscimo do valor do pH no poço 1, enquanto que há um acréscimo no poço 2. Estes comportamentos opostos poderiam estar indiretamente relacionados com os diferentes conteúdos de matéria orgânica na referida profundidade dos perfis (vide pág. 5 e 6, figura 2).

A matéria orgânica desempenha importante papel na formação dos solos dada as suas diferentes formas de reagir com os íons através de queluviação, adsorção e formação de humatos, entre outros. Assim sendo, os teores dos íons  $Al^{3+}$  e  $Ca^{2+}$ , associados ao conteúdo de matéria orgânica nos materiais intemperizados, constituem importante dado para possíveis explicações sobre o pH do meio.

A queluviação do alumínio pela matéria orgânica se processa segundo a reação  $Al^{3+} + 3H_2O = Al(OH)_3 + 3H^+$ . No horizonte A do poço 2 o pH é 5,6 indicando, pela citada reação, que há poucos íons  $Al^{3+}$  livres no material e conseqüentemente pequena quantidade de íons  $H^+$  liberados. Isso leva à conclusão de que o pH, neste caso, não está determinado pelo sistema  $Al^{3+}$  - matéria orgânica, acrescentando-se o fato de que esta ainda pode contribuir para menor acidez pela possível dissociação de seus muitos grupos - OH.

Por outro lado, em áreas cobertas com o mesmo tipo de vegetação aqui estudada, a matéria orgânica é a fonte mais importante no processo de restituição do cálcio ao material intemperizado. Observando-se o quadro a seguir

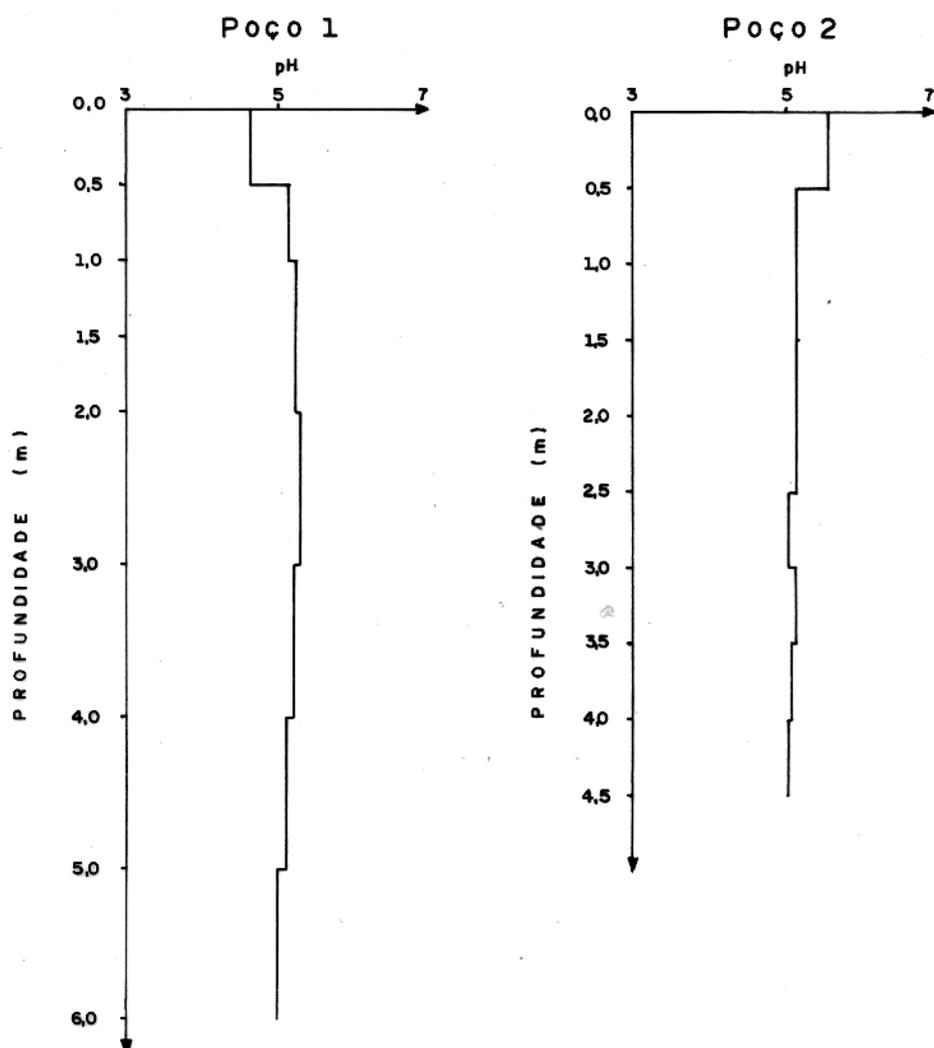


Fig.4 - VARIACÃO DO pH ATUAL COM A PROFUNDIDADE DOS POÇOS 1 E 2.

POÇO	PROFUNDIDADE (m)	pH	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> e %CaO NA FRAÇÃO ÓXIDO (ANEXO 2, TABELAS 4b e 4d)		MATÉRIA ORGÂNICA
1	0,0 - 0,5	4,65	41,32	0,008	menor quantidade
2	0,0 - 0,5	5,60	40,14	0,104	maior quantidade

verifica-se que a quantidade inferior de cálcio substituível no poço 1 não dá para equilibrar a oferta de íons H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>, disso resultando a maior acidez para o horizonte A desse perfil.

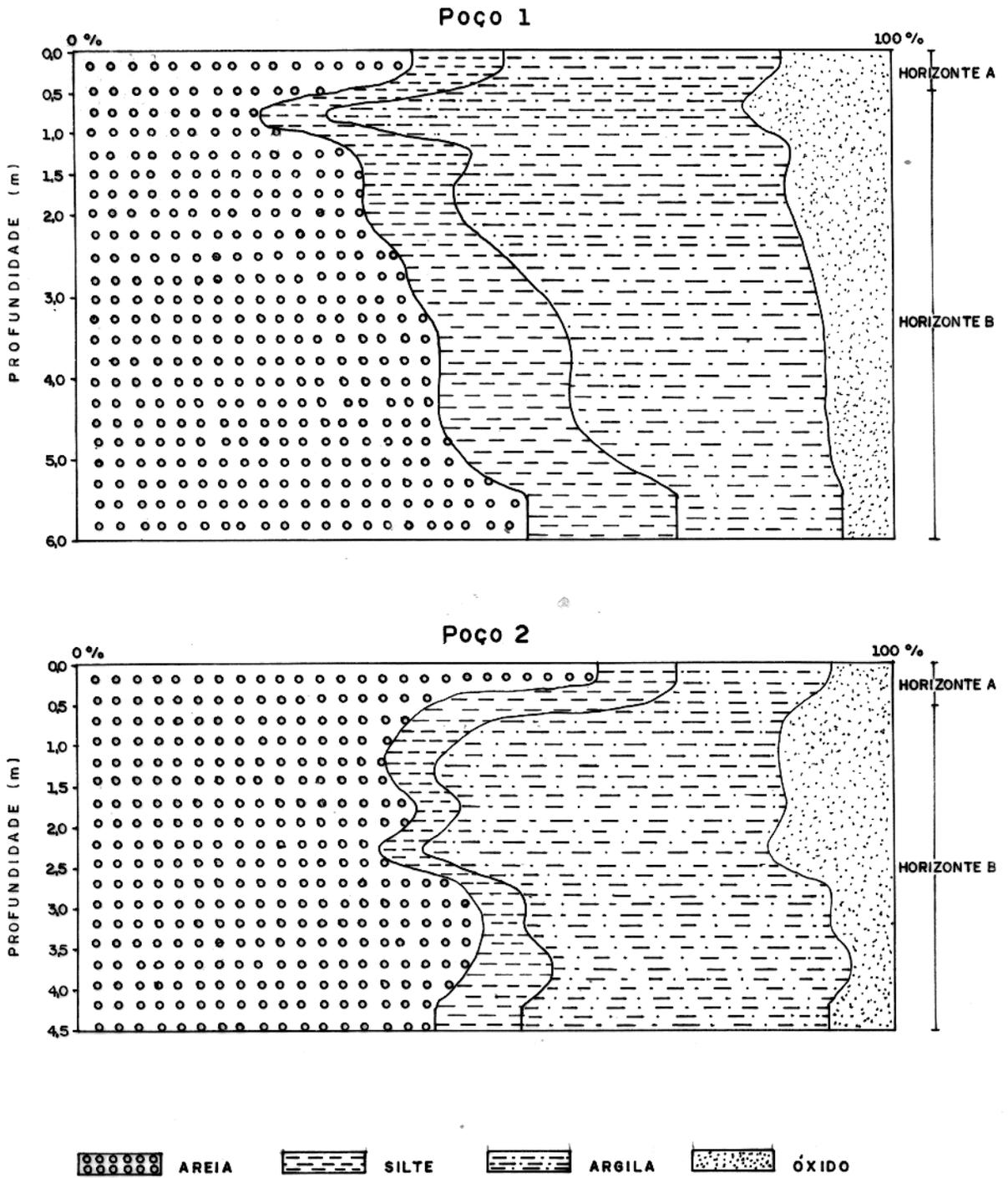
## 2.2. Frações do Material Intemperizado

Os teores das frações areia, silte, argila e óxido, ao longo dos perfis em estudo, são mostrados na tabela 3 do anexo 2. A figura 5 construída com base nestes valores representa a distribuição das citadas frações ao longo dos poços 1 e 2. Observa-se uma semelhança de variação em ambos os perfis. No sentido da superfície, as frações areia e silte decrescem gradualmente no horizonte B e crescem no limite superior do horizonte A. A argila e os óxidos apresentam um comportamento inverso ao dessas frações, mostrando uma zona de acumulação no limite superior do horizonte B e um decréscimo no limite superior do horizonte A.

O horizonte B corresponde a uma área de acumulação de produtos secundários (óxidos, argilo-minerais, etc.), enquanto que o horizonte A, embora acumule humus, constitui uma zona de lixiviação mineralógica, onde argila e óxidos secundários ocorrem em menores quantidades. Assim sendo, a maior acumulação de argila e óxidos evidenciada no horizonte B do poço 2, está relacionada a uma lixiviação mais intensa no horizonte A desse perfil, com conseqüente diminuição dos seus teores neste nível.

## 2.3. Composição Mineralógica das Frações Areia, Silte e Argila

A composição mineralógica das frações areia, silte e



**Fig.5 - DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES AREIA, SILTE, ARGILA E ÓXIDO AO LONGO DOS POÇOS 1 E 2. % EM PESO DAS AMOSTRAS SECAS AO AR.**

argila das amostras foi determinada semiquantitativamente e os resultados estão indicados na figura 6. Verifica-se a presença de quartzo em todas as frações, com predominância na fração areia, como consequência da grande resistência desse mineral aos processos intempéricos. Na fração silte os feldspatos estão ausentes no poço 1 enquanto que no poço 2 se encontram abundantemente.

As quantidades abundantes de feldspatos detetadas na fração silte do poço 2 constituem um fato incomum, não se verificando na literatura ocorrências semelhantes. Entretanto isto sugere a existência de um mecanismo intempérico desconhecido que preserva os referidos feldspatos no tamanho dos grãos da fração em questão, tamanho esse que corresponde a um estágio intermediário precedendo sua completa destruição. Assim, um possível esclarecimento dos citados mecanismos, necessita de maiores subsídios para um estudo mais aprofundado, o que está, portanto, fora do objetivo do presente trabalho.

Em ambos os perfis a caulinita está presente tanto na fração argila como na fração silte. Essa "contaminação" do silte pela caulinita pode ser explicada pelas faixas granulométricas de separação das frações usadas neste trabalho. O limite entre as frações argila e silte é  $2\mu$ , enquanto que a caulinita pode apresentar partículas de até  $4\mu$  (Grim, 1968), sendo possível, portanto, a retenção dela no silte.

A composição mineralógica média do material original, segundo Santos (1978), foi avaliada em cerca de 57% de feldspatos e 35% de quartzo. Essa composição quando comparada com a da figura 6, evidencia um enriquecimento em quartzo, assim como uma diminuição nos teores de feldspatos, confirmando o fato de que o grau de alteração dos minerais depende de sua resistência aos processos intempéricos.

A composição mineralógica das frações, de modo geral, não apresenta grandes variações verticais dentro das faixas aqui adotadas para medir a abundância dos minerais. A fração silte no perfil do poço 2, onde se verifica um decréscimo de caulinita no horizonte A, constitui uma exceção. Isto confirma a maior lixiviação nesse horizonte anteriormente referida.

AMOSTRA	PROFUND. (m)	FRAÇÃO AREIA			FRAÇÃO SILTE			FRAÇÃO ARGILA		
		Q.Z.O.	FELDS.	M. P.	Q.Z.O.	FELDS.	ILITA	Q.Z.O.	CAUL. ILITA	
P1 (8)	00-0,5	●	○	○	●	○	○	○	●	-
P1 (7)	05-1,0	●	○	○	●	-	-	○	●	-
P1 (6)	10-1,5	●	○	○	●	-	○	○	●	○
P1 (5)	1,5-2,0	●	○	○	●	-	-	○	●	-
P1 (4)	20-3,0	●	○	○	●	-	○	○	●	-
P1 (3)	3,0-4,0	●	○	○	●	-	-	○	●	-
P1 (2)	4,0-5,0	●	○	○	●	-	-	○	●	○
P1 (1)	5,0-6,0	●	○	○	●	-	-	○	●	○
P2 (9)	00-0,5	●	○	○	●	○	○	○	●	○
P2 (8)	0,5-1,0	●	○	○	●	○	○	○	●	○
P2 (7)	1,0-1,5	●	○	○	●	○	○	○	●	-
P2 (6)	1,5-2,0	●	○	○	●	○	○	○	●	-
P2 (5)	2,0-2,5	●	○	○	●	○	○	○	●	-
P2 (4)	2,5-3,0	●	○	○	●	○	○	○	●	-
P2 (3)	3,0-3,5	●	○	○	●	○	○	○	●	○
P2 (2)	3,5-4,0	●	○	○	●	○	○	○	●	○
P2 (1)	4,0-4,5	●	○	○	●	○	○	○	●	○

LEGENDA

● Q.Z.O. -QUARTZO  
○ FELDS. FELDSPATOS  
○ M. P. MINERAIS PESADOS  
○ CAUL. CAULINITA

● DOMINANTE 50-100%  
○ ABUNDANTE 10-50%  
○ SUBORDINADO 3-10%  
○ RARO < 3%  
- NÃO DETETADO

Fig. 6 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS FRAÇÕES AREIA, SILTE E ARGILA DAS AMOSTRAS COLETADAS AO LONGO DOS POÇOS 1 E 2.

