

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

**GEOLOGIA, MINERALOGIA, GEOQUÍMICA E GÊNESE DOS FOSFATOS DE JANDIÁ,
CANSA PERNA, ITACUPIM NO PARÁ E PIROCAUA E TRAUIRA NO MARANHÃO.**

Tese Apresentada por

MARCONDES LIMA DA COSTA

como requisito parcial à obtenção do grau em

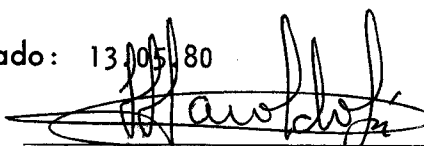
MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

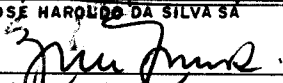
GEOLOGIA

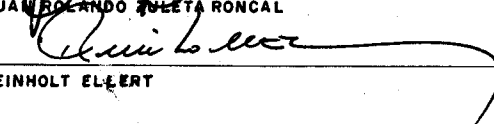
Conferido pelo Programa de Pós-Graduação em
Ciências Geofísicas e Geológicas da
Universidade Federal do Pará

Aprovado: 13/05/80


JOSE HAROLDO DA SILVA SÁ

(ORIENTADOR)


JUAN ROLANDO ZULETA RONCAL


REINHOLT ELBERT

Comitê de Tese

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. José Haroldo da Silva Sá pela orientação deste trabalho.

Ao Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, que através do Projeto Fosfato propiciaram o apoio financeiro deste trabalho.

A Walmeire Alves de Melo Costa pela sua participação nos trabalhos de campo e analíticos, bem como na organização e datilografia dos manuscritos.

Ao Dr. Carlos Alberto Ribeiro de Albuquerque, da Universidade de Saint Mary's Hallifax, Canadá, pela efetivação das análises químicas para elementos traços.

Ao Dr. Juan Rolando Zuleta Roncal pela orientação nos trabalhos analíticos.

A Nilson Pinto de Oliveira e Prof. Werner Truckenbrodt pelas discussões e referências bibliográficas.

Aos pós-graduandos Maria de Fátima F. Reymão e Natalino Valente M. de Siqueira pelas análises químicas.

Aos técnicos Raimundo Nonato Oliveira e Carlos Albino dos Anjos e às demais pessoas e instituições que contribuíram para o sucesso deste trabalho.

R É S U M O

As ocorrências de fosfatos da região nordeste do Pará e noroeste do Maranhão aqui estudadas, são produtos da intensa laterização de rochas Precambrianas enriquecidas em fósforo, como os filitos e xistos do Grupo Gurupi em Cansa Perna e Pirocaua; complexos félsico-máfico-ultramáfico (xisto verde) em Itacupim e Trauíra e "arenitos" provavelmente fosforíticos em Jandiá.

A seqüência dos níveis litológicos A (óxido-hidróxidos de ferro e fosfatos de ferro e de alumínio), B (fosfatos de alumínio) e C (caolinita) é correlacionável com a dos depósitos de bauxitas em geral, e principalmente com os da Amazônia desenvolvidos no Terciário concomitantemente com os fosfatos.

Nesta seqüência foram identificados os minerais crandalita-goyazita, variscita, wavelita, augelita, mineral-A e wardita-millisita, principalmente no nível B; dufrenita, mitridatita, beraunita, mineral-B, lazulita e óxido-hidróxidos de ferro no nível A; apatita no embasamento de Itacupim, além de dravita, gibbisita e outros óxidos. As associações mineralógicas secundárias destas ocorrências são correlacionáveis entre si, variando parcialmente segundo a composição do embasamento.

A geoquímica é peculiar, divergindo em parte das bauxitas normais, com Sr, Rb, Ba, Ce, La, Nd, Zr e Nb, altamente concentrados no nível B, predominantemente na estrutura da crandalita-goyazita, onde os teores de SrO atingem até 7%.

Estas características geológicas, mineralógicas e geoquímicas são similares às dos fosfatos secundários da Flórida, Utah e Tennessee (USA) e os do Senegal, abrindo perspectivas para prospecção de novas ocorrências.

A B S T R A C T

The phosphate occurrences of Northeastern Pará and Northwestern Maranhão were formed by strong lateritic weathering of phosphorus-rich Precambrian rocks. The rock formation affected by those processes were phyllites and schists of the Gurupi Group in Cansa Perna and Pirocaua, a complex of felsic to mafic and ultramafic rocks metamorphosed in the greenschist facies in Itacupim and Trauíra and probably phosphoritic "sandstone" in Jandiá.

The lithologic sequence observed (A=horizon: ferric oxide-hydroxide and ferric and aluminium phosphate; B=horizon: aluminium phosphate; C=horizon: kaolinite) is generally comparable with that of bauxite deposits, especially those of the Amazon region which were also developed, like the phosphate deposits, during the Tertiary.

The mineralogy of the phosphates consists of crandalite-goyazite, wavellite, augelite, mineral-A and wardite-millisite (these are particularly abundant in the "B" horizon); dufrenite, mitridatite, beraunite, mineral-B, lazulite and ferric oxide-hydroxide (in the "A" horizon), apatite (in the bedrock of Itacupim). Dravite, gibbsite and other oxides were also found. These secondary mineral associations are common to all deposits and show only slight variations related to the bedrock.

The geochemistry of these deposits is unusual and differs from that of normal bauxites. In particular high concentrations of Sr, Rb, Ba, Ce, La, Nd, Zr and Nb are observed in the "B" horizon, some of these elements are found in the crandalite goyazite series in which the SrO-content can be as high as 7%.

The geological, mineralogical and geochemical characteristics of these deposits are similar to the secondary phosphate occurrences of Florida, Utah, and Tennessee (USA) and also to these of Senegal.

S U M Á R I O

Pag

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	1
1.1. Apresentação	1
1.2. Localização e Vias de Acesso	2
1.3. Fisiografia	2
1.4. Estudos Anteriores	3
1.5. Metodologia de Trabalho	6

CAPÍTULO 2

GEOLOGIA	8
2.1. Geologia Regional	8
2.2. Geologia das Ocorrências	10
2.2.1. Morro Jandiá	10
2.2.2. Morro do Cansa Perna	15
2.2.3. Ilha de Trauira	18
2.2.4. Serra do Pirocaua	23
2.2.5. Ilha de Itacupim	24
2.2.6. Correlações	30

CAPÍTULO 3

MINERALOGIA	32
3.1. Fosfatos	32
3.1.2. Wardita	36
3.1.3. Variscita	45
3.1.4. Wavelita	50
3.1.5. Augelita	53
3.1.6. Mineral-A	61
3.1.7. Mitridatita	66

	Pag
3.1.8. Dufrenita	73
3.1.9. Beraunita	75
3.1.10 Mineral-B	79
3.1.11 Lazulita	81
3.1.12 Apatita	81
3.2. Óxidos e Hidróxidos	85
3.2.1. Hematita	85
3.2.2. Goethita	91
3.2.3. Óxidos e Hidróxidos de Manganês	91
3.2.4. Gibbsita e Boehmita	92
3.2.5. Anatásio	92
3.3. Silicatos	95
3.3.1. Quartzo	95
3.3.2. Caolinita	96
3.3.3. Clorita	96
3.3.4. Biotita, Biotita Hidratada e Vermiculita	97
3.3.5. Tremolita-Actinolita	97
3.3.6. Epidoto	98
3.3.7. Muscovita	98
3.3.8. Zircão	98
3.3.9. Albita-Oligoclásio	98
3.3.10 Titanita	99
3.3.11 Turmalina	99
3.4. Quadro Mineralógico	104
 <u>CAPÍTULO 4</u>	
GEOQUÍMICA	107
4.1. Distribuição dos Elementos Maiores e Menores	107
4.1.1. Alumínio	107
4.1.2. Silício	108
4.1.3. Ferro	108
4.1.4. Cálcio	108
4.1.5. Magnésio	109
4.1.6. Fósforo	109
4.1.7. Titânio	110
4.1.8. Manganês	110

	Pag
4.2. Distribuição dos Elementos Traços	111
4.2.1. Estrôncio	111
4.2.2. Rubídio	111
4.2.3. Bário	112
4.2.4. Terras Raras	112
4.2.5. Zircônio	114
4.2.6. Nióbio	114
4.2.7. Cromo, Cobre, Níquel	115
4.2.8. Urânio e Tório	115
4.3. Discussões	115
 <u>CAPÍTULO 5</u>	
GÊNESE DOS FOSFATOS	125
5.1. Os Modelos Genéticos Propostos	125
5.2. O Modelo de Enriquecimento Supergênico	127
5.2.1. Aspectos Geográficos e Geomorfológicos	127
5.2.2. Embasamento Litológico das Ocorrências de Fos fatos	128
5.2.3. Dados Geológicos e Mineralógicos	130
5.2.4. Evidências Geoquímicas	131
5.3. Evolução Mineralógica dos Fosfatos	134
5.4. Conclusões	137
5.5. Sugestões	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
 ANEXO-1	
ANEXO-2	
ANEXO-3	

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

- 1.1. Ocorrências de fosfatos da região nordeste do Pará e noroeste do Maranhão.
- 2.1. Mapa e perfil geológico do morro Jandiá.
- 2.2. Mapa e perfil geológico do morro do Cansa Perna.
- 2.3. Mapa e perfil geológico da ilha de Trauíra.
- 2.4. Mapa e perfil geológico da serra de Pirocaua.
- 2.5. Mapa e perfis geológicos da ilha de Itacupim.
- 2.6. Perfis geológicos esquemáticos comparativos entre as ocorrências de fosfatos.
- 3.1. Distribuição relativa e correlação mineralógica entre as diversas ocorrências de fosfatos.
- 4.1. Distribuição dos elementos maiores e menores segundo a profundidade nas ocorrências de fosfatos.
- 4.2. Distribuição dos elementos traços segundo a profundidade nas ocorrências de fosfatos.
- 4.3. Distribuição e correlação mineralógica e geoquímica no morro Jandiá.
- 4.4. Distribuição e correlação mineralógica e geoquímica no morro do Cansa Perna.
- 4.5. Distribuição e correlação mineralógica e geoquímica na ilha de Trauíra.
- 4.6. Distribuição e correlação mineralógica e geoquímica na serra do Pirocaua.
- 4.7. Distribuição e correlação mineralógica e geoquímica na ilha de Itacupim.
- 5.1. Correlação entre as ocorrências de fosfatos com base na mineralogia.
- 5.2. Correlação entre a distribuição dos teores de P_2O_5 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 e MgO .. em fosfatos lateríticos e bauxitas.

TABELAS

- 2.1. Coluna estratigráfica regional.
- 3.1. Minerais identificados nas ocorrências de fosfatos.
- 3.2. Composição química do material contendo crandalita-goyazita
- 3.3. Padrão difratométrico da crandalita-goyazita.
- 3.4. Composição química de diferentes amostras com wardita.
- 3.5. Padrão difratométrico da wardita.
- 3.6. Composição química do material contendo variscita.
- 3.7. Padrão difratométrico da variscita.
- 3.8. Elementos menores e traços... Itacupim.
- 3.9. Padrão difratométrico da wavelita.
- 3.10 Elementos menores traços... Pirocaua.
- 3.11 Composição química de lateritas com augelita.
- 3.12 Padrão difratométrico da augelita.
- 3.13 Composição química... elementos traços no mineral-A e variscita.
- 3.14 Demonstração da fórmula mínima do mineral-A
- 3.15 Padrão difratométrico do mineral-A.
- 3.16 Composição química da mitridatita.
- 3.17 Padrão difratométrico da mitridatita.
- 3.18 Composição química da dufrenita.
- 3.19 Padrão difratométrico da dufrenita.
- 3.20 Padrão difratométrico da beraunita.
- 3.21 Padrão difratométrico do mineral-B.
- 3.22 Composição química e mineralógica dos núcleos ferruginosos e cimento fosfático.
- 3.23 Elementos menores e traços nos núcleos... e cimento...
- 3.24 Distribuição dos elementos menores e traços... na crandalita-goyazita, wavelita, gibbsita e goethita.
- 3.25 Composição química e elementos traços em turmalinas.
- 3.26 Padrão difratométrico da dravita de Pirocaua.
- 4.1. Fatores de concentrações dos elementos maiores e menores nas diversas ocorrências aqui estudadas.
- 4.2. Fatores de concentrações dos elementos menores.
- 4.3. Relações SrO/Rb, SrO/Ba, Rb/Ba, Ce/La, Ce/Nd, La/Nd, Zr/Nb nas diversas ocorrências aqui estudadas.

- 4.4. Relações Ce/La, La/Nd, Ce/Nd e Zr/nb em diferentes tipos petrográficos.
- 4.5. Concentrações de elementos menores e traços...Itacupim.

FOTOS

- 1.1. Superfície laterítica da ilha de Trauíra.
- 2.1. Nódulos de fosfatos no nível B em Jandiá.
- 2.2. Fosfatos tipo brechóide no Nível A em Jandiá.
- 2.3. Fosfatos de alumínio ... Cansa Perna.
- 2.4. Nódulos silicosos ... Cansa Perna.
- 2.5. Fragmentos de óxido-hidróxidos de ferro envolvidos por fosfatos de alumínio no morro do Cansa Perna.
- 2.6. Fosfatos tipo Pele de Onça... ilha de Trauíra.
- 2.7. Fragmentos de dravita... Pirocaua.
- 2.8. Tremolita-actinolita xisto... Itacupim.
- 2.9. Rochas cremes (félsicas)... Itacupim.
- 3.1. Estalactites e estalagmites de crandalita-goyazita.
- 3.2. Cimento de crandalita-goyazita e caolinita-Jandiá.
- 3.3. Wardita oolítica e wavelita acicular-radial... Jandiá.
- 3.4. Oólitos de wardita... Trauíra.
- 3.5. Wardita em cavidades... Trauíra.
- 3.6. Fosfatos pseudobrechóides... variscita e goethita... Cansa Perna.
- 3.7. Variscita cortada por vênulas de wavelita.
- 3.8. Wavelita acicular-radial... Itacupim.
- 3.9. Oólitos e pisólitos de augelita... Pirocaua.
- 3.10 Mineral-A e variscita... Cansa Perna.
- 3.11 Cristais milimétricos do mineral-A... Pirocaua.
- 3.12 Nódulos de mitridatita... Jandiá.
- 3.13 Mitridatita acicular-radial... Jandiá.
- 3.14 Mitridatita envolta por película de wardita-wavelita.
- 3.15 Dufrenita... Trauíra.
- 3.16 Dufrenita acicular-radial... Trauíra.
- 3.17 Rochas com segregações e vênulas de apatita.Itacupim..
- 3.18 Apatita com tremolita-actinolita e clorita... Itacupim.
- 3.19 Apatita envolta por... wavelita-wardita... Itacupim.

- 3.20 Apatita envolta por... wavelita-wardita... Itacupim.
- 3.21 Detalhe de um pisólito de hematita... Trauíra.
- 3.22 Nódulos de gibbsita e crandalita-goyazita... Itacupim.
- 3.23 Titanita... Itacupim.
- 3.24 Faixa de contato da dravita com os ólitos e pisólitos de crandalita-goyazita/angelita... Pirocaua.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

Desde a década de 20 que são conhecidas algumas ocorrências de fosfatos aluminosos na região costeira do Estado do Maranhão. Até o fim dos anos 60 estavam registradas na literatura as ocorrências da ilha de Trauíra, serra do Pirocaua, serra do Tromai e serra Oca, estas no Estado do Maranhão e a ocorrência da serra do Piriá no Estado do Pará.

Nesta década, em decorrência dos trabalhos de mapeamento geológico regional na região nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, desenvolvidos pelo curso de Geologia e Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas (NCGG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), pela Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM) e Companhia Rio Doce Geologia (DOCEGEO), foram encontradas novas ocorrências de fosfatos aluminosos, a saber: ilha de Itacupim, ilha Peito de Moça, Santa Luzia, morro Jandiá, serra Barreiras e morro do Cansa Perna no Estado do Pará, e ilha Pedra Grande do Gurupi, ilha Tralhoto e baía de Cumã no Estado do Maranhão. Na Figura 1.1 estão localizadas as ocorrências até hoje conhecidas.

Em 1976, o NCGG-UFPA deu início ao PROJETO FOSFATO DO NORDESTE DO PARÁ E NORDESTE DO MARANHÃO, com financiamento do CNPq Trópico Úmido, para o estudo destes fosfatos nas suas características geológicas, mineralógicas, petrográficas e geoquímicas com o objetivo de estabelecer a gênese e controle das várias ocorrências. Dentro do Projeto Fosfato e com os mesmos objetivos, foram estudadas as ocorrências de Jandiá, Cansa Perna, Trauíra, Pirocaua e Itacupim, cujos resultados são aqui apresentados a título de Tese de Mestrado, no Curso de Pós-Graduação do NCGG-UFPA.

1.2. Localização e Vias de Acesso

As ocorrências do morro Jandiá e morro do Cansa Perna podem ser atingidas por via rodoviária a partir da BR-316. Para o morro Jandiá deve-se seguir a PA-25 até o Distrito de Tracuateua no Município de Bragança-PA. A ocorrência do morro do Cansa Perna situa-se entre os rios Piriá e Gurupi no Município de Viseu-PA, no ramal que dá acesso à Repetidora Cachoeira da Embratel, no Km 249 da BR-316.

As ocorrências da ilha de Trauíra, serra do Pirocaua e ilha de Itacupim são alcançadas normalmente por via hidrográfica a partir da cidade de Viseu, onde podem ser fretados pequenos barcos motorizados. A vila de Aurizona, situada às proximidades da serra do Pirocaua, dispõe de aeroporto para receber aviões de pequeno porte.

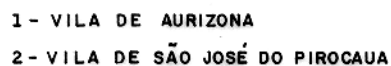
A ilha de Trauíra e a serra do Pirocaua estão no Municífipio de Godofredo Viana-MA, distantes em linha reta cerca de 20 Km e separadas pelo rio Maracaçumê, já na sua desembocadura.

Itacupim é uma pequena ilha situada a NNW da cidade de Viseu (18 Km em linha reta), no Município de mesmo nome, entre as desembocaduras dos rios Gurupi e Piriá.

1.3. Fisiografia

A região de ocorrência dos fosfatos (Figura 1.1) é no geral plana e suavemente inclinada para o Atlântico. Destacam-se nesta planura as elevações de pequenas dimensões, geralmente alongadas e com menos de 100 m de altura, por vezes chamadas de serras e morros situadas nos interflúvios dos rios Caeté-Piriá, Piriá-Gurupi e Gurupi-Maracaçumê. Nestas elevações se encontram as ocorrências de fosfatos, protegidas por capas lateríticas.

Para as ocorrências de fosfatos aqui estudadas, pode-se estabelecer um padrão geomorfológico constituído de uma pequena elevação com um capeamento laterítico, que lhe confere um topo plano, semelhante a pequenos platôs. Nas encostas, onde afloram os fosfa



 Ocorrências

 Limite interestadual

FIG. 1.1 - Ocorrências de Fosfatos no nordeste do Pará e noroeste do Maranhão.

tos, o relevo cai de modo acentuado até a base da elevação. Dependendo do estágio de erosão, estes platôs podem ser reduzidos a pequenas elevações arredondadas, como acontece no morro Jandiá.

Em toda a região domina uma vegetação exuberante, característica da floresta Amazônica, a exceção ocorrendo no topo dos platôs lateríticos onde as condições do solo permitem apenas o crescimento de gramíneas (Foto 1.1). Ao redor das ocorrências litorrêneas, devido a influência da maré, encontra-se uma vegetação típica de mangue.

Nas encostas e adjacências das elevações onde ocorrem os fosfatos, o solo é naturalmente fértil, contrastando com a pobreza dos solos regionais.

Todas as ocorrências estudadas estão situadas em região de clima equatorial quente e úmido, com temperatura média anual de 28°C, com um período chuvoso de dezembro a maio, conhecido como inverno, e um outro, com chuvas esparsas, o verão, nos demais meses. Para a região como um todo, a pluviosidade média anual oscila em torno de 2300 mm e a umidade relativa do ar varia de 85% a 95% (Costa et al., 1975 e Abreu, 1937).

1.4. Estudos Anteriores

Dentre os trabalhos geológicos realizados na região nordeste do Pará e noroeste do Maranhão encontram-se levantamentos geológicos regionais e trabalhos de interesse específicos, tais como, os estudos desenvolvidos nos calcários da Formação Pirabas, na região de garimpos de ouro e nos fosfatos de Trauíra e Pirocaua.

Nesta década, alguns trabalhos de grande envergadura foram executados pela CPRM e pelo projeto RADAM. A CPRM executou os projetos: Argila (Arantes et alii, 1972); Materiais Industriais (Damasceno et al., 1973); Gurupi (Costa et al., 1975 e 1977), este voltado para o mapeamento geológico em escalas 1:250 000, e 1:500 000 e reconhecimento geoquímico.



Foto 1.1- Superfície laterítica da ilha de Trauíra (ní
vel A - Chapéu de Ferro) com crescimento apenas de gra
míneas.

Na ilha de Trauíra foi descoberta a primeira ocorrência de fosfatos de alumínio da região, conhecida há muito tempo como "sesmaria de cal". Foi estudada pela primeira vez por I.G. Farbenindustrie, através de levantamento topográfico, sondagens, poços e galerias. Os resultados deste trabalho são descritos por Brandt (1932), com perfis geológicos, análises químicas e estudos petrográficos. Este autor propôs uma origem orgânica (a partir de guanos)para os fosfatos desta ilha.

Em 1932 Abreu (1937) através de análises químicas e mineralógicas, fez correlações com os dados de Brandt, e com os fosfatos orgânicos de Oxford County Maine (USA), da ilha Chinches (Peru), da ilha de Fernando de Noronha e da ilha Connetable (Guiana Francesa). Abreu, concordou com a origem orgânica proposta por Brandt e denominou os depósitos de Trauíra de bauxita fosforosa, ressaltando ainda os elevados teores de estrôncio ali encontrados. Oliveira (1935) avaliou o minério fosfatado em 11 milhões de toneladas.

A ocorrência da serra do Pirocaua foi descrita pela primeira vez por Miranda (1940) através de mapeamento geológico, sondagem e considerações sobre o tratamento do minério. Rabello (1945) afirmou que o embasamento da serra do Pirocaua é filítico, repousando sobre ele as bauxitas fosforosas protegidas por um chapéu de ferro. Compara com as bauxitas de Ouro Preto e atribui também origem orgânica para o fósforo. Apresenta ainda dados sobre a cubagem e aproveitamento econômico.

Em 1956, Sakamoto et al. (in Pandolfo, 1959) efetuaram análises químicas e mineralógicas, apresentando um quadro mineralógico zonal e sugerindo um processo de fosfatização epigenética dos depósitos de bauxitas tanto para Pirocaua como para Trauíra. Estimaram o minério fosfatado em 8.700.000 t para Pirocaua e 8.200.000 t para Trauíra. Sakamoto (1960) apresentou um perfil geológico dos fosfatos de Trauíra, propondo tratar-se de bauxitas que foram fosfatizadas.

A Companhia OSAKI-MINERAÇÃO LTDA (1971) através de um trabalho sistemático visando o aproveitamento econômico do depósito da serra do Pirocaua, apresentou um plano preliminar de lavra para

os fosfatos.

Argentière (1971), comparou Trauíra com os depósitos de Poços de Caldas-MG e sugeriu que a bauxita fosforosa de Pirocaua tem uma origem diferente daquela de Trauíra.

Costa et al. (1975 e 1977) a partir de amostras de sondagens feitas em Trauíra e Pirocaua, apresentaram análises químicas e mineralógicas destes perfis, fazendo correlações com outros depósitos e propondo uma deposição marinha transgressiva de material fosfático sobre lateritas pré-existentes. Estes autores são os primeiros a publicarem dados analíticos sobre as ocorrências da Ilha de Itacupim, morro Jandiá, Santa Luzia, Serra do Piriá, Serra Barreiras e baía do Cumã.

Oliveira (1977) apresentou, como Tese de Mestrado ao NCGG-UFPa, um estudo completo da geologia, geoquímica, mineralogia e gênese dos fosfatos de Santa Luzia. Este autor propõe uma remobilização do fósforo contido em níveis do embasamento, e posterior precipitação em zonas de fraturas e brechas de falhas.

1.5. Metodologia de Trabalho

O desenvolvimento da pesquisa compreendeu levantamentos de campo com amostragem sistemática e trabalhos de laboratório dirigidos para análises químicas e mineralógicas.

Na Serra do Pirocaua, na Ilha de Trauíra e na Ilha de Itacupim, os levantamentos foram feitos nos poços e galerias já existentes e nos afloramentos naturais. No morro do Cansa Perna e no morro Jandiá, foram feitos poços, canaletas nas encostas e levantamento topográfico. Os dados geológicos de Itacupim foram plotados em mapa obtido pela ampliação de imagens de radar 1:250.000; os de Trauíra no mapa topográfico apresentado por Abreu (1937) e os de Pirocaua em mapa expedito.

As amostras de todas as ocorrências foram analisados para silício, alumínio e manganês por absorção atômica, o fósforo

foi determinado por espectrocolorimetria e, através de fluorescência de raios-X, foram determinados os teores de estrôncio, neodímio, zircônio, nióbio, titânio, rubídio, bário, cério e lantânio. Os resultados analíticos de fluorescência de raios-X foram obtidos principalmente na Universidade Saint Mary's, Halifax Canadá, pelo Prof. C.A.R. Albuquerque. O silício, alumínio, ferro, cálcio e magnésio também foram analisados por via úmida clássica (Reymão et al., 1978), sendo que neste caso os valores de cálcio estão acrescidos pelos de estrôncio, devido o método utilizado, que coprecipita estes dois elementos.

A mineralogia, com exceção de algumas amostras de Itacupim, foi identificada por difração de raios-X, sendo feitas as correlações com as análises químicas qualitativas e quantitativas correspondentes, bem como com análises microscópicas.

Os trabalhos de campo foram efetuados nos meses de julho de 1976 e 1977 e, no todo, este trabalho foi executado no período de maio de 1976 a setembro de 1978.

CAPÍTULO 2

GEOLOGIA

2.1. Geologia Regional

As rochas mais antigas, que formam o embasamento cristalino, são constituídas de gnaisses, migmatitos e granitos, agrupadas na Associação Metamórfica Maracaçumé (COSTA et alii, 1977).

Estratigraficamente acima desta Associação, estão os metasedimentos do Precambriano Inferior a Médio, denominados de Grupo Gurupi (Francisco et al. 1971) e representados por xistos e filitos com abundantes veios de quartzo. Estas rochas e as do embasamento cristalino são cortadas por corpos ígneos de composição máfica, intermediária e félsica, agrupadas na Associação Anorogênica Tromai e Suite Intrusiva Laranjal (Costa et alii, 1977).

Arcósios, grauvas, arenitos, siltitos e folhelhos, denominados de Formação Piriá e atribuídos ao fim do Precambriano e Eopaleozóico, ocorrem sobrepostos ao Grupo Gurupi em discordância angular e erosiva.

Remanescentes da Bacia do Maranhão estão representados por arenitos, siltitos e folhelhos calcíferos, multicoloridos, da Formação Itapecuru e folhelhos siltíticos da Formação Alcântara sobrepostos à Associação Metamórfica Maracaçumé e Grupo Gurupi.

No final do Mesozóico, falhamentos em blocos instalaram bacias costeiras que, no Terciário, foram preenchidas por sedimentos epicontinentais (Formação Pirabas), seguidos por depósitos continentais (Grupo Barreiras). A sedimentação mais recente, incluindo todo o Quaternário, constitui-se de sedimentos costeiros e aluviões.

Na Tabela 2.1 resume-se a coluna estratigráfica regional, a partir dos trabalhos de geologia regional do Projeto Gurupi CPRM (Costa et alii, 1977).

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE ESTRATIGRAF.	LITOLOGIA
CENÓZICO	Quaternário	Holoceno	Aluvião	Sedimentos marinhos, fluviais, flúvio-marinhos e eólicos.
		Pleistoceno	Coluvião	Areias mal selecionadas, misturadas com argilas.
	Terciário		Grupo Barreiras	Argilas multicoloridas, sedimentos inconsolidados argilo-arenosos e areno-argilosos, arenitos c/estrat.cruzada e siltitos.
			Formação Pirabas	Calcários e argilitos azuis, esverdeados e pretos laminados e plásticos.
MESOZÓICO	CRETÁCIO	Superior	Formação Alcântara	Folhelhos silticos estratificados, com camadas de calcário esbranquiçado.
		Inferior	Formação Itapecuru	Arenitos finos a médios avermelhados, siltitos acinzentados, argilosos, calcíferos, friáveis, intercalados c/folhelhos ou siltitos marrons, calcíferos, maciços; arenitos argilosos c/estratificação cruzada.
	Jurássico		Suite Intrusiva Laranjal	Diabásios
	Triássico			
PALEOZÓICO		Inferior	Formação Piriá	Siltitos, arenitos e grauvas
PRÉCAMBRIANO		Superior		
		Médio	Ass. Anorogênica Tromai	Granitos, trondhjemitos, tonalitos, quartzo-andesito, tufos, dacíticos, riolitos.
		Médio a Inferior	Grupo Gurupi Ass. Metamórf. Maracaçumé.	Ardósias, filitos, xistos e quartzitos. Gnaisses, migmatitos, granitos e anfibolitos.

Tabela 2.1 - Coluna estratigráfica regional (segundo COSTA et al. 1977).

A Associação Metamórfica Maracaçumê, que faz parte do Craton São Luis (Almeida et al., 1976) apresenta-se polimetamorfizada com orientação principal NW-SE, e com frequentes fraturamentos preenchidos por diques de diabásios.

Os tectonitos do Grupo Gurupi apresentam dobras de amplitude quilométrica, antiformais e sinformais, com eixos NW-SE concordantes com a foliação, indicando esforço compressivo NE-SW. Tais direções são comparáveis às do embasamento. O Grupo Gurupi foi depositado em regime geossinclinal após a cratonização da Associação Metamórfica Maracaçumê, onde provavelmente a Formação Piriá representa um fácies molassóide e a Associação Anorogênica Tromai um "emplacement" tardigeossinclinal (Costa et al., 1977).

Falhamentos em blocos, do Cretáceo Inferior, de direção NW-SE e NE-SW (Cunha, 1968), formaram bacias costeiras como Bragança-Vizeu, Salinópolis, etc., que foram preenchidas em parte pela Suite Intrusiva Laranjal e formaram o Arco Guamã-São Vicente Ferrer. Os sedimentos Terciários (Formação Pirabas e Grupo Barreiras) por vezes refletem estes falhamentos e representam ciclos de sedimentação transgressiva e regressiva.

2.2. Geologia das Ocorrências de Fosfatos

Neste item apresenta-se as descrições geológicas detalhadas das várias ocorrências de fosfatos que foram estudadas. A partir dos levantamentos realizados e da organização dos dados, verificou-se que cada uma das ocorrências pode ser descrita em termos de unidades superpostas, aqui chamadas de níveis, que podem ser correlacionados entre as várias ocorrências.

2.2.1. Morro do Jandiá

É uma pequena elevação com desnível máximo de 20 m e diâmetro de 100 a 120 m. Tem forma aproximadamente circular, com superfície arredondada e protuberância de laterita ferruginosa no topo. Nas proximidades do morro Jandiá ocorrem granitos, migmatitos

e gnaisses da Associação Metamórfica Maracaçumé. Ao redor do morro existe um solo arenoso, amarelado, mapeado por Costa et al. (1975, 1977) como Grupo Barreiras. Os fosfatos constituem um grupo litológico excepcional na região, representados principalmente por material arenítico grosseiro, às vezes micáceo, argiloso com os grânulos de quartzo cimentados principalmente por fosfatos de alumínio e cálcio, além de óxidos de ferro e fosfatos de ferro-cálcio. Com base nas mudanças texturais e mineralógicas foram distinguidos os seguintes níveis, conforme representados na Figura 2.1.

Nível D: constitui o nível mais inferior, observável apenas no fundo dos poços com mais de 2 m de profundidade. Compreende uma rocha pobre em P_2O_5 ($>2\%$), intemperizada, vermelha-amarelada, argilo-arenosa, com nódulos formados por aglomerados de grãos de quartzo cimentados com óxidos de ferro e por sericita disseminada. Ocasionalmente encontra-se fragmentos de quartzo com até 8 cm de diâmetro. O nível D está sobreposto, em contato gradacional, pelo nível C, distinguindo-se deste pela mudança de coloração.

Nível C: corresponde a um horizonte com espessura máxima de 1,5 m, conforme observado nos perfis dos poços. Caracteriza-se pela cor amarelada, composição arenosa-argilosa (quartzo-caolinita), muscovítica, por vezes conglomerática grosseira, com nódulos amarelos de dimensões milimétricas a centimétricas, de contorno triangular, além de nódulos vermelhos, de idênticas características, porém dispersos. O diâmetro dos nódulos amarelos aumenta em direção ao nível B acima, com o desaparecimento dos nódulos vermelhos, originando um contato gradacional com aquele nível. Os nódulos amarelos são constituídos por grânulos de quartzo e sericita, cimentados por fosfatos de alumínio-cálcio e caolinita. Os nódulos vermelhos são de hidróxidos de ferro, cimentando grânulos de quartzo, muscovita e caolinita.

Nível B: é o horizonte constituído principalmente por fosfatos de alumínio-cálcio e quartzo, cuja maior espessura (2,6 m) está na parte mais elevada do morro Jandiá. Este nível é observado na superfície, parcialmente coberto por solos areno-argilosos.

O nível B apresenta nódulos (Foto 2.1) branco-amarelados, (diâmetro de 5 a 120 cm) com formas arredondadas, tabulares e



Foto 2.1. - Nódulos de fosfatos no nível B em Jandiá.

irregulares, envolvidos por material de textura argilo-arenosa, amarelado. Os nódulos, comparáveis aos do nível C, são arenosos finos a conglomeráticos, com grânulos de quartzo e sericita cimentados por fosfatos de alumínio e alumínio-cálcio. Os fosfatos ocorrem em forma oolítica, pisolítica, vesicular ou maciça e bandeada com tonalidades branco-cinzas. Os teores de quartzo variam vertical e lateralmente, guardando uma relação inversa aos de fosfatos. Em geral os grãos de quartzo são pobremente arredondados e a sericita ocorre em palhetas milimétricas com distribuição irregular.

Por vezes, os nódulos de fosfatos apresentam internamente estratificação cruzada e acamamento, preservados e/ou ressaltados pelo cimento fosfático.

O contato superior com o nível A é gradacional, indicado pelo aparecimento de hidróxidos e fosfatos de ferro, que caracterizam o nível superior.

Nível A: trata-se do horizonte mais superficial, situado no topo e na meia encosta do morro Jandiá. O nível A tem aspecto brechóide (Foto 2.2), com fragmentos ferruginosos, avermelhados, envolvidos por cimento fosfático branco-amarelado. Sua espessura é pouco maior que a do nível C e os teores de fósforo podem atingir até 26% de P_2O_5 . Os fragmentos são angulosos ou alongados, com diâmetro variando de 1 a 7 cm, tendo contornos bem definidos. Vênulas provenientes do cimento fosfático podem penetrar os fragmentos ou os envolve em faixas delgadas de cores variadas. Na base do nível A, o cimento é abundante e os fragmentos são maiores, disformes e ligados entre si. Os fragmentos constituem-se principalmente de óxidos de ferro cimentando grãos angulosos de quartzo, mas encontram-se também fosfatos e minerais acessórios, tais como sericita, zircão e turmalina no seu interior. Os fragmentos ferruginosos são envolvidos por uma massa de fosfatos e grãos de quartzo, sendo que os fosfatos funcionam como cimento para todo o conjunto.

Na parte superior, ocorrem tipicamente fosfatos de ferro e ferro-cálcio, verde-escuros, com hábitos nodulares (diâmetro de 10 a 15 cm) e aciculares, associados aos fragmentos ferruginosos e alterando-se para outros fosfatos de ferro de cor verde-garrafa.



