UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E TECNOLÓGICA
DA JAZIDA DE FOSFATO DO MACIÇO ALCALINO DE
ANITÁPOLIS, SC

Henrique Kahn

Orientador: Prof. Dr. Horstpeter H. G. J. Ulbrich

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

nome

ass.

Presidente:

Dr. Horstpeter H.G.J.Ulbrich

Examinadores:

Engº José Luiz Beraldo

Dr. Helmut Born

[Handwritten signatures: H. Ulbrich, José Luiz Beraldo, Helmut Born]

SA - SUL

São Paulo

000000

1988

INDICE

RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
AGRADECIMENTOS.....	xvi
 1. INTRODUÇÃO.....	 1
1.1. Localização e Acesso.....	2
1.2. Geomorfologia	2
1.3. Clima e Vegetação.....	3
1.4. Objetivos.....	10
1.5. Características Gerais dos Depósitos de Fosfato..	12
 2. TRABALHOS GEOLOGICOS ANTERIORES.....	 15
 3. GEOLOGIA.....	 24
3.1. Geologia Regional.....	24
3.2. Geologia Local.....	28
3.2.1. Introdução.....	28
3.2.2. O Granito Encaixante.....	29
3.2.3. Rochas de Dique.....	36
3.2.4. O Maciço Alcalino.....	36
3.2.5. Aluviões.....	40
 4. CARACTERISTICAS GERAIS DO MANTO DE INTEMPERISMO.....	 41
4.1. O Perfil de Alteração.....	41
4.2. O Minério Residual.....	49
 5. COMPARAÇÃO COM OUTROS MACIÇOS CARBONATITICOS MINERALIZADOS A FOSFATO.....	 59
 6. O PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DE FOSFATO COMO FATOR CONDICIONANTE DAS ETAPAS DE PESQUISA.....	 67
6.1. Instalações de Beneficiamento.....	67
6.2. Principais Influências das Características do Minério na Etapa de Flotação.....	 70

7. METODOLOGIA.....	72
7.1. Equipamentos.....	72
7.1.1. Estudos microscópicos.....	72
7.1.2. Difractometria de Raios X.....	72
7.1.3. Análises Químicas.....	73
7.1.4. Cominuição.....	73
7.1.5. Classificação Granulométrica.....	74
7.1.6. Ensaios de Separações Minerais.....	74
7.1.7. Estudos de Liberação.....	75
7.1.8. Ensaios de Beneficiamento.....	76
7.2. Análises Semiquantitativas por Difração de Raios X.....	76
7.2.1. Fundamentos Teóricos.....	76
7.2.2. Ajustes do Equipamento	79
7.2.3. Pulverização.....	81
7.2.4. Prensagem.....	93
7.2.5. Seleção do Padrão Interno e Homogeneização de Amostra.....	93
7.2.6. Preparação das Amostras de Referência.....	94
7.2.7. Levantamento das Curvas de Calibração.....	99
7.2.8. Considerações sobre a Precisão Analítica..	109
7.2.9. Procedimento Adotado para Análises de Rotina.....	111
7.3. Estudos de Caracterização Tecnológica.....	113
7.3.1. Estudos Preliminares.....	114
7.3.2. Estudos Sistemáticos de Caracterização....	115
7.3.3. Estudos Complementares.....	116
8. DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS NA JAZIDA.....	117
8.1. Minério Residual.....	117
8.1.1. Distribuição dos Minerais.....	117
8.1.2. Tipologia Preliminar do Minério Residual..	123
8.2. Minério de Rocha.....	127
8.2.1. Distribuição dos Minerais.....	127
8.2.2. Tipologia Preliminar do Minério de Rocha..	139

9. ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	143
9.1. Fase Preliminar.....	143
9.2. Estudos Sistemáticos em Amostras de Minério Residual.....	146
9.2.1. Características Gerais das Galerias de Pesquisa.....	147
9.2.2. Caracterização Sistemática do Minério Residual.....	149
9.2.3. Correlação entre Composições Química e Mineralógica.....	164
9.3. Estudo da Galeria GPF.....	165
9.4. Estudo do Minério de Rocha.....	172
 10. SUMÁRIO DO COMPORTAMENTO DO MINÉRIO NA ETAPA DE BENEFICIAMENTO.....	 177
10.1. Minério Residual.....	177
10.2. Minério de Rocha.....	180
10.3. Índices de Moabilidade do Minério.....	181
 11. ESTUDOS COMPLEMENTARES DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA...	 184
11.1. Estudos em Amostras de Minério Residual.....	184
11.2. Estudo dos Concentrados de Flotação.....	189
 12. DEFINIÇÃO FINAL DA TIPOLOGIA DE MINÉRIO	 195
12.1. Tipologia do Minério Residual.....	195
12.2. Tipologia do Minério de Rocha.....	196
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 199
 ANEXO 1 : Intensidades Difractadas de Minerais em Função do Tempo de Moagem.....	 207
 ANEXO 2 : Condições Operacionais para a Análise Difratométrica Semiquantitativa.....	 214
 ANEXO 3 : Minerais Citados no Texto.....	 217