AMOSTRA	PROFUND. (m)	FRAÇÃO AREIA		FRAÇÃO SILTE		FRAÇÃO ARGILA	
		Q.ZO.	FELDS. M.P.	Q.ZO. CAUL.	FELDS ILITA	Q.ZO. CAUL.	ARGILA ILITA
P1 (8)	0,0-0,5	●	○	○	-	○	●
P1 (7)	0,5-1,0	●	○	○	-	○	●
P1 (6)	1,0-1,5	●	○	○	-	○	●
P1 (5)	1,5-2,0	●	○	○	-	○	●
P1 (4)	2,0-3,0	●	○	○	-	○	●
P1 (3)	3,0-4,0	●	○	○	-	○	●
P1 (2)	4,0-5,0	●	○	○	-	○	○
P1 (1)	5,0-6,0	●	○	○	-	○	○
P2 (9)	0,0-0,5	●	○	○	●	○	○
P2 (8)	0,5-1,0	●	○	○	●	○	○
P2 (7)	1,0-1,5	●	○	○	●	○	-
P2 (6)	1,5-2,0	●	○	○	●	○	-
P2 (5)	2,0-2,5	●	○	○	●	○	-
P2 (4)	2,5-3,0	●	○	○	●	○	-
P2 (3)	3,0-3,5	●	○	○	●	○	○
P2 (2)	3,5-4,0	●	○	○	●	○	○
P2 (1)	4,0-4,5	●	○	○	●	○	○

## LEGENDA

- Q.ZO. - QUARTZO  
 FELDS. FELDSPATOS  
 M.P. - MINERAIS PESADOS  
 CAUL. CAULINITA  
 ● DOMINANTE 50 - 100%  
 ○ ABUNDANTE 10 - 50%  
 ○ SUBORDINADO 3 - 10%  
 ○ RARO < 3%  
 - NÃO DETETADO

Fig. 6 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS FRAÇÕES AREIA, SILTE E ARGILA DAS AMOSTRAS COLETADAS AO LONGO DOS POÇOS 1 E 2.

## 2.4. Distribuição dos Elementos nas Frações (\*)

Os teores dos elementos Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, Ti, Cu, K e Na obtidos a partir das análises químicas das frações areia, silte, argila e óxidos são mostrados nas tabelas 4a, 4b, 4c e 4d do anexo 2, expressos percentualmente sob a forma de seus óxidos. Esses valores foram recalculados para 100%, estando representados nas figuras 7a, 7b, 7c e 8(\*\*). Nas três primeiras figuras as composições químicas das frações são plotadas em conjunto com suas respectivas composições mineralógicas.

### Fração Areia

A figura 7a mostra que a composição da fração areia é constituída fundamentalmente de sílica, com valores superiores a 95% devido principalmente à dominância de quartzo na composição mineralógica. As ligeiras variações desse componente ao longo do perfil, estão relacionadas com a presença de pequenas quantidades de feldspato na fração.

A presença do alumínio em teores de até 1,8% de  $Al_2O_3$  revela que na composição mineralógica desta fração os feldspatos somente poderiam ocorrer em quantidades subordinadas. Este fato está de acordo com os resultados obtidos na análise mineralógica.

O ferro apresenta pequeno aumento em seus teores. Considerando que a presença desse elemento na fração areia pode ser atribuída principalmente aos minerais pesados, tais como ilmenita e magnetita, e, sendo estes pouco sensíveis ao intemperismo, suas concentrações relativas aumentam com a diminuição da profundidade.

Os elementos cálcio e magnésio apresentam baixos teores e amplas variações. Os baixos teores desses elementos atri

(\*) As variações dos elementos ao longo dos perfis, neste item, são discutidas no sentido da menor profundidade.

(\*\*) Para efeito de comparação, foram usadas escalas iguais para o mesmo elemento, na mesma fração.

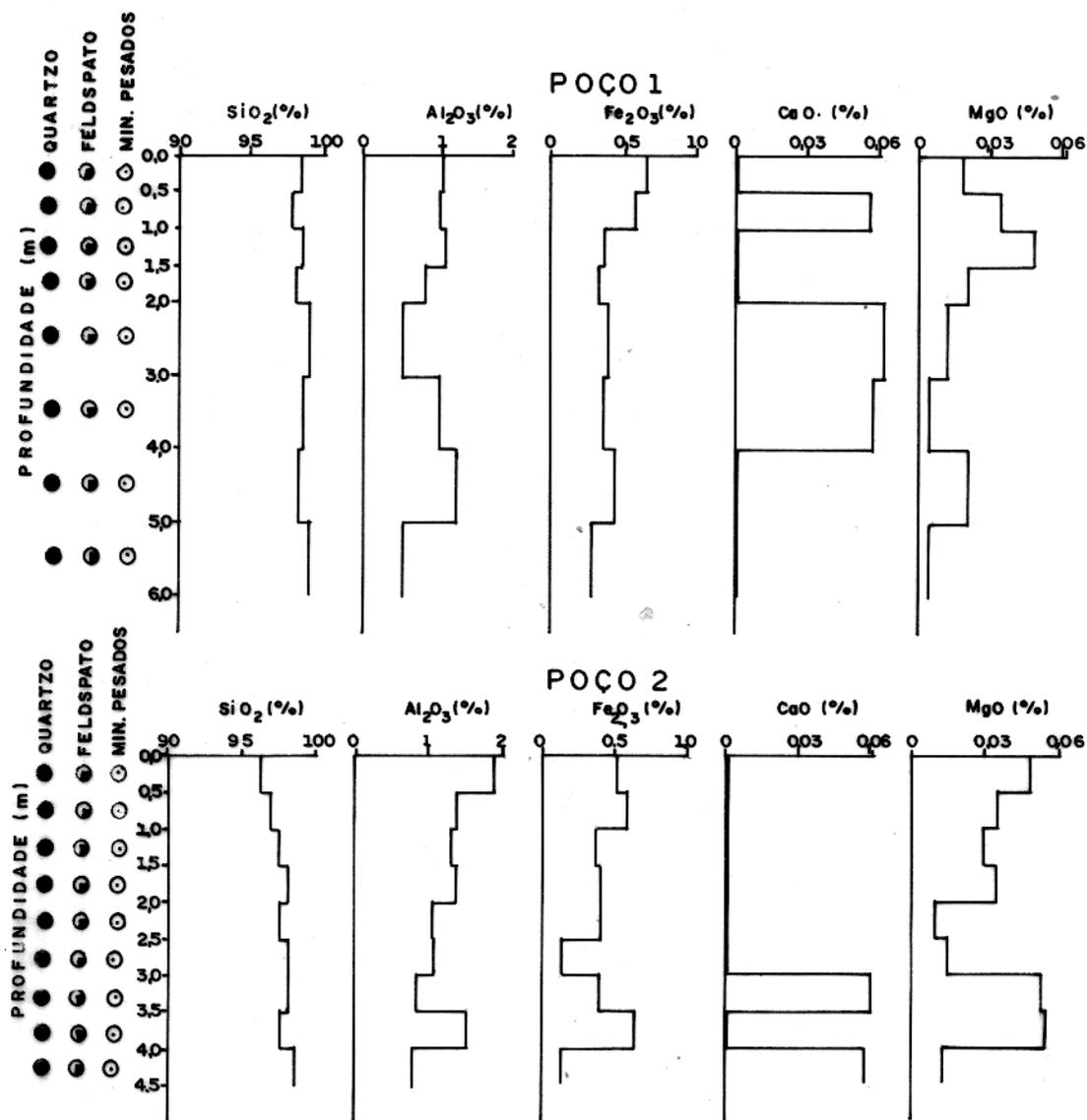
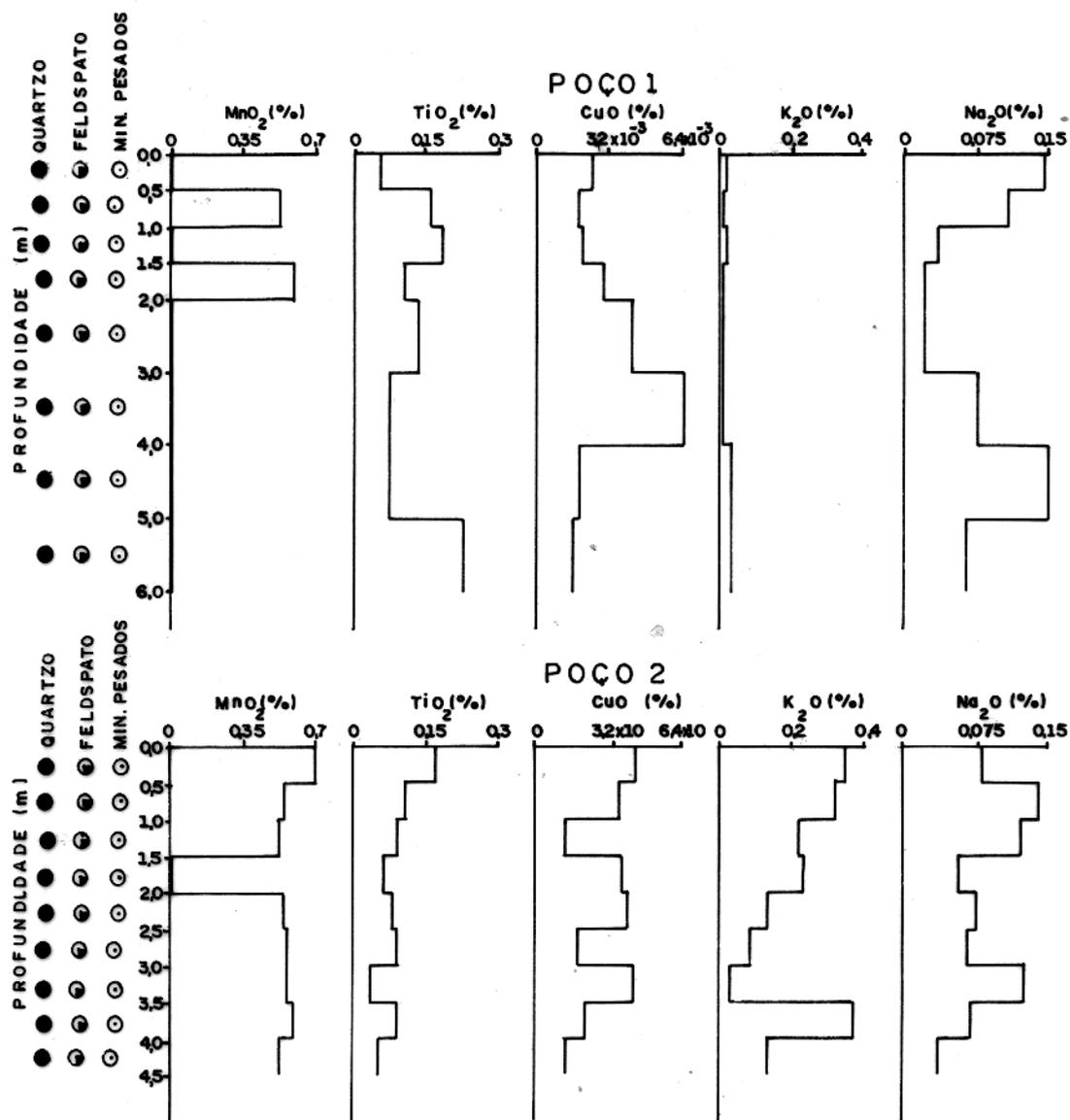


FIG. 7a- VARIAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES QUÍMICA E MINERALÓGICA DA FRAÇÃO AREIA COM A PROFUNDIDADE. POÇOS 1 E 2.



CONT. DA FIG.7a  
 - VARIAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES QUÍMICA E MINERALÓGICA DA FRAÇÃO AREIA COM A PROFUNDIDADE. POÇOS 1 E 2.

buem-se à instabilidade dos silicatos que os contêm os quais foram grandemente decompostos.

Em ambos os poços o manganês e o cobre ocorrem em pequenos teores. A presença desses elementos na fração areia é atribuída à inclusão nas formas reliquias de silicatos tais como anfibólio e biotita existentes no material original. O Mn também pode estar presente nos raros grãos de turmalina encontrados (Rankama e Sahama, 1954). As variações desses elementos ao longo dos perfis são inexpressivas para maiores considerações.

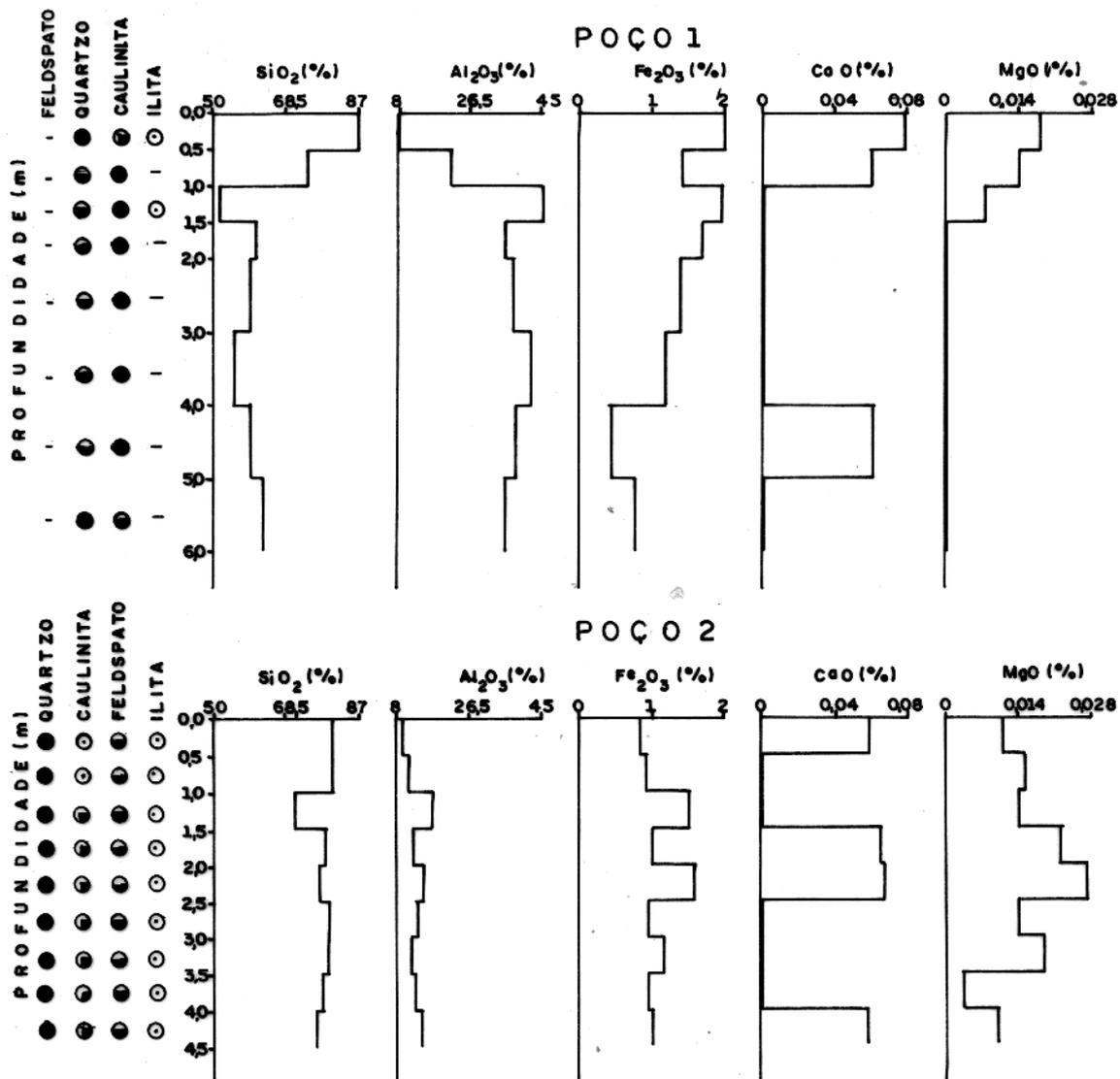
O titânio apresenta comportamentos diferentes: decresce no poço 1 e cresce no poço 2. Sua presença na fração areia deve-se principalmente à ocorrência de ilmenita e rutilo detetados na análise mineralógica. No poço 2, o comportamento do elemento em questão é considerado normal, já que os minerais pesados, mais resistentes que o quartzo, tendem a uma maior concentração relativa durante o intemperismo. No poço 1, o decréscimo observado poderia estar relacionado com uma maior importância da biotita como mineral hospedeiro do titânio na rocha original.