Foto 2.2 - Fosfatos tipo brechóide no nível A em Jandiá.

2.2.2. Morro do Cansa' Perna

O morro do Cansa Perna é o ponto culminante (148 m de altitude) na planície regional, com topo circular (± 120 m de diâmetro), de base elíptica alongada (300-400 m) segundo a direção norte-sul e de bordas escarpadas. Na base do morro e arredores o correm filitos do Grupo Gurupi, intemperizados, em cores variega das e sobrepostos diretamente pelos fosfatos de alumínio e óxidos-hidróxidos de ferro. A partir de características texturais e mine ralógicas, pode-se distinguir quatro níveis, conforme ilustrados na Figura 2.2 e parcialmente na Foto 2.3.

Nível D: Compreende metasiltilitos e filitos decompostos, friáveis, com faixas vermelhas, roxas e cinzas, e constituídos por grânulos de quartzo, argilas e minerais micáceos. Apresentam acama mento e estratificação cruzada e microfalhas preenchidas por mate rial caolinítico-silicoso. O nível D contém veios de quartzo con cordantes e discordantes com a foliação e, por vezes, o quartzo en contra-se muito corroído.

Nódulos silicosos alongados, de 5 a 120 cm, ocorrem co mo uma faixa de direção norte-sul e são localmente deslocados por falhas. Os nódulos silicosos são cinza-esverdeados na parte cen tral e amarelos nas bordas e apresentam-se muito fraturados e re cristalizados (Foto 2.4).

Nível C: Compreende os filitos altamente decompostos, formando solos amarelos, vermelhos, roxos e cinzas, laterizados, reconhecidos pela presença de relictos foliados vermelho-roxos, ou pela presença de veios de quartzo. Na parte superior deste nível encontra-se nódulos vermelhos e roxos, em matriz de caolinita, si milar ao morro Jandiá nos níveis D e C.

Os veios de quartzo são friáveis, microfraturados, en volvidos ou substituídos parcial ou totalmente pelos hidróxidos de ferro, que além disso preenchem planos de fraturas, falhas e folia ção, preservando a atitude dos mesmos.

O nível C está sobreposto pelo nível B em contato gra dativo, com a presença de fosfatos de alumínio (até 7% de P_2O_5) na



Foto 2.3. - Fosfatos de alumínio (nível B) sobrepostos aos filitos aflorantes na base da escarpa do morro do Cansa Perna.

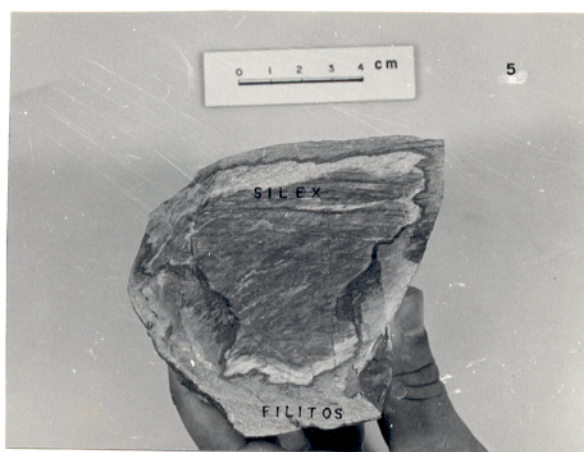


Foto 2.4 - Nódulos silicosos (centro) envoltos por filitos no morro do Cansa Perna.

zona de contato, em forma de pequenos nódulos com dimensões milimétricas.

Nível B: É constituído em grande parte por fosfatos de alumínio (média de 16% de P_2O_5) e óxido-hidróxidos de ferro. Da base até a parte mediana, o nível B apresenta nódulos vermelhos, amarelados e brancos, envolvidos por um cimento de cor amarelo-castanha, dando um aspecto brechóide à rocha como um todo (Foto 2.5). Os nódulos podem ser maciços ou vesiculares, às vezes com estrutura interna concêntrica, constituídos por fosfatos de alumínio bem como por óxido-hidróxidos de ferro.

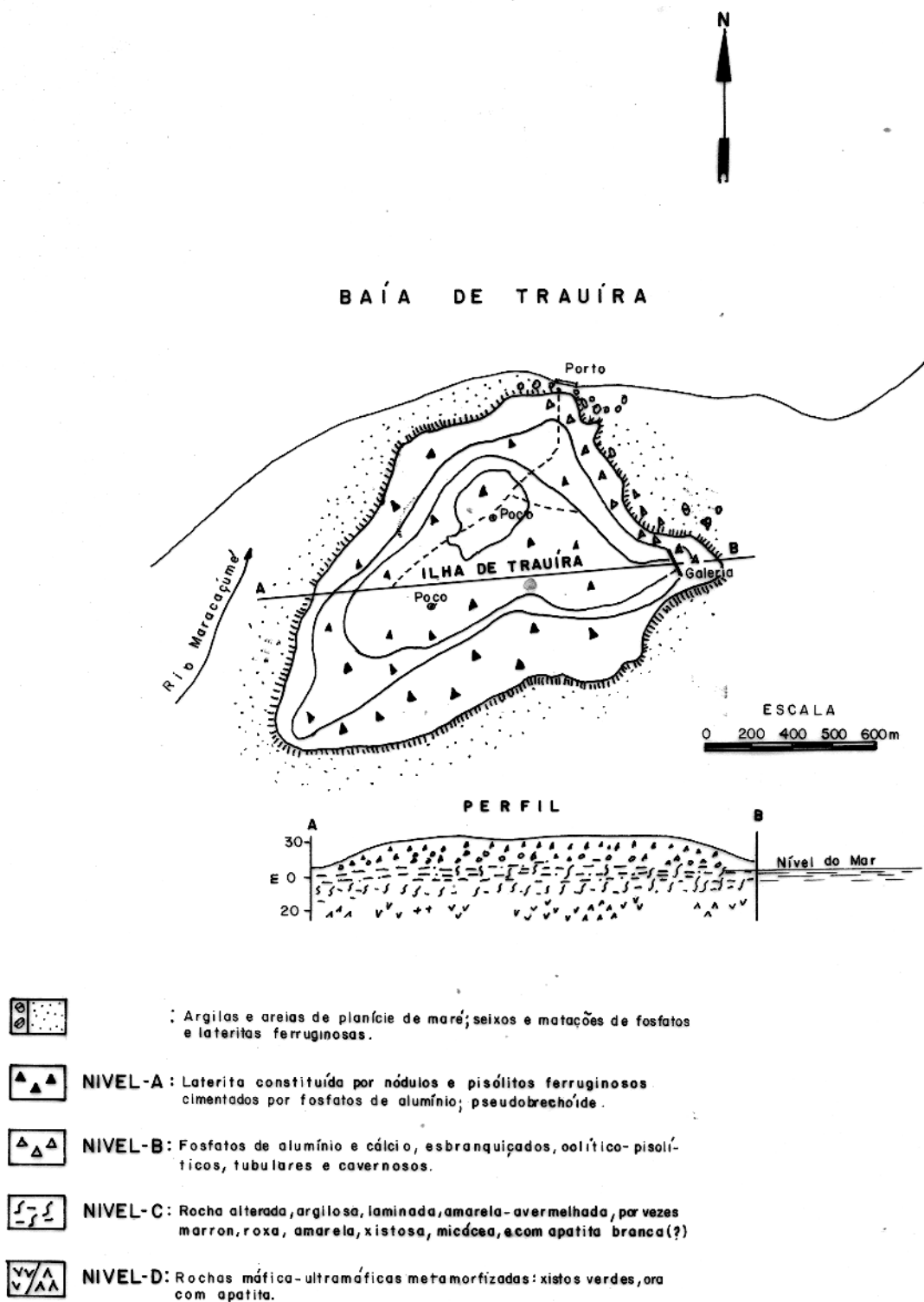
Nível A: No topo do morro encontra-se um lajedo duro, amarelado e castanho, maciço ou vesicular, localmente pseudobrechóide, com fragmentos irregulares, de cor vermelha, constituídos por óxido-hidróxidos de ferro e envolvidos por cimento amarelo fosfático ou vice-versa. Nesta ocorrência o nível A não se apresenta tão bem definido como nas demais, entretanto a constituição mineralógica e o aspecto brechóide permitem que se associe este nível com o nível A das demais ocorrências.

2.2.3. Ilha de Trauíra

A ilha de Trauíra, tem uma forma aproximadamente triangular, com uma extensão máxima de 900 m e, na parte mais elevada, a altitude alcança 32 m.

A partir dos dados reportados por Brandt (1932) e Costa et al. (1975 e 1977) infere-se que o embasamento dos fosfatos seja constituído por rochas máfico-ultramáfica metamorfizadas (xisto verde). Os fosfatos são principalmente de alumínio-cálcio e alumínio, com texturas diversificadas, sobrepostos por um chapéu de ferro constituído por óxidos e fosfatos de ferro e fosfatos de alumínio-cálcio e alumínio. De acordo com as mudanças texturais e mineralógicas, foram distinguidos os seguintes níveis, conforme representados na Figura 2.3.

Nível D: Brandt inferiu que o embasamento dos fosfatos é constituído por diabásio. Abreu (1937) concorda com esta litolo



**FIG. 2.3—MAPA E PERFIL GEOLO-
GICO DA ILHA DE
TRAUÍRA.**



Foto 2.5 - Óxidos-hidróxidos de ferro envolvidos por fosfatos de alumínio com aspecto brechoide no morro do Cansa Perna.

gia, enquanto SAKAMOTO et al (1959) propõem hornblenda gnaiss, devido a ocorrência de fragmentos desta rocha na superfície do platô. COSTA et al (1975), através de sondagens, encontraram a partir de 38,6 m de profundidade, rocha semidecomposta, de cor verde, fanerítica, equigranular, caolinizada, classificando-a como um provável anfíbolito. Com base nos dados acima mencionados e por associação com o embasamento dos fosfatos de Itacupim, admite-se para Trauíra um embasamento máfico-ultramáfico metamorfizado.

Nível C: Trata-se de uma camada constituída principalmente de caolinita e hidróxidos de ferro, produto de decomposição intempérica do nível D. Corresponde a "zona argilosa mosqueada" de ABREU (1937) e "zona mosqueada e de alteração do diabásio" de BRANDT, tendo uma espessura média de 30 m e um teor de aproximadamente 2% de P_2O_5 . COSTA et al (1975) através de sondagens encontraram este nível entre 10 e 35 m de profundidade, descrevendo como material arroxado, argiloso, ferruginoso, plástico, micáceo, que na parte superior contém finos fragmentos de quartzo. Para o material correspondente à zona de contato com o nível D, COSTA et al. descreveram feldspato caolinizado porfirítico e quartzo fino, por vezes com grande quantidade de epidoto, minerais laminares marrons, ripas de plagioclásio brancos e óxidos de ferro.

O contato com o nível B acima é gradacional, marcado pelo desaparecimento da argila e a presença de nódulos fosfáticos.

Nível B: Trata-se do nível mais importante do ponto de vista econômico, devido a alta concentração de P_2O_5 (média de 30 %). Sua espessura varia de 4 a 6 m e constitui-se principalmente de fosfatos de alumínio-cálcio, com texturas, estruturas e colorações variadas. Tendo em vista a diversidade das estruturas e hábitos dos fosfatos deste nível, pode-se distinguir os seguintes tipos:

- a) Fosfatos de alumínio-cálcio tipo oolítico-pisolítico: os oólitos e pisólitos são esbranquiçados, envolvidos por película marron de hidróxidos de ferro, formando uma rocha compacta. Em perfil, os oólitos estão na parte inferior deste nível, passando gradativamente a pisólitos. São observados no poço da entrada norte da galeria, co

mo um corpo acunhalado, sob os fosfatos em tubo e gra
dando lateralmente para os fosfatos tipo esferolíti
co-friável.

b) Fosfatos em tubo: ocorrem na parte média e superior da escarpa nordeste da ilha e no antigo túnel. Estão sobre
postos aos fosfatos oolítico-pisolíticos, cobertos pelo nível A e passando lateralmente aos fosfatos do tipo esferolítico-friável. São de cor branca e amarela-creme, ora terrosos, ora maciços, com canais verticais (tubos) recobertos por película de hidróxido de ferro originan
do o aspecto estalactítico. Na superfície exposta se de
senholveram estalactites e estalagmites centimétricas. ABREU (1937) denominou este material de fosfatos de alu
mínio porosos, com teores elevados de Ca e Sr.

c) Fosfatos tipo esferolítico-friável: denominados por BRANDT de "esferólitos soltos" e por ABREU de zona de esferólitos, constituem um leito contínuo por toda a ilha, representando tipicamente o nível B, sobrepondo - se às argilas mosqueadas do nível C e sobrepostos pelo nível A.

Os fosfatos tipo oolítico-pisolítico podem representar uma variedade compactada do tipo esferolítico-friável, enquanto que o tipo de tubo seria resultante da mobilização e reprecipitação dos fosfatos.

Nível A: Compõe o denominado chapéu de ferro do topo da ilha, com 3 a 4 m de espessura, apresentando uma superfície rugosa e contendo pequenas depressões, tipo caldeirões. A parte superior é dura, pseudobrechóide ou pisolítica grosseira. Os pseudo-fragmentos e pisólitos são vermelhos, roxos, constituídos principalmente de óxidos de ferro e estão cimentados pelos fosfatos de alumínio-cálcio de cor branca-amarelada conferindo à rocha um aspecto seme
lhante a "pele de onça" (Foto 2.6). A laterita contém às vezes, nas cavidades, cristais pseudoctaédricos de fosfatos. Tanto os pseudo
fragmentos, como os pisólitos, são penetrados por vênulas do cimen
to fosfático. Envolvendo ou substituindo os pisólitos e pseudofrag-



Foto 2.6 - Fosfatos tipo "pele de onça" (nível A):
óxidos de ferro envolvidos por fosfatos de alumí
nio. Ilha de Trauíra.

mentos encontra-se cristais verde-escuros, acicular-radiais, de fosfatos de ferro, muito comuns nas partes central e sudeste do platô.

2.2.4. Serra do Pirocaua

Trata-se de um platô com cerca de 90 m de altitude, desnível de 30 m, elíptico, alongado segundo a direção NE-SW, com extensão máxima de 1100 m, largura de 400 m e encostas com declives pronunciados.

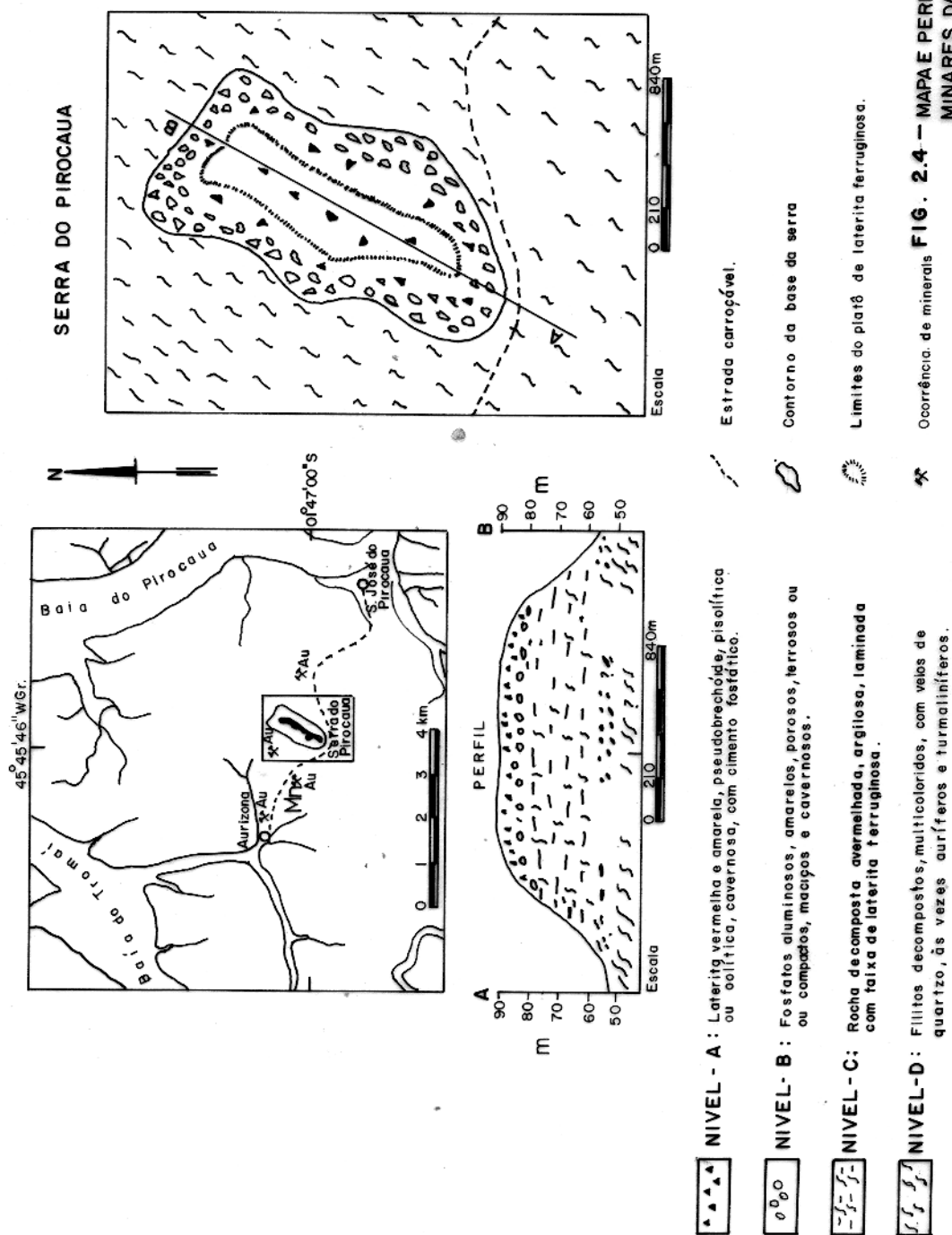
A serra do Pirocaua tem como embasamento filitos do Grupo Gurupi bastante intemperizados, sobrepostos por fosfatos de alumínio e alumínio-cálcio. O nível fosfático é recoberto por um chapéu de ferro, constituído por óxido-hidróxidos de ferro, fosfatos de alumínio e turmalina (variedade dravita). Em função das variações texturais e mineralógicas, foram distinguidos quatro níveis, ilustrados na Figura 2.4.

Nível D: Compreende as rochas do embasamento da serra, bastante decompostas, tipo filitos, de cor castanha a vermelha, a florando nas circunvizinhanças da serra. Apresentam-se argilosas e quartzosas, ricas em hidróxidos de ferro e cortadas por veios de quartzo, localmente turmaliníferos.

Nível C: De conformidade com as descrições do perfil de sondagem (Costa et al., 1975) e as exposições na base da serra, este nível corresponde a um maior grau de alteração dos filitos do nível D, apresentando-se argilosos, laminados, em cores roxa e vermelha, constituídos principalmente por caolinita, hidróxidos de ferro e quartzo. Na base do nível C, a cerca de 30 a 40 m de profundidade ocorre um horizonte rico em hidróxidos de ferro com até 3,8% de P_2O_5 (COSTA et al., 1975).

Na parte superior deste nível ocorrem nódulos de fosfatos de alumínio, feição esta que caracteriza uma passagem gradual para o nível B acima.

Nível B: É o horizonte mais rico em P_2O_5 e Al_2O_3 , constituído principalmente de fosfatos de alumínio e alumínio-cálcio,



associados a óxido-hidróxidos de ferro e caolinita. A coloração é variável, dominando o amarelo e o branco, com texturas diversas. O nível B aflora nas encostas da serra e foi atravessado por mais de 50 poços realizados pela Companhia OSAKI-MINERAÇÃO (1971). Em média, a espessura deste nível fica entre 5 e 6 m.

O nível B foi denominado de bauxita fosforosa por Rá bello (1945), Sakamoto et al. (1956), Costa et al. (1975 e 1977) e Abreu (1937) em alusão aos teores elevados de Al_2O_3 (até 40%) e P_2O_5 . Observa-se ainda diminutos minerais micáceos e grânulos de quartzo dispersos, e algumas cavidades revestidas por cristais prismáticos, milimétricos, de fosfatos de alumínio e hidróxidos de ferro. Neste nível ocorrem também fragmentos de turmalina, acicular a fibrosa, verde-cinza a escura.

Nível A: Corresponde ao chapéu de ferro, situado no topo da serra, protegendo-a da erosão intensa e recobrindo o nível B. Tem aspecto brechóide ou pisolítico e é constituído por nódulos de óxido-hidróxidos de ferro envolvidos por uma massa branco-amarelada, terrosa, de fosfatos de alumínio e alumínio-cálcio. Nódulos, pisólitos e oólitos amarelos de fosfatos são comuns, envolvendo ou atravessando os núcleos ferruginosos bem como cristais de turmalina (Foto 2.7). Esta se apresenta em aglomerados de cristais aciculares formando espécie de fragmentos com dimensões de 2 a 8 cm. Trata-se da variedade dravita, tendo cor verde-cinza a negra, sendo muito comum na superfície do nível A.

2.2.5. Ilha de Itacupim

Tem uma forma alongada segundo a direção norte-sul, encimada por um topo mais ou menos plano, com altitude de aproximadamente 50 m, formando dois platôs, um ao norte (Serrinha) e outro ao sul, que juntos compreendem cerca de 1 km². Nas bordas dos platôs formam-se falésias, com exposições dos vários níveis até o embasamento, como acontece no lado oriental da ilha.

Dentre as ocorrências estudadas esta é a única que apresenta exposição de rochas frescas que constituem o embasamento

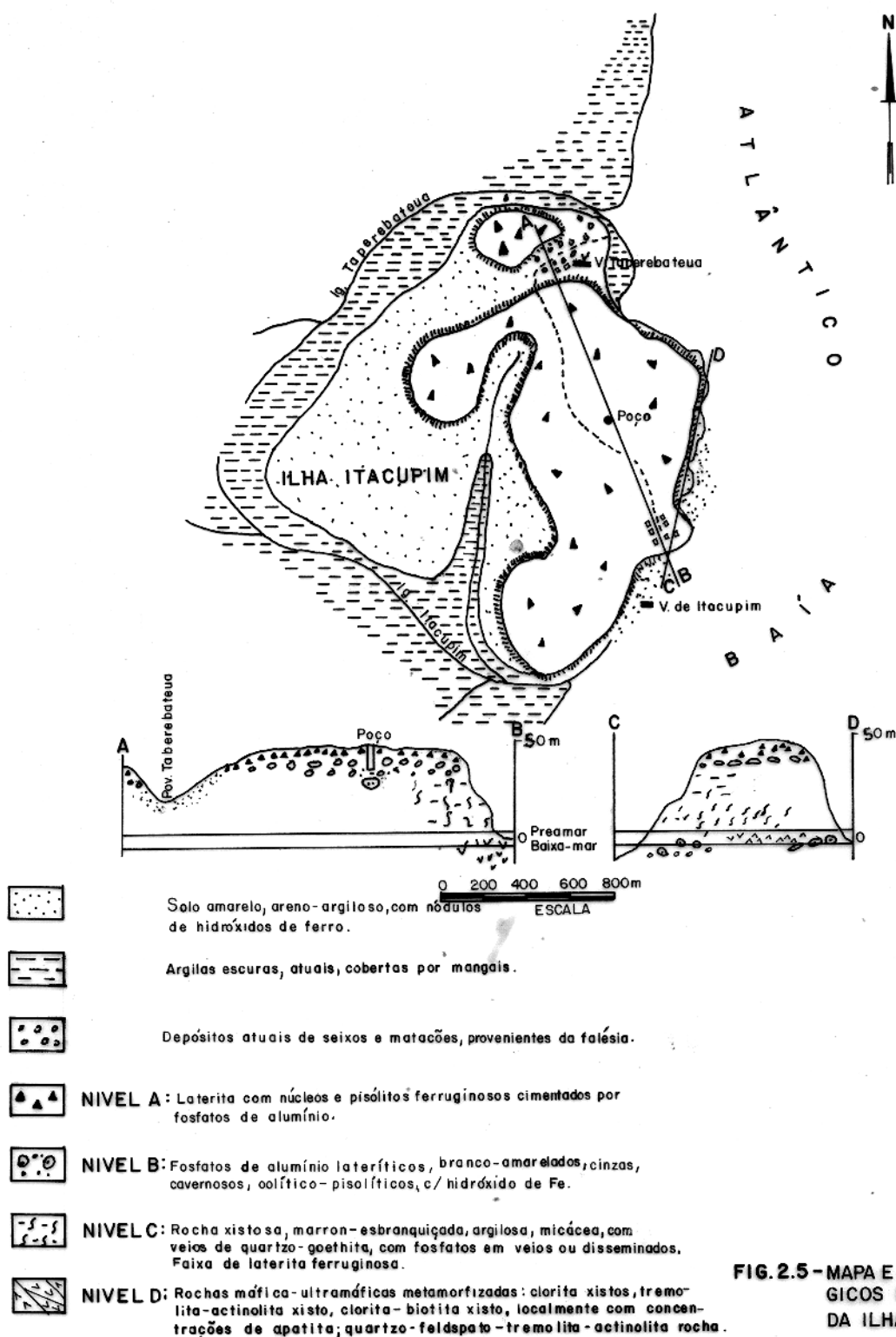




Foto 2.7 - Aglomerados de cristais de turmalina (variedade dravita D) cimentados por fosfatos de alumínio (Au: augelite; Cn: crandalite), no nível A da serra do Pirocaua.

dos fosfatos de alumínio. Do embasamento para cima os seguintes níveis podem ser individualizados:

Nível D: Aflora somente na base da falésia, na interface maré alta - maré baixa. As composições química e mineralógica variam em pequena escala, mas se pode distinguir os seguintes tipos de rochas, com base na mineralogia e coloração.

- a) Rochas Verdes - apresentam-se semidecompostas, texturas fanerítica, com cristais de 0,2 a 1,0 cm. Geralmente são mono-minerálicas, com tremolita-actinolita ou clorita, cujos cristais sugerem protóclastos piroxênios ou olivinas, às vezes com quantidades menores de feldspatos. Quando mais decompostas, têm aspecto terroso, constituídas por clorita secundária e nódulos de óxido-hidróxidos de manganês, em geral amorfos, e com teores anômalos de níquel. Estas rochas apresentam variações com biotita hidratada e/ou biotita e vermiculita, interestratificada com a clorita verde; às vezes contendo faixas ou veios, (1 - 6 cm de espessura) de apatita grosseira, branca, em decomposição, principalmente próximo ao contato com as rochas cremes. Existem gradações entre os tipos litológicos aqui descritos, atingindo fácies ricas em clorita, apatita, magnetita e hematita. Na baía em frente a falésia, em baixa mar, afloram diques de tremolita-actinolita xisto. Segundo Costa et al. (1975), trata-se de um anfibólito com 2% de P_2O_5 . Em lâmina delgada foi observada a presença de wavelita e apatita entre os cristais de tremolita-actinolita (Foto 2.8).
- b) Rochas Cremes - Holocristalinas, equigranulares, faneríticas, também com tonalidades brancas, constituídas de feldspatos (albita-oligoclásio), por vezes caolinizados e saussuritizados a epidoto e sericita, ou com muito quartzo e tremolita-actinolita sutilmente orientada (Foto 2.9). São acessórios o zircão, a titanita e apatita, além de opacos. O anfibólito ocorre na zona de contato com as rochas verdes.

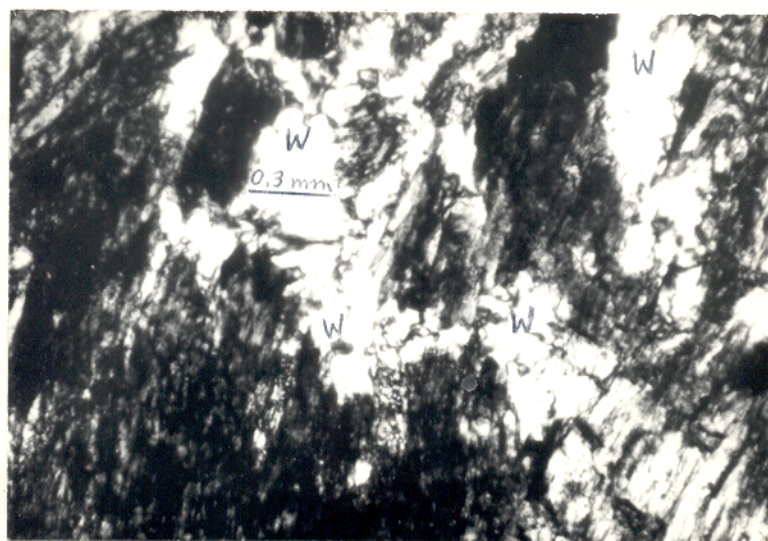


Foto 2.8 - Tremolita-actinolita (escuro) e wavelita (W) nas rochas verdes da ilha de Itacupim. Seção delgada, nicóis X.

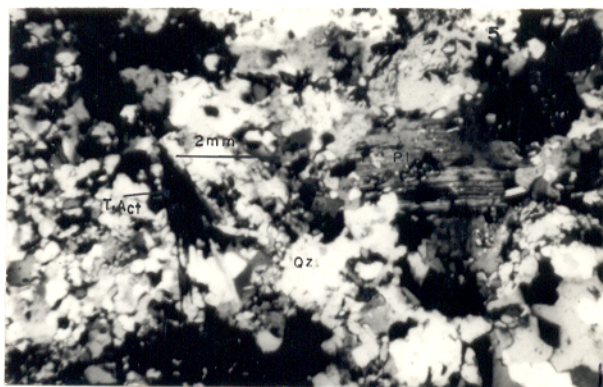


Foto 2.9 - Rochas cremes (félsicas), com quartzo (Qz), feldspatos (Pl) e tremolita-actinolita (T.Act). Seção delgada, nicóis X, Itacupim.

c) Rocha Branca Esverdeada a Amarela - Trata-se de uma rocha de ocorrência muito restrita, apresentando-se como fácies petrográfico dentro das rochas verdes. Tem aspecto maciço, ligeiramente alterada, pobre em alumina ($3\% \text{ Al}_2\text{O}_3$), constituída por apatita, clorita (ou tremolita-actinolita), vermiculita, hematita/magnetita. A apatita pode atingir concentrações de 30 até 50 % do total da rocha.

Nível C: É o nível de maior expressão areal, ocupando as partes inferiores e médias da encosta oriental da ilha e observado nos poços de água nas vilas de Itacupim e Taperebateua. Localmente se sobrepõe às rochas verdes e cremes, como produto de decomposição das mesmas. Compreende uma rocha marron-amarelada, xistosa, argilosa, às vezes micácea, com nódulos e "veios" limoníticos. Ocorrem veios de quartzo envolvidos por concreções ferruginosas e com inclusões de turmalina. Às vezes ainda contém tremolita-actinolita, apatita branca em decomposição e hematita. A cor marron é derivada principalmente da alteração das rochas verdes, contendo biotita hidratada transformada em vermiculita. Na base do nível C os minerais de argila são principalmente a montmorilonita e a clorita, enquanto que do meio para cima predomina a caolinita, contendo fosfatos de alumínio disseminados ou em forma de pequenas vênulas.

Nível B: Compreende os fosfatos brancos e cinzas, bandeados, ora pisolítico-oolíticos, ora maciços ou cavernosos, com faixas ferruginosas. O teor de P_2O_5 é inferior a 21 %, com Al_2O_3 entre 20 e 30 %. Até onde foi possível observar, este nível apresentou uma espessura de 3,5 m. Entretanto, é certa sua continuidade para baixo, podendo-se afirmar uma espessura total de aproximadamente 6 m.

Nível A: Corresponde ao platô laterítico, com 2 a 4 m de espessura, que ocupa as partes mais elevadas da ilha, tendo uma superfície rugosa e contendo depressões tipo caldeirões. A laterita é vermelha-roxa, às vezes amarelada, constituída de hidróxidos de ferro e fosfatos de alumínio. Tem consistência compacta, textura cavernosa, pisolítica e aspecto brechóide devido aos inúmeros

veios de fosfatos que envolvem e entrecortam as porções ferruginosas.

Ao redor da ilha ocorrem depósitos de areias, argilas, seixos e blocos resultantes do ciclo de erosão atual. Devido a influência da maré, encontram-se também depósitos típicos de mangue.

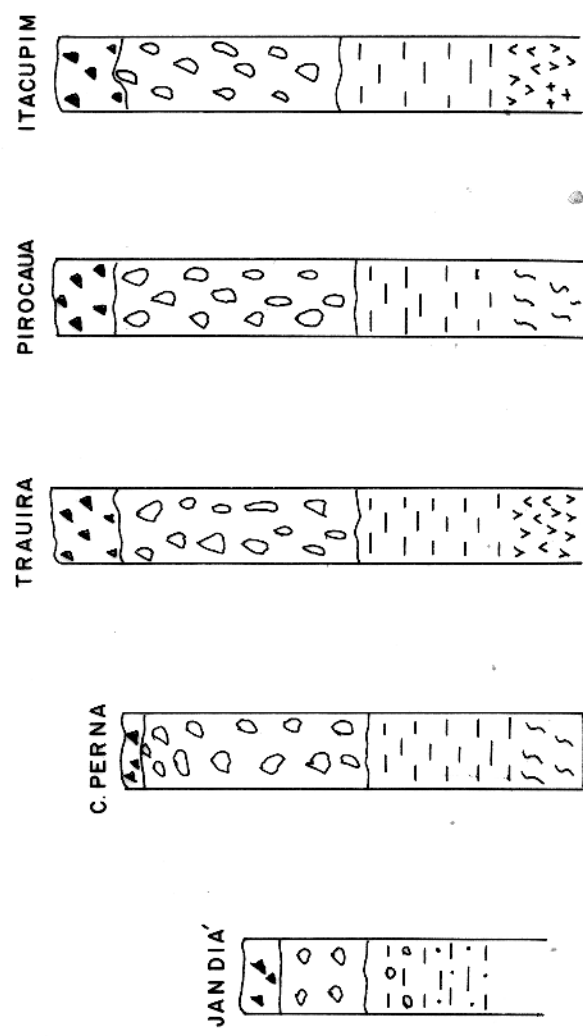
2.2.6. Correlações

Do exposto anteriormente, foi possível confeccionar perfis geológicos de cada ocorrência e correlacioná-los entre si, conforme ilustrados na Figura 2.6 e discutidos a seguir.

Todas as ocorrências se apresentam do embasamento para o topo em camadas bem definidas, aqui denominadas de níveis, distinguidos com base em critérios mineralógicos e texturais. O embasamento (nível D) compreende 3 grandes grupos petrográficos para as diferentes ocorrências:

- a) Rochas máfico-ultramáficas metamorfizadas (xisto verde), localmente com concentrações anômalas de apatita para a ilha de Itacupim e ilha de Trauíra, sendo que em Itacupim ocorrem também rochas félsicas. Segundo a coluna estratigráfica regional (Tabela 2.1) estas rochas pertenceriam a Associação Metamórfica Maracaçumé.
- b) Filitos decompostos do Grupo Gurupi constituem o embasamento do morro do Cansa Perna e Serra do Pirocaua. Nestas rochas não foram encontradas concentrações de fosfatos. Entretanto os filitos do Grupo Gurupi da região de Santa Luzia mostram níveis ricos em fosfatos (Oliveira, 1977).
- c) Rochas de composição arenítica a conglomerática, argilosa e micácea para o morro Jandiá. Estas rochas podem ser correlacionadas tanto com a Formação Piriá como Itapecuru e Alcântara ou com o Grupo Barreiras, segundo a coluna estratigráfica regional (Tabela 2.1).

Sobre estes embasamentos se superpõe um nível constitu



▲ ▲
Nível A: Laterita pseudo-brechoide (pele de onça): fosfatos de Al e óxidos de ferro.

○ ○
Nível B: Fosfatos de Al, Al-Ca em tonalidades claras.

— — —
Nível C: Material argiloso com hidróxidos de ferro.