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1:	Localização do maciço alcalino de Anitápolis....	4
FIGURA 2:	Mapa topográfico da região de Anitápolis (escala 1:50.000).....	5
FIGURA 3:	Dados pluviométricos para o período 1946-1977, médias mensais (posto Divisa de Anitápolis).....	8
FIGURA 4:	Temperaturas médias mensais - máxima e mínima (ano 1979), maciço de Anitápolis.....	9
FIGURA 5:	Interação entre a caracterização tecnológica e demais atividades de pesquisa.....	11
FIGURA 6:	Esboço da geologia regional, leste do Estado de Santa Catarina.....	25
FIGURA 7:	Mapa geológico do maciço alcalino de Anitápolis.	30
FIGURA 8:	Localização dos trabalhos de pesquisa.....	31
FIGURA 9:	Mapas de isópacas do material residual e do talus.....	42
FIGURA 10:	Mapas de isópacas do " horizonte B " e do " horizonte C ".....	43
FIGURA 11:	Mapa de isópacas do " horizonte B + C " - rocha alterada.....	44
FIGURA 12:	Perfis esquemáticos observados na jazida.....	47
FIGURA 13:	Mapas de isópacas do capeamento estéril e do talus mineralizado.....	52
FIGURA 14:	Mapas de isópacas de minério residual com presença de fosfato secundário e de isóteores de P2O5.....	53
FIGURA 15:	Secção esquemática dos depósitos de fosfato associados a rochas alcalino-carbonatíticas.....	61
FIGURA 16:	Fluxograma simplificado das instalações de beneficiamento de fosfato.....	68
FIGURA 17:	Influência das fendas nas intensidades difratadas.....	80
FIGURA 18:	Comportamento diferenciado das intensidades difratadas com o tempo de moagem: minério residual.....	83

FIGURA 19: Comportamento diferenciado das intensidades difratadas com o tempo de moagem: minério de rocha	84
FIGURA 20: Comportamento diferenciado das intensidades difratadas com o tempo de moagem: calcita, apatita, biotita-flogopita e magnetita.....	85
FIGURA 21: Comportamento diferenciado das intensidades difratadas com o tempo de moagem: quartzo e vermiculita.....	86
FIGURA 22: Comportamento diferenciado das intensidades difratadas com o tempo de moagem: biotita-flogopita.....	87
FIGURA 23: Comportamento da relação de intensidades pico/"background" com o tempo de moagem para concentrados minerais.....	90
FIGURA 24: Comportamento da relação de intensidades área/altura com o tempo de moagem.....	91
FIGURA 25: Resultados granulométricos dos produtos de moagem.....	92
FIGURA 26: Testes comparativos de prensagem (condições : tubo Cu, 40 kV, 20 mA, 2000 cps).....	95
FIGURA 27: Resultados granulométricos - gibbsita (padrão interno).....	96
FIGURA 28: Influência dos efeitos de absorção de massa e fluorescência na quantificação de apatita.....	103
FIGURA 29: Curvas de calibração: apatita, calcita, biotita-flogopita e quartzo.....	106
FIGURA 30: Curvas de calibração: magnetita, analcima, piroxênios e anfibólios.....	107
FIGURA 31: Curvas de calibração: feldspatos.....	108
FIGURA 32: Esquema de procedimento para análises difratométricas.....	112
FIGURA 33: Minério residual : mapas de distribuição de apatita e feldspatos.....	118
FIGURA 34: Minério residual : mapas de distribuição de vermiculita e piroxênios.....	119
FIGURA 35: Minério residual : mapas de distribuição de calcita e anfibólio.....	120