A presença de potássio e sódio em baixos teores deve-se à ocorrência de feldspatos em quantidades subordinadas. Como o alumínio também está contido nos feldspatos, as curvas desses três elementos apresentam "trends" semelhantes.

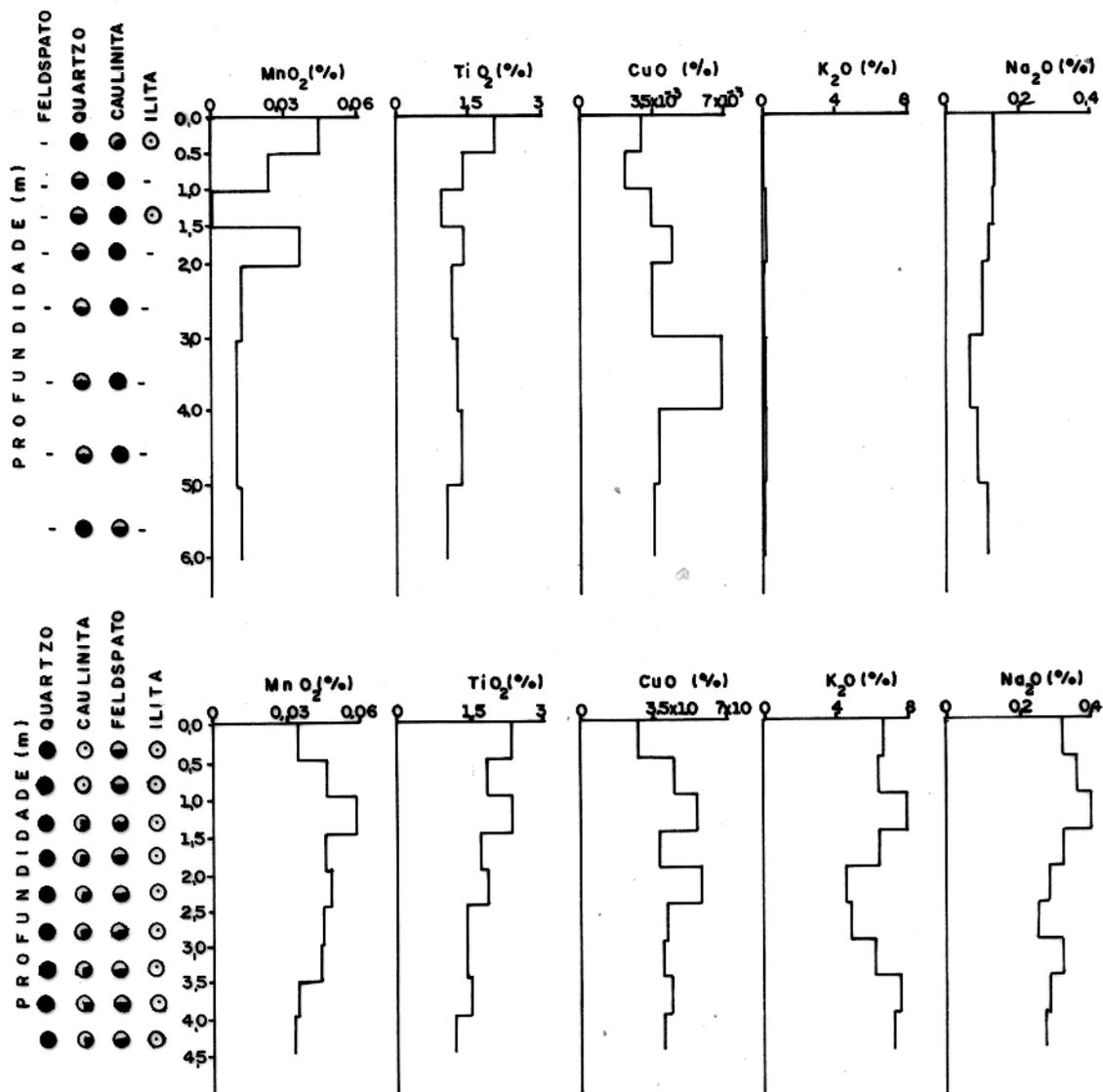
A figura 7a mostra conteúdos muito baixos de potássio no poço 1, dando uma relação  $K=0,2Na$ , enquanto que no poço 2 essa relação é de  $K=2,7Na$ . Uma comparação desses valores com a relação  $K=2Na$  da rocha original (Almeida, 1980), demonstra comportamentos bastante diferentes do potássio nos dois perfis. O enriquecimento relativo do potássio na fração areia do poço 2 estaria relacionado à maior resistência dos K-feldspatos do que dos Na-feldspatos aos processos intempéricos. Os baixos teores desse elemento no poço 1 estão relacionados com a presença no local de um fácies mais rico em Na-feldspatos.

#### Fração Silte

A composição mineralógica desta fração mostra a caulinita como dominante no poço 1, enquanto que no poço 2 se encontra em quantidade subordinada, sofrendo porém, um decréscimo no topo de ambos os perfis. Em consequência disto, há um aumento relativo nos teores de quartzo.



**FIG.7b- VARIAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES QUÍMICA E MINERALÓGICA DA FRAÇÃO SILTE COM A PROFUNDIDADE. POÇOS 1 E 2.**



CONT. DA FIG. 7b  
 - VARIACÃO DAS COMPOSIÇÕES QUÍMICA E MINERALÓGICA DA FRAÇÃO  
 SILTE COM A PROFUNDIDADE. POÇOS 1 E 2.

No poço 1 o alumínio está contido na caulinita e o silício no quartzo, encontrando-se a distribuição desses elementos acompanhando a variação da mineralogia. Os teores de silício na figura 7b crescem para o limite superior do horizonte A, crescimento este que se explica pelo aumento da concentração relativa do quartzo devido a maior lixiviação que sofre o referido horizonte. No horizonte B, a distribuição desse elemento está determinada pelas diferentes proporções de quartzo e caulinita verificadas na composição mineralógica do perfil. Este fato é comprovado pela distribuição do alumínio que apresenta trend oposto ao do silício: cresce no horizonte B e decresce no horizonte A.

No poço 2 o alumínio está contido nos feldspatos e caulinita, enquanto que o silício, embora presente nesses minerais, se concentra principalmente no quartzo. Assim, a variação da composição mineralógica do perfil leva os elementos alumínio e silício a uma distribuição semelhante à do poço 1 em trends menos acentuados.

Os teores de ferro aumentam ao longo do perfil 1, face a maior resistência ao intemperismo dos minerais que o contêm, tais como a ilmenita e magnetita detetados na rocha original. No perfil 2, a distribuição deste elemento é um tanto irregular e tem seus menores valores no intervalo de 1,0 a 0,0 metro e, por este motivo, atribui-se seu conteúdo principalmente à um material residual ocluído na caulinita.

A análise mineralógica quantitativa desta fração não permitiu a determinação dos teores de minerais pesados, uma vez que estes se encontravam abaixo do limite de detecção, 3%, do instrumento utilizado. Assim, a presença de titânio revelada por análise espectrográfica, seria aqui relacionada principalmente com a ocorrência de minerais pesados, tais como ilmenita e rutilo, os quais foram encontrados tanto no material original quanto na fração areia. Observa-se que esse elemento apresenta um crescimento dos seus teores em ambos os perfis, fato este que reforça a atribuição do seu conteúdo à presença dos minerais pesados, eliminando, dessa forma, uma possível adsorção ou mesmo oclusão nos argilo-minerais, já que no intervalo de 1,0 a 0,0 metro diminuem os teores de caulinita. Em ambos os perfis os conteúdos de cálcio e magnésio não apresentam trends definidos, variando de zero a um valor muito pequeno, o que se constitui insuficiente para maiores

considerações acerca do seu comportamento na presente fração.

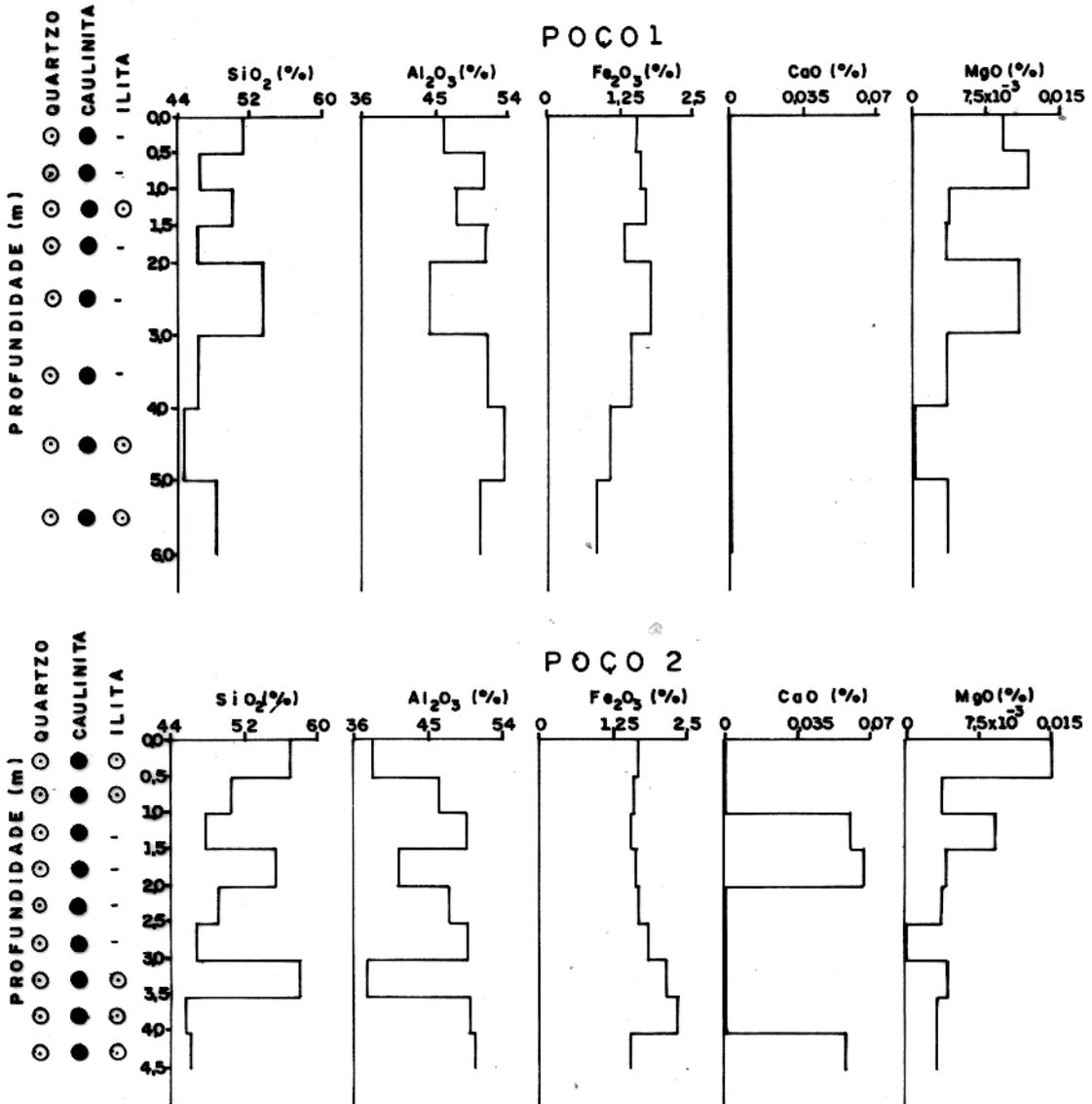
Quando se faz uma comparação entre os dois perfis, observa-se que o sódio e potássio mostram um comportamento diferente, acrescentando-se o fato de que o poço 2 tem maiores conteúdos desses elementos. Uma vez que suas distribuições no poço 2 estão ligadas principalmente à presença dos feldspatos e à adsorção nos argilo-minerais, e sendo os teores de potássio muito mais elevados que os de sódio, pode-se concluir que a ocorrência de K-feldspatos neste perfil é maior que a de Na-feldspatos devido a maior resistência daqueles aos processos intempéricos (Rankama e Saha ma, 1954). Quanto ao poço 1, observa-se que no intervalo de 1,0 a 0,0 m. decrescem os teores de potássio enquanto que há um acréscimo nos teores de sódio (vide anexo 2, tabela 4a). Este comportamento estaria relacionado à maior adsorção do sódio nos argilo-minerais, provavelmente devido a uma maior disponibilidade deste elemento. Os baixos conteúdos de sódio e potássio no poço 1 reforçam a afirmativa de que este perfil foi mais suscetível aos processos intempéricos.

O comportamento do cobre e manganês pode ser explicado da mesma forma que a usada para a fração areia.