— — —
Rocha areno-argilosa, micácea e com nódulos de fosfatos

§ § §
Nível D: Filitos e xistos: Grupo Gurupí.

△ △ +
Rochas máfica-ultramáficas metamorfizadas.

FIG. 2.6 — Perfis geológicos esquemáticos comparativos entre as ocorrências de fosfatos. (sem escala.)

ido principalmente por caolinita e quartzo (nível C), cujas características sugerem tratar-se de produtos de decomposição do embasamento. Este nível contém fosfatos de alumínio disseminados na sua parte superior.

Sobreposto ao nível C, em contato gradual, está o nível de fosfatos de alumínio e alumínio-cálcio (nível B), com espessura de 2,5 a 6,5 m, sendo mais delgado no morro Jandiá.

Recobrando o nível de fosfatos, em contato também gradual, ocorre um "chapéu de ferro" (nível A) bem representado em todas as ocorrências, exceto no morro do Cansa Perna. Sua espessura varia de 1 a 4 m, mais delgado em Jandiá, e se constitui de óxido-hidróxidos de ferro, envolvidos e agregados por uma massa de fosfatos de alumínio e alumínio-cálcio, mostrando uma textura pseudobrechóide. Na ilha de Trauíra e morro Jandiá ainda ocorrem neste nível, fosfatos de ferro e ferro-cálcio.

CAPÍTULO 3

MINERALOGIA

Foram determinados cerca de 30 minerais, conforme a Ta bela 3.1, na maioria fosfatos e silicatos, incluindo-se duas espé cies de fosfatos não classificados, que são aqui nomeados de mine ral-A e mineral-B. Os estudos mineralógicos foram conduzidos prin cipalmente por difração de raios-X, e completamente pela microscop ia e análises químicas. As características macroscópicas e mesmo microscópicas, em geral, são ambíguas, exceto para alguma varieda des mineralógicas, como wavelita fibroradial, dufrenita e mitrida tita. A análise química e as referências bibliográficas mais atu ais, auxiliaram a determinação da crandalita-goyazita, mitridatita, dufranita, wardita, variscita e wavelita, cujos padrões difratomé tricos diferem dos apresentados pela ASTM (1974).

Para as ocorrências de Trauíra e Pirocaua, estudadas por Brandt (1932), Abreu (1937), Sakamoto et al. (1959), Argentiére (1971), Costa et al. (1975 e 1977), foram utilizadas suas análises químicas que apoiaram bastante as determinações mineralógicas. A mineralogia determinada por estes autores difere substancialmente da aqui apresentada.

3.1. Fosfatos

3.1.1. Crandalita-goyazita, $(Ca, Sr)Al_3(PO_3(O_{1/2}(OH)_{1/2}))$, é o fosfato característico do nível B em Jandiá, Taruíra, Itacupim e Pirocaua. Em Jandiá é de cor branca amarelada ou cinza, terrosa, oolítica-pisolítica, estalactítica ou maciça; vítrea ou fosca, se compacta, é dura ($D = \pm 5$) e densa (2,9). Em Itacupim também é cre me e maciça e em Trauíra é ainda colunar, estalactítica e terrosa.

Propriedades Ópticas: - cor creme-clara a incolor, não pleocróica, relevo moderado, positivo, hábito fibroradial; índice

FOSFATOS

Crandalita-goyazita (CnGz)
Wardita (Wa)
Variscita (V)
Wavelita (W)
Augelita (Au)
Mineral-A (M.A)
Mitridatita (Mi)
Dufrenita (Du)
Berauntita
Mineral-B (M.B)
Lazulita
Apatita (Ap)

ÓXIDO-HIDRÓXIDOS

Hematita (Hm)
Goethita (Gt)
Óxido-Hidróxidos de Mn (O.Mn)
Gibbsita (Gb)
Boehmita
Anatásio (A)
Magnetita (Mg)

SILICATOS

Quartzo (Qz)
Caolinita (K)
Montmorilonita (Mt)
Clorita (Ch)
Biotita hidratada (Bt.h)
Vermiculita (Vm)
Tremolita-actinolita (T.Act)
Epidoto (Ep)
Muscovita (M)
Zircão (Z)
Albita-oligoclásio
Titanita (Ti)
Schorlita
Dravita (D)

Tabela 3.1 - Minerais identificados nas ocorrências de fosfatos estudadas e respectivas abreviaturas.

de refração menor que o do quartzo; cor de interferência cinza-escura; extinção ondulante e positiva; uniaxial positiva; mas em geral apresenta-se isotrópica.

Composição Química: - a crandalita-goyazita destas ocorrências tem composição química similar à de Alachua County, Flórida (Blanchard, 1972): $(\text{Ca}_{0,7} \text{Sr}_{0,3})\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Isto é uma solução sólida entre a crandalita (Cn) e a goyazita (Gz), representada por $\text{Cn}_{70}\text{Gz}_{30}$. A crandalita de Santa Luzia-PA é semelhante às das ocorrências aqui estudadas, pois análise semiquantitativa mostrou que a mesma contém concentrações de ordem de 3,4% de SrO , comparável às demais aqui estudadas.

Propõe-se a fórmula geral $(\text{Ca}, \text{Sr})\text{Al}_3(\text{PO}_3(\text{O}_{1/2}(\text{OH}_{1/2})))$ adaptadas à de Blount (1974) para a crandalita-goyazita destas ocorrências, inclusive Santa Luzia. Os teores de SrO variam de ocorrência para ocorrência e geralmente não ultrapassam os de CaO . Este mineral é o "carrier" principal de Rb, Ba, Ce, La, Nd, Zr e Nb. Este fato está bem representado em Trauíra, onde a zona oolítica-pisolítica com wardita é desprovida destes elementos, enquanto a zona colunar com crandalita-goyazita está enriquecida nos mesmos (Figura 4.5).

A crandalita-goyazita com estrutura aberta tipo alunita possibilita concentrações elevadas de Sr, Rb, Ba e Terras Raras, mais do que os carbonatos de Ca e demais fosfatos de Al, assemelhando-se, muitas vezes, à apatita. Isto é devido à coordenação 12 do Ca^{2+} na crandalita-alunita (Fron del, 1958). A própria apatita contém até 11% de SrO (Deer et al., 1974), que em geral nos fosforitos está em torno de 0,1% (Gulbrandsen, 1966). A crandalita originada pela decomposição residual da apatita pode mostrar um grau de enriquecimento em SrO de até 100 vezes (Blanchard, 1972). Na crandalita de Fairfield, os teores de SrO varia de 0,2 a 1,9%, enquanto que na wavelita e nos outros fosfatos de Al este óxido aparece em quantidades traços, o mesmo ocorrendo com os elementos acima mencionados (Fron del et al., 1968). A solução sólida crandalita-goyazita, além daqueles elementos, carrega Sc, Ga e Y em depósitos similares descritos por Cowgill et al. (1963), Foster et al. (1966), Fron del (1968), Blanchard (1972) e Blount (1974).

Padrão difratométrico:- a análise química e o conheci

% em peso									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	SrO	MgO	H ₂ O
1.		tr.	31,4	4,9	30,3	6,2	7,1	17,2	17,2
2.	3,7	1,6	27,4	13,0	24,9	6,9		19,5	19,5
3.	6,0	tr.	31,2	0,1	30,3	9,1		0,2	19,5
4.	22,3		29,0	4,5	27,8	5,1	3,7	2,4	
5.	5,4	4,7	29,8	11,0	32,1	2,5	1,1	0,2	14,0
6.	0,8		28,2		27,0	3,2	3,1		
7.	1,3		11,5		10,5		2,3		
8.	17,6		26,9	1,5	21,8	5,3	4,5	0,3	18,3
9.			36,9		34,3	13,5			15,2
10.			33,1		30,8		22,4		13,7

Tabela 3.2 - Composição química do material contendo crandalita-goyazita. 1. Colunar, Trauíra, Abreu (1937); 2. Fosfatos em tubo Trauíra, Brandt (1932); 3. Acicular-radial, Santa Luzia, Oliveira (1977); 4. Terroso com Qz, Se, Gt, Jandiá; 5. Branco amarelado com V, Hm e A, Cansa Perna; 6. Amarelo com Gt, Pirocaua; 7. Amarelado, duro com Gt, Itacupim; 8. Cimento do arenito, Flórida USA, Blanchard (1972); 9. Crandalita teórica; 10. Goyazita teórica.

mento dos difratogramas da crandalita de Fairfield e da Flórida (Blanchard, 1972 e Blount, 1974) e a sintética de Shade (1974) as seguram as determinações defratométricas feitas neste trabalho. A crandalita-goyazita das ocorrências aqui estudadas apresenta padrão difratométrico similar à de Santa Luzia, descrita por Oliveira (1977).

Modo de Ocorrência:- a crandalita-goyazita está principalmente relacionada ao nível B, ocorrendo como mineral principal em Jandiá, Trauíra e Itacupim, onde os teores de SrO e CaO são elevados. No nível A, com relativo decréscimo de Sr e Ca, é importante apenas no cimento e, em geral, compartilhada por quantidades menores ou similares de wardita ou variscita, produtos de sua alteração. Em Jandiá, cimenta os grão de quartzo, sericita, hematita, mitridatita, ora com variscita, wavelita e caolinita (Foto 3.1). Em Pirocaua ocorre com a augelita, goethita, hematita e anatásio, e no Cansa Perna é um mineral menor, produto de alteração da variscita, cortando ou envolvendo-a. Em Trauíra, está associada à wardita, no nível B e variscita, wardita, wavelita, drufanita, nitridatita, goethita, hematita e anatásio, no nível A. Em Itacupim ou está intrinsecamente relacionada à gibbsita e hoethita ou como mineral único.

3.1.2. Wardita - $\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

É típica dos materiais pobres em SrO, onde as concentrações de Na_2O são superiores às de CaO, como normalmente ocorre na base e no topo do nível B, no nível A e, por vezes, no nível C. As proporções de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ e o hábito são semelhantes aos da crandalita-goyazita, e muitas vezes estão intercrescidas criptocristalinamente.

Em Trauíra a wardita ora é branca acinzentada, oolítico-pisolítica, ora creme, maciça, dura ou aparece em cristais bipiramidais (0,1 mm) tetragonais (pseudo-octaedros) amarelos.

Propriedades Ópticas:- ao microscópio é esferolítica

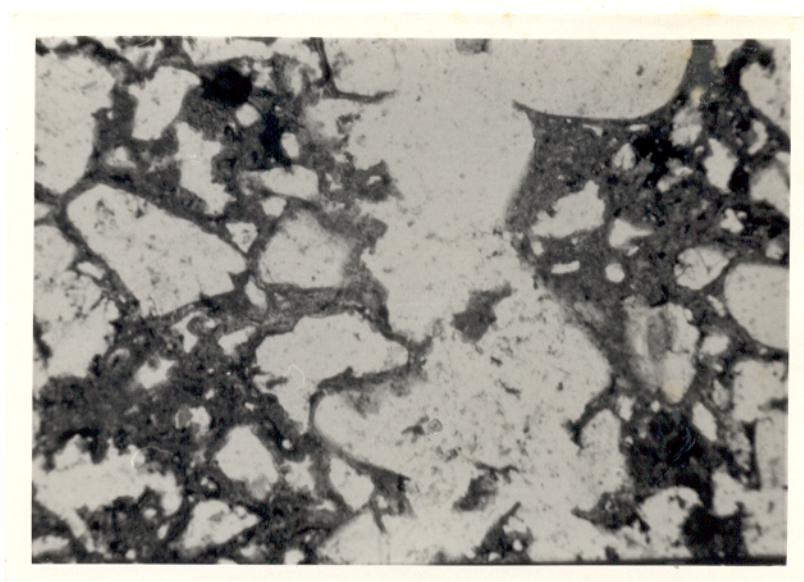


Foto 3.1 - Cimento de crandalita-goyazita e caolinita (escuro) envolvendo grânulos de quartzo (claro), Janudiá.



Foto 3.2 - Estalactites e estalagmites de crandalita-goyzita, nível B, Trauíra.

JANDIA		ITACUPIM		TRAUIRA		PIROCAUA	
d A ⁰	Ir	d A ⁰	Ir	d A ⁰	Ir	d A ⁰	Ir
5,68	4	5,69	4	5,69	4	5,68	4
		5,42	1				
		5,36	1				
4,84	1	4,84		4,88	1	4,84	1
		4,25					
3,49	4	3,50	4	3,50	4	3,50	
2,98	4	2,98	2	2,98	3	2,97	2
2,94	10	2,94	10	2,95	10	2,93	10
2,84	1	2,83	1	2,84	1	2,84	1
2,71	1	2,71	1	2,71	1	2,69	2
2,43	1	2,42	2	2,42	1	2,42	3
		2,34	1	2,34		2,35	
2,20	2	2,21	2	2,21	2	2,20	
2,17	3	2,17	2	2,17	2	2,17	3
2,04	1	2,04				2,04	
1,99	1	1,99				2,00	
1,89	4	1,89	3			1,89	
						1,84	
		1,80				1,80	
1,75	3	1,74				1,74	
1,69	1						
1,61	1						

Tabela 3.3 - Padrão difratométrico da crandalita-goyazita.

(Fotos 3.3 e 3.4), acicular-radial, envolvida por delgada película de goethita, que dificultou em parte a observação das propriedades ópticas. Para Brandt, o índice de refração é menor que 1,618 (esferólitos e octaedros). É amarelada, sem pleocroísmo, apresentando cor de interferência cinza e extinção ondulante, como a wavelita.

Composição Química:- A wardita, $\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, de composição química similar à da millisita, contém sempre Ca^{2+} substituindo ionicamente o Na^+ . O Sr ocorre apenas como traço, distribuído aleatoriamente, como os demais elementos traços aqui analisados.

As análises químicas de Brandt para os denominados esferólitos e octaedros são equivalentes entre si, bem como aos oólitos, pisólitos e a wardita de Beryl Mountain. Este autor calculou as proporções moleculares, obtendo $6\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$, uma molécula de H_2O a mais do que a wardita de Beryl Mountain. O cálculo das proporções de $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O}+\text{Ca})$, desprezadas por Brandt, confere com esta wardita. Parte do Fe_2O_3 está provavelmente na estrutura da wardita ou como goethita. Os octaedros observados por Brandt são os cristais bipiramidais tetragonais, típicos da wardita (Hurlbult, 1952), que acreditou tratar-se de um novo mineral, denominando-o de harbortita.

Padrão difratométrico:- A wardita e millisita também se assemelham estruturalmente, porém o pico 4,84 (10) característico da millisita, raramente é observado nas amostras de fosfatos aqui estudadas; se presente, é devido a crandalita. Owens et al. (1960) demonstraram que os picos $3,40\text{Å}^\circ$ e $3,92\text{Å}^\circ$ caracterizam a millisita de Homeland, Fairfield e do Senegal, enquanto os picos $3,96-3,95\text{Å}^\circ$, $3,11-3,12\text{Å}^\circ$ e $2,54-2,55\text{Å}^\circ$ caracterizam a wardita. Estas características são observadas nas amostras aqui estudadas (Tabela 3.5), confirmando as determinações. A presença ou a aproximação a alguns destes picos mostra o interrelacionamento wardita-millisita. O aumento da intensidade do pico $2,98-3,00\text{Å}^\circ$, evidencia o caráter ferruginoso da wardita.

Modo de Ocorrência:- Na ilha de Trauíra a wardita constitui os oólitos, pisólitos e esferólitos friáveis do nível B, nes

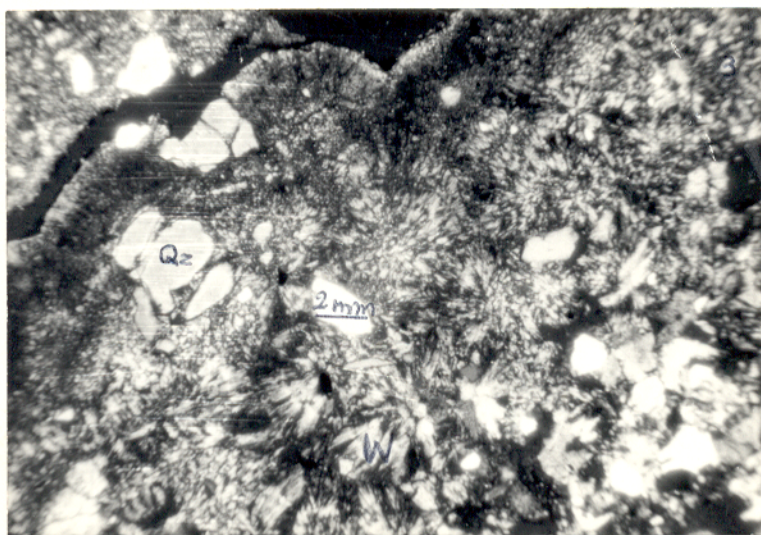


Foto 3.3 - Wardita (Wa) oolítica e wavelita (W) acicular-radial envolvendo grãos de quartzo; nicóis X, nível B, Janudiá.

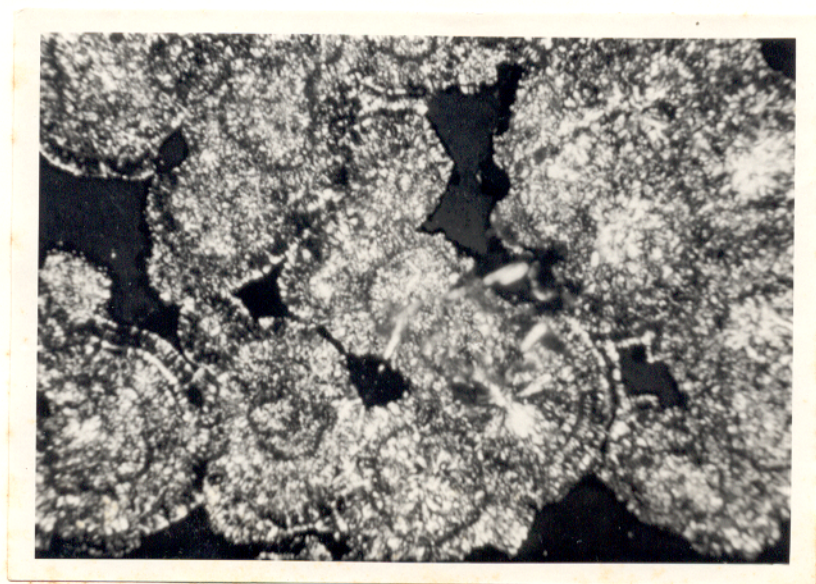


Foto 3.4 - Oólitos de wardita; nicóis X, nível B, Trauíra.

	% em peso								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	SrO	Na ₂ O	H ₂ O
1.	1,3	0,8	31,2		30,7	2,6	0,1		17,8
2.	6,6	1,3	31,5	7,3	28,2	2,6	0,04	4,4	17,8
3.	0,3	0,8	29,6	13,3	32,2	1,5		4,0	18,0
4.	0,8	1,2	31,8	7,6	34,4	1,3		3,9	18,7
5.	0,8	1,2	32,7	5,1	34,1	1,2		4,5	18,6
6.	0,6	1,3	32,7	4,5	35,4	1,6		4,7	18,6
7.	0,2	1,9	27,7	10,3	36,4	0,8		3,3	19,1
8.	1,5	2,0	24,5	26,5	25,7	0,7		2,0	16,9
9.			38,8		35,2			7,5	17,9

Tabela 3.4 - Composição química de diferentes amostras com wardita. 1. Oólitos e pisólitos, Trauíra. Análises químicas de BRANDT (1932) para: 2. Blocos próximo ao túnel; 3. Esferólitos soltos marrons; 4. Esferólitos soltos amarelos; 5. Esferólitos soltos brancos; todos do nível B, Trauíra. 6. Material branco; 7. Material amarelo; 8. Material marron; todos com pseudo-octaédros, nível A, Trauíra. 9. Wardita de Beryl Mountain, N. Hampshire-USA, Hurlbut (1952).

JANDIÁ		TRAUÍRA		TRAUÍRA		ITACUPIM	
d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir
6,60	1	6,63	1	6,64	1	6,60	
5,64		5,68	4	5,68	1	5,68	3
4,98	3	4,98	3	5,00	2	5,02	5
4,84		4,83	3			4,86	5
4,77	8	4,76	7	4,75	10	4,75	7
4,72	10	4,73	10			4,73	10
3,95	2	3,94	2	3,94	1	3,93	2
3,91	2						
3,49	7	3,50	5				
3,43	3	3,47	2	3,46	1	3,43	3
3,11	5	3,11	4	3,11	3	3,11	
3,08	6	3,08	6	3,09	4	3,07	
3,01	3	3,03		3,02			
2,99	8	2,99	6	2,99	4	2,99	
2,90	1	2,91	3	2,89	1	2,91	
2,83	3	2,83	3	2,82	2	2,84	
2,69	1	2,69	1	2,67	1		
2,63	1	2,63	1	2,62	1		
2,59	6	2,59	4	2,59	3		
2,54	1	2,54	1	2,54	1		
2,48	1						
				2,42	1		
2,38	1	2,39	1	2,38	1		
2,37	1	2,38	1	2,37	1		
		2,33	1	2,30	1		
		2,25	1	2,25	1		
2,20	1						
2,17	3	2,16					
2,15	2	2,15	3	2,15	2		
						2,09	

Tabela 3.5 - Padrão difratométrico da wardita (millisita)

tes últimos associada à crandalita e goethita. Também no nível A, nas partes mais superiores, está associada criptocristalinamente com a crandalita, às vezes mais abundantes que esta, e com a goethita e hematita (Foto 3.5). Nas cavidades milimétricas ocorre em cristais pseudo-octaédricos, em parte originados dos oólitos. Em Itacupim, é encontrada na matriz argilosa (nível C) entre os cristais de vermiculita por decomposição da apatita-wavelita. Em Jandiá, está exclusivamente no nível A, associada à crandalita-goyazita, hematita, variscita, envolvendo os cristais de mitridatita. No Cansa Perna é rara, quer no nível B quer no nível A.

3.1.3. Variscita, $(Al, Fe^{3+})PO_4 \cdot 2H_2O$.

É o fosfato principal do morro do Cansa Perna, restrito em Pirocaua e raro nas demais ocorrências.

No Cansa Perna a variscita é branca-amarelada, maciça e dura, ou terrosa e mole. É também cavernosa, como nódulos ou fragmentos centimétricos em estruturas concêntricas (Foto 3.6), tendo uma parte central castanha de goethita. No Pirocaua é amarelada, terrosa, com aspecto argiloso. Em Jandiá é mais ou menos terrosa branca, fosca, confundível com a wardita e crandalita.

Normalmente tem caráter isotrópico, bordejada por película ou cortada por vênulas anisotrópicas de crandalita e wavelita. (Foto 3.7).

Composição Química: - A variscita destas ocorrências é do tipo $(Al, Fe^{3+})PO_4 \cdot 2H_2O$. A relação $P_2O_5/Al_2O_3 = 1,4$, mais alta do que na wavelita (0,9), explica a sua predominância no Cansa Perna. Parte do Fe^{3+} do nível B está na sua estrutura em solução sólida com a strengita.

Os elementos menores e traços, como Sr, Rb, Ba, Ce, La, Nd, Zr e Nb, se comparados com outras ocorrências, estão em concentrações baixas, porém, no Cansa Perna, estão relativamente mais concentrados na variscita associada à crandalita-goyazita. Este fato foi verificado por Frondel (1968) e Frondel et al. (1966) nos fosfatos aluminosos de Fairfield.

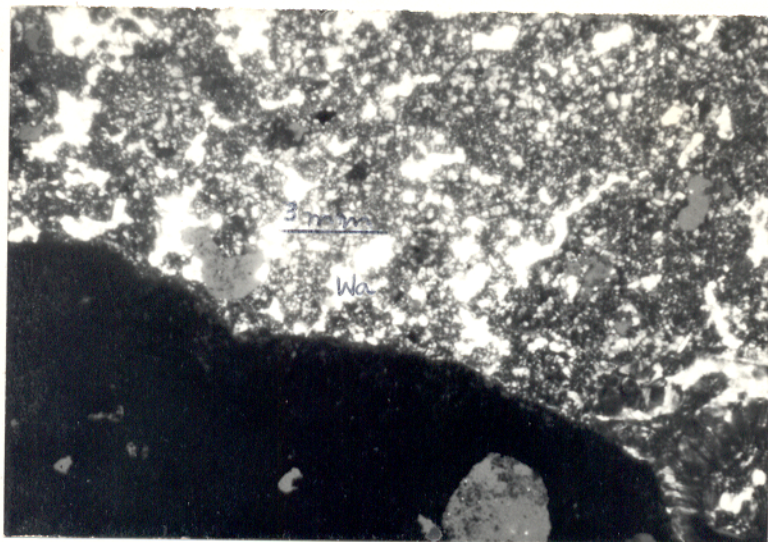


Foto 3.5 - Wardita (branco) nas cavidades dentro de augelita (cinza) cimentando hematita (negro); ni cóis X, nível A, Trauíra.

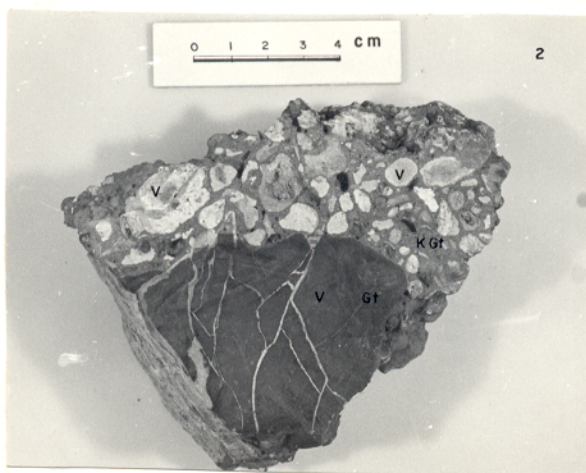


Foto 3.6 - Fosfatos pseudo-brechóide (nível B) com nódulos de variscita (V) em cimento de goethita (Gt) e caolinita (K). As vênulas são de variscita; morro do Cansa Perna.

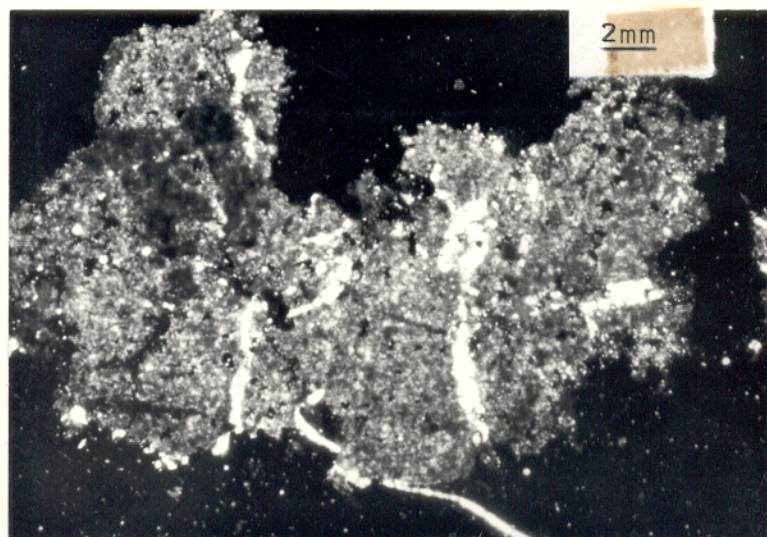


Foto 3.7 - Variscita (cinza) cortada por vênulas de wavelita (branca); nível B, Cansa Perna.

	% em peso								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	SrO	MgO	H ₂ O
1.	5,4	4,7	28,8	11,0	32,1	2,5	1,1	0,2	14,0
2.	0,9	nd	32,0	11,7	36,4	4,3	nd	1,3	nd
3.	7,3	4,7	14,0	27,7	27,2	3,6	0,5	1,0	nd
4.	0,5	11,9	18,1	44,7	14,0	3,0	tr.	2,0	nd
5.			32,3		44,9				22,8
6.			14,5	21,8	40,1				23,7

Tabela 3.6 - Composição do material contendo variscita 1 e 2. A marelo-branco, compacto: CnGz, Hm e A, Cansa Perna. 3. Pseudobre chóide, amarelo: A e Wa, Cansa Perna. 4. Amarelo com A(12%), Gt, W, Cansa Perna. 5. Variscita teórica, AlPO₄.2H₂O. 6. Estrengita teórica, ASTM 15-391 (1974). nd = não determinado. Para abreviaturas consulte a Tabela 3.1.

CANSÁ PERNA				JANDIÁ		TRAUÍRA	
d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir
5,41	1	5,42	1	5,3			
5,37	8	5,38	8	5,36	5	5,36	9
4,82	4	4,83	4	4,83	4	4,83	8
		4,42	4			4,42	2
4,39	4						
4,29	10	4,27	10	4,25	10	4,26	10
						3,94	4
3,90	2	3,91	3	3,90	2		
3,73	1	3,74	1	3,76			
3,63	1	3,64	1			3,62	2
3,46	1	3,46	3	3,46		3,46	6
3,34	1	3,33	4	3,33		3,33	
3,21	1	3,20	2			3,21	2
				3,07			
3,03	6	3,04	4			3,03	8
2,93	3	2,94	1	2,93		2,93	
2,91	3	2,91	2			2,91	7
2,87	3	2,87	1	2,88		2,87	
2,74	3	2,74	1			2,74	1
2,69	3	2,70	2			2,69	2
2,63	1	2,64	1			2,63	2
2,58	1	2,57	1			2,58	
2,48	2	2,47	1	2,45		2,48	1
2,40	1	2,41	1	2,41		2,38	1
2,32		2,32				2,33	

Tabela 3.7 - Padrão difratométrico da variscita.

Padrão Difratométrico:- A variscita, isoestrutural com a strengita, com a entrada do Fe^{3+} , de maior raio iônico ($0,64\text{\AA}$), aumenta as distâncias interplanares e respectivas intensidades relativas (Tabela 3.7). A variscita destas ocorrências é comparável em parte com a do Rio Grande do Norte (ASTM 15-281), onde as reflexões menos intensa estão contidas em ASTM 7-69 e 19-39.

Modo de Ocorrência:- No Cansa Perna é o mineral principal do nível B, associado com o mineral-A na parte superior e com a crandalita-goyazita, wavelita e/ou wardita na parte inferior. Ao longo de todo perfil ocorre com hematita e/ou goethita e anatásio. Vênulas de variscita cortam os nódulos de goethita. Em Jandiá foi encontrada no nível B (TC/21) associada à crandalita-goyazita e quartzo, e no nível A com a lazulita, dufrenita e quartzo. Em Pirocaua ocorre no nível B, subordinada a crandalita-goyazita. Em Santa Luzia compõe um nível delgado intercalado nos filitos do Grupo Gurupi (Oliveira, 1977).

No Cansa Perna, a variscita parece ser o mineral secundário que primeiro se formou, enquanto wardita, crandalita e wavelita são tipicamente produtos de alteração da mesma. Perfil acima, passa para o mineral-A com o relativo aumento de Al_2O_3 . A substituição é parcial, e os dois minerais são distinguíveis macroscopicamente.

3.1.4. Wavelita, $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

É comum somente na ilha de Itacupim, associada a outros fosfatos e a hidróxidos e óxidos de ferro, produto direto da decomposição da apatita contida nas rochas do embasamento. Ocorre em hábitos variados: em Santa Luzia é acicular-radial, associada à crandalita (Oliveira, 1977). Em Itacupim a wavelita é esferulítica, internamente acicular-radial, ligeiramente esverdeada, translúcida a transparente. Ocorre também como concreções branco-amareladas, compactas, duras ou argilo-terrosas. Em Pirocaua forma drusas em cristais de 3 a 7 mm, prismático-tabulares, incolores, transparentes, vítreos (PR/135D).

Composição Química:- A wavelita, $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$,

	p p m						
	SrO%	Rb	Ba	La	Ce	Zr	Nb
wavelita+hematita	1,1	116	437	211	570	719	46
wavelita+goethita	2,0	130	912	41	96	765	64
crandalita-goyazita+ gibbsita	7,7	1374	1475	308	847	2842	278

Tabela 3.8 - Elementos menores e traços em materiais ricos em wavelita e crandalita-goyazita da ilha de Itacupim.

ITACUPIM		PIROCAUA		CANSÁ		PERNA	
d A ⁰	Ir	d A ⁰	Ir	d A ⁰	Ir	d A ⁰	Ir
8,58	8	8,55	10	8,58	8	8,57	5
8,42	10			8,36	10	8,34	10
5,64	8	5,68	2			6,68	
5,37	2	5,41	1	5,64	5	5,68	2
4,95	2	5,00	1	5,38		5,36	
4,79	5	4,79	2	4,95	4	4,98	
4,33	1	4,33	1	4,79		4,79	
				4,33		4,33	
				4,07	3		
4,04	1	4,03	1	4,04	7	4,03	3
3,95	1	3,95	1	3,96		3,94	
3,86	1	3,85	1	3,86		3,85	
						3,60	
3,42	7			3,43	6	3,43	
		3,38	2	3,33		3,34	
3,26	1			3,26		3,26	
3,22	9	3,21	5	3,22	6	3,21	
3,14	1	3,14	1	3,15		3,14	
3,08	2	3,09	1	3,08		3,08	
				3,04		3,04	
2,95	1	2,98	1	2,97	6	2,98	
		2,95	1	2,94	7	2,93	
2,92	2	2,91	1	2,91		2,91	
2,87							
2,80	3	2,80	2	2,82		2,82	
						2,79	
2,60	1	2,61	1			2,60	
2,57	4			2,57		2,57	
2,54		2,53		2,52			
2,40							
2,36	1	2,35	1	2,36		2,35	
2,22	1	2,27	1	2,25		2,25	
2,19		2,19	1	2,19			
2,10	3	2,10	1	2,10		2,10	
2,10	3	2,10	2	2,10		2,10	
2,05	1	2,05	1	2,05		2,05	
2,03		2,03		2,03		2,03	
1,97	1	1,97	1	1,98		1,98	
1,96	1						
1,88	1						

Tabela 3.9 - Padrões difratométricos da wavelita.

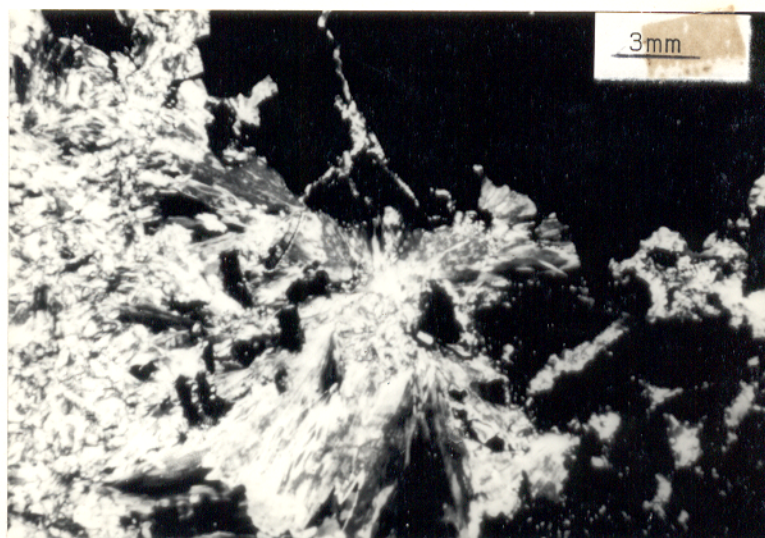


Foto 3.8 - Wavelita (branco) acicular-radial e óxido-hidróxidos de manganês (escuro); nicóis X, nível C , ilha de Itacupim.

com relação $P_2O_5/Al_2O_3 = 0,9$, em comparação com a crandalita-goyazita, registra baixas concentrações de Sr, Rb, Ba, Ce, La, Zr e Nb (Fron del et al., 1968).

Propriedades Ópticas:- Incolor, fibro-radial (Foto 3.8) relevo positivo, não pleocrônica, com extinção ondulante; tem cor de interferência amarela-acinzentada, elongação positiva e é biaxial positiva.