FIGURA 36: Minério residual : mapas de distribuição de analcima e tipologia preliminar de minério.....	121
FIGURA 37: Minério de rocha : mapas de distribuição de apatita e feldspatos.....	128
FIGURA 38: Minério de rocha : mapas de distribuição de biotita-flogopita e piroxênio.....	129
FIGURA 39: Minério de rocha : mapas de distribuição de calcita e anfibólio.....	130
FIGURA 40: Minério de rocha : mapas de distribuição de analcima e tipologia preliminar de minério.....	131
FIGURA 41: Distribuição vertical de apatita.....	132
FIGURA 42: Distribuição vertical de feldspatos.....	133
FIGURA 43: Distribuição vertical de biotita-flogopita e vermiculita.....	134
FIGURA 44: Distribuição vertical de piroxênio.....	135
FIGURA 45: Distribuição vertical de calcita.....	136
FIGURA 46: Distribuição vertical de anfibólio.....	137
FIGURA 47: Resultados granulométricos: alimentação e produtos de moagem (fase preliminar).....	145
FIGURA 48: Comparação de resultados de análises mineralógicas: difratometria vs índices químicos	166
FIGURA 49: Distribuição de teores de elementos na galeria GPF.....	167
FIGURA 50: Composição mineralógica ao longo da galeria GPF.	169
FIGURA 51: Minério de rocha : resultados granulométricos da alimentação e dos produtos de moagem.....	174
FIGURA 52: Minério de rocha : comportamento dos minerais na flotação.....	182
FIGURA 53: Perfil esquemático da frente da lavra.....	186

INDICE DE TABELAS

TABELA 1:	Esboço da estratigrafia regional, leste do Estado de Santa Catarina.....	26
TABELA 2:	Composição química dos diferentes tipos de rochas do maciço alcalino de Anitápolis.....	32
TABELA 3:	Composição mineralógica dos diferentes tipos de rochas do maciço alcalino de Anitápolis.....	33
TABELA 4:	Composições químicas de amostras selecionadas de granitos encaixantes e de rochas alcalinas e carbonatitos do maciço alcalino de Anitápolis...	34
TABELA 5:	Composições modais de amostras selecionadas de granitos encaixantes e de rochas alcalinas e carbonatitos do maciço alcalino de Anitápolis...	35
TABELA 6:	Distribuição dos diversos horizontes na jazida..	50
TABELA 7:	Sumário das principais características dos maciços alcalino-carbonatíticos brasileiros mineralizados a fosfato.....	60
TABELA 8:	Comportamento geral dos principais minerais presentes nos ensaios de separações minerais....	75
TABELA 9:	Desvio padrão de intensidade difratada (apatita $d = 2,77+2,80\text{\AA}$) variando-se o tempo de contagem e o intervalo de integração.....	81
TABELA 10:	Composição mineralógica das amostras de referência para a elaboração de curvas de calibração.....	98
TABELA 11:	Comparação de intensidades difratadas para picos característicos de feldspatos.....	102
TABELA 12:	Sumário dos dados referentes às curvas de calibração.....	105
TABELA 13:	Tipologia preliminar do minério residual.....	124
TABELA 14:	Distribuição dos minerais por tipo de minério: minério residual.....	125
TABELA 15:	Composição mineralógica estimada dos tipos de minério : minério residual.....	126
TABELA 16:	Tipologia do minério de rocha e distribuição dos minerais.....	140

TABELA 17: Tipologia preliminar do minério de rocha : índices mineralógicos vs litologia.....	139
TABELA 18: Distribuição aproximada dos tipos de minério de rocha.....	141
TABELA 19: Composição mineralógica estimada por tipo de minério : minério de rocha.....	142
TABELA 20: Fase preliminar : composição química das amostras estudadas.....	143
TABELA 21: Resultados de ensaios de deslamagem.....	144
TABELA 22: Fase preliminar : composição mineralógica dos minérios deslamados.....	146
TABELA 23: Amostragem em galerias : comparação entre mineralogias prevista e obtida.....	150
TABELA 24: Composição química das amostras de galerias.....	151
TABELA 25: Galeria GVV : composição química das frações granulométricas dos produtos de moagem.....	152
TABELA 26: Galeria GJH : composição química das frações granulométricas dos produtos de moagem.....	153
TABELA 27: Galeria GWM : composição química das frações granulométricas dos produtos de moagem.....	154
TABELA 28: Galeria GGM : composição química das frações granulométricas dos produtos de moagem.....	155
TABELA 29: Composição mineralógica das amostras de galerias	157
TABELA 30: Sumário dos resultados de deslamagem e do grau de liberação da apatita para as amostras de galerias.....	158
TABELA 31: Composição química de concentrados de apatita...	159
TABELA 32: Composição química de concentrados de mica.....	161
TABELA 33: Composição química de concentrados de piroxênio e anfibólio.....	162
TABELA 34: Composição química das amostras da galeria GPF..	168
TABELA 35: Composição mineralógica de amostras do furo 49..	173
TABELA 36: Composição química das amostras de minério de rocha.....	172
TABELA 37: Resumo dos resultados de deslamagem para o minério de rocha.....	176