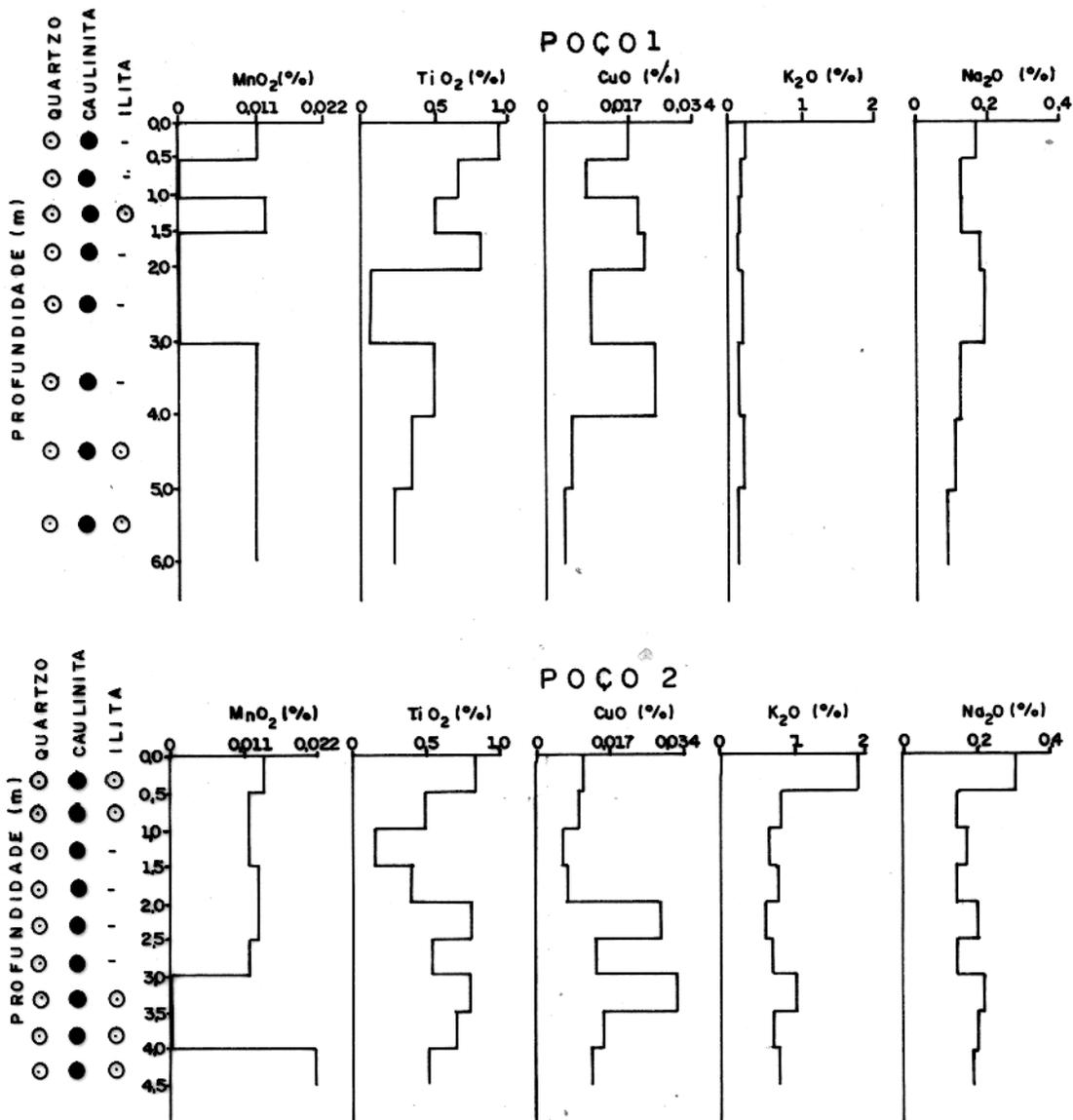
#### Fração Argila

Em ambos os perfis a composição mineralógica desta fração indica ser a caulinita dominante e o quartzo raro, mantendo esses minerais uma proporção antipatética entre si. Observa-se na figura 7c que o silício e o alumínio se distribuem em trends opostos e, assim sendo, atribui-se suas variações relativas à presença de quartzo em quantidades variáveis ao longo dos perfis.

Para trazer subsídios à discussão dos elementos Fe, Ti, Na, K, Ca, Mg, Mn e Cu na fração argila convém chamar atenção a dois fatos que de certa forma regulam a maior ou menor retenção desses elementos nesta fração. O primeiro refere-se à ocorrência da caulinita no estado coloidal que facilita a adsorção e oclusão de detritos e outros materiais residuais. O outro tem a ver com a disponibilidade dos elementos controlando a maior ou menor produção de minerais secundários durante os processos de alteração. Já foi visto anteriormente que a presença do titânio é atribuída à existência de rutilo e ilmenita no material. O rutilo usualmente ocorre em pequenos cristais prismáticos ou aciculares e em grãos; também pode ocorrer como um mineral detrítico. Por outro lado, a ilme



**FIG.7c- VARIACÃO DAS COMPOSIÇÕES QUÍMICA E MINERALÓGICA DA FRAÇÃO ARGILA COM A PROFUNDIDADE. POÇOS 1 E 2.**



CONT. DA FIG. 7c  
 - VARIAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES QUÍMICA E MINERALÓGICA DA FRAÇÃO ARGILA COM A PROFUNDIDADE. POÇOS 1 E 2.

nita pode formar grãos e massas irregulares. Na fração argila em questão, a disponibilidade relativamente grande de titânio, assim como as formas de ocorrência de seus minerais, principalmente em grãos reliquiais menores que 0,002 mm, facilitariam uma oclusão ou adsorção desse elemento nos densos agregados de caulinita, justificando dessa maneira sua permanência na fração. Da mesma maneira os consideráveis valores de ferro podem ser explicados por uma oclusão nos argilo-minerais, forma essa que impossibilitou o ataque pela mistura extratora, quando foi feita a remoção da fração óxido. A caulinita é um dos mais comuns argilo-minerais que ocorre como produto de alteração das rochas ígneas, particularmente pela decomposição dos feldspatos. Assim, os conteúdos de sódio e potássio nesta fração devem-se à sua remoção do material original em solução e posterior oclusão ou adsorção na caulinita, estando seus teores de acordo com o esperado nos produtos intempéricos, isto é, há maior retenção de potássio devido seu maior raio iônico.

Os elementos cálcio, magnésio, manganês e cobre nesta fração ocorrem em teores muito pequenos. Sua distribuição ao longo dos perfis é explicada por fenômenos de adsorção, oclusão ou substituição, esta última em pequena escala dada a dificuldade de substituições desses elementos na caulinita (Mc Bride, 1978).

#### Fração Óxido

A figura 8 mostra que os teores de alumínio e ferro são bastante elevados, juntos alcançando até 98,8% do total dos óxidos. Conseqüentemente, esses elementos são os principais constituintes desta fração.

Segundo Krauskopf (1972), os minerais argilosos não são verdadeiramente produtos finais do intemperismo, e sim substâncias intermediárias metaestáveis formadas durante a lenta de composição dos minerais alumino-silicatados em seus óxidos. Por outro lado, hidróxidos de alumínio podem ser precipitados a partir das soluções intersticiais. Estes fatos constituem duas hipóteses para justificar a ocorrência dos elevados teores de alumínio sob a forma de óxidos:

- a) O  $Al_2O_3$  seria um produto de decomposição num estágio mais avançado dos minerais argilosos;
- b) O  $Al_2O_3$  seria resultado de uma precipitação de alu

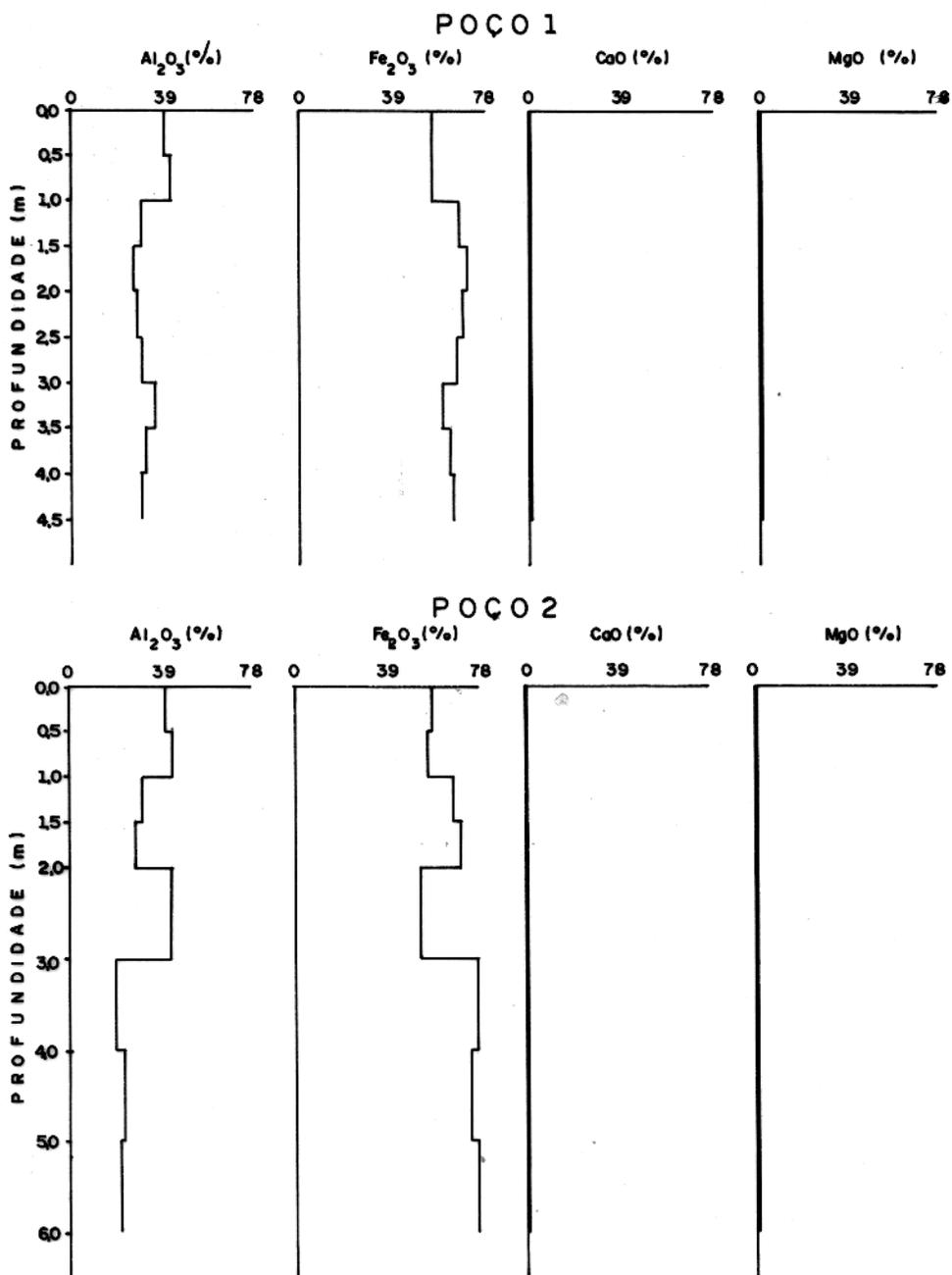
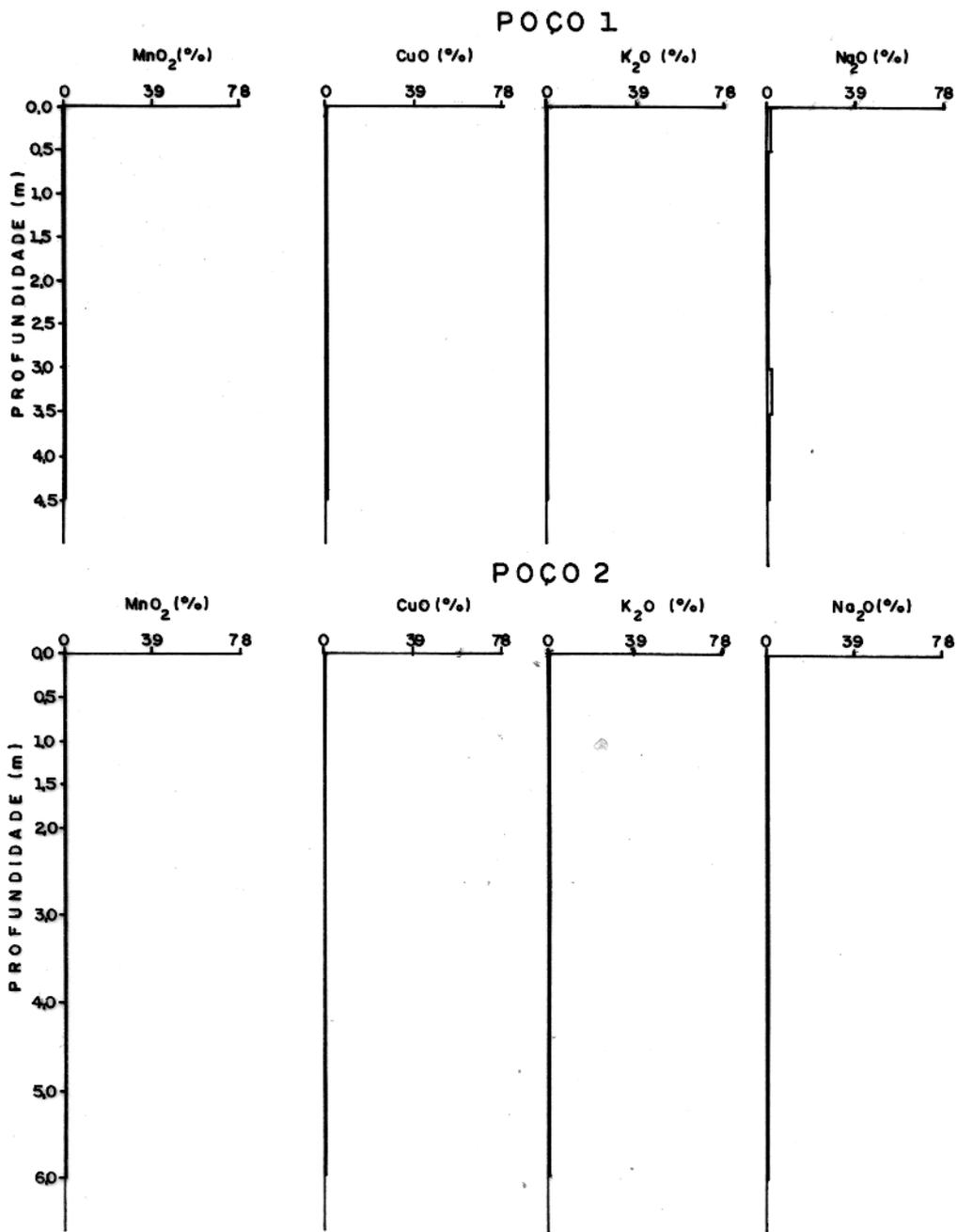


FIG. 8 - VARIACÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA FRAÇÃO ÓXIDOS COM A PROFUNDIDADE. POÇOS 1 E 2.



CONT. DA FIG. 8  
 - VARIACÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA FRAÇÃO ÓXIDOS COM A  
 PROFUNDIDADE. POÇOS 1 E 2.

mínio como  $Al(OH)_3$ , diretamente subsequente à de  
composição dos feldspatos.

Nossos resultados durante este estudo (vide item 2.5 a seguir) revelaram a viabilidade simultânea das hipóteses acima referidas, as quais são reforçadas pelas condições climáticas e topográficas, além da ligeira acidez do material em estudo. Essas condições favorecem uma remoção mais completa da sílica, deixando óxidos hidratados de ferro e alumínio como principais resíduos i norgânicos.