Padrão Difratométrico:- não coincide totalmente com o padrão da ASTM (20076), mas é idêntico ao de Arkansas (Shade, 1974) e ao de Santa Luzia (Oliveira, 1977). Os picos 8,58 e 8,36 Å⁰ são característicos, comuns em todas as amostras de wavelita que foram estudadas (Tabela 3.9).

Modo de Ocorrência:- em Itacupim a wavelita ocorre em forma de seixos compactos e arredondados, associada à hematita (primária), vermiculita ou óxido-hidróxidos de manganês (Foto 3.8). Ocorre também como vênulas nas rochas esverdeadas semi-decompostas e nas rochas verdes máfico-ultramáficas, entre os interstícios dos cristais de tremolita-actinolita e clorita (Foto 2.8). Ocorre ainda nas fraturas das concreções limoníticas da base da falésia e em forma disseminada; terrosa na matriz argilosa do nível C associada à wardita.

Em Pirocaua, a wavelita como o mineral-A, encontram-se como drusas nas cavidades dos níveis A e B. Nos demais depósitos é rara, associada com a crandalita-goyazita em Jandiá, e com variscita, anatásio e goethita no Cansa Perna. Em Trauíra apenas foi observada no nível A, associada também à wardita e crandalita-goyazita.

Em Itacupim é o primeiro mineral a se formar pela de composição da apatita, formando auréolas ao redor desta, inicialmente isotrópicas, de cor amarela-escura, para depois se apresentarem acicular-radiais, incolores e com extinção ondulante.

3.4.5. Augelita

É um fosfato secundário típico do nível B da serra do

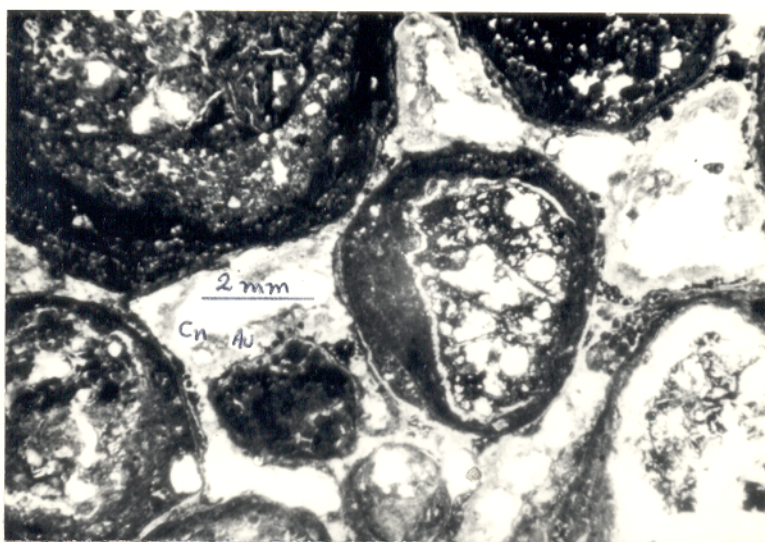


Foto 3.9 - Oólitos e pisólitos de augelita; nicóis//, nível A, serra do Pirocaua.

Pirocaua, restrito em Trauíra e relacionado a materiais com relação $Al_2O_3/P_2O_5 > 1,0$.

É comparável à variscita do Cansa Perna, amarelada, terrosa ou maciça; cavernosa; se maciça, apresenta bandeamento. Ocorre ainda em tom lilás, maciça ou oolítico-pisolítica (Foto 3.9), com fratura concóide, cortante.

Composição Química:- A augelita, $Al_2(PO_4)(OH)_3$, tem $P_2O_5/Al_2O_3 \approx 0,7$, inferior a da wavelita e pode conter Fe^{3+} substituindo o Al^{3+} . Análises químicas deste material são mostradas na Tabela 3.11.

As variações nos teores dos elementos menores e traços ao longo do perfil de fosfatos são devidas às variações nas quantidades de crandalita-goyazita e augelita. Concentrações altas de augelita correspondem baixos teores de Sr, Rb, Ba, Ce, La, Zr e Nb (Tabela 3.10).

Sakamoto et al. (1956) inferiram augelita apenas no material pisolítico vermelho escuro e marrom acinzentado, associada à estrengita, variscita, dufrenita, a partir de análises químicas e observações ao norelco. Esta associação mineralógica não foi observada neste trabalho.

Padrão Difratométrico:- o padrão difratométrico da augelita estudada é comparável ao da ASTM (14-380) sendo característicos os picos $3,50A^\circ$, $3,338A^\circ$ e $4,67A^\circ$, dificultando parcialmente a identificação do anatásio e, em parte, podendo-se confundir com diásporo e quartzo.

Modo de Ocorrência:- Em Pirocaua, a augelita é o principal fosfato dos níveis B e A, associada à crandalita-goyazita, goethita, hematita e anatásio e às vezes à variscita. No nível B a augelita bandeadada contém drusas de wavelita e do mineral-A. No nível A, prepondera sobre a crandalita-goyazita, cimentando ou cortando os pisólitos e "fragmentos" de hematita e dravita.

Na ilha de Trauíra, a augelita não é um mineral comum, ocorrendo no nível A, como um material duro, lilás, com drusas de wardita e raramente crandalita-goyazita. A este material, Abreu

	p p m						
	SrO%	Rb	Ba	Zr	Nb	La	Ce
crandalita-goyazita	3,50	355	240	1401	126	11	18
augelita	0,17	-	174	136	11	12	33
variscita	0,60	119	88	796	62	7	9

Tabela 3.10 - Elementos menores e traços em minerais da serra do Pirocaua.

	% em peso								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	SrO	MgO	H ₂ O
1.	2,0		28,2	35,0	21,2		0,6		
2.			29,5	16,8	21,8				18,5
3.			42,1	4,2	27,7				19,0
4.	1,0	1,6	23,5		25,7	3,2	3,5		
5.	2,5	5,0	41,2	4,1	25,9			2,5	19,0
6.		0,5	43,7	9,1	19,2	4,1	3,4		15,8
7.			45,5		31,7				22,8

Tabela 3.11 - Composição química de lateritas com augelita. 1. Nível A, Pirocaua; 2. Chapéu de ferro (Rabello, 1945); Nível A, Pirocaua; 3. Bauxita fosforosa (Rabello, 1945); Nível B, Pirocaua; 4. Material amarelo, terroso, nível B, Pirocaua; 5. Material maciço, branco, ferruginoso (Sakamoto et al., 1956); Nível B, Pirocaua; 6. Bauxita fosforosa (Abreu, 1937): nível B, Trauíra; 7. Augelita teórica.

d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir	d A°
4,69	6	2,484	3	4,68	5	2,48
4,28	1	2,377	1	4,28		2,37
3,99	3	2,337	1	3,99	7	2,33
3,69	1	2,22	1	3,69	1	
3,63	1	2,20	1	3,60	1	2,20
3,51	9	2,07	1	3,52	10	2,07
3,33	10	2,00	1	3,34	10	1,99
3,24		1,939	2	3,24		1,94
3,15	2	1,922	1	3,15	2	1,92
3,04	1	1,895	1	3,04		1,89
2,60	1	1,865	3	2,60		
2,53	1	1,722	1	2,53		1,72

Tabela 3.12 - Padrão difratométrico da augelita de Pirocaua.

(1937) denominou de bauxita fosforosa, acreditando tratar-se de relictos de bauxita enriquecida em P_2O_5 .

3.1.6. Mineral-A

As análises difratométricas de amostras macroscopicamente diferentes, da serra do Pirocaua e morro do Cansa Perna, são coincidentes e não classificadas nas fichas da ASTM (1974). As análises químicas mostram que se trata de um fosfato de alumínio, de composição química similar a da augelita.

Características Macroscópicas: em Pirocaua. São cristais prismáticos (Foto 3.10), alongados, tabulares, incolores, transparentes, brilho vítreo, às vezes envolvidos por película marrom. As superfícies de fraturas tem formato em "V" e são estriadas; dureza ± 5 . No Cansa Perna: apresenta-se amarelo-lilás a branco (Foto 3.11), nodular ou como vênulas irregulares, ora reticulados, ora recobertos por minúsculos cristais. O brilho é vítreo, a fratura concóide e de arestas cortantes; dureza ± 5 .

Propriedades Ópticas. São similares nas duas ocorrências, porém melhor observadas na amostra de Pirocaua. O relevo é baixo; é não pleocróico e quase incolor; biaxial negativo, extinção reta. $2V = 50$ a 60° .

Composição Química. A fórmula mínima preliminar, $Al_2(PO_4).(OH)_3.2H_2O$, é similar a da augelita, $Al_2(PO_4).(OH)_3$. Provavelmente o mineral-A e augelita são dimorfos, algo comparável a variscita e meta-variscita.

Nas duas amostras (CS/26 e PR/135A) as relações P_2O_5/Al_2O_3 são idênticas ($\pm 0,6$) próximas as da augelita (0,7). As concentrações mais baixas de P_2O_5 e Al_2O_3 da amostra PR/135A, são devidas a inclusão de outras fases mineralógicas.

Padrão Difratométrico. Os padrões das duas amostras (Tabela 3.15) são semelhantes entre si, divergindo sutilmente nas intensidades relativas devido a outras fases mineralógicas, e comparáveis, em parte, ao da meta-variscita. (ASTM 15-311).

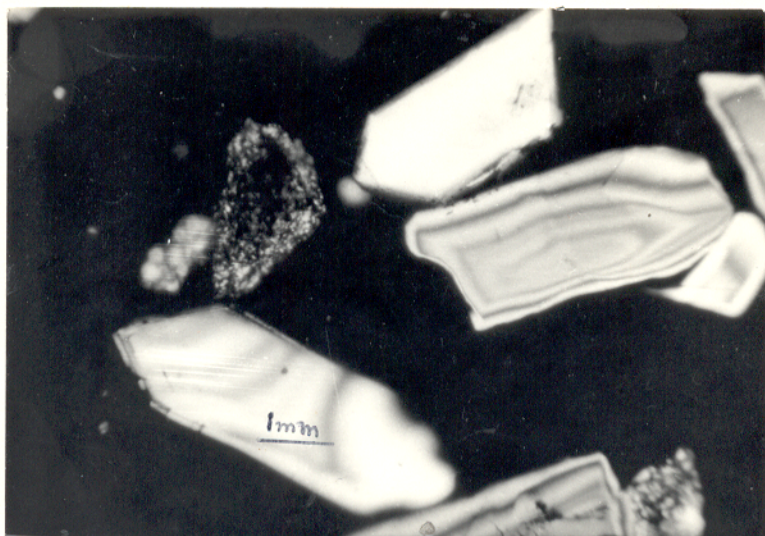


Foto 3.10 - Cristais milimétricos do mineral-A, nicóis X, nível B, serra do Pirocaua.



Foto 3.11 - Mineral-A (M.A) variscita (V), nível B, Can_
sa Perna.

% em peso								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	SrO	H ₂ O
CS/26	1,0	5,0	39,7	2,8	26,0	1,4	0,03	21,7
PR/135 _A	1,8		33,8	8,0	22,0			
p p m								
	Sr	Rb	Ba	La	Ce	Zr	Nb	Nd
CS/26	348		131	10	19	541	24	13,7 Mi neral-A

Tabela 3.13 - Composição química e distribuição dos elementos menores e traços no mineral-A. CS = Cansa Perna; PR = Pirocaua.

	1	2	3	4	5
Al ₂ O ₃	39,7	45,4	0,44	2,0	
P ₂ O ₅	26,0	29,7	0,21	1,0	2(Al ₂ O ₃). (P ₂ O ₅). 6,5 H ₂ O
H ₂ O (OH)	21,7	24,7	1,38	6,5	Al ₂ (PO ₄). (OH) ₃ . 2(H ₂ O)
Outros	12,6				

Tabela 3.14 - Composição da fórmula mínima do mineral-A. 1. Análise química total (% peso), CS/26; 2. Coluna 1 recalculada a 100%; 3. Proporções moleculares; 4. Proporções para P₂O₅= 1,5 . Fórmula mínima.

CANSA PERNA				PIROCAUA			
d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir
5,94	2	2,31	1	5,97	1	2,313	
5,37	7	2,24	1	5,39	9	2,26	
				4,85	1	2,24	
4,69	5	2,199	1	4,71	4	2,209	1
4,07	10			4,08	9		
3,81	9	2,139	1	3,82	10	2,155	
3,59	9	2,065	3	3,59	8	2,069	2
3,52	9	2,038	1	3,53	3	2,05	
3,32	1			3,34	1	1,992	
		1,987	1	3,23	1	1,99	
3,19	7	1,972	1	3,20	5	1,97	1
2,98	9	1,939		2,98	5	1,942	
2,78	1			2,78	1	1,937	
2,69	1	1,931	1	2,69	1	1,929	
2,59	2	1,924	4	2,59	2	1,916	
2,48	1					1,811	
2,42	1			2,42	2		
2,41	3	1,806	1			1,808	
2,39	1	1,763	1	2,37	3	1,767	1
2,34		1,710				1,726	
		1,697					

Tabela 3.15 - Padrão difratométrico do mineral-A.

Modo de Ocorrência. Em Pirocaua, o mineral-A encontra-se como drusas revestindo as cavidades da augelita nos níveis B e A. Foi encontrado em abundância no poço do centro do platô associado à wavelita. No Cansa Perna é a fase dominante da parte superior do nível B, associado à variscita e wavelita. O mineral-A é de formação posterior a augelita e variscita, representando mobilização parcial e reprecipitação em estrutura cristalina diferente (polimorfismo), similar à variscita e meta-variscita.

3.1.7. Mitridatita

$\text{CaFe}_2(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (Moore, 1970), é um fosfato verde-escuro, típico e abundante na parte superior do nível A em Jandiá (Foto 3.13), mais restrito em Trauíra e pela primeira vez descrito nesta região. Pertence ao grupo dos fosfatos de ferro-cálcio, fortemente pleocróicos e verde-escuros, cuja grande diversidade mineralógica depende do estado de valência do ferro.

Tanto em Trauíra como em Jandiá ocorre como nódulos (diâmetro de 1 - 5 cm) esféricos a disformes, oolítico-pisolítico ou fibro-radial a tabular, em cor verde (Foto 3.12). O brilho é semi-metálico, a cor do traço verde-garrafa, ligeiramente mais claro do que o da dufrenita.

Propriedades Ópticas. Ao microscópio a mitridatita é de cor creme-castanha, tendo pleocroísmo forte de cor creme-castanha a vermelha intensa. O relevo é moderadamente positivo e a clivagem basal perfeita. A cor de interferência é o amarelo-escuro. Em seção basal o pleocroísmo é moderado, em cor vermelha acastanhada, com ausência de clivagem (Fotos 3.13 e 3.14), e cor de interferência vermelha profunda. É uniaxial negativa.

Composição Química. As análises químicas mostram que a mitridatita de Jandiá difere parcialmente da Sibéria Oriental (ASTM, 1974) e que sua fórmula mínima mais provável é $\text{CaFe}_2(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, divergindo da de Moore (1974), que contém Fe^{2+} . A presença de dufrenita dificulta um cálculo preciso de sua fórmula mínima. Os elementos traços como Sr, Rb, Ba, Ce, La, Zr e

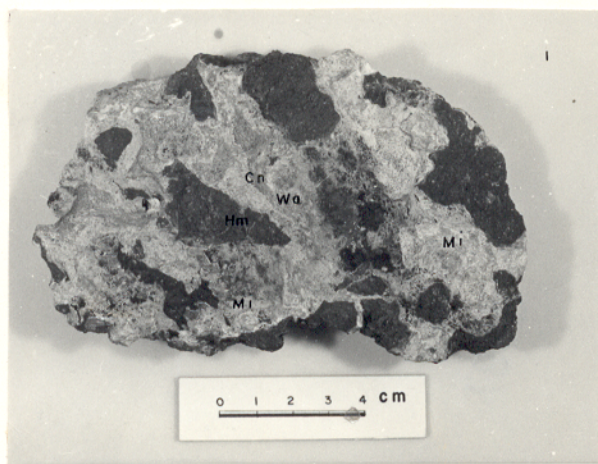


Foto 3.12 - Nódulos de mitridatita (Mi) e hematita (Hm) em cimento de crandalita (Cn) - wardita (Wa), Jandiá.



Foto 3.13 - Mitridatita acicular radial; quartzo (Qz), wavelita (W) e wardita, nicóis X, Jandiá.

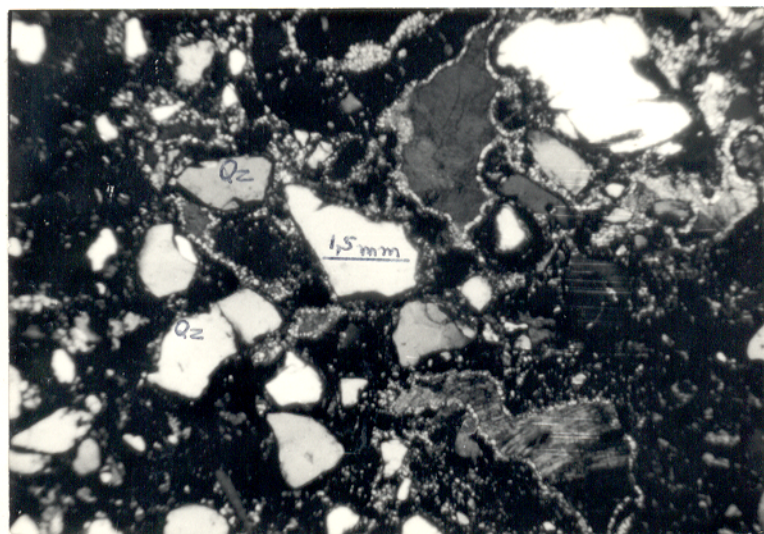


Foto 3.14 - Mitridatita envolta por película de war
dita-wavelita, nicóis X, Jandiá.

	% em peso								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	P ₂ O ₅	CaO	SrO	H ₂ O
1.				38,1	1,1	32,6	17,7		9,8
2.	0,4	0,01	1,8	42,8				0,04	
3.	0,8			41,0			13,1		

Tabela 3.16 - Composição química da mitridatita. 1. Ca₂Fe₃(PO₄)₃(OH)₄ · 1.55H₂O, URSS (ASTM, 1974). 2. Morro Jandiá (TC/25_A) com traços de dufrenita; via úmida: semiquantitativa. 3. Morro Jandiá; Absorção atômica e fluorescência de R-X: semiquantitativa.

Nb estão em quantidades muito baixas, inferiores às do demais fos₃ fatos.

Padrão Difratométrico. A mitridatita de Jandiá e de Trauira tem modelo difratométrico comparável ao da ASTM 22-149 (Si₃béria Oriental, URSS) e próximo ao apresentado por Moore (1974), que menciona como picos mais característicos $8,65\text{\AA}^{\circ}$ (10) $5,60\text{\AA}^{\circ}$ (5), $2,74\text{\AA}^{\circ}$ (6), bem como Chukhrov et al. (in Moore, 1974). Os picos mais expressivos em Jandiá (Tabela 3.17) também estão presentes nas localidades anteriores, em menor intensidade. Estas diferenças são comuns e devidas às variações das relações $\text{H}_2\text{O}/\text{OH}$ e $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ na estrutura destes minerais.

d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir
11,47	1	5,24	1	3,02	1	2,62	1	2,175	8
10,65	1	4,36	7	2,99	1	2,56	2	2,110	1
8,74	10	3,52	1	2,90	9	2,46	3	2,064	1
8,07	1	3,21	1	2,81	1	2,31	1	1,908	1
5,58	3	3,16	1	2,77	1	2,26	1	1,743	1
5,39	1	3,05	1	2,73	3	2,21	1		

Tabela 3.17 - Padrão difratométrico da mitridatita de Jandiá.

Modo de Ocorrência - a mitridatita é típica das partes superior e superficial do nível A em Jandiá, associada à hematita (goethita), crandalita-goyazita, wardita e quartzo (Foto 3.14). A mitridatita substitui parcial ou totalmente os pisólitos e nódulos de hematita ou os envolve. Esferólitos de mitridatita são envolvidos por faixas delgadas concêntricas de cor verde-garrafa de berunita, como produto de sua alteração. Dufrenita e mitridatita estão mutuamente associadas tanto em Jandiá como em Trauíra.

A mitridatita é texturalmente posterior à formação dos óxido-hidróxidos de ferro e fosfatos de alumínio e formada por remobilização parcial dos fosfatos subjacentes, portadores de cálcio, cujas soluções reagiram com aqueles óxido-hidróxidos, reprecipitando-se como fosfatos de ferro e cálcio, além de variscita e wavelita. Fato idêntico é discutido por Moore (1970 e 1974).

3.1.8. Dufrenita

$\text{CaFe}_2^{2+} \text{Fe}_{10}^{3+} (\text{OH})_2 (\text{H}_2\text{O})_4 (\text{PO}_4)_8$, como a mitridatita, pertence ao grupo dos fosfatos ferroso-férricos, ocorrendo no nível A, principalmente em Trauíra. Macroscopicamente é similar a mitridatita, diferindo desta química e estruturalmente. É comparável à descrita por Moore (1970), dos pontos de vista químico, cristaloquímico e paragenético. Brandt (1932) foi o primeiro autor a descrever este mineral em Trauíra, denominando-o de kraurita.

Os caracteres macroscópicos são idênticos aos da mitridatita, apenas com cor do traço verde-garrafa mais escuro que o da mitridatita; dureza ≈ 4 , densidade $\approx 3,08 \text{ g/cm}^3$.

Propriedades Ópticas - é castanha-esverdeada, com pleocroísmo forte, passando de castanho-esverdeado a verde vivo, depois vermelho. Apresenta-se fibro-radial ou em feixe (Foto 3.16). Relevo moderadamente positivo; extinção reta; biaxial positivo e alongação positiva.

Composição Química - a dufrenita difere da mitridatita pela quase total ausência de Ca^{2+} e a preponderância de Fe^{3+} so

% em peso

	SiO ₂	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	SrO	Na ₂ O	H ₂ O	Outros
1.	0,5		55,6		30,30	1,5			10,6	1,5
2.			8,2	45,7	32,50	3,2			10,3	
3.	0,6	0,2		52,0	32,00	0,9		1,2	10,6	
4.	0,7	tr.		51,0	31,60	3,5	0,02	nd	nd	

Tabela 3.18 - Composição química da dufrenita. 1. Kinch and Bu
tler (1933) (in Moore (1970); 2. Cornwall, Moore (1970); 3. Krau
rita (dufrenita), Trauíra, Brandt (1932); 4. Trauíra: análise se
 mi quantitativa; nd = não determinado; tr = traço.



Foto 3.15 - Dufrenita (Du) envolvendo e substituindo os nódulos de hematita; Trauíra.

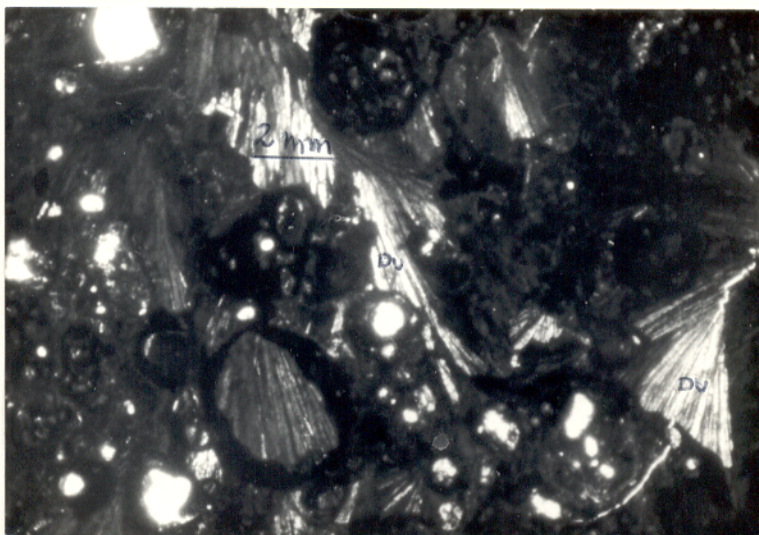


Foto 3.16 - Dufrenita acicular-radial, ora substituindo pisólitos de óxido-hidróxidos de ferro, nicóis //, Trauíra.

TRAUÍRA				JANDIÁ		
d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir	d A°
11,98	9	2,903	2	12,00	9	
6,78	1	2,865	6	6,78	1	2,84
6,41	1	2,807	1	6,41	1	
5,98	5	2,780	1	5,98	1	
5,55	1	2,754	1			
5,00	10	2,629	1	5,01	10	2,62
4,79	1	2,575	9	4,80		
4,35	2	2,515	1			
4,11	3	2,488	1	4,09		
4,00	5	2,433	1			
3,76	1	2,402	1			
3,64	1	2,368	1	3,62		
3,50	1	2,280	1	3,51		
3,43	1	2,226	1			
3,39	5	2,179	1	3,39		
3,21	6	2,147	1	3,21		
3,15	9	2,102	2	3,14		
3,01	6	2,056	1			
2,99	3	2,009	2	2,98		

Tabela 3.19 - Padrão difratométrico da dufrenita.

bre Fe^{2+} . Sua fórmula mínima é do tipo $\text{CaFe}_2^{2+}\text{Fe}_{10}^{3+}(\text{OH})_{12}(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_8$, como mostram as análises químicas (Tabela 3.18) comparáveis à de Cornwall (Moore, 1970), com teores de CaO , FeO e Fe_2O_3 variáveis. É marron somente quando contém Fe^{3+} e verde-escuro quando com Fe^{2+} , como em Trauíra. Sua composição química pouco difere da rockbridgeita, ambas com quantidades menores de MgO , MnO , e Al_2O_3 .

Padrão difratométrico - É idêntico ao da dufrenita de Cornwall (Tabela 3.19) com pequenas divergências na intensidade relativa dos picos, fato comum na dufrenita (Moore, 1970).

Modo de Ocorrência - A dufrenita é típica das partes superior e superficial do nível A, associada à hematita (goethita), crandalita e wardita. Ocorre como nódulos concrecionários, como pisólitos e oólitos ou núcleos, substituindo parcial ou totalmente os óxidos e hidróxidos de ferro, e menos comumente a crandalita goyazita (Fotos 3.15 e 3.16). Apesar de resistente ao intemperismo, altera-se para beraunita. Em Jandiá é menos comum, associada à mitridatita, lazulita e variscita. A dufrenita de Cornwall e Arkansas ocorre também associada a limonite e substituindo a goethita e hematita (Moore, 1974).

3.1.9. Beraunita

$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_5^{3+}(\text{OH})_5(\text{H}_2\text{O})_4(\text{PO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, também do grupo dos fosfatos ferroso-férricos, é produto de alteração da mitridatita e dufrenita. A cor da beraunita varia conforme a relação $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, sendo vermelha para o tipo $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_5^{3+}(\text{PO}_4)_3 \cdot (\text{OH})_5 2(\text{H}_2\text{O})$ (Moore, 1970).

A beraunita apresenta-se em cor verde-garrafa, terrosa. As partes mais próximas ao mineral primário ainda mostram a estrutura radial ou placosa, esferulítica. A cor do traço é semelhante a do mineral, equivalente à cor do traço da mitridatita.

Propriedades Ópticas - É castanha esverdeada, com pleocroísmo forte, do castanho ao verde intenso. Hábito fibroso em cristais recurvados. O relevo é positivo, a extinção ondulante e a

d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir
10,80	10	3,45	1	2,720	1
6,37	2	3,42	1	2,600	1
5,18	1	3,39	1	2,321	1
4,82	4	3,23	1	2,280	5
4,32	1	3,10	8	2,200	
4,05	1	2,99	1	2,153	1
3,91	1	2,96	3	2,101	
3,75	1	2,91	3	2,050	

Tabela 3.20 - Padrão difratométrico da beraunita de Jandiá.

elongação positiva; cor de interferência verde.

Padrão Difratométrico - difere parcialmente da ASTM (1974), porém a associação mineralógica e as características anteriores permitem inferir a presença deste mineral ou de outros fosfatos deste grupo. As diferenças no padrão estão no pico $10,8\text{Å}^0$ (10) superior aos da literatura ($10,3\text{-}10,4\text{ Å}^0$) e na ausência dos picos $9,58$ e $7,23\text{Å}^0$; os demais picos estão contidos na ASTM 17-472 (beraunita vermelha) e 22-631 (beraunita verde-clara). Também as diferenças no padrão difratométrico da beraunita são devidas as modificações $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$.

Modo de Ocorrência - Ocorre envolvendo os nódulos de mitridatita ou dufrenita, ou inclusive nestes minerais do nível A, até uma profundidade de 0,5 m, principalmente em Jandiá.

Na sequência de substituição e/ou a sucessão paragenética dos fosfatos básicos de ferro, aqui acrescida a mitridatita, a beraunita é a última fase (Moore, 1970). Rockbridgeita e laubmannita não foram identificadas nestas ocorrências.

	mineral-A		
	(fosfato de Fe)		
rockbridgeita	---	mitridatita	---> ---> beraunita
laubmannita		dufrenita	

3.1.10 Mineral-B

Em Jandiá foi encontrado um fosfato esferulítico (diâmetro: 1-3 mm) constituído por placas radiais, tonalidade branca, brilho sedoso, dureza 1-2, com folhas flexíveis e clivagem basal perfeita. É raro, ocorrendo nas partes superior e superficial do nível A, alojado na mitridatita e raramente na crandalita-goyazita, como produtos de alteração destes minerais.

As características macroscópicas e o modo de ocorrência do mineral-B são semelhantes aos da englishita, montgomeryita e overita, fosfatos hidratados de Ca-Al , monoclinicos e raros nos nódulos de variscita de Fairfield (Larsen, 1942). Todos estes, as

d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir
22,8	3	5,56	1	2,27	3
18,2	4	4,35	1	2,56	
17,7	4	3,49	10	2,17	1
9,0	8	3,47	10	2,128	1
8,74	8	3,34	1	1,78	1
8,02	1	2,90	10	1,577	10
6,07	1	2,84	1		

Tabela 3.21 - Padrão difratométrico do mineral-B em Jandiá.

sim como o mineral-B, são produtos tardios dos processos de laterização.

Ao microscópio o mineral-B é amarelado, não pleocróico, cõr de interferência cinza, extinção ondulante e biaxial positivo. Devido a pequena quantidade de material, a amostra foi diluída com fluorita em proporção de 1:10 apresentando principalmente P e Al (espectrografia de emissão), cujo difratograma de Raios-X não se enquadra na ASTM (1974). O pequeno número de picos mais intensos e a grande distância interplanar ($9,0 \text{ \AA}$) sugere simetria monoclínica e estrutura similar a dos filossilicatos.

3.1.11. Lazulita

Ocorre tipicamente em Jandiá, na superfície do nível A, sob a forma maciça e terrosa, localmente concentrada, envolvida ou envolvendo a variscita amarela, quartzo e dufrenita, como um produto de decomposição dos nódulos de crandalita-goyazita, mitridatita e dufrenita. A lazulita é azul-clara, contrastando com a cor vermelha da superfície laterítica. Foi identificada em Jandiá por difração de Raios-X, dificultada em parte, pelo intercrescimento de variscita, dufrenita e quartzo.

3.2.12. Apatita

Foi observada apenas na ilha de Itacupim (Fotos 3.17 e 3.18) e extrapolada a Trauíra. Na ilha de Trauíra, em fragmentos de rochas sobre o topo do platô a apatita é um mineral acessório ao lado do zircão. Nos testemunhos de sondagens, Costa et al. (1975) não fazem referência a apatita e sim à grande quantidade de epidoto. Porém Brandt (1932) descreve semelhante material como sendo apatita. Teores elevados de P_2O_5 (3,8%) no nível C do perfil de sondagem de Costa et al. (1975) podem ser devidos a presença de apatita e/ou seus produtos de alteração.

Na ilha de Itacupim, as rochas cremes contêm apatita como acessório, em cristais microscópicos e euédricos. Os tremo



Foto 3.17 - Rochas do embasamento com segregações e
vênulas de apatita (tons claros), Itacupim.

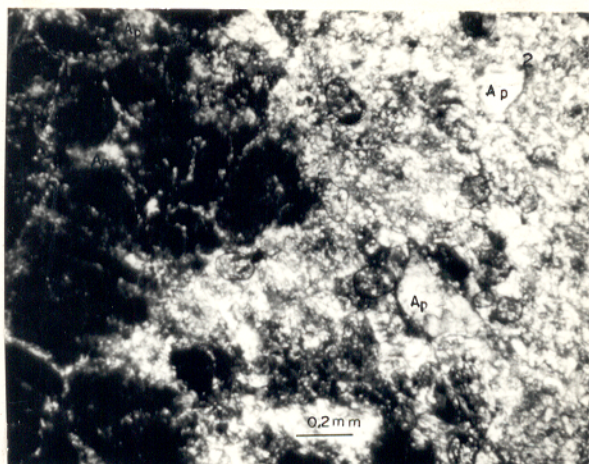


Foto 3.18 - Apatita (Ap) entre cristais de tremolita-actinolita (claro) e clorita (escuro), nicóis X, Itacupim.

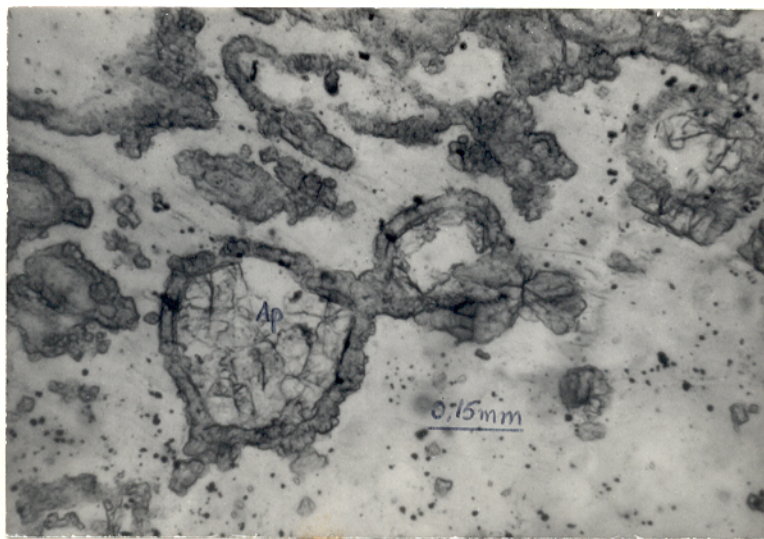


Foto 3.19 - Apatita (Ap) envolta por auréola de alteração (wavelita-wardita) em matriz de clorita-montmorilonita-wavelita, nicóis //, Itacupim.

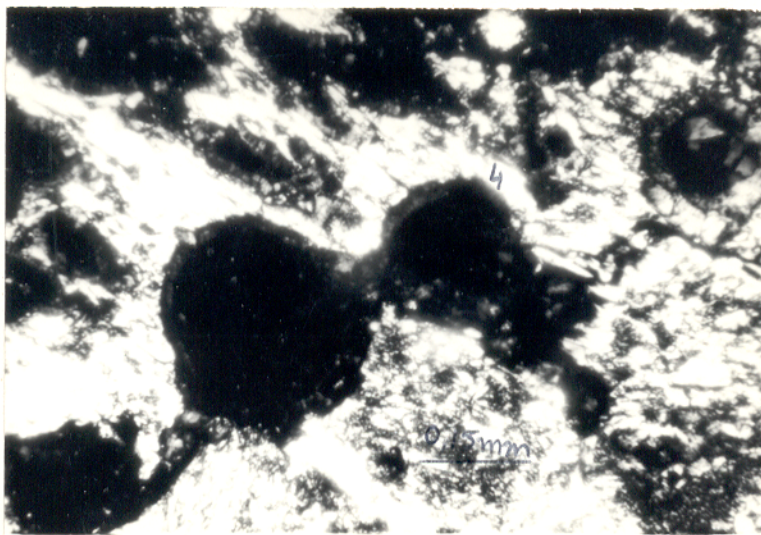


Foto 3.20 - Apatita (Ap) envolta por auréola de alteração (wavelita-wardita) em matriz de clorita-montmorilonita-wavelita; nicóis X. Itacupim.

lita-actinolita ou clorita xistos contêm até 10% de apatita, parcialmente transformada em wavelita (Fotos 3.18 e 3.20). Os cristais de apatita são brancos, com até 3 mm de comprimento, como ripas e formando agregados. Em Trauíra, Costa et al. (1977) descreveram ripas de feldspatos brancos, caolinizados, em rochas similares, aqui supostos como apatita. Em Itacupim as rochas amarela-esverdeadas contêm até 50% de apatita, como cristais euédricos e subédricos, envolvidos por auréolas de alteração de cor amarela escura, numa massa de clorita-montmorilonita e/ou caolinita (Fotos 3.19 e 3.20). Raramente se observam cristais de apatita não alterados.