TABELA 38: Comparação entre composições mineralógicas previstas e obtidas para as amostras de minério de rocha.....	175
TABELA 39: Teores de concentrados e recuperação de fósforo: minério residual.....	178
TABELA 40: Teores vs recuperação para as amostras de minério residual.....	179
TABELA 41: Teores de concentrados e recuperação de fósforo (simulação) : minério de rocha.....	181
TABELA 42: Resultados de índices de moabilidade : WI ("Work Index").....	183
TABELA 43: Comparação entre composições mineralógicas prevista e obtida para as galerias adicionais...	185
TABELA 44: Frente experimental de lavra : resultados de composições químicas e mineralógicas.....	187
TABELA 45: Amostra T.5.0. 0003/86 : composição química e mineralógica.....	188
TABELA 46: Amostra T.5.0. 0003/86 : composição química das frações granulométricas do produto de moagem....	190
TABELA 47: Amostra T.5.0 0003/86 : grau de liberação da apatita.....	191
TABELA 48: Composição química dos concentrados de flotação.	192
TABELA 49: Composição mineralógica dos concentrados de flotação.....	192
TABELA 50: Composição química das frações granulométricas dos concentrados de flotação.....	193
TABELA 51: Estimativa da distribuição dos principais óxidos contaminantes nos concentrados de flotação.....	194
TABELA 52: Distribuição dos tipos de minério e estéril por banco de lavra: depósito residual - reserva lavrável.....	198

Nota: Devido a limitações de um dos programas utilizados na elaboração das tabelas (Visicalc), as frações decimais estão designadas por ponto, em vez de vírgula, em algumas das tabelas do texto.

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS E FOTOMICROGRAFIAS

FOTO 1: Vista aérea da intrusão alcalina.....	6
PRANCHA 1: Visão geral do Maciço Alcalino de Anitápolis....	7
FOTOMICROGRAFIA 2A : Furo NS-02 (32-35m) , rocha incipientemente alterada, piroxênio e apatita...	55
FOTOMICROGRAFIA 2B : Furo NS-02 (26-28m), carbonato- apatita em microfraturas de apatita.....	55
FOTOMICROGRAFIA 2C : Furo NS-02 (21-26m), carbonato- apatita intersticial à apatita.....	55
FOTOMICROGRAFIA 2D : Furo NS-02(21-26m), óxidos-hidróxidos de ferro e/ou argilominerais intersticiais a apatita.....	55
FOTOMICROGRAFIA 2E : Furo NS-02 (17-21m), carbonato- apatita, fosfato secundário (?) e apatita.....	55
FOTOMICROGRAFIA 2F : Furo NS-02 (17-21m), apatita e carbonato-apatita (corrosão e preenchimento)...	55
FOTOMICROGRAFIA 2G : Amostra T.5.0 003/86, feições de impregnação superficial dos grãos de apatita....	55
FOTOMICROGRAFIA 2H : Amostra T.5.0 003/86, aspectos de impregnação e dissolução de grãos de apatita....	55
FOTO 3A : Seção vertical da frente de lavra.....	58
FOTOMICROGRAFIA 3B : Alteração de apatita biotitito.....	58
FOTOMICROGRAFIA 3C : Óxidos-hidróxidos de ferro e argilominerais intersticiais a apatita e piroxênio e em microfraturas.....	58
FOTOMICROGRAFIA 3D : Apatita em massa de óxidos-hidróxidos de ferro e argilominerais.....	58
FOTOMICROGRAFIA 3E : Rocha máfica/ultramáfica em início de alteração.....	58
FOTOMICROGRAFIA 3F : Apatita biotitito inalterado.....	58
FOTOMICROGRAFIA 3G : Apatita biotita piroxenito inalterado	58
FOTO 3H : Aspecto geral do talus mineralizado.....	58
FOTO 3I : Aspecto do talus mineralizado.....	58
FOTOMICROGRAFIA 3J : Piroxênio alterado em óxidos- hidróxidos de ferro (rocha sienítica).....	58

FOTOMICROGRAFIA 3K : Apatita em massa de óxidos-hidróxidos de ferro e argilominerais.....	58
FOTOMICROGRAFIA 3L : Carbonatito beforsítico inalterado...	58
FOTOMICROGRAFIA 3M : Barita em microfratura de beforsito (início de alteração).....	58
FOTOMICROGRAFIA 3N : Barita, magnetita e carbonatos em massa de argilominerais e óxidos-hidróxidos de ferro.....	58
FOTOMICROGRAFIA 3O : Granulos de barita, pirocloro e cordilita.....	58

RESUMO

O presente trabalho refere-se a estudos de caracterização mineralógica e tecnológica realizados no maciço alcalino de Anitápolis, SC.