No granito, os minerais primários que contém ferro to talizam cerca de 4%, estando distribuídos principalmente entre biotita e hornblenda (Almeida, 1980). Durante o curso do intempe rismo o  $Fe^{2+}$  é retirado dos minerais que o contém. Depois é oxida do a  $Fe^{3+}$  pelo  $O_2$  contido nas águas meteóricas, para as quais pas sa sob a forma iônica e se hidrolisa, formando óxidos cuja persis tência nos produtos intempéricos pode ser explicada pelas suas baixas solubilidades sob condições oxidantes (Garrels e Mc Kenzie, 1971).

De modo generalizado, os constituintes desta fração são finíssimas partículas, resultantes da decomposição dos mine rais primários, as quais se depositaram capeando a superfície ou reentrâncias dos produtos intemperizados de maior granulometria . Assim sendo, as variações nos teores dos demais elementos devem-se tanto às suas concentrações nas soluções intersticiais como tam bém à estabilidade de seus produtos intermediários em relação ao meio considerado.

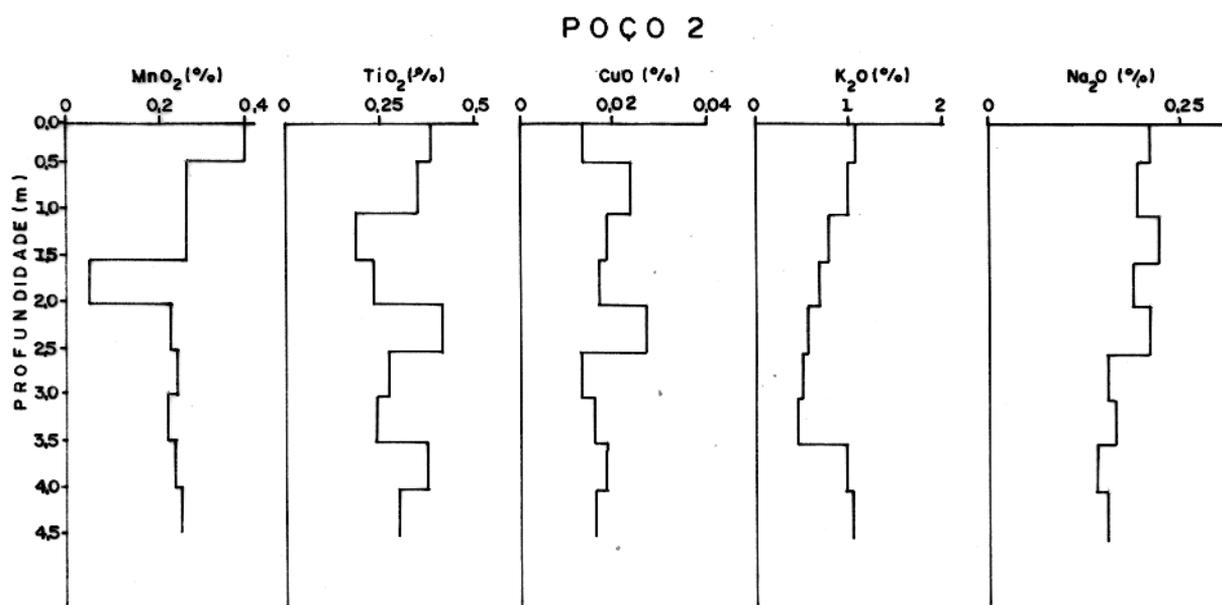
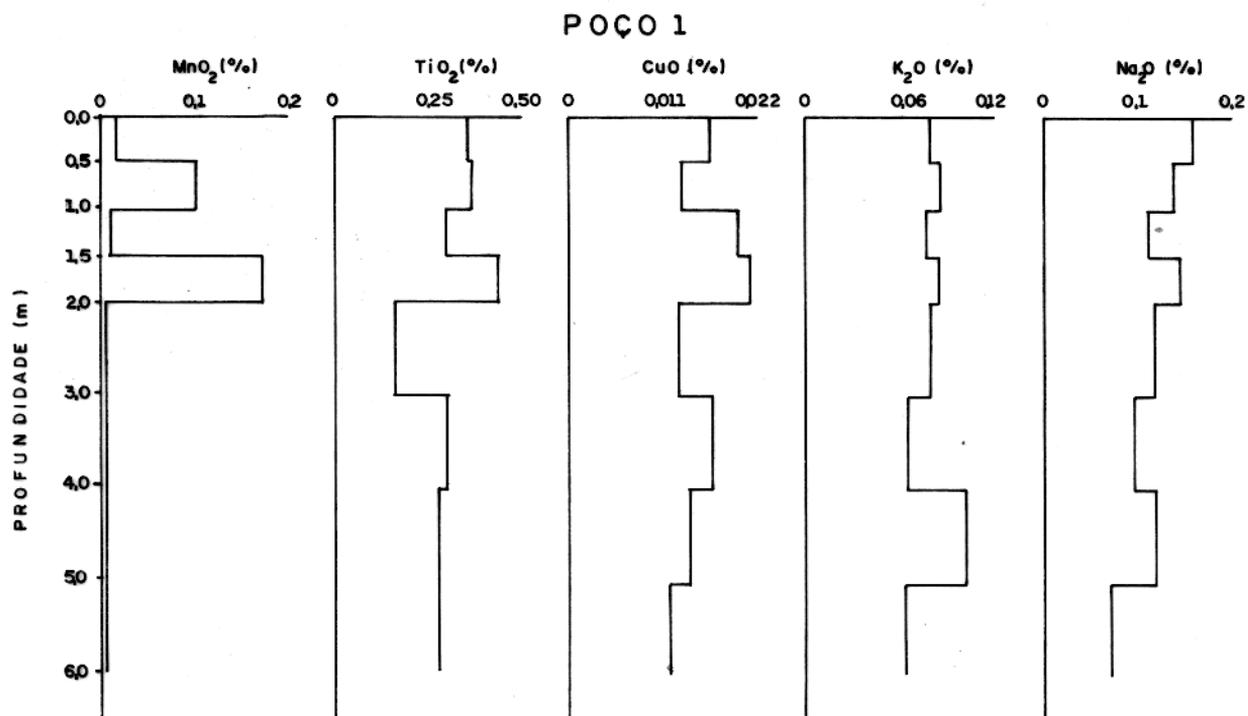
## 2.5. Distribuição dos Elementos ao Longo dos Perfis

A distribuição dos elementos Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ti, Cu, K e Na ao longo dos perfis, é mostrada na tabela 5 do anexo 2 e figura 9. Os valores apresentados equivalem às amostras totais e correspondem à soma dos teores dos elementos nas frações areia, silte, argila e óxido, proporcionais a cada fração, segundo a equação: 
$$\sum \frac{\% \text{ do Elemento na Fração} \times \% \text{ da Fração na amostra}}{100}$$

100

A distribuição do silício evidencia um decréscimo con tínuo em direção à superfície, com valores na maior profundidade





CONT. DA FIG. 9  
- DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS AO LONGO DOS PERFIS. POÇOS 1 E 2.

próximos aos da rocha original (71,71%), enquanto que no topo do perfil alcançam 41% e 56% nos poços 1 e 2, respectivamente. Tendo em vista que a composição modal do material original contém em média 36% de quartzo (Santos, 1978), e que o material primário contido na fração areia é predominantemente quartzo, o comportamento do silício é atribuído principalmente à conservação do quartzo e à uma dessilicificação dos demais silicatos com formação de argilo-minerais mais pobres no referido elemento. Os teores de alumínio e ferro mostram um ligeiro enriquecimento quando comparados com os valores do granito, 11,95% e 3,94% respectivamente (Almeida, 1980). Observa-se ainda na figura 9 que os maiores conteúdos desses elementos estão localizados na parte superior do horizonte B, o qual corresponde a uma zona de acumulação de produtos secundários. A distribuição do alumínio e do ferro está relacionada com a formação dos argilo-minerais e hidróxidos estáveis.

Os valores de cálcio, de modo geral, sofrem uma diminuição no sentido da menor profundidade, o que se atribui à instabilidade dos silicatos que os contêm, tais como anfibólio (hornblenda) e plagioclásio (oligoclásio) detetados na rocha original. O magnésio mostra um aumento nos seus teores, os quais se acham mais concentrados na fração óxido. Os teores de cálcio e magnésio quando comparados com os do material original, 1,68% e 0,34% respectivamente, Almeida (1980), indicam uma intensa remoção destes elementos, durante o intemperismo.

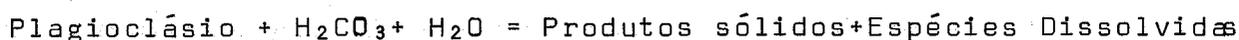
Ao longo dos perfis, os teores de titânio estão mais concentrados na fração silte e, de modo geral, não diferem muito do conteúdo de 0,34% desse elemento no granito Almeida (1980). Este fato é atribuído principalmente à estabilidade dos minerais resistentes que contêm titânio, tais como ilmenita e rutilo. Esses minerais foram detetados no granito e na fração areia por meios óticos e por certo estão também presentes na fração silte.

O elemento cobre na rocha mãe contém valores situados em torno de  $6 \times 10^{-3}\%$  (Almeida, 1980). Esses valores, quando comparados com os do material intemperizado, indicam neste último um enriquecimento nesse elemento, o que pode ser explicado pela adsorção nos argilo-minerais.

No poço 1 os conteúdos de potássio encontram-se retidos principalmente nas frações argila e silte por adsorção ou o

clusão nos argilo-minerais, estando seu comportamento de acordo com a distribuição dessas frações ao longo do perfil. No poço 2 os teores de potássio se concentram mais na fração silte devido às quantidades abundantes de K-feldspato presente. A distribuição desse elemento acompanha os conteúdos de silte no perfil.

Os teores de sódio mostram um crescimento no sentido da menor profundidade e, em ambos os perfis, a maior concentração desse elemento está nas frações argila e óxido. Isto deve-se à liberação do sódio durante a alteração dos Na-feldspatos pela ação das soluções intempéricas, segundo a reação

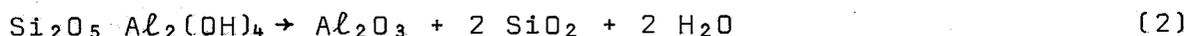
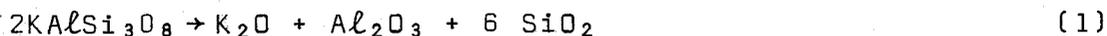


ficando retido nas citadas frações.

Os conteúdos de potássio e sódio no granito são cerca de 5,1% e 2,5%, respectivamente, Almeida (1980). Esses valores, quando comparados com os dos perfis, evidenciam uma intensa lixiviação dos referidos elementos (vide anexo 2, tabela 5).

No poço 1 o manganês está proporcionalmente mais concentrado na fração óxido, enquanto que no poço 2 seus maiores teores se encontram nas frações areia e óxido estando de acordo, portanto, com o caráter insolúvel dos óxidos e maior resistência dos minerais pesados. As variações ao longo dos dois perfis podem ser explicadas pelo maior ou menor grau de adsorção do Mn nos argilo-minerais, pelas diferentes proporções de minerais detríticos (por exemplo, turmalina) e obviamente pelas diferentes quantidades de óxidos de Mn produzidas.

A composição química das diferentes frações analisadas e suas proporções nas amostras, permitiram a partir das relações estequiométricas do K-feldspato e caulinita com os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  calcular o conteúdo desses minerais associado aos óxidos secundários de alumínio ao longo dos perfis, segundo as equações (1) e (2). As quantidades de ilita e minerais pesados foram consideradas desprezíveis. Os resultados desses cálculos são apresentados no anexo 2, tabela 6 e figura 10.



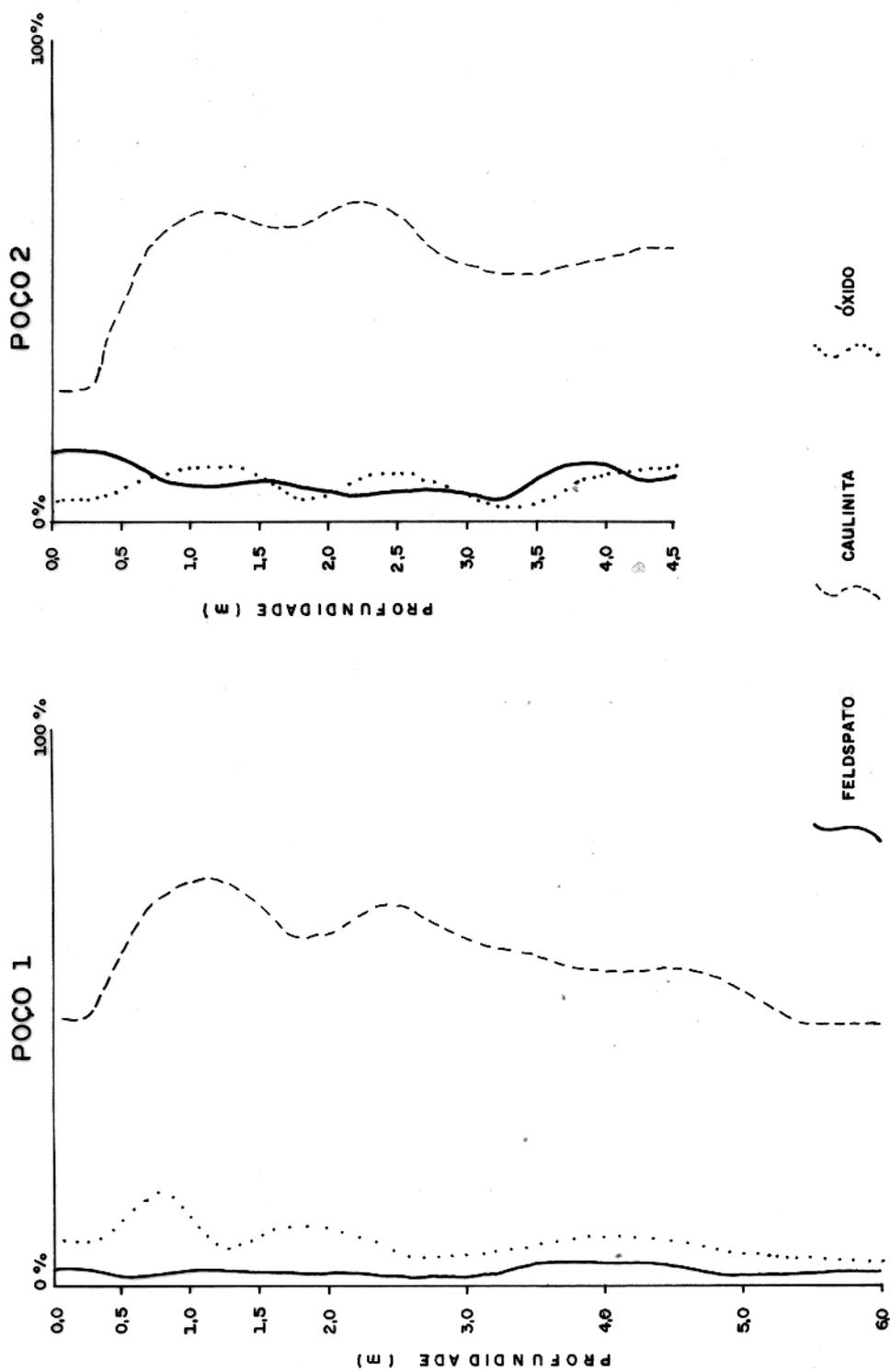


Fig. 10 -- CONTEÚDOS DE FELDSPATO, CAULINITA E ÓXIDO DE ALUMÍNIO AO LONGO DOS PERFIS 1 E 2 EXPRESSOS EM FUNÇÃO DOS TEORES DE  $Al_2O_3$  NAS FRAÇÕES.