3.2. Óxidos e Hidróxidos

3.2.1. Hematita

É o principal mineral do nível A de todas as ocorrências aqui estudadas, apresentando-se como nódulos e pisólitos vermelhos (Foto 3.21) e roxos em cimento branco-amarelado fosfático, dando o aspecto brechóide ou tipo "pele-de-onça" aquele nível. Está associada de maneira criptocristalina à goethita, distinguidas por difração de Raios-X. A hematita apresenta-se terrosa, maciça e muito fraturada. A cor varia de vermelho-carne a roxa-escura, dependendo da abundância de outros minerais associados. Tanto os nódulos como os pisólitos são envolvidos e penetrados por crandalita goyazita, variscita, mineral-A e wavelita e substituídos parcial ou totalmente por dufrenita e mitridatita.

Na Tabela 3.22 encontram-se dados de análises químicas dos núcleos ferruginosos e do cimento fosfático do nível A das várias ocorrências.

Em Itacupim, a hematita ocorre como mineral acessório primário em cristais anédricos (diâmetro: 0,5-1,0 cm) nas rochas ricas em apatita/wavelita ou tremolita-actinolita, às vezes associada a magnetita e atingindo até 25% da rocha total.

Os elementos traços aqui estudados estão relativamente lixiviados no material rico em hematita laterítica (Tabela 3.23)

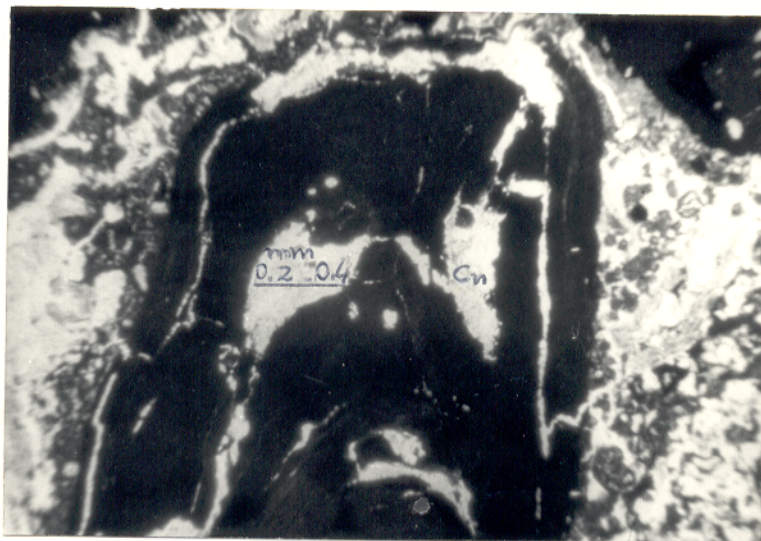


Foto 3.21 - Detalhe de um pisólito de hematita (Hm), atravessado e envolvido por crandalita-goyazita (CnGz), nicóis //, nível A, ilha de Trauíra.

% em peso

JANDIÁ	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO+SrO	Associações
Nuc.	13,4	39,0	16,6	21,8	2,7	Hm, CnGz, Qz, Mi, M.
Cim.	17,4	7,9	27,7	30,0	7,5	CnGz, Qz, M, Hm, Wa, Mi.
C. PERNA						
Nuc.+Cim.	0,9	11,7	32,0	36,4	4,7	V, Hm, A, CnGz.
TRAUÍRA						
(1)						
Nuc.	0,3	68,0	5,1	14,9	1,1	Hm, CnGz, Wa, Du, A.
Cim.	1,6	16,7	33,6	24,5	3,2	CnGz, Au, Hm, Wa, V.
PIROCAUA						
Nuc.+Cim	2,0	35,0	28,2	21,2	-●	Hm, Au, CnGz, A, V, D.
ITACUPIM						
Nuc.+Cim	3,7	35,0	12,6	9,5	2,2	m, CnGz, Gt.

Tabela 3.22 - Composições químicas e mineralógicas dos núcleos ferruginosos (Nuc.) e respectivos cimento fosfáticos. Abreviaturas de minerais: vide Tabela 3.1.

p p m									
	SrO%	Rb	Ba	La	Ce	Nd	Zr	Nb	Mineralogia
JANDIÁ									
Nuc.	0,7	62	230	30	59		587	38	Hm(40%), Qz(13%), CnGz, Mi
Cim.	1,8	227	214	39	83		1198	94	CnGz(26%), Qz(17%), Hm(8%), V, Wa, Mi, M.
C.PERNA									
	Sr ppm								
Nuc.	53	83	43	4	20	11	90	8	Gt(70%), V, A.
Cim.	3745	10	621	21	40	30	454	33	V(80%), A, CnGz
TRAUIRA									
Nuc.	0,3		49	8	18		373	19	Hm(20%), Gt, CnGz, Wa.
Cim.	0,4	46	51	14	21		558	29	Wa, Au, CnGz, W, V.
PIROCAUA									
Nuc.+Cim.	0,6		100	10	21		424	25	Hm(20%), Au.
	5,1	547	447	21	39		1920	174	CnGz(70%)
ITACUPIM									
	2,0	130	912	41	96		765	64	Gt, W.
	7,6	1444	1237	273	742		3615	291	CnGz(90%), Gt

Tabela 3.23 - Elementos menores e traços nos núcleos ferruginosos (Nuc.) e respectivo cimento fosfático (Cim.). Abreviatura de minerais: vide Tabela 3.1.

3.2.2. Goethita

É um mineral abundante nos níveis inferiores ao A. No Cansa Perna é abundante ao longo de todo perfil, inclusive no nível B, formando "veios", envolvendo e substituindo os veios de quartzo, ou aparecendo como nódulos no nível C. No nível B é marrom, maciça, submetálica e adamantina, iridiscente, entrecortada por inúmeras vênulas de variscita e crandalita-goyazita, e por vezes, aparece também no núcleo dos nódulos de variscita.

Seu modo de ocorrência em Pirocaua é comparável ao do Cansa Perna. Nas cavidades do nível A, a goethita ocorre como drusas em cristais rômnicos, com 1 a 2 mm de comprimento e de cor escura.

Em Trauíra ocorre como oólitos e pisólitos no nível A, associada à wardita e à crandalita-goyazita, e como película envolvendo a wardita do nível B.

A goethita é comum na ilha de Itacupim como concreções "cordadas", cavernosas, aciculares, entrecortadas por wavelita; como "veios" na rocha xistosa, por substituição dos veios de quartzo; como um leito na base da falésia, comparável ao nível C do Cansa Perna e Pirocaua.

Para as amostras ricas em goethita, em geral os elementos traços não estão concentrados, exceto Ce e La.

As relações texturais mostram uma origem anterior aos fosfatos do nível B, numa zona menos rica em água e com pH ácido. Na superfície se transformou em hematita devido a menor abundância de água (evaporização).

3.2.3. Óxidos e Hidróxidos de Manganês

No nível B de todas as ocorrências, os teores de MnO_2 são inferiores a 0,06%, porém a base do nível C, rica em Fe_2O_3 , contém até 5000 ppm de Mn (Costa et al., 1975). As rochas verdes semidecompostas, contém até 2,6% de MnO_2 em Itacupim e 2000 ppm de Mn em Trauíra. Em Itacupim se observa concentrações de óxido-hidró

xidos de Mn pulverulentos e pretos. Os difratogramas de raios-X mostram que são predominantemente amorfos, às vezes se detectando litioforita, $(Li, Al) MnO_2(OH)_2$. São comuns blocos e afloramentos com estes minerais, além de wavelita e clorita terrosa.

3.2.4. Gibbsita e Boehmita (?)

Os hidróxidos de alumínio nas ocorrências de fosfatos de Pirocaua e Trauíra foram inferidos principalmente por Abreu (1937) e Sakamoto et al. (1956), levando em conta a elevada relação Al_2O_3/P_2O_5 . Neste trabalho esta relação foi observada em algumas amostras, cuja mineralogia composta de augelita, mineral-A, crandalita-goyazita e wardita explica aqueles valores. Mas os nodulos cremes (Foto 3.22) das lateritas amarelas na base da falésia de Itacupim, com relações Al_2O_3/P_2O_5 muito altas ($> 1,5$), contêm gibbsita. O padrão difratométrico segue o da ASTM 7-324. A gibbsita está associada a crandalita-goyazita como intercrescimento tricristalino, responsável pelos teores elevados de Sr, Rb, Ba, Ce, La, Zr e Nb (Tabela 3.24).

Não se encontrou associação wavelita-gibbsita nem crandalita-goyazita-wavelita em Itacupim. A wavelita, wardita e caolinita, -os minerais que primeiro se formaram-, são seguidos por gibbsita e crandalita-goyazita.

É suposta a ocorrência de gibbsita em Trauíra, pois as análises químicas de Costa et al. (1975) para os primeiros quatro metros, apresentam alta relação Al_2O_3/P_2O_5 . Relações idênticas foram encontradas por aquele autor em Pirocaua, correspondentes a interface nível B/nível C, como boehmita no padrão difratométrico.

3.2.5. Anatásio

Mineral comum nos solos residuais, o anatásio, identificado por difração de raios-X, é abundante no nível B do Cansa



Foto 3.22 - Nódulos de gibbsita e crandalita-goyazita (tons claros) envolvidos por matriz de caolinita e goethita, Itacupim.

	p p m							
	SrO%	Rb	Ba	Zr	La	Ce	Nb	
IT/103	7,66	1374	1475	2842	308	847	278	CnGz, Gb, Nível A
IT/121	7,56	1444	1237	3615	273	742	291	CnGz, Gt, Nível B
IT/102	1,08	116	437	719	211	570	46	W, Hm, (Gt)
IT/105	2,02	130	912	765	41	96	64	Gt, W.

Tabela 3.24 - Distribuição dos elementos menores e traços em materiais constituídos por crandalita-goyazita (CnGz) e gibbsita (Gb) ou goethita (Gt), wavelita (W) e hematita (Hm) ou goethita. Para abreviatura consulte a Tabela 3.1.

Perna e Pirocaua. Em Trauíra os teores de TiO_2 variam de 1 a 2%, baixos para uma identificação precisa. Em Pirocaua, com 6 a 7% de TiO_2 , a identificação do anatásio foi dificultada pela presença da crandalita-goyazita e augelita, que contêm os picos característicos daquele mineral. No Cansa Perna, com augelita ausente e crandalita-goyazita rara, o anatásio foi facilmente identificado por difração de raios-X e os teores de TiO_2 ultrapassam os 6%. Apresenta-se criptocristalino, associado a variscita, mineral-A, goethita e hematita. Em Itacupim, com até 3,8% de TiO_2 , a identificação do anatásio foi dificultada pela abundância de crandalita-goyazita. Em Jandiá os teores de TiO_2 são inferiores a 1%.

3.3. Silicatos

3.3.1. Quartzo

Está quase ausente nos níveis A e B, se comparados com os níveis mais inferiores, a exceção de Jandiá.

O quartzo em Jandiá ocorre na fração areia fina a seixos nos níveis C e D, sendo abundante na fração areia média a seixos, dos níveis superiores (A e B). Os grânulos são angulosos, brilhantes, fraturados, corroídos e cimentados por crandalita-goyazita, mitridatita e hematita. A sua distribuição é irregular, quer nos núcleos ferruginosos quer no cimento do nível A ou do nível B.

No Cansa Perna, Pirocaua, Itacupim e Trauíra, o quartzo ocorre como cristais anédricos, diminutos ou como veios de 2 a 15 cm de espessura nos níveis C e D. Nas três primeiras ocorrências, os veios estão substituídos parcial ou totalmente por goethita, da borda para o centro, adquirindo o quartzo um aspecto granular, terroso, reticulado, cavernoso, por vezes com malaquita (Cansa Perna). Sakamoto et al. (1956) encontraram blocos e veios de quartzo na argila mosqueada de Trauíra (nível C).

3.3.2. Caolinita

Nas ocorrências de fosfatos aqui estudadas, a caolinita é dominante e típica no nível C. Ela foi identificada por difração de raios-X em mais de 50 amostras, estando sempre associada ao quartzo, além de muscovita, vermiculita e montmorilonita. Apenas em Itacupim as determinações foram dificultadas pela presença de minerais de "folhas mixtas" tipo clorita vermiculita-montmorilonita.

Nas ilhas de Itacupim e Trauíra, a caolinita é produto do intemperismo de tremolita-actinolita, clorita, biotita e albita-oligoclásio, às vezes com teores expressivos de Ni, medindo-se até 1690 ppm em amostras isoladas das rochas verdes.

Em Jandiá a caolinita é abundante nos níveis C e D, associada ao quartzo e hidróxidos de ferro. Envolve os nódulos de fosfatos dos níveis C e B e no nível A é rara. No Cansa Perna e Pirocaua associa-se com a goethita e quartzo nos filitos decompostos, e ocorre em quantidade menores no nível B.

Os elementos como Sr, Rb, Ba, Ce, La, Zr, Nb e Nd apresentam-se em menores concentrações nos níveis ricos em caolinita.

3.3.3. Clorita

Foi identificada apenas em Itacupim através de difração de raios-X e microscopia. Nos fragmentos de rochas encontrados em Trauíra foi determinada microscopicamente.

A clorita de Itacupim é verde, em agregados de 1 a 6 cm de diâmetro, lembrando cristais de olivina ou piroxênio, e quando decomposta, adquire aspecto terroso, similar a garnierita. Constitui rochas monominerálicas ou ocorre com a biotita, biotita hidratada e apatita ou com nódulos ou veios de óxido-hidróxidos de Mn. Nas rochas semidecompostas, associa-se à caolinita, hematita, magnetita e wavelita como mineral primário e secundário. Em algumas amostras não foi possível separá-la da montmorilonita-vermiculita, sepiolita, formando um agrupamento clorita-vermiculita (corrensi-

ta). O material correspondente de Trauíra não esteve ao alcance deste trabalho, cujas rochas verdes, ricas em Ni, Cr e Mn (Costa et al., 1977), poderão conter este mineral.

A clorita nesta ocorrência é mais abundante como mineral metamórfico (xisto verde) a partir de rochas ricas em minerais ferro magnesianos em textura grosseira, que, conforme as variações químicas, originaram ainda tremolita-actinolita.

3.3.4. Biotita, Biotita Hidratada e Vermiculita

As micas constituintes das rochas verdes de Itacupim, com 1 a 7 cm de diâmetro, em cor verde-clara, translúcidas, são principalmente biotita, biotita hidratada, além de vermiculita, todas identificadas por difração de raios-X, microscopia e macroscopia. A vermiculita e biotita hidratada se formaram por hidratação da biotita. A biotita também foi descrita por Brandt (1932) na ilha de Trauíra com idênticas características. A vermiculita ocorre nas rochas marrons, xistosas do nível C, responsável pelo aspecto xistoso. Ocorre às vezes com a biotita hidratada, caolinita, wardita e wavelita ou somente com wavelita e hematita.

3.3.5. Tremolita-Actinolita

É um mineral comum em Itacupim e nos fragmentos de rocha de Trauíra. É de cor verde, em cristais de 2 a 6 mm, provavelmente pseudomorfos de ferromagnesianos pré-existent (piroxênios ?) compondo os tremolita-actinolita xistos (anfibólitos). Ao microscópio estes anfibólitos apresentam-se fibrosos, parcialmente cloritizados. Ocorre também nas rochas félsicas, em cristais fibrosos mas em pequena quantidade, ligeiramente orientados. Já no topo do nível C é um mineral raro devido a sua instabilidade química. A determinação da tremolita-actinolita foi feita por difração de raios-X, microscopia e análise química.

3.3.6. Epidoto

Ocorre em Itacupim e Trauíra, associado a sericita, por saussuritização do plagioclásio. Em Itacupim é comum nas rochas fêlsicas, em cristais euédricos sobrepostos aos de feldspatos e quartzo. Brandt (1932) descreve epidoto como mineral subordinado nas rochas verdes decompostas de Trauíra, enquanto Costa et al. (1975) o descrevem em grande quantidade. Este mineral não foi encontrado nas demais ocorrências e sua ausência nos níveis superiores de Itacupim e Trauíra é devido a sua grande instabilidade química.

3.3.7. Muscovita

Ocorre como palhetas milimétricas predominantemente em Jandiá, ao longo de toda coluna litológica. Suas distribuições lateral e vertical são heterogêneas, sem relação com os núcleos ferruginosos e respectivo cimento ou com os nódulos fosfáticos dos níveis C e B. Em Itacupim e Trauíra ocorre como produto de saussuritização dos feldspatos. Brandt (1932) descreve-a como um mineral principal em Trauíra.

3.3.8. Zircão

É um acessório comum em Jandiá, Itacupim e Trauíra, em cristais euédricos zonados. Foi identificado através de lâminas delgadas, em lâminas montadas com grãos e difração de raios-X. Está mais concentrado em Jandiá ao longo de todo o perfil. Em Itacupim, o zircão é um acessório nas rochas fêlsicas e no nível B. O alto teor de Zr nos solos arenosos atuais em Trauíra e Itacupim é devido a concentração residual do zircão.

3.3.9. Albita-Oligoclásio

É o feldspato principal das rochas fêlsicas da Ita

cupim, geralmente saussuritizado e caolinizado.

Em Trauíra Costa et al. (1975) o descreve como pórfiros caolinizados e a não citação por Brandt é creditada a grande variedade petrográfica e a não ocorrência de rochas frescas.

3.3.10. Titanita

Ocorre como acessório nas rochas félsicas de Itacupim (Foto 3.23), ao lado da apatita, epidoto, zircão e opacos, em cristais grandes, subédricos e corroídos.

3.3.11. Turmalina

Schorlita: é um acessório comum em Jandiá, em grânulos subarredondados, comumente na fração areia fina, ao longo de todo o perfil. Em Itacupim foi encontrada em uma amostra de veios de quartzo.

Dravita: é aqui pela primeira vez descrita nos fosfatos de Pirocaua. A dravita ocorre como "fragmentos" angulosos (Foto 3.24) em cristais cinza-esverdeados a marron-escuros, aciculares paralelos ou radiais, como brilho resinoso a vítreo. Os fragmentos são fraturados perpendicularmente aos prismas e distribuídos de modo irregular na massa fosfática, em aspecto brechóide, ou ocorrem também como veios desagregados. No material retirado de um poço no centro do platô, foram encontrados "fragmentos" de dravita esverdeada envolvidos pelos filitos roxos decompostos. Entre Aurizona e Pirocaua foram encontrados fragmentos de veios de quartzo com dravita, bem como nos colúvios sobre estes filitos. A dravita é tipicamente observada no nível A, devido a sua concentração como resistato.

A dravita de Pirocaua é cortada e envolvida por augelita e crandalita-goyazita oolítico-pisolítica, além de goethita e hematita.

O padrão difratométrico é idêntico ao da ASTM 14-76. A

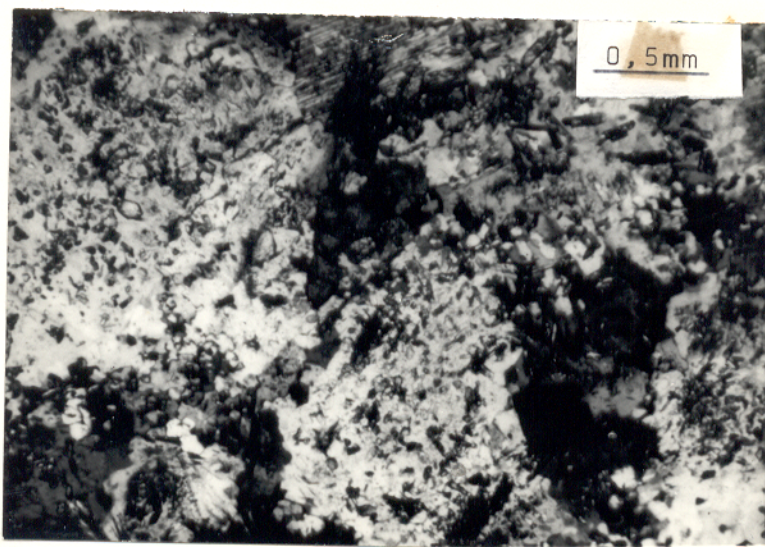


Foto 3.23 - Titanita (Ti) nas rochas félsicas de Itacupim, nicóis X.

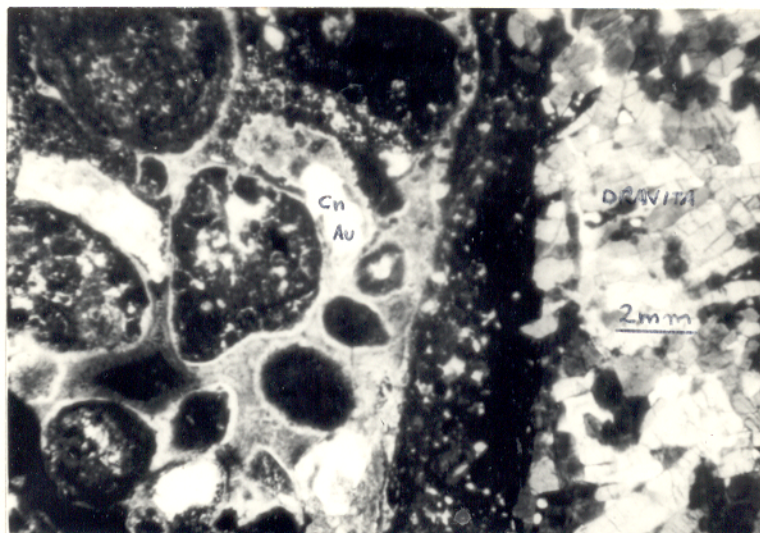


Foto 3.24 - Faixa de contato da dravita com os oólitos e pisólitos de crandalita-goyazita/angelita; nicóis //, nível A, serra do Pirocaua.

% em peso									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃ +FeO	CaO	SrO	TiO ₂	Na ₂ O	MgO
1.	23,7	16,1	3,8	4,3	0,8	0,4	0,8	1,6	13,0
2.	36,0	30,8	-	0,8	2,4	-	0,1	1,6	13,7
3.	33,7	33,8	-	15,3	0,2	-	0,4	1,9	0,7
p p m									
								Rb	Ba
								La	Ce
								Zr	Nb
1.								53	78
4.								-	100
5.								-	39

Tabela 3.25 - Composição química e elementos traços em turmalinas. 1. Dravita de Pirocaua; 2. Dravita, Deer, et al. (1974); 3. Schorlita, Deer, et al. (1974); 4. Cimento fosfático (augelita, crandallita-goyazita e hematita) da dravita de Pirocaua; 5. Nível C, Pirocaua; + análise semiquantitativa.

d A°	Ir	d A°	Ir	d A°	Ir
6,37	1	2,90	1	2,31	1
4,98	1	2,66	1	2,19	1
4,59	3	2,618	1	2,17	1
4,23	3	2,57	8	2,111	1
3,98	10	2,496	1	2,040	2
3,48	1	2,44	1	1,990	1
3,37	1	2,401	1	1,920	2
3,01	2	2,38	1	1,901	1
2,96	2	2,34	1	1,880	1
				1,850	1

Tabela 3.26 - Padrão difratométrico da dravita de Pirocaua.

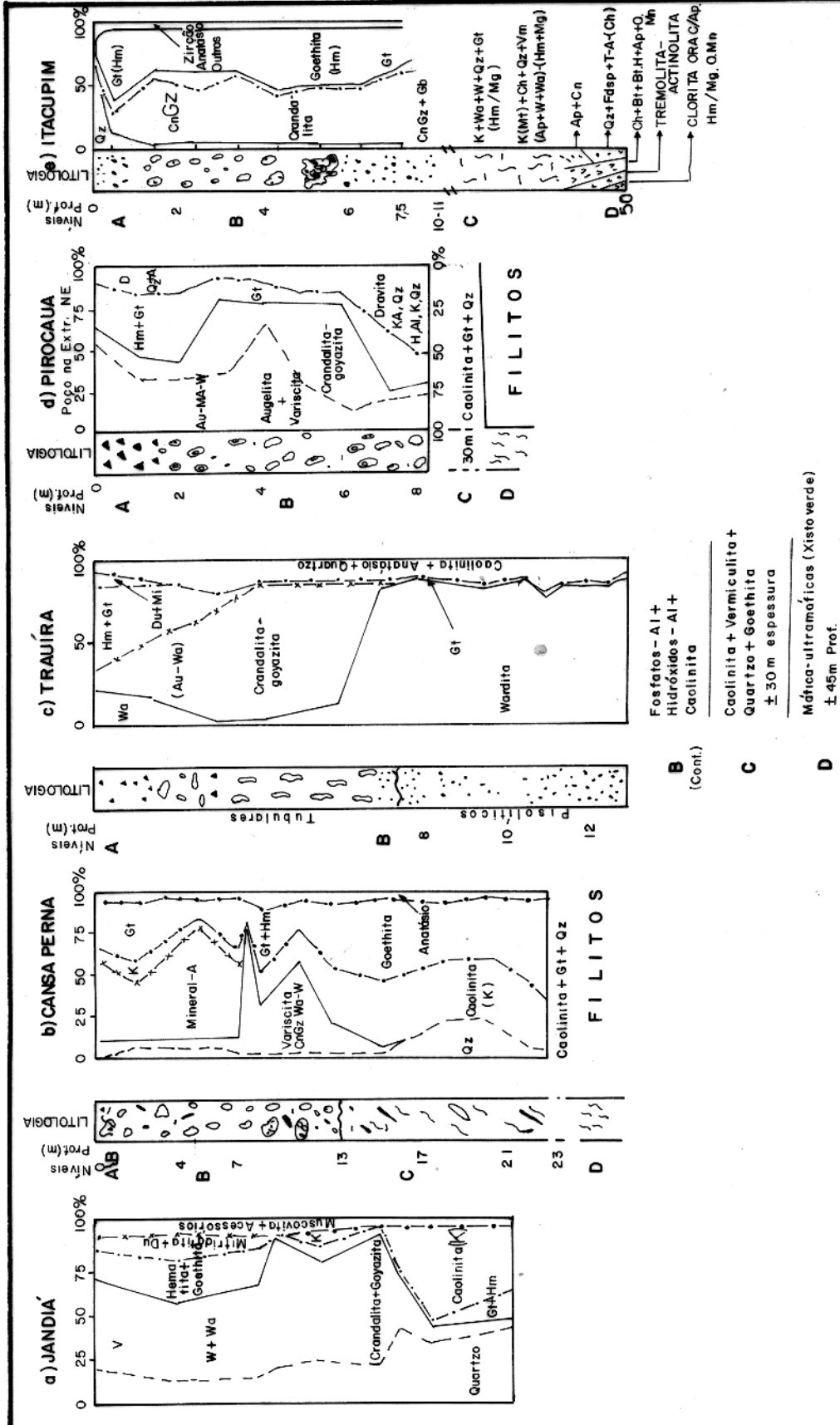


FIG. 3.1 - Distribuição relativa e correlação mineralógica entre as diversas ocorrências de fosfatos aqui estudadas. Abreviaturas vide pag.

análise química semiquantitativa mostra que o teor de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ (4,3%) é considerável, dando um caráter intermediário entre dravita e schorlita, visível no padrão difratométrico.

A cor verde-cinza a marron é devida a presença de Fe^{3+} (Deer et al., 1974) e, o elevado teor de P_2O_5 , às pequenas vênulas de fosfatos. As diferenças em termos de elementos traços são consideráveis, com concentrações baixas em relação ao cimento fosfático.

3.4. Quadro Mineralógico

A seguir estão descritas as associações mineralógicas conforme os diferentes níveis litológicos e representada na Figura 3.1 a distribuição relativa de cada mineral (% em peso) conforme a profundidade para cada ocorrência.

Nível D: Como embasamento dos fosfatos, compreende filitos, rochas máfico-ultramáficas metamorfozadas e "arenitos" micáceos, argilosos a conglomeráticos, que representam assim uma grande variação mineralógica.

Nível C: É constituído principalmente por minerais de argila, quartzo e hidróxidos de ferro, sendo que em Itacupim e Trauíra, ocorrem ainda vermiculita, tremolita-actinolita (rara) e apatita-wavelita-wardita; em Jandiá muscovita e a dravita em Pirocaua. Os minerais de argila, como produto de decomposição do embasamento, são principalmente a caolinita da parte média para cima, enquanto que na base ocorre a montmorilonita e clorita. A transformação montmorilonita-caolinita é acompanhada pela transformação apatita-wavelita neste nível. No topo do nível C ocorrem sempre fosfatos de alumínio em quantidades subordinadas.

Nível B: É caracterizado pela predominância dos fosfatos de alumínio, alumínio-cálcio-estrôncio e alumínio-sódio, e restritamente os óxido-hidróxidos de ferro. O fosfato mais característico é a solução sólida crandalita-goyazita, principalmente em Jan

diá, Trauíra, Itacupim, subordinadamente em Pirocaua e como aces
sório no Cansa Perna. A variscita e o mineral-A são os fosfatos
principais no Cansa Perna, enquanto que em Pirocaua é a augelita.
Em Pirocaua o mineral-A e a wavelita ocorrem em drusas no topo do
nível B. Tanto em Pirocaua como em Cansa Perna o mineral-A está
na parte superior do nível B. Nas demais ocorrências a variscita
e wavelita ocorrem apenas subordinada ou acessoriamente. A wardita
associada à crandalita-goyazita, ou isoladamente, é um dos fosfa
tos principais de Trauíra, ocorrendo acessoriamente nas demais o
corrências.

Os hidróxidos de alumínio ocorrem como gibbsita em Ita
cupim e talvez em Trauíra, e como boehmita em Pirocaua, ambos na
base do nível B.

Como resistatos ocorrem o quartzo, abundante no morro
Jandiá (até 30%) e acessório nas demais ocorrências; muscovita e
schorlita em Jandiá, dravita em Pirocaua e o zircão em Jandiá e
Itacupim e mesmo em Trauíra.

O anatásio está bem representado no Cansa Perna e em
Pirocaua. A caolinita ocorre restritamente, bem como a goethita,
que é mais expressiva no Cansa Perna, Pirocaua e Itacupim.

Nível A: constituído principalmente por hematita, war
dita, crandalita-goyazita, mitridatita, dufrenita, além de todos
aqueles fosfatos encontrados no nível B. A hematita e a goethita
constituem os núcleos e fragmentos ferruginosos em todas as ocor
rências, com quantidades menores dos fosfatos anteriormente cita
dos. A solução sólida crandalita-goyazita e os demais fosfatos de
alumínio compõem o cimento ou a massa fosfática de todas ocorrên
cias, exceto em Cansa Perna e parcialmente em Pirocaua. A crandali
ta-goyazita está associada à wardita em Jandiá e Trauíra; à wave
lita em Jandiá, Pirocaua e Cansa Perna; à augelita no Pirocaua e
Trauíra, à variscita em Jandiá. A mitridatita, a dufrenita e a
beraunita ocorrem apenas em Jandiá e Trauíra, sendo que a mitrida
tita é mais abundante em Jandiá. A lazulita e mineral-B são típi
cos da superfície do nível A em Jandiá. O quartzo e a muscovita
são expressivos apenas em Jandiá tanto nos núcleos e fragmentos

ferruginosos como na massa fosfática. A schorlita é abundante apenas em Jandiá e Itacupim, por vezes em Trauíra.

Em todas ocorrências o contato entre o nível C e o nível B representa a transformação dos minerais de argila para fosfatos de alumínio e hidróxidos de alumínio. O contato entre o nível B e o nível A representa o aparecimento e abundância da hematita e por vezes acompanhada por fosfatos de ferro e ferro-cálcio (mitridatita, dufrenita e beraunita) como em Jandiá e Trauíra.

Mudanças texturais mais expressivas no topo do nível B, representam minerais como wavelita, mineral-A e wardita.

Nas ocorrências com embasamento filítico, como Piroucaua e Cansa Perna, predominam os fosfatos de alumínio, enquanto naquelas com rochas máfico-ultramáficas e "areníticas" predominam fosfatos de alumínio-cálcio-estrôncio.

CAPÍTULO 4

GEOQUÍMICA

4.1. Distribuição dos Elementos Maiores e Menores

Neste item é discutida a distribuição do alumínio, silício, ferro, cálcio, magnésio, fósforo, titânio e manganês em todas as ocorrências estudadas conforme representado na figura 4.1.

4.1.1. Alumínio

Os teores de Al_2O_3 crescem suavemente em todos os perfis, da base para o topo, até o nível B, com aumento mais acentuado na transição do nível D para o nível C, e na passagem do nível C para o nível B. Neste último caso há exceção em Trauíra onde suas concentrações chegam a diminuir na passagem para o nível B. As variações nas concentrações do alumínio representam mudanças mineralógicas, sendo que, no topo do nível D, corresponde às transformações montmorilonita-caolinita, entrando o Al_2O_3 na composição da caolinita. Na passagem nível C/nível B corresponde a transformação de caolinita para fosfatos de alumínio, daí porque os teores de Al_2O_3 apenas sofrem pequenas variações. Nas ocorrências em que a mudança do Al_2O_3 é acentuada nesta interface, os minerais fosfáticos são predominantemente aluminosos, como augelita, mineral-A em Pirocaua e Cansa Perna. Do nível B para o nível A os teores de Al_2O_3 decrescem em todas as ocorrências, devido a diminuição dos teores de fosfatos. Quando as relações de $Al_2O_3/P_2O_5 > 1,5$, nos níveis A e B, verifica-se a presença de hidróxidos de alumínio (gibbsita, boehmita).

4.1.2. Silício

Estudado como SiO_2 , de um modo geral suas concentrações decrescem acentuadamente da base para o topo, decaindo de teores da ordem de 60% para 0,5%. Porém as variações mais abruptas e características para todas as ocorrências, são verificadas no contato entre os níveis C e B, onde os teores de SiO_2 em torno de 35% no nível C, diminuem acentuadamente para menos de 2% no nível B em Trauíra, Pirocaua e Cansa Perna, ou em Jandiá de 60% para 25%, ou ainda em Itacupim diminuindo para valores entre 2 e 8%. Esta mudança abrupta representa o desaparecimento da caolinita e quartzo, a exceção de Jandiá, cujos teores de quartzo ainda são elevados devido os grânulos grosseiros. Em Trauíra, na base do nível C, a sílica sofre também mudança abrupta, certamente decorrente da transformação da montmorilonita em caolinita.

4.1.3. Ferro

Apresentado como Fe_2O_3 , encontra-se enriquecido no nível C em todas as ocorrências. Neste nível é representado às vezes, por uma faixa ferruginosa, como em Pirocaua, Itacupim e Cansa Perna. Os teores de Fe_2O_3 são geralmente inferiores a 45%, mas em Pirocaua e Cansa Perna podem atingir até 70%. O Fe_2O_3 caracteristicamente decresce no nível B e cresce abruptamente na transição para o nível A, atingindo concentrações superiores a 55% naquelas ocorrências onde o nível A está bem representado. No nível C o Fe_2O_3 está nos minerais primários como tremolita-actinolita, clorita, dravita, hematita, magnetita ou na vermiculita, ou como goethita; no nível B, como goethita e fosfato de Al-Fe (variscita, augecita), principalmente em Pirocaua e Cansa Perna. No nível A reflete a abundância de hematita, goethita, dufrenita, mitridatita e beraunita (Figuras 4.4 a 4.7).