O diagrama 10 indica a presença de feldspato em quantidades muito pequenas e bem abaixo dos valores em torno de 57% existentes no material original (Santos, 1978). Esse fato evidencia a forte ação do intemperismo nos perfis.

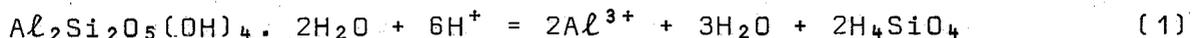
As grandes quantidades de caulinita, evidenciadas na figura 10, assim como os teores de  $Al_2O_3$  livre nos perfis, podem ser explicados segundo duas teorias (Krauskopf, 1972):

- a) os minerais argilosos, formados primeiramente por alteração dos feldspatos, se decompõem posteriormente em seus óxidos;
- b) a alumina e a sílica formam-se diretamente a partir dos minerais originais e os minerais argilosos são resultado da sua recombinação.

Trabalhos experimentais de Busenberg (1978) sobre a interação dos feldspatos com soluções aquosas, demonstram a seguinte seqüência de processos de intemperismo a partir da reação plagioclásio +  $H_2CO_3$  +  $H_2O$ :

- a) em um primeiro estágio forma-se gibbsita microcristalina em equilíbrio com a solução;
- b) com a crescente dissolução dos feldspatos, surge uma fase sólida com uma relação Si:Al=1 identificada como halloisita. Esse mineral controla as atividades do silício e do alumínio na solução, na qual se verifica um excesso de ácido silícico, o que leva ao desaparecimento da gibbsita formada no 1º estágio.

A formação de caulinita a partir da decomposição dos feldspatos seria explicada pela dissolução desses minerais, dando uma solução em equilíbrio com argila, de acordo com a equação (1).



Com a contínua solubilização dos feldspatos, um excesso de ácido silícico deslocaria a reação (1) para a esquerda, fixando o alumínio da solução e formando mais caulinita. Se a dissolução dos feldspatos fosse pequena, não ocorreria formação de caulinita, podendo o alumínio atingir saturação e precipitar na

forma de gibbsita segundo a equação (2), como demonstram os trabalhos experimentais de Busenberg (1978).



Em condições de clima tropical úmido, com períodos chuvosos e secos definidos, a dissolução dos feldspatos conduziria à formação de caulinita nos períodos de estiagem e hidróxidos nos períodos úmidos. Durante os períodos secos, evidentemente, a dissolução dos feldspatos é menor, porém as soluções são mais concentradas. Nos períodos chuvosos, embora a dissolução dos feldspatos seja maior, a produção de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  tem menor efeito devido à diluição pelo aumento do volume das águas. Nessas condições  $\text{Al}(\text{OH})_3$  é precipitado.

Uma situação semelhante à descrita no parágrafo anterior, explicaria a presença das quantidades abundantes de caulinita e alumina livre ao longo dos perfis P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>, como indica a figura 10.

A possibilidade de uma inversão da equação (1) pela ausência de feldspatos no sistema e pela maior diluição da solução nos períodos chuvosos é teoricamente possível. Entretanto, nos diagramas da figura 10 as abundâncias da caulinita e da alumina livre mostram uma distribuição paralela. Este comportamento indica nitidamente uma formação direta desses materiais a partir dos feldspatos. Se os óxidos de alumínio se formassem a partir da caulinita, verificar-se-iam "trends" opostos desses produtos do intemperismo, considerando a retenção do alumínio no material ao longo dos perfis estudados.

## 2.6. Retenção dos Elementos no Material Intemperizado

Nos processos de intemperismo os minerais constituintes das rochas estão sujeitos a um ataque contínuo pela atmosfera e pela água de chuva que os percola. O movimento da água faz com que o material dissolvido e as partículas coloidais sejam transportados de um nível para outro. A vegetação também desempenha papel importante quando se decompõe e fornece ácidos à água, modificando suas propriedades químicas. As bactérias ajudam na decom

posição da matéria orgânica e muito provavelmente servem de catalisadores para as reações inorgânicas, principalmente na oxidação do ferro e do manganês (Krauskopf, 1972).

A mobilidade dos elementos contidos nas rochas depende da resistência dos minerais primários, assim como da estabilidade dos produtos secundários que se formam sob as condições em que se desenvolvem os processos acima referidos.

Considerando os solos como produtos residuais do intemperismo das rochas, pode-se estabelecer uma seqüência de concentrações relativas dos elementos neles contidos. Estas seqüências estão relacionadas com as mobilidades desses elementos durante os processos intempéricos e caracterizam o "poder de retenção dos solos".

No presente trabalho, as relações moleculares existentes entre a rocha e o perfil, assim como entre a rocha e a fração areia (\*), permitiram a obtenção das concentrações relativas dos elementos, as quais a seguir estão ordenadas numa seqüência, segundo a sua retenção no material em estudo.

a) Rocha/Perfil

Poço 1: Cu>Fe>Al>Ti>Si>Mn>Na>Mg>K>Ca

Poço 2: Cu>Fe>Mn>Al>Ti>Si>K>Na>Mg>Ca

b) Rocha/Fração Areia

Poço 1: Mn>Si>Cu>Ti>Fe>Al>Na>Ca>Mg>K

Poço 2: Mn>Si>Cu>Ti>Fe>Al>Mg>K>Na>Ca

As seqüências acima citadas evidenciam que nas relações rocha/perfil o silício se encontra menos retido do que nas relações rocha/fração areia, ao contrário do que ocorre com o alumínio. Em ambas as seqüências, os metais alcalinos e alcalino-terrosos são os menos retidos, enquanto que os demais elementos ocupam posições que eram esperadas, pelo que se discutiu anteriormente sobre suas distribuições nas frações e ao longo dos perfis. Assim sendo, essas observações indicam que o material em estudo conserva o quartzo e minerais resistentes, porém está submetido a um processo de alteração dos feldspatos e dos demais minerais primários dando como produto argilo-minerais e óxidos.

(\*) Vide determinação no anexo 3, procedimento 1.

## 2.7. Classificação dos Sdlos

Os perfis em estudo apresentam como características químicas um enriquecimento em óxidos de alumínio e de ferro, um empobrecimento em sílica e a remoção da maioria dos íons alcalinos e alcalino-terrosos. Mineralogicamente, os principais aspectos são a conservação do quartzo e a ocorrência de minerais argilosos misturados com óxidos de alumínio e de ferro. Deste modo, na classificação dos solos baseada em fatores climáticos que influenciam o seu desenvolvimento, o material em estudo se enquadra numa transição entre solo laterítico e solo podzólico vermelho - amarelo, segundo a classificação brasileira.

A classificação textural do material ora em estudo foi feita na base dos teores das frações areia, silte e argila, recalculados para 100% (vide anexo 2, tabela 7). Com os valores da tabela 7 foi construída a figura 11 que mostra a classificação textural dos solos segundo normas do Soil Survey Staff (in Moniz, 1972).

A figura 11 indica ampla variação nos conteúdos de areia e argila das amostras, podendo classificar-se os perfis entre argilosos a argilo-arenosos.

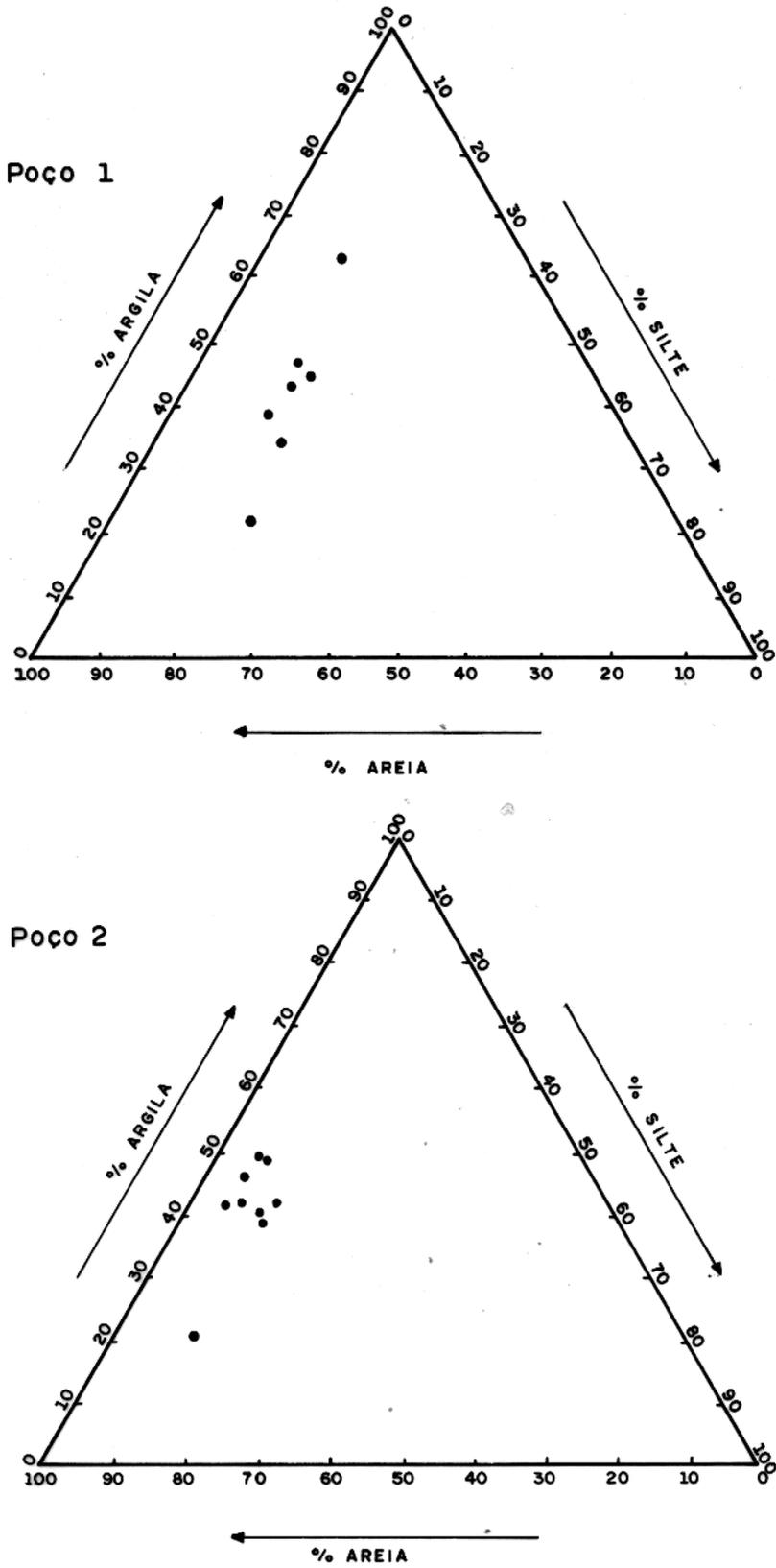


Fig.11 - CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SOLO SEGUNDO NORMAS  
DO SOIL SURVEY STAFF.

### 3. CONCLUSÕES

Os perfis estudados apresentam características que revelam um intenso processo de desfeldspatização do granito original com formação de um latossolo texturalmente classificado como argiloso a argilo-arenoso. Nesse processo o quartzo foi conservado e foram formados argilo-minerais e hidróxidos de alumínio e ferro constituindo a assembléia dominante do solo. Elementos tais como Ca, Mg, Mn, Na e K, contidos na rocha original, foram quase totalmente lixiviados, encontrando-se atualmente em pequenas quantidades contidas nos feldspatos ou adsorvidos nos argilo-minerais. Por outro lado, Ti, contido principalmente nos minerais resistentes, é mantido em quantidades constantes e comparáveis às do material original. O elemento Cu é ligeiramente enriquecido no perfil por adsorção nos argilo-minerais.

A presença de quantidades muito pequenas de feldspato ao longo dos perfis evidencia a grande intensidade dos processos intempéricos atuando sobre a rocha granítica. A transformação direta dos feldspatos em argilo-minerais ou óxidos de alumínio e ferro está relacionada com as condições climáticas (períodos chuvos e secos) atuantes na área.

A retenção dos elementos nos solos estudados, segue uma sequência que corresponde aproximadamente à ordem de suas mobilidades relativas esperadas nas regiões de clima tropical.

4. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, R.C. - 1980 - Contribuição à Petrologia do Granito Central da Serra dos Carajás. Tese de Mestrado. Belém. UFPa. - Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas. 64 p.
- BEISIEGEL, V.R.; BERNADELLI, A.L.; DRUMMOND, N.F.; RUFF, A.W.; TREMAINE, J.W. - 1973 - Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. Revista Brasileira de Geociências. 3(4):215-242.
- BUSENBERG, E. - 1978 - The products of the interaction of feldspars with aqueous solutions at 25°C. Geochimica et Cosmochimica Acta. 42(11):1679-1686.
- GARRELS, R.M.; MACKENZIE, F.T. - 1971 - Evolution of sedimentary rocks. New York, W.W. Norton & Company Inc. 397 p.
- GRIM, R.E. - 1968 - Clay Mineralogy. New York. McGraw-Hill Book Company. 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).
- KOLTHOFF, I.M.; SANDELL, E.B.; MEEAN, E.J.; BRUCKENSTEIN, S. - 1969 - Quantitative chemical analysis. New York. The Macmillan. 1199 p.
- KRAUSKOPF, K.B. - 1972 - Introdução à Geoquímica I. São Paulo. Editora Polígono S.A. 294 p.
- LANGMYHR, F.J.; PAUS, P.E. - 1968 - The analysis of inorganic siliceous materials by atomic absorption spectrophotometry and the hydrofluoric acid decomposition technique. Part 1 - The analysis of silicate rocks. Anal.chem.Acta 43(3):397-408.
- LEVINSON, A.A. - 1974 - Introduction to Exploration Geochemistry. Illinois. Applied Publish Ltd., 612 p.
- McBRIDE, M.B. - 1978 - Copper (II) interactions with kaolinite: factors controlling adsorption. Clays and clay minerals 26(2):101-106.
- MONIZ, A.C. - 1972 - Elementos de Pedologia. São Paulo. Editora Polígono. 459 p.
- MÜLLER, German - 1967 - Sedimentary Petrology. Part I - Methods in sedimentary petrology. New York. Hafner Publishing. 283 p.

- RANKAMA, K.; SAHAMA, Th.G. - 1954 - Geoquímica. Madrid. Aguilar S.A. de Ediciones. 862 p.
- SANTOS, Márcio Dias - 1978 - Contribuição à petrologia do Granito Central da Serra dos Carajás. Trabalho Individual de Pesquisa. Inédito. Belém, UFPa-Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas.
- SILVA, G.G. da; LIMA, M.I.C.; ANDRADE, A.R.F. de; ISSLER, R.S. - 1974 - Geologia das Folhas SB-22 Araguaia e parte de SC-22 Tocantins. In: Projeto RADAM. Rio de Janeiro, Dept<sup>o</sup> Nac. de Prod. Mineral. v. 4, 574 p.
- WAKATSUKI, T.; FURUKAWA, H.; KYUMA. - 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(7):891-902.

A N E X O 1

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

⊕

PROCEDIMENTO 1. Determinação Potenciométrica do pH Atual (Guimarães et alii, 1970).

Foram pesados 100 g de amostra em becher de 400 ml. Adicionou-se 100 ml de água destilada, agitando-se a mistura com bastão de vidro. Após repouso de 1 hora, agitou-se novamente a mistura e determinou-se imediatamente o pH com um potenciômetro previamente calibrado com auxílio de soluções padronizadas.

PROCEDIMENTO 2. Destruição da Matéria Orgânica (Wakatsuki et alii, 1977).

Foram pesados 50 g de amostra em frasco de polietileno e adicionados 286 ml de água oxigenada a 30%, agitando-se com bastão de vidro até homogeneização. A mistura ficou em repouso alternado com agitação. O ataque foi considerado terminado quando o material clareou e cessou a formação de espumas. A mistura foi transportada quantitativamente para tubos de centrífuga e o líquido extraído em centrifugador JANETZKI modelo T-23.

PROCEDIMENTO 3. Extração da Fração Óxido (Wakatsuki et alii, 1977)

Adicionou-se ao material "isento" de matéria orgânica 400 ml de mistura 1:1 de ácido oxálico 0,2 M e oxalato de amônio 0,2 M em frasco de polietileno, o qual foi submetido a radiações ultravioleta durante 2 horas. A solução contendo os óxidos amorfos e cristalinos foi então separada do resíduo por centrifugação durante 20 minutos a 8.000 rpm. Repetiu-se o processo até descolorimento total da mistura extratora.

PROCEDIMENTO 4. Extração dos Cátions Divalentes com HCl (Wakatsuki et alii, 1977).

Após descoloramento da mistura extratora, o resíduo foi submetido a tratamento com 400 ml de HCl 0,2M, sob as mesmas condições do Procedimento anterior.

PROCEDIMENTO 5. Determinação dos elementos Al, Fe, Ca, Mn, Mg, Cu, K e Na nos Extratos por Espectrofotometria de Ab sorção Atômica.

As extrações tiveram seu volume completado para 500ml, dos quais tirou-se uma alíquota de 25 ml que por sua vez foi com pletada para 50 ml.

Para calibração do aparelho usou-se padrões dos ele mentos a serem dosados nas mesmas condições de diluição das amos tras.

As leituras no espectrofotômetro foram feitas nas se guintes condições.

ELEMENTO	$\lambda$ (Å)	MISTURA GASOSA
Al	3098	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - N <sub>2</sub> O
Fe	2483	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - AR
Ca	4224	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - AR
Mn	2795	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - AR
Mg	2850	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - AR
Cu	3243	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - AR
K	7662	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - AR
Na	5890	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - AR

PROCEDIMENTO 6. Método da Centrífuga para Separação do Silte da Argila (Müller, 1967).

O material resultante da separação da fração areia, a pós ser concentrado e levado ao ultra-som para desagregar, foi tratado com hidróxido de amônio diluído para evitar floculação, sendo isto feito por tentativa em uma proveta. O líquido não floculado foi então distribuído nos tubos de centrífuga em uma altura previamente marcada, onde a separação foi feita durante 8 minutos a 500 rpm. O processo foi repetido até o líquido sobrenadante re

sultar-se transparente.

O tempo de centrifugação requerido para este método foi calculada a partir da equação proposta por Svedberg:

$$d = \frac{6}{\omega} \sqrt{\frac{\eta \ln \frac{S_2}{S_1}}{2(D_1 - D_2) t}} \quad \text{cm}$$

Onde:

$\omega$  = velocidade angular =  $2\pi$  rotações/s.

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

$S_2$  = distância entre o eixo de rotação e a base do tubo de centrífuga.

$d$  = diâmetro das partículas que se quer separar (no caso deste trabalho  $2\mu$ ).

$t$  = tempo de separação

$\eta$  = viscosidade do líquido ( $\text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

$D_1$  = densidade das partículas.

$D_2$  = densidade do líquido de sedimentação.

Foi usado  $D_1 = 2,65$  que corresponde à densidade do quartzo a qual é comumente utilizada em sedimentos.

PROCEDIMENTO 7. Abertura para Determinações Espectrofotométricas por Absorção Atômica para os Elementos Al, Fe, Ca, Mg, Mn, Cu, K e Na nas Frações Areia, Silte e Argila (Langmyhr e Paus, 1968).

Uma quantidade do material foi seca em estufa a  $105^\circ\text{C}$  até peso constante; a seguir pesou-se 0,25 g em balança analítica "owa labor" com exatidão de 0,1 mg. A abertura foi feita com mistura de ácido clorídrico a 30%, ácido nítrico a 70%, solução saturada de ácido bórico a  $25^\circ\text{C}$  e ácido fluorídrico a 40%, numa proporção de 10:5:20:15 ml para cada 0,25 g de amostra, em frasco de

polietileno e em banho-maria durante 8 horas a uma temperatura de 70°C. Em seguida a solução foi filtrada e aferida até 50 ml.

As soluções resultantes da abertura foram diluídas em proporção 1:10 em volume, e analisadas por espectrofotometria de absorção atômica, nas condições referidas no Procedimento 5.

#### PROCEDIMENTO 8. Análise Espectrográfica para Cu e Ti nas Frações Areia, Silte e Argila.

Foram pesados 0,2 g de amostra e adicionadas 0,2 g de uma mistura de carbono-germânio na proporção de 99:1. O material foi homogeneizado e queimado em eletrodos de grafite. Na queima, os eletros foram excitados pela descarga elétrica, sua luz foi dispersada por um prisma ótico e em seguida seus espectros foram registrados em uma película fotográfica de chapa AGFA SCIENTIA 34 B50. Para a revelação foi usado revelador AGFA G 3P.

Os padrões característicos para cada elemento foram preparados usando-se padrões interno tais como: CRPG-GA Cu 14ppm, TiO<sub>2</sub> 0,38% e USGS-G-2 Cu 11,7 ppm, TiO<sub>2</sub> 0,50%.

Para construção da curva de trabalho foram pesados 70 mg de cada padrão e misturadas com 70 mg de carbono-germânio 99:1. A seguir foram homogeneizados, queimadas e reveladas. As leituras foram feitas em Foto Densitômetro JENA.

As condições de trabalho nesta análise foram:

Aparelho: Espectrógrafo de Emissão Marca JENA, Modelo Q-24 Prisma de quartzo 60° tipo corne.

Objetivas: f = 540 mm      Para  $\lambda = 2258 \text{ \AA}$   
f = 500 mm

Dispersão: 2500  $\text{\AA}$  : 7,8  $\text{\AA}/\text{mm}$   
4000  $\text{\AA}$  : 32  $\text{\AA}/\text{mm}$

Iluminação: método da imagem intermediária

Fonte : gerador de arco universal marca RFT UBI 1

Eletrodos : para amostras -- forma RW 0078  
              contra eletrodo -- forma RW 0063

Película fotográfica: chapa AGFA SCIENTIA 34 B 50

Revelador : AGFA G3P

PROCEDIMENTO 9. Análise de Sílica por Via Úmida (Kolthoff et alii, 1969).

500 mg de amostra pulverizada e homogeneizada foram misturadas com 3 g de carbonato de potássio e carbonato de sódio na proporção 1:1 em um cadinho de platina, o qual foi coberto com tampa de platina e levado a uma mufla a 1000°C durante 1 hora. A seguir o cadinho, ainda rubro, foi levado a um becher com água destilada, de maneira que a água não penetrasse no cadinho. O material fundido e fragmentado foi passado para a água do becher, sem ser retirado dele e cuidadosamente dissolvido com HCl diluído ±2N.

Essa solução foi evaporada em banho de areia até secura: o resíduo foi umedecido com 5 ml de HCl concentrado e novamente evaporado; em seguida adicionou-se 10 ml de HCl concentrado, e deixou-se em repouso durante 20 minutos para que todos os sais se transformassem em cloretos; diluiu-se com 100 ml de água destilada e aqueceu-se até a ebulição. Após a decantação, filtrou-se e lavou-se o resíduo com água quente acidulada com HCl. Na possibilidade da precipitação não ter sido quantitativa, o filtrado foi evaporado outra vez, tratado com 2 ml de HCl concentrado e evaporado. Deixou-se o resíduo seco por duas horas em banho de areia, depois umedeceu-se com gotas de HCl concentrado, e, após passados 15 minutos, diluiu-se com água destilada quente, filtrou-se em outro papel de filtro e lavou-se o resíduo com água acidificada.

Os resíduos nos filtros foram secos a 150°C em estufa e em seguida colocados em cadinho de platina e calcinados a 1000°C durante 1 hora. Deixou-se esfriar por uma hora em dessecador e pesou-se, obtendo-se o peso P1.

A sílica no cadinho foi umedecida com gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado; adicionou-se 20 ml de HF concentrado e evaporou-se até névoas brancas de SO<sub>3</sub>. Retirou-se o cadinho do banho de areia e adicionou-se 20 ml de HF. Evaporou-se até a secura, calcinou-se por uma hora em mufla a 1000°C. Resfriou-se em dessecador por uma hora e pesou-se, obtendo-se o peso P2.

O teor de SiO<sub>2</sub> da amostra é dado pela relação:

$$\%SiO_2 = \frac{(P1 - P2) \times 100}{\text{peso da amostra}}$$

PROCEDIMENTO 10. Determinação da Composição Mineralógica das Frações Argila e Silte por Difratomia de Raios X.

As análises por difração de raios X foram realizadas através do "método do pó", usando-se lâminas de alumínio com orifício centrado, no qual cada amostra pulverizada foi depositada e comprimida com pequena pressão para compactação. A seguir foi levada ao difratômetro e submetida a um feixe de raios-X produzido por um tubo de fabricação Phillips com anodo de cobre.

Com auxílio de um tubo contador proporcional, com sistema giratório angular, foram medidas as difrações dos planos subsequentes dos minerais contidos na amostra e registrados sob forma de picos em um registrador de fabricação Phillips. Esses picos foram medidos tendo o grau como unidade, e seus valores foram colocados na equação de Bragg, abaixo citada, para se encontrar o que corresponde a distância interplanar do mineral.

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Após serem obtidas as distâncias, estas foram comparadas com as distâncias contidas nos fichários da ASTM para determinação dos minerais.

Uma vez identificados os minerais, sua classificação como dominantes, abundantes, subordinados e raros, segundo suas ocorrências nas faixas de 50-100%, 10-50%, 3-10% e <3%, foi determinada por comparação com "picos padrões" previamente obtidos por análise de material contendo teores conhecidos dos minerais essenciais das frações, nas proporções das citadas faixas.

As condições de trabalho nesta análise foram:

Aparelho: Difratomia de Raios-X PW 1050/80

Tubo com anodo de cobre:  $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$

Filtro de níquel

Potência do Tubo: 25mA 30Kv

Fendas:  $1^\circ/0.2/1^\circ$

PROCEDIMENTO 11. Composição Mineralógica da Fração Areia.

A análise da composição mineralógica da fração areia por binocular, deveu-se ao teor muito elevado de quartzo nas amostras.

tras, tornando inviável a aplicação da difratometria de Raios-X.

Inicialmente os minerais foram identificados através da observação visual de propriedades tais como cor, clivagem, brilho e forma. Uma vez identificados, tiveram seus teores semi-quantitativamente determinados por contagem por campo e classificados como dominantes, abundantes, subordinados e raros, segundo suas ocorrências nas faixas de 50-100%, 10-50%, 3-10% e <3% - .

A N E X O 2

TABELAS

TAMANHO DO GRÃO (mm)	CLASSIFICAÇÃO
2 - 0,063	AREIA
0,063 - 0,002	SILTE
< 0,002	ARGILA

Tabela 1 - Classificação dos tamanhos dos grãos, segundo Blockwerk (in Müller, 1967).

AMOSTRA	PROFUNDIDADE (m)	pH
P1 (8)	0,0 - 0,5	4,65
P1 (7)	0,5 - 1,0	5,20
P1 (6)	1,0 - 1,5	5,30
P1 (5)	1,5 - 2,0	5,30
P1 (4)	2,0 - 3,0	5,35
P1 (3)	3,0 - 4,0	5,30
P1 (2)	4,0 - 5,0	5,20
P1 (1)	5,0 - 6,0	5,10
P2 (9)	0,0 - 0,5	5,60
P2 (8)	0,5 - 1,0	5,20
P2 (7)	1,0 - 1,5	5,20
P2 (6)	1,5 - 2,0	5,20
P2 (5)	2,0 - 2,5	5,20
P2 (4)	2,5 - 3,0	5,10
P2 (3)	3,0 - 3,5	5,20
P2 (2)	3,5 - 4,0	5,15
P2 (1)	4,0 - 4,5	5,10

Tabela 2 - Valores do pH Atual ao Longo dos Perfis P1 e P2.

AMOSTRA	PROFUNDIDADE (m)	AREIA	SILTE	ARGILA	ÓXIDO
P1 (8)	0,0 - 0,5	41,37	10,92	34,04	13,67
P1 (7)	0,5 - 1,0	22,56	8,28	50,78	18,37
P1 (6)	1,0 - 1,5	34,07	14,38	39,03	12,52
P1 (5)	1,5 - 2,0	34,83	11,59	40,44	13,14
P1 (4)	2,0 - 3,0	39,07	12,86	37,68	10,39
P1 (3)	3,0 - 4,0	44,48	15,54	31,32	8,66
P1 (2)	4,0 - 5,0	44,38	16,08	31,45	8,09
P1 (1)	5,0 - 6,0	55,14	18,37	20,29	6,20
P2 (9)	0,0 - 0,5	63,39	9,91	18,94	7,75
P2 (8)	0,5 - 1,0	40,04	9,72	36,59	13,65
P2 (7)	1,0 - 1,5	37,29	6,60	41,86	14,25
P2 (6)	1,5 - 2,0	41,26	5,46	40,27	13,01
P2 (5)	2,0 - 2,5	36,54	5,61	42,31	15,55
P2 (4)	2,5 - 3,0	47,04	6,24	38,02	8,69
P2 (3)	3,0 - 3,5	49,27	5,08	37,60	8,05
P2 (2)	3,5 - 4,0	48,14	9,76	36,83	5,27
P2 (1)	4,0 - 4,5	43,69	10,33	37,69	8,28

Tabela 3 - Teores das Frações Areia, Silte, Argila e Óxido ao Longo dos Perfis P1 e P2. % em peso das amostras secas ao ar.