4.1.4. Cálcio

Foi analisado apenas em Jandiá e Cansa Perna, como CaO .

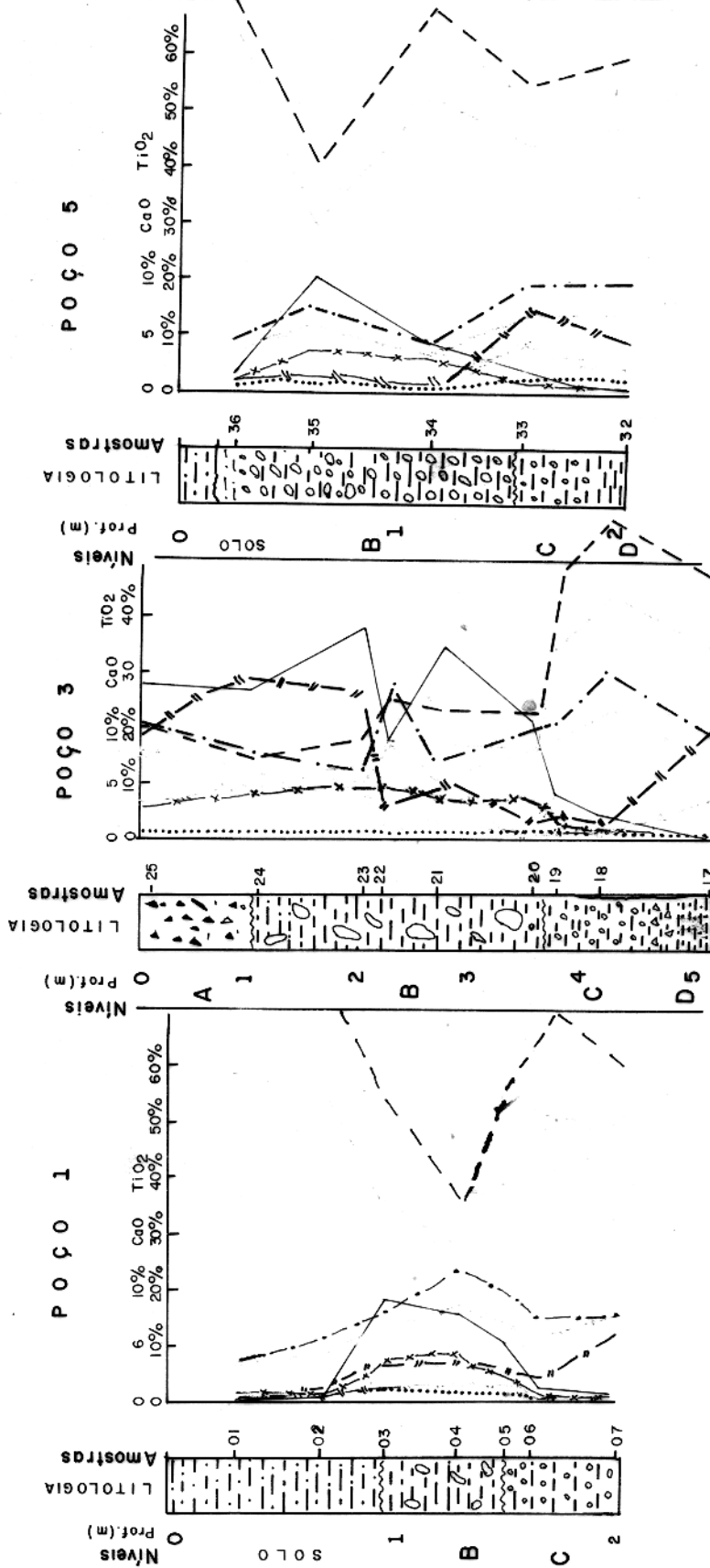
cujos valores incluem em parte o SrO . As concentrações em geral, são inferiores a 10%, sendo que o CaO no nível B está mais enriquecido do que nos níveis C e A. Os dados analíticos contidos em Brandt (1932) e Abreu (1937) e os aqui obtidos para a ilha de Trauíra, mostram também idêntico comportamento. Em Trauíra o Na_2O analisado por Brandt também se enriquece nesta direção e acompanha o CaO , estando principalmente na estrutura da crandalita-goyazita e wardita; no nível A também na mitridatita-dufrenita, e no nível C nos minerais de argila e minerais primários (Figuras 4.4 a 4.7).

4.1.5. Magnésio

Foi analisado apenas em Jandiá e Cansa Perna como MgO , cujos teores são inferiores a 4,3%, mais concentrados em Jandiá. Nestas duas ocorrências, os teores de MgO decrescem suavemente do nível C ao nível A, aparentemente sem nenhuma relação com o CaO . No nível C provavelmente está associado aos minerais de argila, nos níveis B e A aos fosfatos, podendo ocorrer como lazulita no nível A, a exemplo de Jandiá. Nas ocorrências de Pirocaua e Trauíra, os teores de MgO apresentados por Sakamoto et al (1959) são elevados, contrastando com os valores bem mais baixos de Costa et al. (1975 e 1977).

4.1.6. Fósforo

Ilustrado na figura 4.1 como P_2O_5 , apresenta um comportamento geoquímico idêntico em todas as ocorrências, podendo-se dizer que suas concentrações variam inversamente às da sílica. Os teores de P_2O_5 crescem continuamente perfil acima, com enriquecimento abrupto de até 30 vezes na passagem do nível C para o nível B, e acompanhado por igual decréscimo da sílica. Se comparado ao nível D, o fator de concentração está na ordem de 100 vezes, como ilustrado na tabela 4.2. Do nível B para o nível A, o P_2O_5 decresce, como observado em Pirocaua, Cansa Perna e Itacupim, ou não sofre nenhuma variação, como em Jandiá. No nível D o P_2O_5 está em



SiO₂ —
 Al₂O₃ —•—
 P₂O₅ —
 Fe₂O₃ —||—
 TiO₂
 CaO —x—

ANEXO - 3

FIG. 3.1 — Distribuição dos elementos maiores e menores acima segundo a profundidade no morro Jandá. (semiquantitativo).

concentrações de 0,5 a 2,0%, havendo localmente teores anômalos, como em Itacupim. O nível C apresenta cerca de 1 a 7% de P_2O_5 ou teores anormais de 19% como verificado em Itacupim. No nível B as concentrações de P_2O_5 são superiores a 10%. As maiores concentrações de P_2O_5 (até 35%) estão em Trauíra, Jandiá e talvez Itacupim, cujo nível B não foi completamente observado e analisado, enquanto que em Pirocaua e Cansa Perna apresentam concentrações inferiores a 25%, com exceção de algumas amostras localizadas.

No nível D, o P_2O_5 está principalmente na forma de apatita, como observado em Itacupim. No nível C apresenta-se como fosfatos de alumínio secundários, disseminados, assim como nos níveis B e A onde aparece na forma de diversos fosfatos de Al, Al-Ca, Fe e Fe-Ca (Figuras 4.4 a 4.7).

4.1.7. Titânio

Foi analisado apenas em Jandiá e Cansa Perna, como TiO_2 . Nestas ocorrências os teores de TiO_2 crescem suavemente perfil acima, atingindo as maiores concentrações no nível B. Seus teores são expressivos no Cansa Perna, variando de 2,6 a 7%, enquanto em Jandiá estas concentrações são inferiores a 1,5%. Nas demais ocorrências, a literatura menciona teores elevados em Pirocaua, similares aos de Cansa Perna e baixos em Trauíra. Neste trabalho foram observados até 3,8% de TiO_2 em Itacupim. Os teores mais elevados de TiO_2 correspondem a presença de anatásio, como verificado no Cansa Perna.

4.1.8. Manganês

Em Jandiá e Cansa Perna os teores de MnO_2 encontrados foram sempre inferiores a 0,02%, enquanto que em Itacupim encontrou-se, em amostras isoladas do nível C, até 0,12% de Mn, devido a presença de minerais de manganês (ex. litioforita) localmente concentrados. Análises semiquantitativas efetuadas por Costa et al (1975) mostram que o Mn decresce acentuadamente perfil acima.

4.2. Distribuição dos Elementos Traços

A seguir é discutido o comportamento do estrôncio, rubídio, bário, cério, lantânio, neodímio, zircônio e nióbio, conforme ilustrado nas figuras 4.3 a 4.7. São tecidas considerações sobre o Ni, Cu, Cr, V, Th e U.

4.2.1. Estrôncio

Apresenta-se em concentrações muito altas, em geral variando entre 1 e 5% de SrO. Sua distribuição em perfil é semelhante a do P_2O_5 e CaO, isto é, se enriquece continuamente perfil acima, aumentando abruptamente ao passar para o nível B, aí atingindo teores máximos para, então diminuir consideravelmente no nível A. Apesar do idêntico comportamento do estrôncio em todas as ocorrências, suas concentrações são variáveis: os teores mais elevados (até 8%) são verificados em Jandiá, Trauira e Itacupim, seguidos por Pirocaua e mais baixos no Cansa Perna, com máximo de 9000 ppm de Sr. No nível C do Cansa Perna e Pirocaua, as concentrações de estrôncio são muito baixas, não detectadas em algumas amostras.

As concentrações elevadas de SrO estão diretamente ligadas à grande abundância de crandalita-goyazita, como demonstra a composição mineralógica do nível B, bem exemplificada em Trauira (Figura 4.5) onde a zona oolítica, em vez de crandalita-goyazita, é constituída de wardita e não contém estrôncio. Nas ocorrências onde o nível B é constituído de variscita, augelita, mineral-A e wavelita, os teores de SrO são relativamente baixos, como em Pirocaua e muitos baixos como no Cansa Perna.

4.2.2. Rubídio

O comportamento do rubídio é idêntico ao do estrôncio, evidente no paralelismo de suas curvas de distribuição, e estão mutuamente relacionados à abundância da crandalita-goyazita. As

concentrações de Rb ficam em média entre 50 e 1100 ppm, com os valores mais elevados estando no nível B em Jandiá, Trauíra e Itacupim, na mesma ordem de grandeza, mais baixos em Pirocaua e quase ausentes no Cansa Perna. Nesta última localidade, apenas as amostras com mais de 3000 ppm de Sr contêm Rb em teores da ordem de dezenas de ppm. Nas amostras do nível C de Cansa Perna e Pirocaua, o rubídio pode estar em concentrações mínimas ou não detectáveis.

4.2.3. Bário

No morro Jandiá e mesmo em Itacupim, os teores de bário decrescem do nível C para o nível B, mais acentuadamente da parte superior do nível B para o nível A. No morro do Cansa Perna, no entanto, as concentrações de Ba crescem sensivelmente do nível C para o nível B até a sua parte mediana, daí decrescendo para a parte superior até o topo do nível A. O bário ocorre em concentrações mais elevadas em Jandiá e Itacupim, na faixa de 200 a 1500ppm nos níveis B, C e D, enquanto que no Cansa Perna, Pirocaua e Trauíra os valores são geralmente inferiores a 500 ppm. Em Jandiá e Itacupim o bário ocorre na estrutura dos feldspatos e micas nos níveis C e D. No nível B de todas as ocorrências está principalmente na estrutura da crandalita-goyazita como demonstrado nas figuras 4.4 a 4.7 onde as faixas ricas em crandalita-goyazita contêm de 500 a 1500 ppm. Em Trauíra, cujo perfil não é significativo para toda a ocorrência, a figura 4.5 exemplifica a relação do Ba com a crandalita-goyazita.

4.2.4. Terras Raras (La, Ce e Nd)

O neodímio foi analisado apenas em Jandiá e Cansa Perna. Em todas ocorrências, à exceção de Jandiá, os teores de Ce, La e Nd aumentam relativamente do nível C para o nível B e diminuem da parte superior do nível B até o nível A. Em Jandiá, as concentrações de Ce, La e Nd diminuem suavemente perfil acima até o nível A. Em todas ocorrências as terras raras estão perfeitamente

relacionadas ao bário. A afinidade maior entre o La e Ce está bem ilustrada pelo perfeito paralelismo de suas curvas, sendo que o Ce se enriquece relativamente mais do que o La no nível A. Em Trauíra e Pirocaua não se tem dados dos níveis C e D, porém nos níveis B e A a distribuição destes elementos é praticamente idêntica a das demais ocorrências. Em Jandiá e Cansa Perna as concentrações de Ce, La e Nd geralmente ficam entre 16 e 100 ppm (Nd: 16 a 43 ppm; La: 20 a 70 ppm; Ce: 30 a 110 ppm). Em Trauíra, o perfil existente não é expressivo, e Ce e La, como o Ba, estão em concentrações inferiores a 30 ppm, mais reduzidos ou ausentes na faixa de wardita. Em Pirocaua estão em concentrações mais elevadas que em Trauíra (10 a 50 ppm) e também relacionados ao Ba. Em Itacupim os teores de Ce e La são relativamente muito elevados, ficando entre 100 e 300 ppm para o La e entre 100 e 800 ppm para o Ce nos fosfatos do nível B. Em rochas frescas do nível D (embasamento) detectou-se 13 a 22 ppm de La e 30 a 70 ppm de Ce. Isto é, em ambos os casos, sempre as concentrações de Ce são grosseiramente de duas a três vezes as de La, fato extensivo às demais ocorrências, sendo que o neodímio corresponde a mais ou menos $3/4$ do lantânio. Nas rochas e nos fosfatos de Itacupim, as terras raras apresentam também um estreito paralelismo com a distribuição e abundância do bário.

De um modo geral as concentrações das terras raras são inferiores a 150 ppm em todas ocorrências, a exceção de Itacupim. Os altos teores destes elementos em Itacupim, comparados com outras ocorrências, indicam que os valores observados no nível B estão diretamente ligados ao embasamento, e não dependem exclusivamente da abundância da crandalita-goyazita, como se pode verificar comparando Jandiá, rica em crandalita-goyazita, mas relativamente pobre em Ce e La, tanto no nível B como no nível D. Cansa Perna e Pirocaua, pobres em crandalita-goyazita, apresentam teores de Ce e La mais elevados do que Jandiá. Por conseguinte, o Ce e La no nível B ocorrem na estrutura dos fosfatos de alumínio, e principalmente do tipo crandalita-goyazita, e seus teores mais elevados por ocorrência, dependem do respectivo embasamento. Numa amostra isolada de Pirocaua com boehmita, os teores de Ce e La estão cerca de 5 vezes mais elevados, sem relação com o Ba. Nas amostras

ricas em óxido-hidróxidos de ferro, o Ce está relativamente mais concentrado do que o La e o Nd.

4.2.5. Zircônio

Dentre os elementos traços aqui determinados, o zircônio é após o estrôncio, o elemento mais abundante, seguido imediatamente pelo nióbio. A distribuição em perfil do Zr em todas as ocorrências mostra que o mesmo se enriquece perfil acima, expressivamente no nível B, com passagem abrupta do nível C para o nível B e diminui da parte superior do nível B para o nível A. Esta distribuição é semelhante a do estrôncio, rubídio e fósforo. Em cada ocorrência, e entre as ocorrências, a sua maior concentração está relacionada com a maior abundância de crandalita-goyazita, relativamente aos demais fosfatos de alumínio associados. Isto é bem exemplificado em Trauíra nas zonas de wardita e de crandalita-goyazita. A wardita contém de 130 a 360 ppm de Zr, enquanto a crandalita-goyazita, de 1200 a 2800 ppm. As ocorrências mais ricas em crandalita-goyazita são as mais ricas em Zr, como Itacupim, Jandiá e Trauíra, seguidas por Pirocaua, Itacupim apresenta teores de 3600 ppm de Zr, que parece indicar também que a maior abundância deste elemento nos fosfatos depende de sua abundância no embasamento. Nos solos residuais atuais sobre os fosfatos, com concentrações elevadas de Zr. (Itacupim e Jandiá), encontra-se expressivamente o mineral zircão.

4.2.6. Nióbio

Tem uma distribuição idêntica a do Zr, em concentrações inferiores, porém sempre diretamente relacionadas às de zircônio, isto é, as ocorrências com maiores concentrações de zircônio, contêm também as maiores de nióbio. Este elemento, também no nível B, está relacionado principalmente à crandalita-goyazita e as suas maiores concentrações neste mineral, também dependem do maior conteúdo deste elemento no embasamento, como ilustrado em

Itacupim.

4.2.7. Cromo, Cobre, Níquel

Costa et al. (1975) analisaram semiquantitativamente estes elementos em Trauíra e Pirocaua, nos perfis de sondagem com cerca de 40 m de profundidade. Nestes perfis, o vanádio se enriquece perfil acima, paralelamente ao cromo, em concentrações inferiores a 900 ppm. Os teores de cromo em Trauíra são cerca de duas vezes mais concentrados do que em Pirocaua.

Cobre e níquel, com valores máximos de 300 ppm, decrescem suavemente perfil acima, principalmente no nível B. Em Itacupim, amostras isoladas apresentaram 51, 594 e 1690 ppm de Ni, em minerais de argila do nível C.

4.2.8. Urânio e Tório

Em todas as ocorrências foi feito reconhecimento cintilométrico, cujos valores em CPS são baixos. Uma amostra do Cansa Perua com 70% de variscita, 7% de crandalita-goyazita e 12% de goethita, apresentou somente 8 ppm de Th e U.

Nos fosfatos da costa leste dos EUA, somente aqueles ricos em crandalita apresentam concentrações de urânio o qual se aloja na estrutura deste mineral, mas, mesmo assim, não é detectado por cintilometria.

4.3. Discussões

Pelo exposto anteriormente, a distribuição dos elementos químicos maiores, menores e traços, é praticamente a mesma para todas as ocorrências, e todos os níveis são distinguidos entre si através da distribuição e abundância destes elementos em cada nível.

O nível A se caracteriza pelas maiores concentrações de Fe_2O_3 e por teores elevados de P_2O_5 e Al_2O_3 , assim como pelas mais baixas concentrações de SiO_2 e por valores mais baixos de Sr, Rb, Ba, Ce, La, Nd, Zr e Nb.

O nível B corresponde ao horizonte de maior lixiviação da sílica e parte do Fe_2O_3 e MgO . É o nível de concentração de Al_2O_3 , CaO , TiO_2 , P_2O_5 , SrO , Rb, Ba, Ce, La, Nd, Zr e Nb. O nível B, em relação ao nível C, apresenta concentrações na seguinte escala:

- fortemente enriquecidos (20 a 100 vezes) em P_2O_5 , CaO , SrO e Rb.
- muito enriquecidos (4 a 20 vezes) em Zr e Nb (Cr e V).
- enriquecidos (1 a 4 vezes) em Ba, Ce, La, Nd, Al_2O_3 e TiO_2 .
- fortemente lixiviados (5 a 100 vezes) em SiO_2 .
- lixiviados (1 a 5 vezes) em MgO , Mn, Cu, Ni.

O nível C, em contraposição ao nível B, se caracteriza pelas mais baixas concentrações de P_2O_5 , CaO , SrO , Rb, Ba, Ce, La, Nd, Zr e Nb, a exceção de Jandiá, e é relativamente mais rico em Ba, Ce, La e Nd no nível C, do que no nível B. No nível C, SiO_2 , Fe_2O_3 e mesmo Al_2O_3 se encontram em concentrações superiores às dos níveis D e B.

Em todas as ocorrências, as curvas de distribuição do Sr, Rb, Ba, Ce, La, Nd, Zr e Nb se assemelham mais a do P_2O_5 e parcialmente as do CaO e Al_2O_3 . As curvas de distribuição de Fe_2O_3 e SiO_2 sempre se opõem em todo o perfil, mais expressivamente nos níveis B e A. As de Al_2O_3 e P_2O_5 estão mais intimamente relacionados apenas nos níveis B e A.

A distribuição dos elementos maiores e menores está em perfeita correlação com a distribuição mineralógica, em todas as ocorrências, conforme ilustradas nas figuras 4.3 a 4.7. Os altos teores de Al_2O_3 , ou melhor, as relações $Al_2O_3/P_2O_5 > 1$ no nível B representam a predominância da augelita, mineral-A e wavelita, tanto em Pirocaua como em Cansa Perna.

A distribuição dos elementos traços está principalmente relacionada a estrutura mineralógica dos fosfatos e depende também de suas concentrações nas rochas do embasamento (nível D). Estes fatores também estão bem representados nas figuras anteriormente citadas. Elementos como Sr, Rb, Ba, Ce, La, Nd, Zr e Nb estão concentrados principalmente nas estruturas da crandalita-goyazita e parte nas micas, como em Jandiá, Itacupim e Trauíra. Os teores mais elevados foram encontrados em Itacupim. Nos minerais como wardita, augelita, mineral-A, mitridatita e dufrenita, aqueles elementos apresentam as mais baixas concentrações. O estrôncio no nível B, quando em concentrações elevadas, forma a solução sólida crandalita-goyazita, que carrega os elementos como Rb, Ba, Ce, La e Nd substituindo o Ca ou Sr, e o Zr e Nb substituindo o Al.

As concentrações dos elementos maiores, menores e traços separam as ocorrências em três grandes grupos: a) Jandiá; b) Cansa Perna e Pirocaua; c) Itacupim.

a) Jandiá: caracteriza-se por baixas concentrações de Ba, Ce, La e Nd, - inferiores as de Itacupim - e concentrações elevadas de Sr, Rb, - superiores às de Cansa Perna e Pirocaua. Estes teores são comparáveis aos dos fosforitos e fosfatos aluminosos de Alachua County na Flórida e os de Fairfield, EUA. Seus fatores de enriquecimento (Tabela 4.2) se coadunam com os observados em lateritas ferruginosas e aluminosas. As relações Ce/La, La/Nd, Ce/Nd e Zr/Nb (Tabela 4.3) são comparáveis às demais ocorrências, exceto Ce/La, ligeiramente inferiores.

b) Cansa Perna e Pirocaua: apresentam as maiores concentrações de Al_2O_3 de todas as ocorrências e as mais baixas de Sr, Rb, Ba, Ce, La, Zr e Nb. As relações Ce/La, La/Nd, Ce/Nd e Zr/Nb

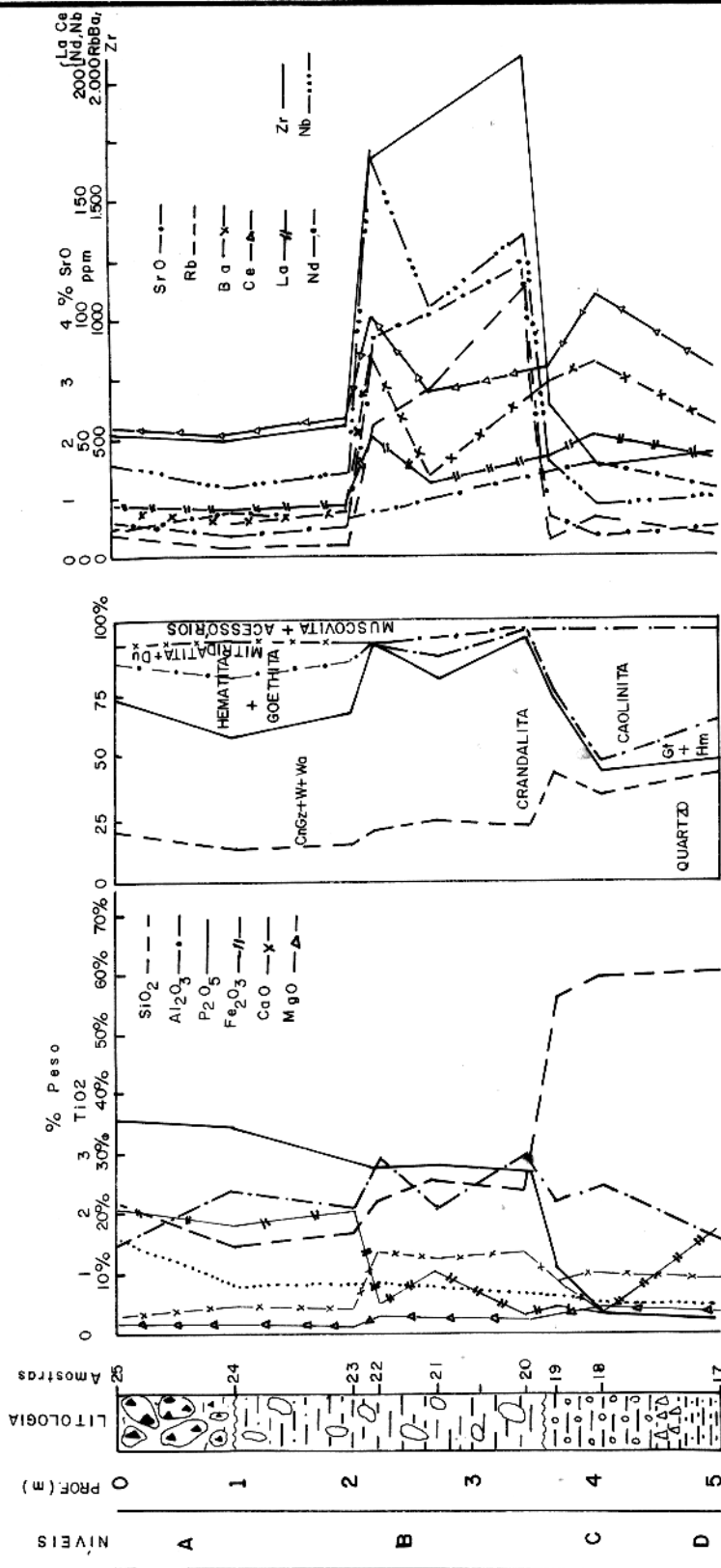


FIG 4.3 - Distribuição e correlação mineralógica e geoquímica no morro Jandia. Legenda Fig.4.1

JANDIÁ (Poço 3)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	TiO ₂
<u>Conc. Máxima</u>	4	2	8	17	15	3	5
<u>Conc. Mínima</u>							
<u>Conc. Nível B</u>	0,25	2	1,25	14	10	0,3	1,34
<u>Conc. Nível D</u>							
<u>Conc. Nível B</u>	0,25	1,2	1,5	3	10	0,3	1,3
<u>Conc. Nível C</u>							
CANSA PERNA							
<u>Conc. Máxima</u>	61	2,8	24	60	7	12	2,7
<u>Conc. Mínima</u>							
<u>Conc. Nível B</u>	0,18	1,5	0,7	10	11,3	0,9	1,04
<u>Conc. Nível C</u>							
TRAUÍRA							
<u>Conc. Máxima</u>	100	2,4	7	100	140		
<u>Conc. Mínima</u>							
<u>Conc. Nível B</u>	0,01	1,3	1,6	54			
<u>Conc. Nível D</u>							
<u>Conc. Nível B</u>	0,015	0,8	1,13	35			
<u>Conc. Nível C</u>							
PIROCAUA							
<u>Conc. Máxima</u>	54	2,5	14	70			
<u>Conc. Mínima</u>							
<u>Conc. Nível B</u>	0,03	1,2	0,6	30			
<u>Conc. Nível C</u>							
ITACUPIM							
<u>Conc. Máxima</u>	38	6(78)	23(80)	70			
<u>Conc. Mínima</u>							
<u>Conc. Nível B</u>	0,5	2	0,7	9			
<u>Conc. Nível D</u>							
<u>Conc. Nível B</u>	0,2	2	8	0,9-4,0			
<u>Conc. Nível C</u>							

Tabela 4.1 - Fatores de concentrações dos elementos maiores e menores nas diversas ocorrências aqui estudadas. Conc.= concentração.

JANDIÁ (Poço 3)	SrO	Rb	Ba	La	Ce	Nd	Zr	Nb
<u>Conc. Máxima</u>	13	22	6,3	3	2	3	5,4	8
<u>Conc. Mínima</u>								
<u>Conc. Nível B</u>	7	9	1,6	1,2	1,1	1,2	4	5
<u>Conc. Nível D</u>								
<u>Conc. Nível B</u>	7	8	1	1,1	0,9	1	3,6	4
<u>Conc. Nível C</u>								
CANSA PERNA								
<u>Conc. Máxima</u>	(+) 100	(-) (+) 23	18	15	(+) 5	7	(+) 5	
<u>Conc. Mínima</u>								
<u>Conc. Nível B</u>	11	(-) 4	3	2,6	1,7	1,6	1,4	
<u>Conc. Nível C</u>								
TRAUIRA								
<u>Conc. Máxima</u>	400	(+) 154	10	(')	6	(nd)	20	(+) 50
<u>Conc. Mínima</u>								
<u>Conc. Nível B</u>								
<u>Conc. Nível C</u>								
PIROCAUA								
<u>Conc. Máxima</u>	(+) 25	(+) 55	18	32	22	(nd)	48	43
<u>Conc. Mínima</u>								
<u>Conc. Nível B</u>	(-)	(-)	7	4	4,8	(nd)	18	17
<u>Conc. Nível C</u>								
ITACUPIM								
<u>Conc. Máxima</u>	77-770	180	50	22	25	(nd)	65	145(48)
<u>Conc. Mínima</u>								
<u>Conc. Nível B</u>	87	10	1,2	11	14	(nd)	17,4	21
<u>Conc. Nível D</u>								

Tabela 4.2 - Fatores de concentrações dos elementos traços nas diversas ocorrências aqui estudadas. Conc.= concentração; (+)= em algumas amostras não detectados; (')= valores não significativos; (-)= não detectado nas duas amostras do nível C; (nd)= não determinado.

x100 x 100

JANDIÁ		$\frac{\text{SrO}}{\text{Rb}}$	$\frac{\text{SrO}}{\text{Ba}}$	$\frac{\text{Rb}}{\text{Ba}}$	$\frac{\text{Ce}}{\text{La}}$	$\frac{\text{Ce}}{\text{Nd}}$	$\frac{\text{La}}{\text{Nd}}$	$\frac{\text{Zr}}{\text{Nb}}$	Mineralogia
TC/25		9,0	4,1	0,5	2,1	4,1	2,0	14	CnGz, Qz, Hm, Mi, Wa.
A	24	9,0	2,8	0,3	2,2	2,8	1,3	16	CnGz, Hm, Qz, Mi, M.
B	23	10,2	3,0	0,3	2,2	3,2	1,5	16	W, H, Qz
	22	6,7	4,4	0,7	1,8	2,5	1,3	10	CnGz, Qz, M.
	21	5,9	12,7	2,1	1,9	2,7	1,4	17	CnGz, Qz, Gt, V.M.
	20 ₁	4,4	5,3	1,2	1,4	2,4	1,7	15	CnGz, Qz, M.
	20 ₂	4,5	3,2	0,7	1,6	2,3	1,5	17	CnGz, Qz, K, M.
C	19	16,6	1,1	0,1	1,9	2,2	1,1	16	Qz, K, CnGz, M.
	19 _A	5,2	1,0	0,2	1,9	-	-	14	CnGz, Qz, M.K.
	18	2,6	0,5	0,2	2,0	2,9	1,5	16	CnGz, Qz, K, Gt, M.
D	17	6,2	1,0	0,2	1,7	2,6	1,5	18	CnGz, Qz, K, Gt.
	24 _A	10,6	2,9	0,3	2,0	-	-	15	CnGz, Hm, Qz, Mi.
	24 _B	8,0	8,5	1,1	2,1	-	-	13	CnGz, Qz, Hm.

C. PERNA

CS/25		2,5		2,2	3,0	1,4	17,0	M.A, V, Gt.
A/B	24	2,2		1,7	2,6	1,6	14,5	M.A, V, Gt.
	23	-		1,9	3,1	1,6	-	-
	22	1,3		1,9	-	-	18,5	M.A.
	21	1,2		2,1	4,0	1,9	15,7	M.A, V.
	19 _B	2,5		2,2	3,2	1,5	16,6	Gt, V.A
	18	6,6		1,8	2,7	1,5	14,6	V, Gt, A, K, Wa, CnGz.
C	17	6,4		2,0	2,9	1,4	13,0	V, Gt, Qz, CnGz.
	16	2,3		2,3	4,4	1,9	13,6	Gt, K, Qz.
	15	2,8		2,5	3,5	1,4	12,0	Gt, K, Qz.
	14	-		1,5	1,1	0,7	12,0	Gt, K, Qz.
	13	2,4		1,6	1,0	0,6	14,0	Gt, K, .
	12	-		1,7	0,8	0,5	12,7	Gt, K, Qz.
	28	3,4		2,3	-	-	16,4	V.
	26	2,6		1,9	1,4	0,7	22,5	M.A.
	19 _A	1,2		5,0	1,8	0,3	11,5	Gt (70%), V, A.
	18 _A	6,0		1,9	1,3	0,7	13,7	V, CnGz, A.

TRAUÍRA

TR/	21	3,0	1,0	0,3	5,3		16,4	Hm, CnGz, Wa
A	20	15,0	14,0	0,9	2,1		14,6	Wa, CnGz, Au, W, V, Gt.
	19	12,0	20,6	1,7	2,9		13,8	CnGz, Wa, Gt.
B	18	7,8	18,4	2,3	1,5		13,7	CnGz, Wa.
	17	5,7	44,7	7,9	1,7		10,6	CnGz.
	16	5,8	45,5	7,8	2,6		10,9	CnGz.
	15	5,3	90,3	17,1	1,9		9,8	CnGz.
	14	4,5	7,8	1,7	6,8		16,3	Wa, CnGz.
	13	1,0	0,9	0,9	-		22,0	Wa
	12	3,0	1,3	0,4	-		19,0	Wa.
	11	3,1	1,5	0,5	-		19,2	.
	10	5,7	2,2	0,4	14,0		14,2	Wa
	09	5,2	10,2	1,9	6,3		14,0	
	08	-	9,6	-	12,0		-	Wa.
	07	5,0	14,3	2,9	-		19,0	Wa.
	06	4,1	1,4	0,3	32,5		25,0	Wa.
	24	-	6,4	-	2,7		20,2	Dufrenita
	21 _A	-	7,1	-	2,3		19,3	Hm, Wa, CnGz; Nuc.
	21 _B	8,7	7,8	0,9	1,5		19,2	Wa, CnGz: Cim.

PIROCAUA

A	PR/ 09	-	5,0	-	2,1	17,0	Hm,Au,CnGz
	08	23,8	4,4	0,2	1,7	16,0	Au,CnGz,Gt.
	07	30,0	3,8	0,12	1,7	17,2	Au,CnGz,Gt.
	06	10,0	18,7	1,85	2,0	15,5	CnGz,Au.
	05	5,0	6,9	1,3	1,3	12,8	V.Au.
B	04	9,8	14,6	1,5	1,7	11,1	CnGz.
	03	9,4	11,5	1,2	1,8	11,0	CnGz
	02	-	9,8	-	2,7	12,6	Boehmita,K,Au.
	01	26,9	1,1	0,04	3,0	15,1	Boehmita,K,Au.
C	10	-	-	-	5,4	9,8	Filitos decomp.
	16	-	-	-	1,4	12,5	Filitos decomp.
	14	30,0	4,5	0,15	2,0	13,6	Ft,Au,CnGz.
	12	8,5	5,8	0,7	5,6	15,3	Dravita

ITACUPIM

A/B	IT/113	5,4	1,4	0,2	2,5	39,0	Solo arenoso
	114	21,0	1,6	0,1	2,9	16,6	Qz,CnGz,K,Gt
	115	11,0	6,0	0,6	2,8	16,8	
	116	13,0	5,0	0,4	3,0	14,6	
	117	12,0	5,1	0,4	3,1	14,1	
POÇO	118	14,0	4,0	0,3	3,0	14,5	
	119	14,0	2,0	0,1	2,9	13,5	Gt,CnGz
	121	5,1	6,1	1,2	2,7	12,4	
C/D	123	0,2	0,03	0,1	2,3	7,1	Bt.h,Ch - Xisto
	123A	0,2	0,03	0,2	2,4	6,0	Bt.h.
	123B	1,5	0,1	0,1	3,3	5,6	Ch.Vm.
	23A	3,4	0,1	0,02	1,8	25,0	Qz,Felds.T.Act.
	26	1,4	0,3	0,2	2,8	33,0	T.Act - Xisto
BLOCOS FALÉSIA	102	9,3	2,5	0,3	2,7	15,6	Wavelita
	103	5,6	5,2	0,9	2,7	10,2	CnGz,Gb
	105	15,0	2,2	0,1	2,3	12,0	Wavelita

Tabela 4.3 - Relações SrO/Rb, SrO/Ba, Rb/Ba, Ce/La, Zr/Nb, Ce/Nd, e La/Nd, em rochas e minerais das diversas ocorrências.