PROF. (m)	F R A Ç Ã O A R E I A									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
0,0 - 0,5	98,12	1,02	0,63	0,000	0,017	0,000	0,054	2,4x10 <sup>-3</sup>	0,016	0,144
0,5 - 1,0	97,64	1,01	0,56	0,055	0,033	0,516	0,158	1,8x10 <sup>-3</sup>	0,012	0,108
1,0 - 1,5	98,30	1,06	0,36	0,000	0,046	0,000	0,181	3,5x10 <sup>-3</sup>	0,017	0,033
1,5 - 2,0	98,00	0,84	0,33	0,000	0,019	0,575	0,099	2,8x10 <sup>-3</sup>	0,013	0,021
2,0 - 3,0	98,84	0,53	0,39	0,061	0,011	0,000	0,129	4,1x10 <sup>-3</sup>	0,013	0,021
3,0 - 4,0	98,37	1,04	0,37	0,057	3,4x10 <sup>-3</sup>	0,000	0,071	6,4x10 <sup>-3</sup>	0,012	0,075
4,0 - 5,0	98,09	1,21	0,43	0,000	0,020	0,000	0,071	1,8x10 <sup>-3</sup>	0,028	0,147
5,0 - 6,0	98,86	0,54	0,29	0,000	3,6x10 <sup>-3</sup>	0,000	0,219	1,5x10 <sup>-3</sup>	0,026	0,063
PROF. (m)	F R A Ç Ã O S I L T E									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
0,0 - 0,5	86,69	8,82	2,08	0,077	0,018	0,044	2,015	2,9x10 <sup>-3</sup>	0,115	0,132
0,5 - 1,0	73,91	22,97	1,42	0,059	0,014	0,023	1,352	2,1x10 <sup>-3</sup>	0,114	0,135
1,0 - 1,5	51,86	44,92	1,93	0,000	7,6x10 <sup>-3</sup>	0,000	0,937	3,4x10 <sup>-3</sup>	0,206	0,133
1,5 - 2,0	60,76	35,83	1,69	0,000	0,000	0,036	1,376	4,4x10 <sup>-3</sup>	0,174	0,122
2,0 - 3,0	59,45	37,68	1,39	0,000	0,000	0,012	1,149	3,5x10 <sup>-3</sup>	0,203	0,100
3,0 - 4,0	55,48	41,85	1,19	0,000	0,000	0,011	1,236	6,7x10 <sup>-3</sup>	0,160	0,064
4,0 - 5,0	59,94	38,02	0,44	0,061	0,000	0,011	1,286	3,7x10 <sup>-3</sup>	0,157	0,088
5,0 - 6,0	62,78	35,19	0,76	0,000	0,000	0,012	1,010	3,6x10 <sup>-3</sup>	0,132	0,113

Tabela 4a - Composição Química das Frações Areia e Silte. % em Peso . POÇO 1



PROF. (m)	F R A Ç Ã O A R E I A									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
0,0 - 0,5	96,26	1,85	0,51	0,000	0,047	0,741	0,171	4,3x10 <sup>-3</sup>	0,341	0,081
0,5 - 1,0	96,89	1,36	0,59	0,000	0,035	0,546	0,105	3,7x10 <sup>-3</sup>	0,315	0,142
1,0 - 1,5	97,34	1,31	0,36	0,000	0,029	0,526	0,091	1,3x10 <sup>-3</sup>	0,218	0,123
1,5 - 2,0	97,88	1,36	0,38	0,000	0,034	0,000	0,063	3,8x10 <sup>-3</sup>	0,226	0,059
2,0 - 2,5	97,69	1,07	0,38	0,000	0,010	0,545	0,084	3,9x10 <sup>-3</sup>	0,138	0,076
2,5 - 3,0	97,98	1,08	0,14	0,000	0,014	0,551	0,085	1,8x10 <sup>-3</sup>	0,089	0,066
3,0 - 3,5	97,93	0,81	0,39	0,059	0,052	0,557	0,032	4,2x10 <sup>-3</sup>	0,039	0,124
3,5 - 4,0	97,74	1,46	0,64	0,000	0,055	0,585	0,089	2,1x10 <sup>-3</sup>	0,364	0,069
4,0 - 4,5	98,29	0,76	0,13	0,056	0,013	0,522	0,050	1,4x10 <sup>-3</sup>	0,132	0,035

PROF. (m)	F R A Ç Ã O S I L T E									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
0,0 - 0,5	80,24	9,66	0,85	0,059	0,011	0,034	2,332	2,7x10 <sup>-3</sup>	6,492	0,317
0,5 - 1,0	80,01	10,87	0,92	0,000	0,015	0,047	1,814	4,5x10 <sup>-3</sup>	6,268	0,356
1,0 - 1,5	70,65	17,17	1,53	0,000	0,014	0,059	2,349	5,6x10 <sup>-3</sup>	7,818	0,405
1,5 - 2,0	78,30	12,29	1,00	0,065	0,022	0,047	1,694	3,8x10 <sup>-3</sup>	6,251	0,324
2,0 - 2,5	76,82	14,75	1,57	0,066	0,027	0,048	1,868	5,8x10 <sup>-3</sup>	4,568	0,282
2,5 - 3,0	79,28	13,35	0,95	0,000	0,014	0,045	1,395	4,1x10 <sup>-3</sup>	4,709	0,249
3,0 - 3,5	79,26	11,65	1,16	0,000	0,019	0,045	1,409	3,9x10 <sup>-3</sup>	6,137	0,317
3,5 - 4,0	77,41	12,38	0,93	0,000	3,6x10 <sup>-3</sup>	0,034	1,498	4,4x10 <sup>-3</sup>	7,448	0,285
4,0 - 4,5	76,07	14,23	0,99	0,058	0,010	0,033	1,162	4,0x10 <sup>-3</sup>	7,160	0,274

Tabela 4c - Composição Química das Frações Areia e Silte. % em Peso. POÇO 2

PROF. (m)	F R A Ç Ã O A R G I L A										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
0,0 - 0,5	57,02	38,26	1,68	0,000	0,015	0,014	0,827	0,011	1,867	0,305	
0,5 - 1,0	50,68	46,23	1,61	0,000	3,7x10 <sup>-3</sup>	0,012	0,485	0,010	0,825	0,148	
1,0 - 1,5	47,64	49,69	1,57	0,061	9,1x10 <sup>-3</sup>	0,012	0,153	6,4x10 <sup>-3</sup>	0,684	0,172	
1,5 - 2,0	55,53	41,35	1,64	0,068	4,0x10 <sup>-3</sup>	0,013	0,399	7,0x10 <sup>-3</sup>	0,783	0,140	
2,0 - 2,5	49,23	47,43	1,63	0,000	3,8x10 <sup>-3</sup>	0,013	0,821	0,029	0,629	0,206	
2,5 - 3,0	46,89	49,78	1,87	0,000	0,000	0,012	0,549	0,014	0,738	0,149	
3,0 - 3,5	58,29	37,39	2,18	0,000	4,4x10 <sup>-3</sup>	0,000	0,802	0,033	1,059	0,229	
3,5 - 4,0	45,81	50,16	2,34	0,000	3,4x10 <sup>-3</sup>	0,000	0,704	0,016	0,759	0,213	
4,0 - 4,5	46,13	50,67	1,57	0,058	3,4x10 <sup>-3</sup>	0,022	0,526	0,013	0,817	0,196	

PROF. (m)	F R A Ç Ã O X I D O										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
0,0 - 0,5	-	40,14	56,41	0,104	0,144	0,515	-	0,136	1,166	1,383	
0,5 - 1,0	-	42,42	55,65	0,024	0,066	0,345	-	0,144	0,877	0,475	
1,0 - 1,5	-	29,66	68,19	0,026	0,039	0,422	-	0,112	0,872	0,675	
1,5 - 2,0	-	27,29	70,88	0,000	0,032	0,366	-	0,107	0,655	0,671	
2,0 - 2,5	-	29,16	69,13	0,011	0,045	0,208	-	0,104	0,690	0,651	
2,5 - 3,0	-	30,55	67,58	0,000	0,035	0,178	-	0,115	0,598	0,942	
3,0 - 3,5	-	36,89	61,29	0,000	0,050	0,196	-	0,120	0,648	0,798	
3,5 - 4,0	-	32,88	65,55	0,023	0,066	0,168	-	0,126	0,670	0,524	
4,0 - 4,5	-	32,14	66,15	0,000	0,041	0,238	-	0,150	0,688	0,600	

Tabela 4d - Composição Química das Frações Argila e Óxido. % em Peso. POÇO 2

PROFUNDIDADE (m)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CuO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
P O Ç O 1	41,43 40,47 40,43 48,73 47,52 53,32 53,58 63,69	16,24 27,83 22,04 24,32 18,05 19,65 21,55 15,49	6,84 9,04 7,96 8,89 5,30 6,16 6,03 4,79	0,006 0,014 0,000 0,000 0,020 0,021 0,008 0,000	0,013 0,015 0,015 0,010 0,011 0,003 0,008 0,004	0,013 0,101 0,010 0,171 0,006 0,006 0,007 0,007	0,360 0,370 0,290 0,440 0,160 0,310 0,290 0,290	0,016 0,013 0,020 0,021 0,013 0,017 0,014 0,012	0,078 0,085 0,077 0,085 0,079 0,067 0,105 0,066	0,159 0,138 0,111 0,149 0,120 0,099 0,129 0,077
P O Ç O 2	56,21 59,57 56,48 60,43 55,37 58,19 53,75 59,02 65,02	10,18 22,01 24,10 18,32 22,92 19,11 11,88 19,57 22,15	4,70 8,35 10,36 9,90 11,41 6,00 4,77 4,22 5,98	0,013 0,003 0,024 0,023 0,005 0,000 0,020 0,001 0,046	0,033 0,024 0,021 0,020 0,013 0,009 0,024 0,026 0,011	0,357 0,262 0,257 0,054 0,227 0,242 0,227 0,238 0,249	0,390 0,350 0,190 0,240 0,420 0,280 0,250 0,390 0,320	0,014 0,024 0,019 0,018 0,028 0,014 0,017 0,020 0,018	1,077 1,024 0,811 0,726 0,600 0,558 0,539 1,037 1,093	0,208 0,194 0,223 0,191 0,214 0,160 0,165 0,145 0,159

Tabela 5 - Distribuição dos elementos Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, Ti, Cu, K e Na ao longo dos Perfis P1 e P2 em %.

O teor de cada elemento na amostra foi obtido segundo:

$$\text{Teor}_{AM} = \sum \frac{\% \text{ do elemento na fração} \times \% \text{ da Fração na amostra}}{100}$$

	PROFUNDIDADE (m)	FELDSPATO	CAULINITA	ÓXIDO DE ALUMÍNIO
P O Ç O 1	0,0 - 0,5	2,29	38,84	6,98
	0,5 - 1,0	1,26	55,42	13,83
	1,0 - 1,5	1,97	58,28	5,94
	1,5 - 2,0	1,58	50,61	8,69
	2,0 - 3,0	1,15	54,56	4,63
	3,0 - 4,0	2,51	47,65	5,61
	4,0 - 5,0	2,95	45,72	6,83
	5,0 - 6,0	1,58	37,44	3,29
P O Ç O 2	0,0 - 0,5	10,15	19,04	3,11
	0,5 - 1,0	6,55	40,81	6,97
	1,0 - 1,5	5,73	44,28	8,11
	1,5 - 2,0	5,08	42,91	3,55
	2,0 - 2,5	3,66	46,13	6,92
	2,5 - 3,0	4,53	39,59	6,44
	3,0 - 3,5	3,99	36,23	2,97
	3,5 - 4,0	8,13	37,32	5,89
4,0 - 4,5	6,17	39,04	7,01	

Tabela 6 - Conteúdos de Feldspato, Caulinita e Óxido de Alumínio ao longo dos perfis 1 e 2 expressos em função dos teores de  $Al_2O_3$  nas diferentes frações.

	PROFUNDIDADE (m)	AREIA	SILTE	ARGILA
P O Ç O 1	0,0 - 0,5	47,92	12,65	39,44
	0,5 - 1,0	27,64	10,14	62,22
	1,0 - 1,5	38,94	16,44	44,62
	1,5 - 2,0	40,10	13,34	46,56
	2,0 - 3,0	43,60	14,35	42,05
	3,0 - 4,0	48,69	17,02	34,29
	4,0 - 5,0	48,29	17,49	34,22
	5,0 - 6,0	58,78	19,58	21,64
P O Ç O 2	0,0 - 0,5	68,73	10,74	20,53
	0,5 - 1,0	46,37	11,25	42,37
	1,0 - 1,5	43,48	7,70	48,82
	1,5 - 2,0	47,43	6,28	46,29
	2,0 - 2,5	43,26	6,64	50,09
	2,5 - 3,0	51,52	6,83	41,65
	3,0 - 3,5	53,58	5,53	40,89
	3,5 - 4,0	50,82	10,31	38,88
	4,0 - 4,5	47,63	11,26	41,10

Tabela 7 - Teores de Areia, Silte e Argila ao longo dos perfis P1 e P2. Valores recalculados para 100%.

A N E X O 3

TRATAMENTO DOS DADOS

### 3.1. Determinação das Relações Moleculares

A relação molecular é obtida dividindo-se o número de moléculas-grama de um componente pelo número de moléculas-grama de outro, sendo o número de moléculas-grama dado pela relação entre o teor do componente pelo seu respectivo peso molecular.

No presente trabalho, as relações moleculares entre os elementos Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, Ti, Cu, K e Na foram calculadas para o solo e fração areia as quais foram comparadas com as relações do material original. Este procedimento é ilustrado no seguinte exemplo:

$$\text{Material original(*) : SiO}_2 = 71,71\% \div 60 = 1,19$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 11,95\% \div 102 = 0,12$$

$$\text{Relação molecular Si:Al } 1,19 \div 0,12 = 9,92 \quad (1)$$

$$\text{Solo(**) : SiO}_2 = 48,65\% \div 60 = 0,81$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 20,65\% \div 102 = 0,202$$

$$\text{Relação molecular Si:Al } 0,81 \div 0,202 = 4,01 \quad (2)$$

$$\text{Fração Areia(***) : SiO}_2 = 29,15\% \div 60 = 0,49$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,26\% \div 102 = 2,5 \times 10^{-3}$$

$$\text{Relação molecular Si:Al} = 0,49 \div 2,5 \times 10^{-3} = 196 \quad (3)$$

Conclusão: (2) < (1) Al mais retido que Si

(1) < (3) Si mais retido que Al

( \* ) Teores dos elementos para a rocha original, segundo Almeida (1980): SiO<sub>2</sub> 71,71%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11,95%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3,94%, CaO 1,68%, MgO 0,34%, MnO<sub>2</sub> 0,15%, TiO<sub>2</sub> 0,34%, CuO 6,63x10<sup>-3</sup> %, K<sub>2</sub>O 5,1% e Na<sub>2</sub>O 2,53%.

( \*\* ) Média aritmética dos teores dos elementos no perfil 1.

( \*\*\*) Média aritmética dos teores dos elementos no perfil 1.