	Ce/La	La/Nd	Ce/Nd	Zr/Nb
Rochas ígneas	2,0	1,0	2,1	8,2 a 10,0
Arenitos	3,0	0,8	2,5	20.000,0
Folhelhos	0,6	3,8	2,4	14,5
Fosforitos	1,8	1,0	1,8	-
Grauvacas	1,9	1,0	2,0	-
Argilas marrons	1,8	0,9	1,6	-
Jandiá	1,9	1,4	2,7	14,0
Cansa Perna	2,1	1,2	2,4	15,0
Pirocaua	2,5	-	-	14,0
Itacupim	2,7	-	-	14,0

Tabela 4.4 - Relações Ce/La, La/Nd, Ce/Nd e Zr/Nb em diferentes tipos petrográficos. Dados de Mason (1971), Krauskopf (1972) e das ocorrências aqui estudadas.

do Cansa Perna (Tabela 4.3) são semelhantes às de Jandiã e Ce/La no Pirocaua é sensivelmente elevada.

c) Itacupim. Caracterizada pelos teores mais elevados de Ba, Ce, La, Zr e Nb de todas as ocorrências. A relação Zr/Nb (Tabelas 4.2 e 4.3) é semelhante a das demais ocorrências, enquanto Ce/La é ligeiramente superior.

As concentrações dos elementos traços e menores contidas na tabela 4.5 (para a ilha de Itacupim) podem representar uma diferenciação petrográfica, onde as rochas IT/26 e IT/123 seriam as menos diferenciadas e IT/23_{A/B} as mais diferenciadas. Comparadas às rochas do complexo Skaergaard (Krauskopf, 1972, e Mason, 1971) a amostra IT/26 (tremolita-actinolita xisto) se situaria entre gabro picrito e eucrito e ferro-gabro; a IT/25 ao redor de gabro picrito pobre em fósforo; a IT/123 (clorita-biotita xisto) ferro-gabro e granófiro; e a IT/23_{A/B} entre hedenbergita granófiro e granófiro mais tardio.

Na amostra IT/123, Rb e Ba estão principalmente na estrutura da biotita, enquanto Zr, Nb, La e Ce na clorita. Estes elementos estão igualmente distribuídos nesta rocha e na IT/26, distinguidas apenas pelas concentrações de Rb e Ba. Na clorita, Zr, Nb La e Ce estão concentrados cerca de duas vezes mais do que na tremolita-actinolita. Estes elementos nas rochas ígneas estão mais concentrados no hiperstênio (Mason, 1968).

Além das relações Ce/La, La/Nd, Ce/Nd e Zr/Nb que se mantêm quase constantes ao longo de todo perfil e cujos valores são semelhantes entre as diversas ocorrências, também as relações SrO/Rb, SrO/Ba e Rb/Ba são significativas, porém variam segundo a profundidade. Os seus valores contidos na tabela 4.3 crescem perfil acima, mais expressivos no nível A ou no nível B, onde dominam os fosfatos como wavelita, augelita, mineral-A ou óxido-hidróxidos de ferro. Nos níveis ricos em crandalita-goyazita SrO/Rb varia de 4 a 6, enquanto que nos outros fosfatos e nos óxido-hidróxidos de ferro é maior que 6. As relações SrO/Rb, SrO/Ba, Rb/Ba variáveis, porém quase constantes na crandalita-goyazita, mostram a interde

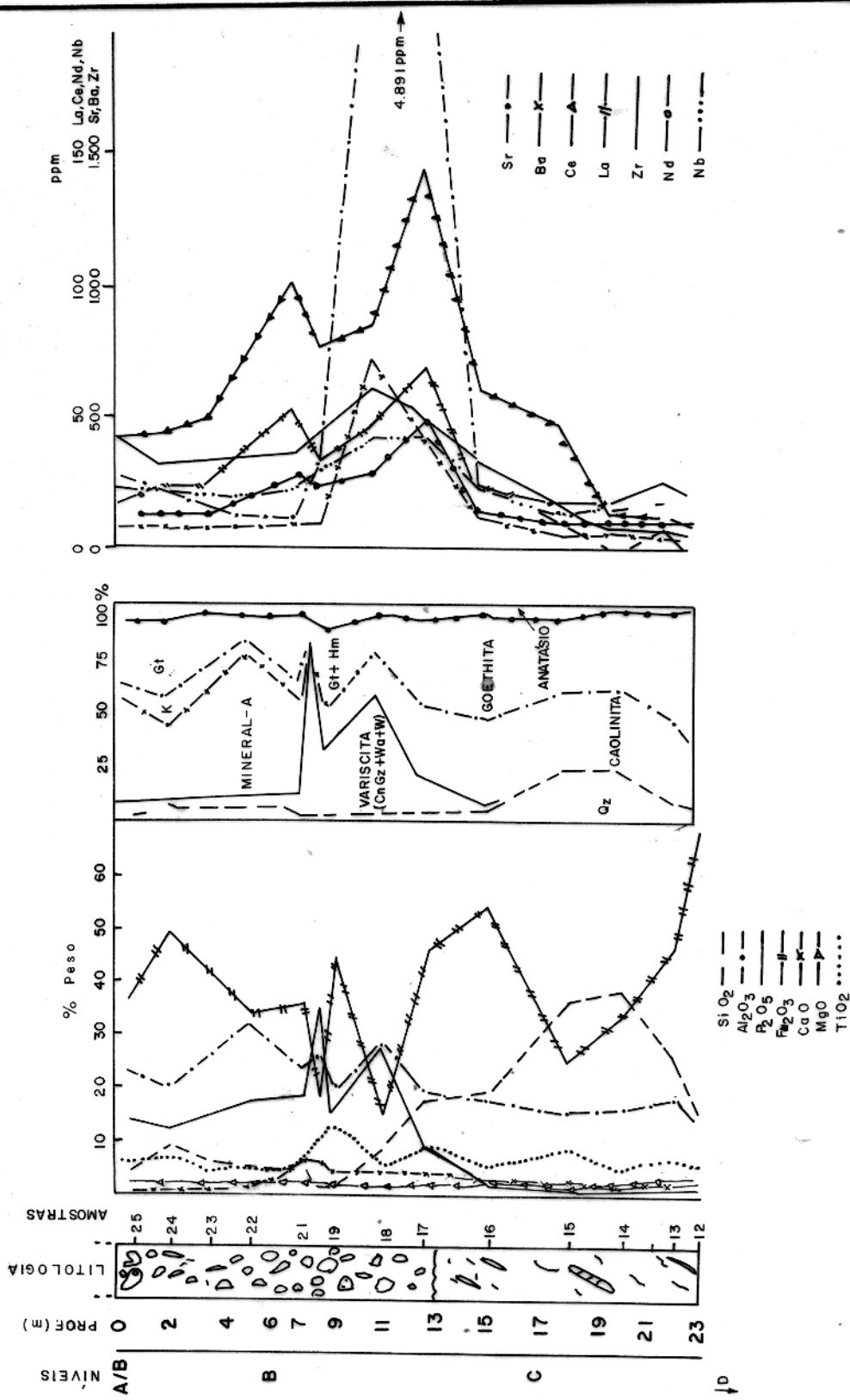


FIG. 4.4 — Distribuição e correlação mineralógica e geoquímica no morro do Cansa Perna. Legenda Fig. 4.1

CnGz: crandalita-goyazita; Gt: goethita; Hm: hematita;
K: caolinita; Qz: quartzo; W: wavelita; Wa: wardita.

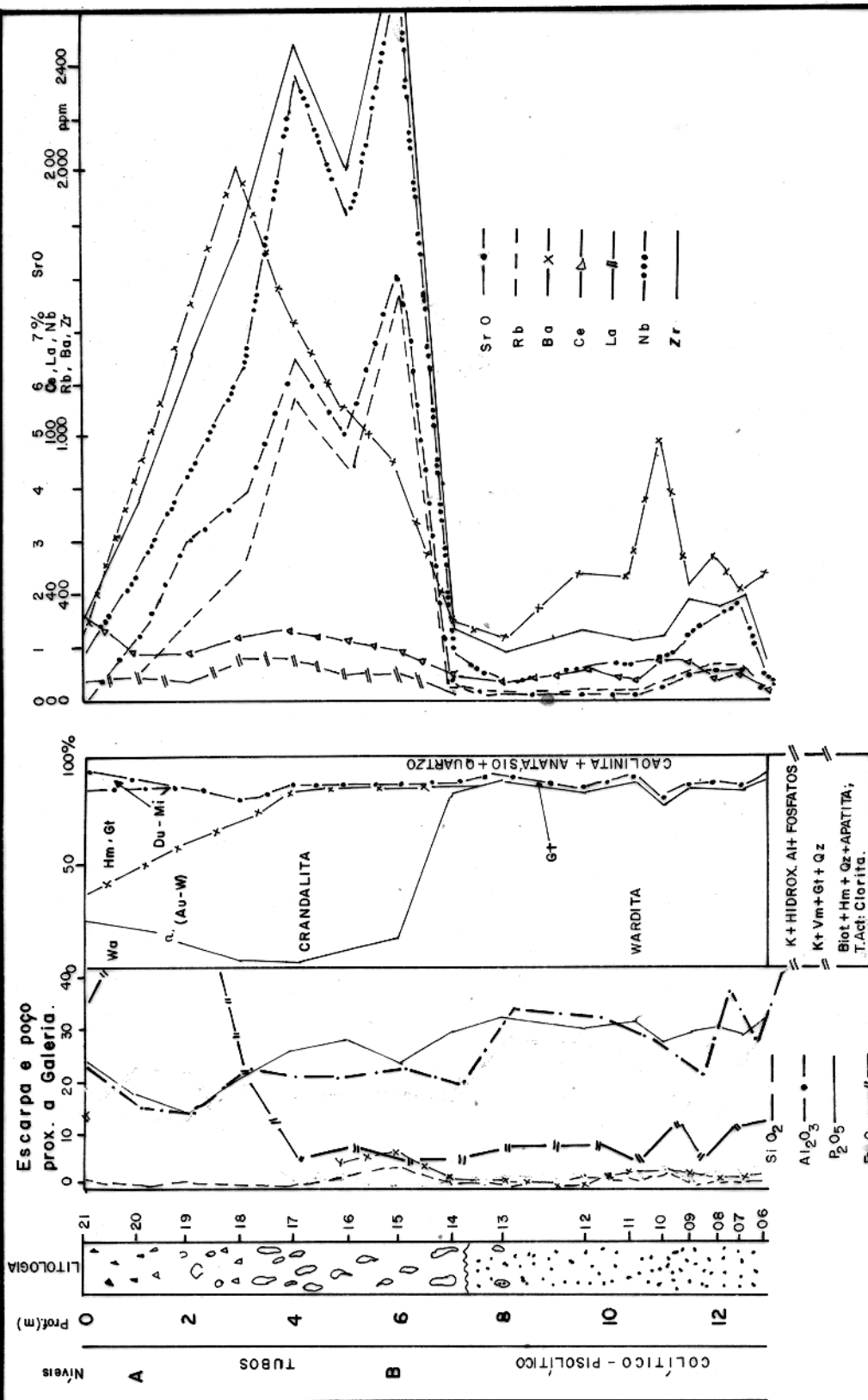


FIG. 4.5 - Distribuição e correlação mineralógica e geoquímica na Ilha de Trauíra. Legenda Fig.4.1

T.Act: tremolita-actinolita ; Au: augelita; Biot: Biotita;
Cn Gz: crandalita-goyazita; Du: dufrenita; Gt: goethita;
Hm: hematita; K: caolinita; Mi: mitridatita; Qz: quartz;
W: wavelita; Wa: wardita; Vm: vermiculita.

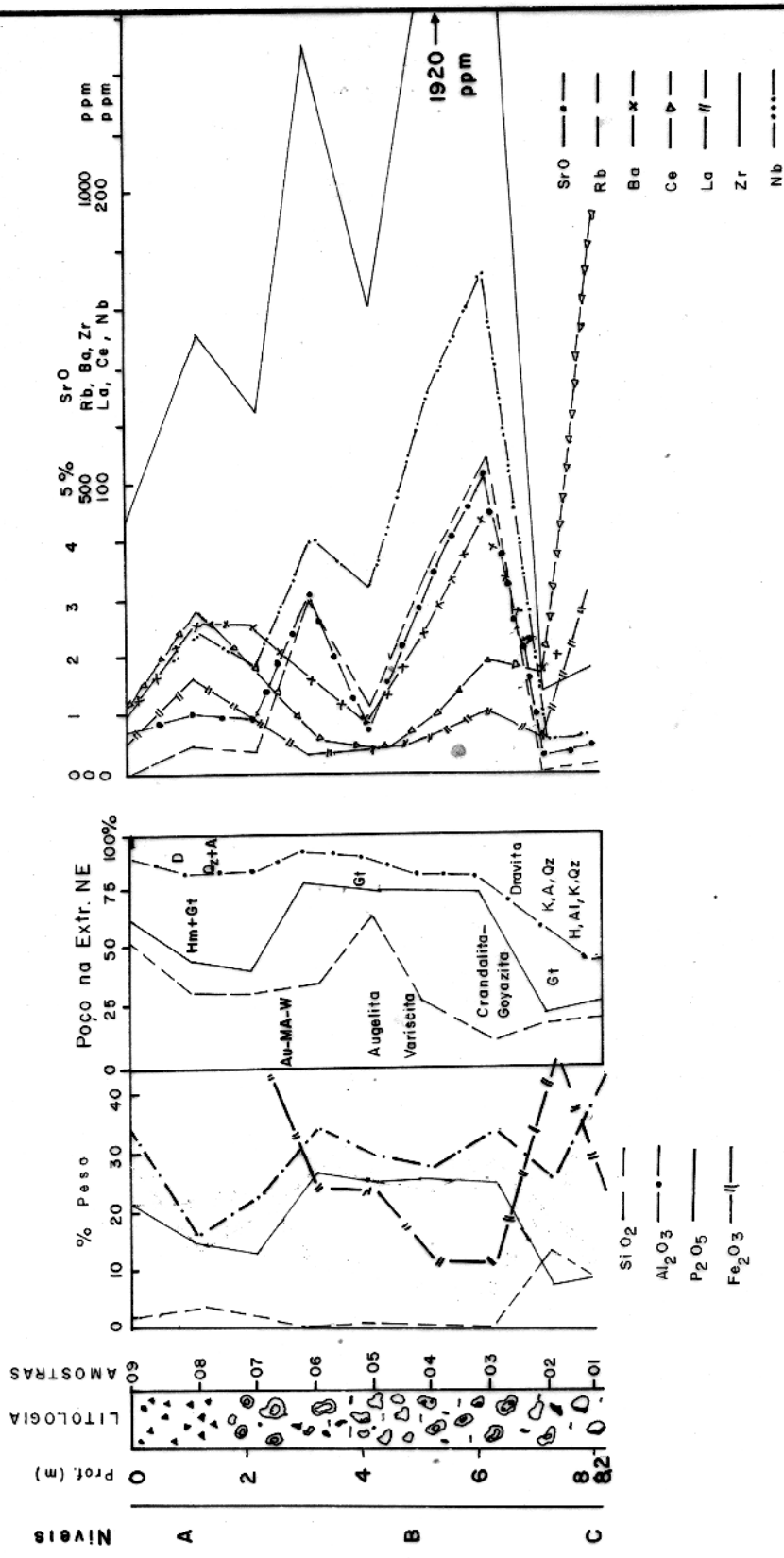


FIG. 4.6 — Distribuição e correlação mineralógica e geoquímica na serra do Pirocaua. Legenda Fig. 4.1

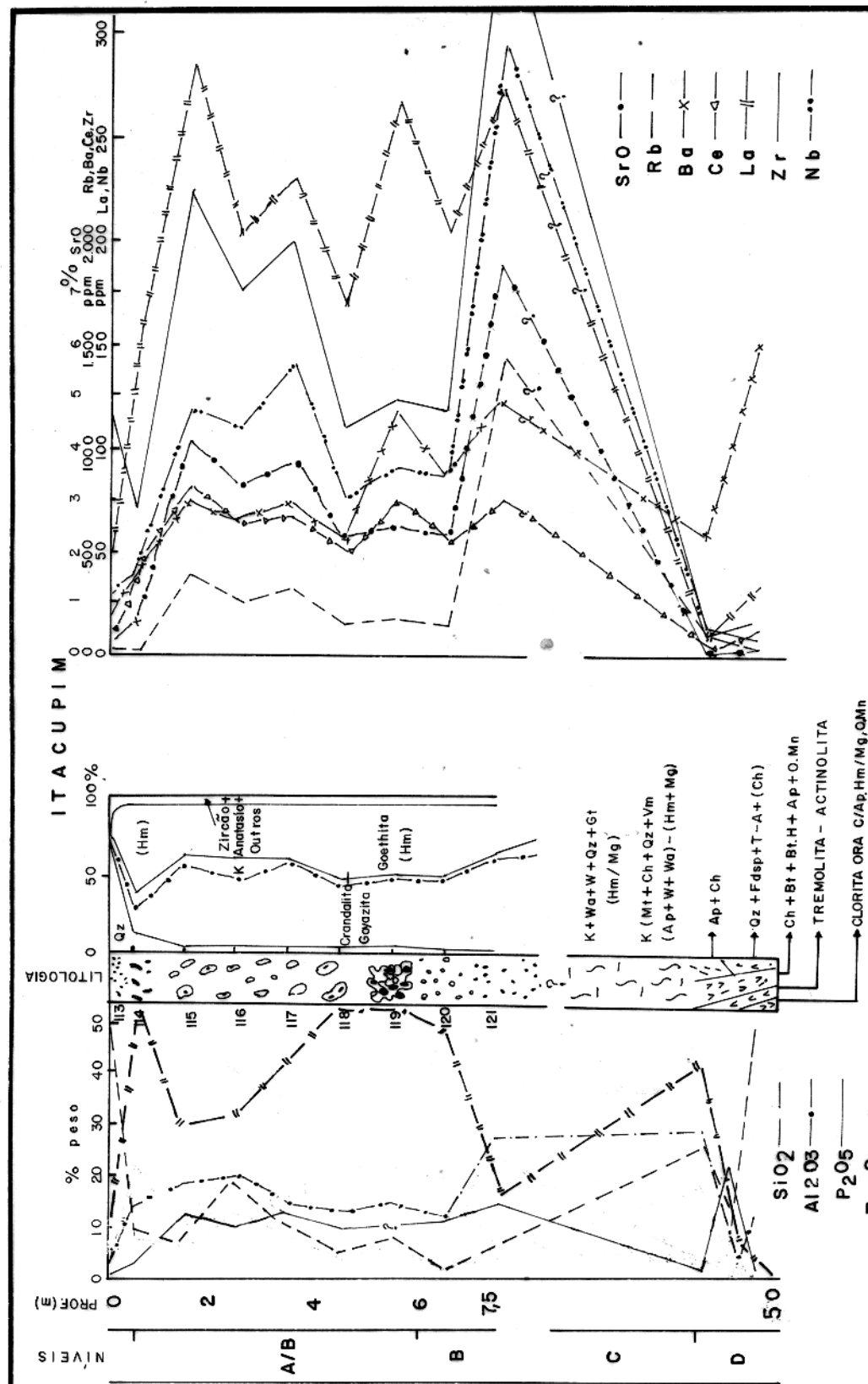


FIG 4.7—Distribuição e correlação mineralógica e geoquímica na ilha de Itacupim. Legenda Fig. 4.1

p p m											
	P ₂ O ₅ %	SrO%	Mn%	Rb	Ba	Ce	La	Zr	Nb	Cr	Ni
1.	1,3	0,1	0,02	35	1554	59	33	164	6	70	51
2.	0,8	0,01	0,12	8	31	35	13	66	2	1910	594
3.	1,2	0,01	-	89	574	33	14	68	10	-	-
4.	-	0,02	-	110	673	34	14	35	9	-	-
5.	-	0,02	-	16	161	75	23	131	23	-	-
6.	2,4	-	0,09	-	-	-	-	-	-	460	1690

Tabela 4.5 - Concentrações de elementos menores e traços em rochas do embasamento da ilha de Itacupim. 1=IT/23_A; 2=IT/26; 3=IT/123 ; 4=123_A - biotita; 5=IT/123_B -clorita; 6=IT/25.

pendência entre Sr, Rb e Ba neste mineral, não verificado nos demais fosfatos.

A quase constância das relações Ce/La, La/Nd, Ce/Nd e Zr/Nd desde o embasamento até os níveis B e A, crescendo suavemente no nível A, mostra a estreita relação destes níveis com o embasamento, independentemente das transformações mineralógicas, texturais e estruturais.

CAPÍTULO 5

GÊNESE DOS FOSFATOS

5.1. Os Modelos Genéticos Propostos

Aos fosfatos da região nordeste do Estado do Pará e no oeste do Estado do Maranhão já foram atribuídos os seguintes modelos genéticos:

a) Origem orgânica do fósforo a partir de dejetos de aves marinhas (guanos) depositados sobre bauxitas e lateritas ferruginosas, posteriormente afetadas por novo ciclo de laterização. Este modelo foi proposto pela primeira vez por Brandt (1932) para os fosfatos da ilha de Trauíra e assumido também por Abreu (1937), Rabello (1945), Sakamoto et al (1956), Argentiêre (1971) e Costa et al. (1975) que defenderam este modelo para outras ocorrências de fosfatos, incluindo a de Pirocaua. •

b) Bauxitização parcial de zona fosfática intempérica de origem supergênica, modelo este defendido por Suszcynski (1975).

c) Transgressão marinha sobre lateritas pré-existentes, depositando fosfatos que cimentaram aquelas lateritas, com posterior soerguimento e laterização, conforme proposição de Costa et al. (1977).

d) Remobilização do fósforo através de soluções hidrotermais a partir de um nível rico em fósforo nos metasedimentos do Grupo Gurupi e posterior precipitação em fraturas e brechas de falhas. Este modelo genético foi apresentado por Oliveira (1977) para os fosfatos de Santa Luzia.

Os dados geológicos, mineralógicos e geoquímicos, inclusive geográficos e geomorfológicos descritos neste trabalho, levaram a concluir que nenhum destes modelos se aplica às ocorrências aqui estudadas, conforme as seguintes argumentações sobre cada um destes modelos:

a) Origem Orgânica. As ocorrências atualmente conhecidas estão distantes até 100 km do litoral (Figura 1.1) em desacordo com a localização de depósitos deste tipo, normalmente restritos às regiões litorâneas. Uma origem orgânica insular deveria ter formado um número significativo de depósitos, já que são inúmeras as ilhas nesta região. As semelhanças geológicas, químicas e mineralógicas entre as diversas ocorrências sugerem origem idêntica para todas as ocorrências e, deste modo, uma origem orgânica para aquelas costeiras como Trauíra, Itacupim e Pirocaua é inconsistente com uma outra origem para as demais. A existência de fosfatos tipo Santa Luzia na região, sem dúvida inorgânicos (Oliveira, 1977), sugere uma outra fonte, que não orgânica, para os fosfatos desta região. A maioria das ocorrências está situada sobre filitos e rochas máfico-ultramáficas, havendo assim um controle litológico, o que não deveria ser observado em fosfatos orgânicos.

b) Transgressão Marinha. Não existem evidências geológicas regionais de transgressões marinhas Pós-paleozóicas, a exceção talvez dos calcários da Formação Pirabas, que no entanto se situam principalmente a oeste da região de ocorrência dos fosfatos. Por outro lado uma transgressão marinha Pós-cretácea deveria ter propiciado uma maior distribuição e extensão dos fosfatos, mesmo considerando a erosão, fato que não foi observado. Também, a forte correlação dos padrões morfológicos e altimétricos destes platôs de fosfatos como os de bauxitas do sul do Pará, mostra que os fosfatos estão intimamente ligados aos processos de laterização e neplanização mais do que a transgressões marinhas.

c) Remobilização do Fósforo e Posterior Deposição em zonas de fraturas e falhas. Este modelo é consistente para os fosfatos de Santa Luzia, cujo modo de ocorrência em zona de falhas, fraturas e veios de quartzo, difere em muitos das demais ocorrências representadas principalmente pelo nível B, com estruturas e texturas supergênicas.

d) Bauxitização de Fosfatos Supergênicos. Suszczyński (1975) propôs este modelo com base na literatura da geologia regional e sugeriu um enriquecimento do fósforo através dos processos

supergênicos a partir de rochas com teores normais deste elemento. Deste modo era de se esperar um maior número de ocorrências de fosfatos e condições físico-químicas especiais. O emprego da terminologia "bauxitização" sugere a superposição de processos de concentração supergênica, o que deveria ter propiciado um maior número de ocorrências de bauxitas com fosfatos associados, mas isso não é observado.

5.2. O Modelo de Enriquecimento Supergênico

Através deste modelo pretende-se explicar a origem e evolução dos depósitos de fosfatos estudados. Para tanto são apresentados a seguir algumas evidências que sustentam o modelo proposto.

5.2.1. Aspectos Geográficos e Geomorfológicos

As ocorrências de fosfatos até então descobertas, estão situadas principalmente entre os meridianos 45°25'00" e 46°55'00" WGr e os paralelos 00°48'00" e 01°50'00", a maioria na região costeira, porém em plena região amazônica sob clima tropical quente e úmido.

As atuais morfologias destas ocorrências com platôs ou marrotes alongados ou arredondados e ilhas de topo plano-abaulado, são resultados do Ciclo Geomórfico Velhas (Costa et al, 1977), que de igual modo modificou os platôs de bauxitas da Amazônia. Estas feições, segundo estes autores, representam testemunhos de extensos platôs, originados pelo Ciclo Geomórfico Sul-Americano, que se estendiam do sul do Pará ao Atlântico norte, constituídos por caolinitas e bauxitas no sul do Pará e, ao norte, por caolinitas e fosfatos aluminosos. O Ciclo Geomórfico Sul-Americano se caracterizou por intensa lixiviação e concentração química dentro dos processos de laterização (Costa et al., 1975 e 1977).

5.2.2. Embasamento Litológico das Ocorrências de Fosfatos

As ocorrências de fosfatos aqui estudadas estão sobrepostas a três tipos litológicos bem definidos: a) Rochas complexas máfico-ultramáficas e félsicas metamorfizadas; b) Filitos e xistos; c) Rochas de composição arenítica fina a grosseira, micáceas e argilosas.

a) Rochas Complexas Máfico-Ultramáficas e Félsicas, estão metamorfizadas no fácies xisto verde e ocorrem em Itacupim e Trauíra com mineralizações de apatita. Neste embasamento, fácies petrográficos contêm até 50% de apatita em Itacupim, com ocorrência similar inferida para a linha de Trauíra devido as semelhanças petrográficas. Em média as rochas verdes contêm 2% de P_2O_5 , como apatita, suficientes para formar os fosfatos aluminosos observados no nível B.

Rochas máfico-ultramáficas com apatita, associadas a complexos carbonatítico-alcalinos em São Paulo, Minas Gerais e Santa Catarina e em Mrima Hill no Quênia apresentam fosfatos secundários e hidróxidos de ferro e de alumínio como produtos de laterização incipiente (Heinrich, 1966).

b) Filitos e mica-xistos. Encontram-se geralmente semidecompostos a decompostos, constituindo o embasamento dos fosfatos do Cansa Perna e Pirocaua. Nestas rochas foram encontrados apenas fosfatos aluminosos às proximidades do contato com o nível B. Porém os fosfatos de Santa Luzia ocorrem como leitos delgados de variscita e crandalita intercalados nos filitos e mica-xistos do Grupo Gurupi, bem como veios e brechas de falhas com estes minerais e ainda wavelita, cortando estas rochas, conforme descrito por Oliveira (1977). Estas rochas, com tais características, são aqui inferidas para o embasamento dos fosfatos do Cansa Perna e Pirocaua (extensíveis a serra do Piriá, a serra Barreiras e ilha Peito de Moça) devido às semelhanças petrográficas, além de pertencerem a mesma unidade estratigráfica e de conterem suficiente fósforo, capaz de formar o horizonte superior (nível B), a semelhança de Itacupim. Nos fosfatos de Santa Luzia foram também observados teores eleva

dos de SrO , bem como Rb e Sc. A quase ausência destes fosfatos tipo Santa Luzia no embasamento do Cansa Perna e Pirocaua é creditada ao pequeno número de afloramentos bem como ao fato de sempre se apresentarem semidecompostos. O nível C do Cansa Perna apresenta nódulos disseminados de variscita, talvez como relictos do embasamento. Neste horizonte os teores de P_2O_5 são superiores a 2%.

c) Rochas de composição arenítica fina e grosseira, micáceas e argilosas. Os níveis fosfáticos e não fosfáticos de Jandiá são de proveniência arenítica, com grânulos de quartzo, palhetas de muscovita e massa caolinítica, além de nódulos de fosfatos disseminados nos níveis C e D. Estes nódulos são constituídos de cran dalita-goyazita/quartzo/muscovita/caolinita, onde os fosfatos de alumínio provavelmente provieram de minerais tipo apatita, de igual modo que Santa Luzia. Os teores de P_2O_5 são em geral superiores a 2%. Na região nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, rochas semelhantes são descritas nas Formações Piriá, Itapecuru e Alcântara e no Grupo Barreiras, porém em nenhuma delas são mencionados os nódulos de fosfatos.

Fosfatos em rochas de composição siltítica a arenítica, micáceas (muscovita-illita) e argilosas, associadas com argilitos, sílex, calcários e matéria orgânica são bem conhecidos nos Estados Unidos dentro da Phosphoria Formation, Bone Valley Formation e Hawthorn Formation, na bacia de Georgina na Austrália e no Grupo Bambuí em Minas Gerais. É possível que as rochas do embasamento do Cansa Perna e Pirocaua e Jandiá tenham tido semelhante composição.

A maioria das ocorrências de fosfatos está sobreposta às rochas do Grupo Gurupi, de grande distribuição geográfica. Cansa Perna e Pirocaua ocorrem em regiões auríferas, associadas a turmalina e minerais cupríferos. Nos arredores do Cansa Perna, na serra do Piriá e serra Barreiras, ocorrem nódulos de sílex, altamente cataclasados, recristalizados, tipicamente associados aos filitos e xistos. Semelhantes características são parcialmente descritas por Altschuller et al. (1956) na Phosphoria Formation e Hawthorn Formation na Flórida (USA) e por Howard (1972) nos fosfo

ritos e rochas associadas na Austrália.

5.2.3. Dados Geológicos e Mineralógicos

Sobre os diferentes embasamentos se desenvolveram in distintamente para todas as ocorrências, os seguintes horizontes típicos de decomposição intempérica até o grau de laterização conforme representados na figura 5.1.

Nível C: a) Montmorilonita-vermiculita-clorita-caolinita (base do nível C). É o primeiro produto de decomposição do embasamento, guardando ainda a maioria de suas características originais. Minerais como biotita, clorita, feldspatos, tremolita-actinolita e apatita estão semidecompostos e às vezes associados a óxido-hidróxidos de manganês. Neste nível a apatita se transforma em wavellita-wardita.

b) Caolinita-quartzo-goethita (Nível C propriamente dito). Corresponde ao embasamento mais decomposto, sobreposto ao nível anterior, podendo ainda ocorrer vermiculita e clorita. As estruturas primárias raramente são observadas. Dos minerais primários, ocorrem apenas a muscovita, quartzo, turmalina e zircão. A apatita é representada apenas pelos nódulos, disseminações e vênulas de wavellita, wardita, crandalita e variscita, principalmente no topo deste nível.

Nível B: Fosfatos de Alumínio e de Alumínio-cálcio-estroncio e Hidróxidos de Alumínio. Apresenta raras evidências do embasamento, como relictos de estratificação cruzada e foliação. O quartzo e a caolinita ocorrem geralmente subordinados ou estão quase ausentes. O anatásio, autigênico, está bem representado neste nível. Estruturas e texturas secundárias como oólitos e pisólitos, estalactites, aspectos brechóide, cavernoso, terroso, amaciço, coloração branca a amarelada e grande variedade mineralógica, são típicas deste nível.

Nível A: Óxido-hidróxidos de Ferro e Fosfatos de Alumínio, Alumínio-cálcio-estroncio e Ferro-cálcio. Com aspecto bre

N ^o VEIS	LITOLOGIA	JANDIÁ	CANSA PERNA	TRAUÍRA	PIROCAUA	ITACUPIM
A	Pseudobrechóide (Pele-de-onça): pisólitos e frag- mentos vermelhos em massa embranqui- çada.	HEMATITA/CRANDA- LITA/MITRIDATITA QUARTZO Wa, M, Du, M.B, V, L, Be, Gt. (Z, T)	HEMATITA/GOETHI- TA/MINERAL-A/VÁ- RISCITA W, Wa, CnGz, A.	HEMATITA/CRANDALI- TA/WARDITA/DUFRE- NITA Wa, Au, W, V, Mi (Z)	HEMATITA/AUGELITA CRANDALITA V, W, MA, A, Gt. (Dravita)	GOETHITA/HEMATITA/ CRANDALITA K (Z, T)
B	Terroso, poroso, oolítico-psolíti- co, tabular, es- talactítico e cá- vernoso. Tons claros.	CRANDALITA/QUARI- ZO M, W, Wa, V, K. (Z, T)	VARISCITA/MINERAL- A/GOETHITA Wa, W, CnGz, A.	CRANDALITA/WARDITA W, Au, Gt. (Z)	AUGELITA/CRANDALI- TA V, W, M.A, boehmi- ta. (Dravita)	CRANDALITA/GOETHITA Gibbsita, K. (T, Z, Hm)
C	Rocha decomposta, pobre em fosfatos, argilosa, micácea e ferruginosa. Tons amarelo e marrom.	CAOLINITA/QUARTZO GOETHITA CnGz, Wa, M. (Z, T)	CAOLINITA/GOETHI- TA/QUARTZO Wa, V, A.	CAOLINITA/GOETHI- TA/QUARTZO Ch-Mt, Gt, Vm, Ep, Bt.h, Ap-W-Wa. (Z)	CAOLINITA/GOETHI- TA/QUARTZO V, Au, boehmita. (Dravita)	CAOLINITA/QUARTZO/ GOETHITA W-Wa-Ap, K-Mt, Ch- Vm, Vm, Bt.h, Hm/Mg, Ep, O.Mn. (T, Z, Hm)
D	Rochas frescas a parcialmente de- compostas (bedrock)	Sedimentos argilo- arenosos, micáce- os, tipo fosfori- tos.	Filitos em parte decompostos, com veios de quartzo e nódulos silico- sos. Grupo GURUPI	Clorita, tremolita -actinolita, bioti- ta, apatita, quart- zo turmaliníferos e auríferos. XISTO VERDE	Filitos e xistos parcialmente de- compostos com ve- ios de quartzo turmaliníferos e auríferos. Grupo GURUPI	Clorita, tremolita -actinolita, bioti- ta, apatita, hema- tita, magnetita, o- xidos de Mn, felds- pato e quartzo. XISTO VERDE

Fig. 5.1 - Correlação entre as ocorrências de fosfatos aqui estudadas com base na mineralogia. Os minerais escritos por extenso e maiúsculo são os principais, enquanto os abreviados são acessórios e os entre parênteses são regis-
trados. São apresentados segundo a ordem decrescente de abundância.

chóide ou tipo "pele de onça", cor marron escura, representa perfeitamente os denominados "chapéu de ferro". Como resistatos ocorrem a turmalina, zircão e às vezes muscovita. A diversidade dos fosfatos de ferro e de alumínio é muito grande, como pode ser observado na figura 5.1.

Estes diferentes níveis dispostos em sequência bem definida, com espessura regular, coloração típica, diversidades mineralógicas, texturais e estruturais, se assemelham às bauxitas da Amazônia, da Austrália, Índia e Jamaica e aos fosfatos lateríticos do Senegal e dos Estados Unidos (Flórica, Utah etc...).

A espessura do nível C está na ordem de 30 m, comparável aos perfis de caolinitas da Amazônia e a espessura dos fosfatos e hidróxidos de ferro (níveis B e A) da ordem de 6 a 10 m compara-se aos horizontes de bauxitas de Paragominas (Pa) e Trombetas (Pa).

5.2.4. Evidências Geoquímicas •

O comportamento dos elementos maiores, menores e traços, bem como suas concentrações e fatores de concentrações, também mostram que sobre os embasamentos foram desenvolvidos perfis lateríticos completos. Apresentam divergências no comportamento do Sr e Rb e parcialmente no do fósforo em relação às bauxitas, porém são praticamente idênticas aos fosfatos lateríticos desenvolvidos sobre fosforitos e rochas equivalentes. Os minerais de argila, óxido-hidróxidos de alumínio e de ferro definem os fatores físico-químicos (pH e Eh) nos diferentes horizontes. A mineralogia fosfática é a responsável pelas concentrações mais elevadas dos elementos traços e o enriquecimento de Sr e Rb.

Elementos Maiores e Menores. A distribuição dos elementos maiores e menores (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Ti e P) ao longo dos perfis de todas as ocorrências aqui estudadas (Capítulo 4) é típica dos depósitos lateríticos, com ligeira exceção no Ca e P. São exemplos significativos as lateritas ferruginosas sobre serpentinitos em Borneo (Ásia) e Barro Alto (Goiás), as bauxitas Pliocênicas da

Amazônia, as bauxitas de Índia e Austrália e principalmente os depósitos de fosfatos lateríticos do Senegal e costa sudeste Americana, conforme parcialmente representados na figura 5.2.

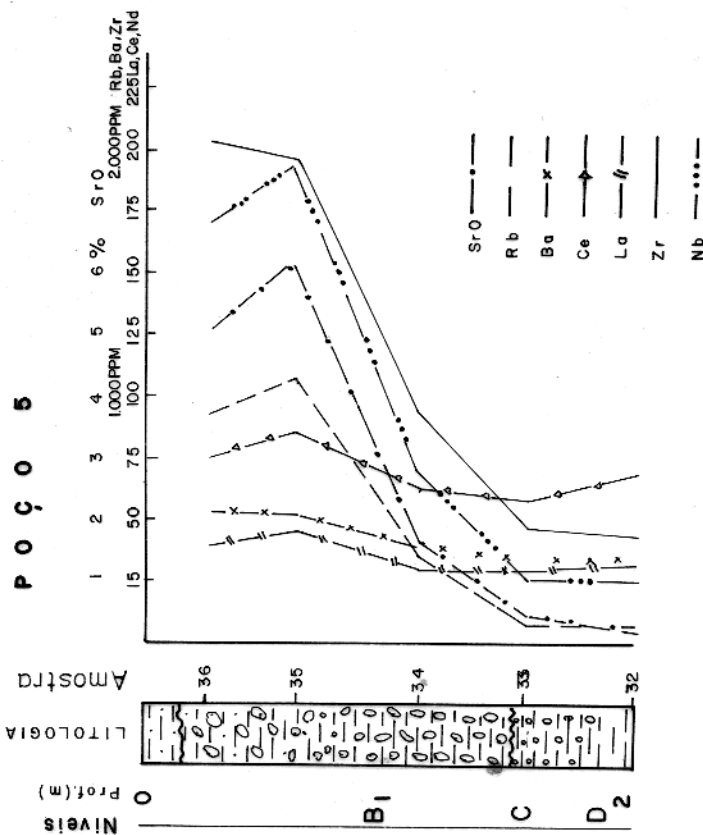
As variações de SiO_2 e Al_2O_3 no topo do nível D para o nível C representam as transformações das rochas frescas em montmorilonita e posteriormente em caolinita. O MgO e CaO são em grande parte lixiviados e a fração restante entra nos minerais de argila. Estas modificações dos teores de MgO , CaO , SiO_2 e Al_2O_3 nestes níveis estão ligadas as transformações montmorilonita-caolinita.

O desaparecimento acentuado do SiO_2 do nível C para o nível B é decorrente da decomposição da caolinita e quartzo nas condições neutras e alcalinas precipitando a alumina como fosfatos, devido as altas concentrações de P_2O_5 .

Os teores de CaO do nível C para o nível B aumentam gradualmente compondo a estrutura dos fosfatos. Os teores de MgO decrescem, devido ao desaparecimento da caolinita e a pequena afinidade pelos fosfatos.

Teores de P_2O_5 sempre crescentes perfil acima, de modo acentuado no topo das ocorrências, são conhecidos também em Borneo (Schellmann, 1964). Lá, as partes média e superior do horizonte laterítico contém 0,1 a 0,2% de P_2O_5 , enquanto o serpentinito contém apenas 0,01 de P_2O_5 (Figura 5.2). O fósforo não ocorre como mineral específico, certamente devido as suas baixas concentrações.

Nas bauxitas da Amazônia (Figura 5.2), o fósforo e o ferro, se comparados com o material subjacente, estão fortemente enriquecidos (Dennen et al., 1977). As argilas subjacentes contém em média 0,05% de P_2O_5 enquanto as bauxitas correspondentes mostram valores entre 0,14 e 0,68%. O enriquecimento relativo do fósforo nas bauxitas é também citado por Valetton (1972). O fator de enriquecimento de 10 a 15 vezes verificado nas ocorrências aqui estudadas ainda é inferior ao dos depósitos representados na figura 5.2. A abundância de fosfatos no horizonte superior mostra que o fósforo é provavelmente solubilizado pelas soluções ácidas e se precipita naqueles ligeiramente alcalinas concomitantemente com a alumina, formando os fosfatos. Isto é argumentado pela predominância de variscita e crandalita, típica de meios neutro-alcalinos (Altschuler



A N E X O - 3

et al., 1956).

Elementos traços. As elevadas concentrações de SrO (1 a 5%) aqui observadas são equivalentes às dos fosfatos lateríticos sobre fosforitos e rochas semelhantes e sobre rochas ígneas com concentrações anômalas de apatita. Nos fosforitos o SrO ocorre normalmente em teores ao redor de 0,1%. Nas lateritas sobre estas rochas, o SrO está concentrado até 100 vezes (Blanchard, 1972 e Owens et al., 1960), formando a solução sólida crandalita-goyazita.

O rubídio está diretamente relacionado ao estrôncio na estrutura da crandalita-goyazita. Não existem dados sobre a sua distribuição nos fosforitos e lateritas correspondentes, porém existe sempre uma forte relação entre as concentrações destes dois elementos nas rochas em geral.

O bário está sempre concentrado nos fosfatos de alumínio, principalmente na crandalita-goyazita, bem como nos fosforitos e apatita de rochas ígneas e nos seus correspondentes lateríticos. Os fosforitos apresentam em média 100 ppm de Ba segundo Gulbrandsen (1960) e Krauskopf (1972), enriquecido até 10 vezes nos fosfatos lateríticos (Forster, 1966), além dos minerais de argila e micáceos, como em Jandiá e Itacupim. Nas bauxitas, devido a ausência de estrutura cristalina apropriada, está normalmente lixiviado. Na apatita de complexos carbonatítico-alcalinos e máfico-ultramáficos associados (biotita-piroxenitos) o bário ocorre em teores elevados na apatita e na mica. As concentrações elevadas de bário na crandalita-goyazita de Itacupim sobre semelhantes rochas demonstram este caso.

As terras raras como La, Ce e Nd estão diretamente relacionados ao bário e, como este, mais concentrados na crandalita-goyazita, em teores equivalentes aos dos fosforitos e rochas similares, aos das rochas máfico-ultramáficas com apatita bem como aos seus produtos lateríticos, conforme os dados de Wedepohl et al. (1970, 1972 e 1974), Blanchard (1972), Gulbrandsen (1960 e 1966) e Frondel (1968). Os altos teores de La, Ce ao lado de Ba nos fosfa

tos de Itacupim estão relacionados ao embasamento.

O zircônio e o nióbio também se encontram muito enriquecidos nos níveis de fosfatos destas ocorrências, predominantemente na crandalita-goyazita, equiparável aos perfis de bauxitas e lateritas ferruginosas. Em bauxitas sobre nefelina-sienitos e andesitos, os fatores de concentração do Zr e Nb variam de 2 a 6 vezes (Valeton, 1972), em concordância com os aqui observados. Nos fosfatos lateríticos da Flórida, Fairfield e Utah (EUA), o Zr ocorre em teores de 100 a 1000 ppm (Owens et al., 1960; Frondel, 1968) e nas bauxitas de Arkansas de 400 a 2000 ppm, além de 400 a 800 ppm de Nb (Valeton, 1972). Nos fosfatos estudados o Zr varia de 200 a 3600 ppm e o Nb de 15 a 300, mais elevados em Trauíra e Itacupim, dentro da faixa dos fosfatos lateríticos e bauxitas.

Elementos como Y, Ga, V, Sc e Cr também apresentam teores expressivos nestes fosfatos, de igual modo que nas bauxitas e fosfatos supergênicos, com fatores de concentração próximos ao do alumínio. Teores elevados de Cr e V foram determinados em Itacupim no nível dos fosfatos e nas rochas do embasamento.

5.3. Evolução Mineralógica dos Fosfatos

De uma maneira ampla, a formação destes fosfatos lateríticos consiste na transformação de todos minerais primários (silicatos e apatita) em fosfatos de alumínio e óxido-hidróxidos de ferro e de alumínio. Isto está diretamente relacionado às concentrações favoráveis de fósforo nas rochas do embasamento, como verificado nas ocorrências estudadas. Os estágios de decomposição do embasamento se desenvolvem segundo as transformações mineralógicas mencionadas adiante, onde aquelas desenvolvidas nos níveis B e A estão representadas na figura 5.3.

A grande gama de transformações e de deposição de novos minerais representa a movimentação das águas subterrâneas nos sentidos ascendente e descendente, principalmente na zona corres

Fosfatos secundários e outros minerais	Resistatos	Fosfatos primários	ESTÁGIOS EVOLUTIVOS				OCORRÊNCIAS
			I	II	III	IV	
Crandalita Wavelita Variscita (Wa) Mitridatita (Du) Lazulita Beraunita Mineral-B Hematita Goethita	Zircão, muscovita turmalina	Apatita (?)					J A N D I Á
Variscita Crandalita Wardita Wavelita Mineral-A Hematita Goethita Anatásio		Apatita (?) ou fosfato de Al, Al-Ca					C. P E R N A
Wardita Crandalita Wavelita Augelita Dufrenita (Mi) Beraunita Hematita Goethita Anatásio	Zircão hematita	Apatita (ígneas) ?					T R A U Í R A
Crandalita Augelita Variscita Mineral-A Wavelita Hematita Goethita Anatásio	Dravita	Apatita (?) ou fosfato de Al, Al-Ca					P I R O C A U A
Wavelita Wardita Crandalita Hematita Goethita Gibbsita Anatásio	Zircão hematita, magnet.	Apatita (ígneas)					I T A C U P I M

Wa: wardita;
Du: dufrenita;
Mi: mitridatita

FIG. 5.3—Sequência de deposição dos fosfatos secundários nas diferentes ocorrências.

pondente aos níveis B e A, verificadas nas regiões de clima tropical, com períodos alternados de chuva e verão.

a) Decomposição dos Silicatos Primários Formando Principalmente Minerais de Argila (montmorilonita, clorita e caolinita) e Goethita. A percolação das águas subterrâneas alcalinas sobre rochas frescas, as decompõe, formando inicialmente montmorilonita e clorita (Correns, 1968 e Schellmann, 1964). Estes minerais são transformados em caolinita em meio aquoso neutro a muito ácido devido a presença dos íons carbonato e sulfato, matéria orgânica e elevação da temperatura. A rápida mudança de pH alcalino para ácido, que atua na maior parte dos perfis, como demonstrado por Schellmann (1964) em Borneo, explica a pequena abundância da montmorilonita sobre a caolinita, que também está relacionada com a alta pluviosidade, conforme mostrado por Sherman, 1952 (in Correns, 1969). Nestas condições os hidróxidos de ferro se precipitam como goethita.

b) Decomposição da apatita em fosfatos de alumínio. Paralelamente a transformação montmorilonita-caolinita, ocorre a formação da wavelita a partir da apatita, como verificado em Itacupim. Ao redor dos cristais de apatita se forma uma auréola inicialmente isotrópica de wavelita envolvida posteriormente por wavelita fibro radial e wardita terrosa. Fato semelhante foi descrito por Altschuler et al. (1956) nos fosfatos secundários da Bone Valley Formation e Hawthorn Formation na Flórida (EUA). Provavelmente a decomposição da apatita formou ácidos fosfóricos que reagiram com os minerais de argila formados e em formação, originando minerais tipo wavelita e wardita.

c) Transformação dos Minerais de Argila em Hidróxidos de Alumínio e Fosfatos de Alumínio, Alumínio-cálcio-estrôncio, Alumínio-sódio-cálcio. A quase ausência de caolinita e quartzo próximo ao topo dos perfis indica que as águas subterrâneas nestes horizontes eram provavelmente neutras a alcalinas. Estas condições explicam a lixiviação da sílica e precipitação da alumina correspondente como fosfato em contato com o P_2O_5 em solução, proveniente dos níveis inferiores. Inicialmente se precipita a variscita como

verificado em Cansa Perna e Pirocaua ou a crandalita-goyazita como em Jandiá e Itacupim, ou crandalita-goyazita e mesmo wardita como verificado em Trauira e Itacupim. A formação de variscita ou de wardita e crandalita-goyazita depende das proporções estequiométricas de Al_2O_3/P_2O_5 e dos teores de Na_2O , CaO e SrO em solução. Os altos teores de Al_2O_3 formaram também gibbsita em Itacupim e Trauira e boehmita em Pirocaua.

A presença de hidróxidos de alumínio e quase ausência de goethita na zona de transformação de caolinita em fosfatos de alumínio, bem como o rápido desaparecimento da caolinita e quartzo, demonstram que as soluções anteriormente ácidas mudaram rapidamente para alcalinas, num processo inverso ao do topo da rocha fresca. Nestas condições os hidróxidos de ferro são solubilizados e transportados principalmente para o nível superior.

d) Formação dos Fosfatos apenas de Alumínio (Nível B). No horizonte de fosfatos, constituídos principalmente por variscita, crandalita e wardita, encontram-se associados também wavelita, augelita e mineral-A, normalmente situados nas partes superiores do nível B, compreendendo a zona tipicamente de oscilação do nível freático. Suas relações texturais mostram que se precipitam a partir dos fosfatos anteriormente formados, por mudanças de pH do meio aquoso, com tendência a ácido, conforme a presença de wavelita, wardita, augelita e goethita e a dissolução da crandalita-goyazita e variscita. Igual situação é descrita nos fosfatos de Thiès e Taiba no Senegal por Slánsky et al. 1964 (in Valetton 1972) e Capdecômme, 1953. As mudanças são tais que se precipitaram crandalita e variscita, às vezes podendo ocorrer minerais do grupo da apatita.

e) Formação dos Óxido-hidróxidos e Fosfatos de Ferro (Nível A). O óxido típico é a hematita, que corresponde a perda de água do $FeO(OH)$ (goethita), agora sujeita aos efeitos de temperatura elevada e evaporação à superfície.

A associação da hematita com os fosfatos de alumínio e de ferro mostra a grande variação das condições físico-químicas, principalmente do pH e Eh às proximidades da superfície. Isto pro

picia a remobilização parcial dos minerais neoformados e reprecipitação como fosfatos em estruturas complexas, onde o estado de oxidação do ferro representa um papel muito importante. A mitridatita, dufrenita e lazulita são produtos de alteração dos óxido-hidróxidos de ferro superficiais e dos fosfatos de alumínio. A beaunita ocorre como decomposição da mitridatita e dufrenita. Estes minerais representam os estágios mais evoluídos, com oxidação e redução do ferro, conforme representados na figura 5.3. Idênticos fosfatos foram descritos também em limonitas por Moore (1970).

5.4. Conclusões

O estudo das ocorrências de fosfatos de alumínio localizadas no morro Jandiá, morro do Cansa Perna, ilha de Trauira, serra do Pirocaua e ilha de Itacupim, através de investigação geológica, mineralógica e geoquímica permitiu concluir que estes fosfatos, bem como os minerais de argila e óxido-hidróxidos de ferro e de alumínio associados, são produtos de intensa laterização de rochas do embasamento com mineralização de apatita ou com fosfatos de alumínio de origem não supergênica, como os de Santa Luzia. São perfis lateríticos completos, desenvolvidos em igual intensidade em todas as ocorrências, comparáveis aos depósitos de bauxitas, homogeneizando os diferentes embasamentos, que são apenas diferenciados entre si por alguns minerais resistatos, como a dravita de Pirocaua, e pela abundância dos elementos traços. Divergem das bauxitas, em parte pela mineralogia e geoquímica dos elementos como Ca, Sr, Rb, Ba e P. Esta divergência é devido a mineralogia fosfática que carrega em sua estrutura aqueles elementos, além de Ce, La, Nd, Sc, Ga, Y e U. Ocorrências semelhantes são descritas principalmente nos Estados Unidos e no Senegal por Altschuler (1956), Capdecôme (1953), Catchcart (1953, 1974), Branchard (1972), Fröndel (1968), Gulbrandsen (1966) e Valetton (1972).

Estas ocorrências de fosfatos de alumínio aqui estudadas são consideradas Terciárias devido a correlação com as bauxitas da região Amazônica, formadas durante o Ciclo Geomórfico Sul-Americano, que atuou do Cretáceo ao Terciário Superior.

As maiores semelhanças entre grupos de ocorrências são decorrentes das semelhanças do embasamento, assim sendo: Cansa Perna e serra do Pirocaua, Trauíra e Itacupim, e Jandiá isoladamente entre as ocorrências aqui estudadas.

O embasamento do Cansa Perna e Pirocaua é correlacionável com a ocorrência de fosfatos de Santa Luzia, argumentado ainda pelos teores elevados de Sr e Rb nos fosfatos desta ocorrência e assim explicando o grande número de ocorrências sobre os filitos e xistos do Grupo Gurupi, bem como a grande distribuição geográfica das ocorrências.

Os dados preliminares contidos em Costa et al. (1975 e 1977) para outras ocorrências de fosfatos que não foram estudadas, permitem identificá-las com as aqui em apreço, em função do embasamento: serra Barreiras, serra do Piriá e ilha Peito de Moça são semelhantes com Cansa Perna e Pirocaua; serras Oca e Tromai com Trauíra e Itacupim; baía de Cumã com morro Jandiá.

A origem destas ocorrências de fosfatos ligada a rochas de grande distribuição geográfica, abre perspectivas promissoras para prospecção de novas ocorrências, que talvez isoladamente não representem grande valor econômico, como já observados em idênticos fosfatos Precambrianos e Cambrianos na Austrália e Estados Unidos, mas que somados, poderão significar grandes reservas.

5.5. Sugestões

Para dar continuidade a pesquisa dos depósitos de fosfatos na região nordeste do Estado do Pará e noroeste do Estado do Maranhão se propõe a abordagem dos seguintes tópicos:

1. Mapeamento geológico detalhado do Grupo Gurupi, com estabelecimento da sua estratigrafia e definição dos paleoambientes relativos aos fácies fosforíticos, seguindo os procedimentos bem sucedidos adotados na Austrália na prospecção de fosforitos, (Howard, 1972) e bem conhecidos na parte ocidental dos Estados Unidos (Mc Kelvey et al., 1952 e Gulbrandsen, 1966). Deverá ser dada ênfase

aos nódulos silicosos (sílex), como os aflorantes no Cansa Perna e serra do Piriá, pois podem ser indícios de um fácies sedimentar fosforítico, normalmente associado a argilitos, folhelhos, folhelhos negros e calcários.

2. Mapeamento dos complexos ígneos metamorfizados, mineralizados a apatita e outros metais como Zr, Ce, La, Th e Nb, delimitando a extensão e as relações destes corpos com o Grupo Gurupi.

3. Definir precisamente a Formação Piriá, bem como sua distribuição geográfica e relações com o Grupo Gurupi ou com as Formações Itapecuru ou Alcântara. Se Jandiá está sobre rochas destas unidades, outras ocorrências deverão ser prospectadas, a exemplo da baía de Cumã.

4. Ocorrências do tipo Santa Luzia deverão ser prospectadas, já que esta está relacionada a feições geológicas regionais. Grande parte destas ocorrências estará sotoposta pelo Grupo Barreiras ou por horizontes lateríticos.

5. Prospeção geoquímica, tendo o Sr como um elemento chave para os fosfatos, além de terras raras, Ba, Rb, Zr e Nb e mesmo Y, V, Ga e Sc.

6. Determinação do conteúdo de U, normalmente enriquecido neste tipo de fosfatos, principalmente na crandalita-goyazita, em quantidades econômicas. No Cansa Perna, este elemento ocorre em concentrações mínimas devido a predominância de variscita e mineral-A.

7. Estudo detalhado das condições termodinâmicas de formação dos diversos fosfatos de alumínio, principalmente o pH, sob a influência de alta pluviosidade, dos períodos alternados de chuvas e verão e sob a oscilação do nível freático, que certamente influem na migração, concentração e precipitação de elementos como Ca, Sr, Rb, U, Ba, La, Ce, Zr, Nb e Sc e nas evoluções mineralógicas. Itacupim representa uma ocorrência ideal para a condução deste trabalho.

8. Prosseguir o estudo geoquímico dos fosfatos de Santa Luzia, que apresentam também alto teor de SrO e possivelmente são fonte dos fosfatos lateríticos de várias ocorrências.

9. Continuar o estudo mineralógico através de refinamento químico e cristalográfico.

10. Continuar o estudo das ilhas de Trauíra e Itacupim e serra do Pirocaua, com vistas ao aproveitamento econômico, já que as reservas são superiores a 20.000.000 t de minério fosfático. As serras Barreiras, Piriá, Oca e Tromai, são reservas potenciais não estudadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S.F. de - 1957 - Nota sobre os phosphatos de Trahuira (Bau xita e laterita phosphorosa). Serv. Fom. Prod. Mineral. Bol. 13. [4] 133-172.
- ABREU, S.F. de - 1973 - Recursos minerais do Brasil. 2ª ed. V. 2 e 2 (coordenação J.C. Mendes e R.R. Franco). São Paulo Blücher, USP; Rio de Janeiro, Inst. Nac. Tecnologia. 235 p.
- ACKERMANN, F.L. - 1969 - Esboço para a Geologia entre Belém - Rio Gurupi e Atlântico-Rio Guamã. Belém, UFFa. 79 p.
- ALMEIDA, F.F.M. - 1958 - Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha. Monografia 13. M.A. DNPM/DGM. Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. - 1976 - The Upper Precambrian of South America. Bol. IGUSP. 7:45-80.
- ALTSCHULER, Z.S.; CISNEY, E.A.; BARLOW, I.H. - 1956 - The Aluminun phosphates zone of the bone valley formation, Flórida and its uraniun deposits. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. 300:495-504.
- ARANTES, J.L.G.; DAMASCENO, B.C.; KREBS, A.S.J. - 1972 - Projeto Argila Belém. Belém. Dep. Nac. Prod. Mineral. 39 p.
- ARGENTIÈRE, R. - 1971 - Notas sobre a Ilha de Trauíra. Mineração e Metalurgia. 54(321):110-112.
- ASTM - 1974 - Power diffraction fille; philadelphis. Joint Committee on Power Diffraction Standards Pensylvania, USA.
- BLANCHARD, F.N. - 1972 - Physical and chemical data for crandallite from Alachua County, Florida. Am Mineralogist. 57:473-484.
- BLOUNT, A.M. - 1954 - The crystal structure of crandallite. Am. Mineralogist, 59:41-47.
- BRANDT, F. - 1932 - Ein neuer typ von Eisentonerdephosphat - vorkommen (Maranhão, Nordbrasilien). Chemie der Erde. 7:383-425.
- BRIDGE, P.J. - 1973 - Guano minerals from Murra-el-elevyn Cave Western Australia. Mineralogical Magazine. 39:469-469.

- CAMARGO, W.G.R. de - 1971 - Minerais uraníferos de Perus. Separata do Bol. IAG nº 2. São Paulo.
- CAPDECOMME, L. - 1953 - Étude mineralogique das gites de phosphates alumeux de la region de Thiès (Senegal). In: Cong. Geol. Int. Comptes Rendus, XI Session. Alger. p. 103-117.
- CARROL, D. - 1974 . Clay-minerals; a guide to their X-Ray identification. California. The Geological Society of America.
- CATHCART, J.B.; GULBRANDSEN, R.A. - 1974 - Phosphate deposits. U.S. Geol. Survey Prof. Paper. 600:C4-C12.
- CATHCART, J.B. - 1975 - Phosphate fertilizer materials in Colombia Imports, uses, and domestic supplies. Jour. Research U.S. Geol. Survey. 3(6):659-663.
- CATHCART, J.B.; BLADEL, V.; DAVIDSON, D.F.; KETNER, K.B. - 1953 - The Geology of the Florida Land-Pebble phosphate deposits, in Saint Guilhem, P.L.R., ed. Internat. Geol. Cong. 19th Algiers, Comptes rendus, sec. 11 p. 77-79.
- CATHCART, J.B. - Phosphate in the Atlantic and Gulf Coastal Plains (avulso). Colorado. U.S. Geological Survey.
- CORRENS, C.W. - 1969 - Introducion to Mineralogy. Berlin.Springer Verlag, p. 242-252.
- COSTA, J.L.; ARAUJO. A.A.F.; VILLAS BOAS, J.M.; FARIA, C.A.S. de; SILVA NETO, C.S.; WANDERLEY, V.J.R. - 1975 - Projeto Gurupi; relatório final de etapa. Belém, DNPM/CPRM. v. 1.
- COSTA, J.L.; ARAUJO, A.A.F.; VILLAS BOAS, J.M.; FARIA, C.A.S. de; SILVA NETO, C.S.; WANDERLEY, V.J.R. - 1977 - Projeto Gurupi, relatório final de etapa. Belém, DNPM/CPRM. v. 3.
- COWGILL, U.M. - 1963 - Am apparently triclinic dimorph of cran dallite from tropical swamps sediment in El Petén, Guatemala. Am. Mineralogist. 48:1144-1153.

- CUNHA, F.M.B. de - 1968 - Fotointerpretação da bacia de São Luís; relatório 318. Belém, PETROBRÁS.
- DAMASCENO, B.C.; SOUZA, A.N. - 1973 - Projeto Materiais Industriais. relatório final. Ostensivo 021. Belém, CPRM/SUDAM. 3 v.
- DASCH, E.J. - 1969 - Strontium isotopes in weathering profiles deep-sea sediments, and sedimentary rocks. Geochimica et Cosmochimica Acta. 33:1521-1552.
- DAVIDSON, C.F.; ATIKIN, D. - 1953 - On the occurrence of Uranium in phosphate rock. Congrès Geologique International. 11(11): 13-31.
- DEER, W.A.; HOWIER, A.; ZUSSMAN, J. - 1974 - Rock Forming Minerals. Longmans. London
- DENNEN, W.H. and NORTON, H.A. - 1977 - Geology and geochemistry of bauxite deposits in the lower Amazon Basin. Economi Geology, 72:82-89.
- EBY, G.N. - 1973 - Scandium Geochemistry of the oka carbonatite complex, oka, quebec. Am. Mineralogist. 58:819-825.
- FOSTER, M.D.; SCHALLER, W.T. - 1966 - Cause of color in wavellite from Dug Hill Arkansas. Am. Mineralogist, 51:422-428.
- FRANCISCO, B.H.R.; LOEWENSTEIN, P.; SILVA, O.F. da; SILVA, G.G. - 1971 - Contribuição à geologia da folha de São Luís, SA-23 no Estado do Pará; III-Estratigrafia e IV Recursos Minerais. Bol. do Inst. Emílio Goeldi nº 27 (Geologia). 40 p.
- FRONDEL, C. - 1958 - Geochemical enrichment of strontium in minerals of the alunite structure type (abstr.). Geol. Soc. Amer. Bull. 69:1567-1568.
- FRONDEL, C. - 1968 - Crystal chemistry of scandium as a trace element in minerals. Z. Cristallogr.
- FRONDEL, C. e MONTGOMERY, A. - 1968 - Scandium content of some aluminum phosphates. Am. Mineralogist. 53:1223-1231.
- GOLDSCMIDT, V.M. - 1958 - Geochemistry. London, Oxford University Press. 730 p.

- GORDON, M. Jr.; MURATA, K.J. - 1958 - Geology of the Arkansas bauxite region. U.S. Geol. Survey Prof. Paper. p. 299-268.
- GULBRANDSEN, R.A. - 1960 - Minor elements in phosphorites of the phosphoria formation, abstr.. Bull. Geol. Soc. Am. 71:1876.
- GULBRANDSEN, R.A. - 1966 - Chemical composition of phosphorites of the phosphoria formation. Geochimica et Cosmochimica Acta. 30: 769-778.
- HAWKES, H.E.; WERB, J.S. - 1964 - Geochemistry in mineral exploration. New York, Harper and Row. 415 p.
- HEINRICH, E.W. - 1966 - The Geology of carbonatite. Chicago, Rand McNallt. p. 204-413 e 248-271.
- HOWARD, P.F. - 1972 - Exploration for phosphorite in Australia a case history. Economic Geology. 67:1160-1192.
- HURBUT, C.S. Jr. - 1952 - Wardite from Beryl Mountain; n.hamsphyre Am. Mineralogist. 37:849-852.
- HURLEY, P.M. - 1968 - Absolute abundance and distribution of Rb, K and Sr in the earth. Geochimica et Cosmochimica Acta. 32:237-283.
- IGNATOVA, L.I.; KARPOVA, L.I.; ZHIL'TSOVA, I.G. - 1965 - Syntesis of the aluminophosphate minerals. Geochem. Intern. v. 2, p.1021.
- JEFFERY, P.G. - 1975 - Chemical methods of rock analysis. Pergamon Press. Oxford, p. 423-428.
- KLOCKMANN, F.; RAMDOHR, P. - 1961 - Tratado de Mineralogia. 2ª ed. Barcelona. Editorial Gustaco Gili.
- KRAYNOV, S.R. - 1971 - The effect of the acidity-alkalinity of ground waters on the concentration and migration of rare elements. Geochemistry International. 8(6):828-836.
- KRAUKOPE, K.B. - 1972 . Introdução à geoquímica; tradução de Michal Lando e Paulo S.C. Bogus. São Paulo, Polígono, 2 v.
- LARSEN, E.S. - 1942 - The mineralogy and paragenesis of the variscite nodules from near Fairfield, Utah. Am. Mineralogist. 27: 281-300, 350-372 e 441-451.
- LEVINSON, A.A. - 1974 - Introduction to exploration geochemistry. Calgary, appl. Publ. 614 p.

- OLIVEIRA, N.P.; SCHWAB, R.G. - 1979 - Um modelo para a gênese dos fosfatos de alumínio da região de Santa Luzia - Nordeste do Estado do Pará. Rev. Bras. de Geologia.
- OSAKI MINERAÇÃO - 1971 - Serra do Pirocaua, Maranhão - Plano Preliminar de Lavra; Fosfato de alumínio. Belém, SUDAM.
- PAIVA, G.; SOUZA, H.C.A. de; ABREU, S.F. - 1937 - Duro e bauxita, região do Gurupi. Pará e Maranhão. Bol. Serv. Fom. Prod. Min. 13:1-172.
- PALACHE, C.H.; BUMAN, C. FONDEL, Dana's - 1951 - The System of mineralogy. 2nd ed. New York, John Wiley. v.2.
- PANDOLDO, C. - 1959 - Relatório preliminar sobre o depósito de bauxita fosfatada na Ilha de Trauíra, município de Cândido Mendes, Estado do Maranhão e Relatório preliminar sobre o depósito de bauxita fosfatada no Morro do Pirocaua, município de Cândido Mendes, Estado do Maranhão, in notas sobre: 1) Depósitos de evaporitos da Bacia Amazônica; 2) Minérios de bauxita fosforosa do Maranhão; 3) Reconhecimento geológico em áreas do Estado do Amazonas e Territórios de Rio Branco e Rondônia (Súmula organizada por C. Pandolfol. Belém, SPVEA. 9. v. 2.
- PARK, C.F. Jr. - 1975 - Ore deposits. 3th ed. W.H. Freeman, San Francisco.
- PEACHEY, D.; ROBERT, J.L.; SCOT-BAKER, J. - 1973 - Rapid colorimetric determination of phosphorus in geochemical survey samples. Journal Geochm. Explor. 2:115-120.
- RABELLO, C. de Q. - 1945 - Bauxita fosforosa de Pirocaua, Turiaçu Maranhão. Miner. Met., 9(51):123-126.
- RANKAMA, K.; SAHAMA, Th. G. - 1968 - Geochemistry. 2nd ed. Chicago. The University of Chicago Press. 912 p.
- REYMAO, M.F.; SIQUEIRA, N.V.M. de - 1978 - Trabalho Individual de Pesquisa, apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas. Belém, UFPa (inédito).
- RUSSEL, R.T.; TRUEMAN, N.A. - 1971 - The geology of the Duchess phosphate deposits, Northwestern, Queensland, Australia. Economic Geology, 66:1186-1214.

- SAKAMOTO, T. - 1960 - Rock weathering on "Terras Firmes" and de position on "Varzeas" in the Amazon. Journal of the Faculty of science, University of Tokio; section II. Geology mineralogy, geography, geophysics. 12:155-216 (part 2).
- SHELLMANN, von W. - 1964 - Zur lateristische Verwitterung von Serpentin. Geologisches Jahrbuch. 81:654-678.
- SCHOFIELD, A.; HASKIN, L. - 1964 - Rare-earths distribution patterns in eight terrestrial materials. Geochimica et Cosmochimica Acta. 28:437-446.
- SHADE, P.G. - 1974 - The Syntesis of crandallite ($\text{CaAl}_3\text{H}(\text{OH})_6(\text{PO})_4$) Neues Jahrbuch Mineralogie Monats. p. 22-27. .
- SINCLAIR, I.G.L. - 1967 - Bauxite genesis in Jamaica; new evidence from trace elements distribution. Economic Geology. 62:482-486.
- SOUZA, H.C.A. de - 1938 - Nota sobre as minas de ouro na região do Gurupy-Turiação, Pará-Maranhão. 5ª ed. Belém, DNPM.
- SSPT - 1971 - Le Phosphal; lam-lam, Senegal. Soc. Senegal des Phosphates de Thiès. 5 p.
- SUSZCZYNSKI, E.F. - 1975 - Os recursos minerais reais e potenciais do Brasil e sua metalogenia. Rio de Janeiro, Interciência. 356 p.
- TUREKIAN, K.K.; KULP, J.L. - 1956 - The geochemistry of strontium. Geochimica et Cosmochimica Acta. 10:245-196.
- TURTON, A.G.; MARSH, N.L.; MCKENZIE, R.M.; MULCAHV, M.J. - 1962 - The chemistry and mineralogy of lateritic soils in south-west of Western Australia. Commonwealth Sci. Ind. Research Organ. (CSIRO) Soil Public. n° 20.
- VALETON, I. - 1972 - Bauxites, Amsterdam, Elsevier Publishing. 226 p.
- WEAVER, C.E.; WAMPLER, S.M. - 1972 - The illite-phosphate association. Geochimica et Cosmochimica Acta. 36:1-13.
- WEDEPOHL, K.H. - 1969 - Handbook of Geochemistry. Berlin, Springer Verlag. 2 V.

WEDEPOHL, K.H. - 1972 - Handbook of Geochemistry. Berlin, Springer-Verlag. V. 3.

WEDEPOHL, K.H. - 1974 - Handbook of Geochemistry. Berlin, Springer-Verlag. V. 4.

WOLF, F.A.M.; SILVA, J.M.R. da - 1973 - Província bauxitífera da Amazônia. Belém, Departamento Nacional da Produção Mineral. 37 p.