O maciço é um corpo subcircular, situado em região dominada por granitóides precambrianos, na borda da bacia do Paraná. Ocupa uma área de 6 km² e é coberto por depósitos de talus. Dados subsuperficiais indicam uma distribuição concêntrica das várias rochas alcalinas, agrupadas em "séries", com as dos sienitos e nefelina sienitos na periferia, e a dos ijolitos e das ultramáficas ocorrendo no interior do maciço; o conjunto é cortado por veios de carbonatito sovitico, concentrados principalmente na porção central. O manto de alteração (ao redor de 30 m de espessura, com variações locais) é subdividido em três níveis. O superior (até ± 20 m) é o depósito de talus, constituído por matacões e blocos, em matriz siltico-argilosa; como minerais, predominam feldspatos, goethita, vermiculita e/ou esmectitas e caolinita, com algum quartzo (proveniente de rochas encaixantes), fosfatos secundários e magnetita; em um nível inferior ("horizonte A"), aparece também apatita residual, anfibólio e piroxênio. Sotoposto encontra-se o "horizonte B" de rocha decomposta (espessura média de 10 m), constituído por feldspatos, vermiculita, "limonita", vários argilominerais, apatita, piroxênio e anfibólio. O seguinte, "horizonte C", é de rocha semidecomposta e está colocado acima da rocha fresca; é o de menor expressão, e a sua mineralogia é a da rocha subjacente (ocorrendo biotita/flogopita parcialmente alterada e calcita remanescente). A distribuição destes níveis é mostrada em mapas de isópacas.

Como atividade inicial, foi definida a distribuição dos principais minerais presentes (apatita, feldspatos, vermiculita, biotita/flogopita, calcita, piroxênio, anfibólio e analcima), tanto no manto de intemperismo (minério residual) como na rocha fresca (minério de rocha). Os resultados aparecem lançados em mapas de isoteores de proporções de minerais (em peso, determinadas por difratometria semiquantitativa).

Com base na distribuição dos principais minerais

interferentes no processo (vermiculita e piroxênio), foi definida uma tipologia preliminar do minério residual, caracterizada por oito tipos distintos; destes, apenas três perfazem 85% da jazida residual. Para o minério de rocha, definiram-se três tipos (ultramáfico, ijolítico e sienítico), coincidentes com as séries petrográficas citadas.

Na etapa seguinte, foram abertas cinco galerias (total de 210,5 m) e constituídas 16 amostras compostas de minério residual, utilizadas para os estudos de caracterização tecnológica. As composições mineralógicas dessas amostras foram determinadas e comparadas com as previstas a partir dos estudos iniciais. As 16 amostras foram moldas e classificadas, e as frações obtidas analisadas química e mineralogicamente, de modo a determinar a composição mineralógica, o grau de liberação e a intensidade de recobrimento superficial da apatita, e as perdas de fósforo apatítico nas lamaz. Estabeleceram-se também equações de correlação, para estimar as proporções de minerais a partir de parâmetros químicos. Uma das galerias, situada em área de ocorrência de carbonatito beforsítico, foi estudada em maior detalhe (8 amostras); sua mineralogia anômala é caracterizada pela presença de: dolomita, ankerita, vermiculita/esmectita, baritocalcita, alstonita, sílica amorfa, witherita, magnetita e outros raros minerais acessórios. A partir destes estudos, compuseram-se amostras para ensaios tecnológicos em usina piloto; os resultados então obtidos permitiram consolidar um modelo de tipologia de minério, para fins de beneficiamento e lavra, com o estabelecimento de cinco tipos de minério residual (A, B1, B2, C1 e C2), relacionados aos três níveis do perfil de alteração e às composições das rochas subjacentes.

Estudos de caracterização tecnológica foram também realizados em duas amostras compostas de minério de rocha (tipos ultramáfico e ijolítico); o tipo sienítico não foi estudado, em razão das similaridades do mesmo com o minério residual tipo A, o qual apresentou ótimo desempenho na etapa de beneficiamento. Ensaios de beneficiamento em bancada indicaram comportamentos similares para as amostras estudadas; a principal interferência no processo está relacionada ao conteúdo de veios de carbonatitos presentes e não a litologia dominante.

ABSTRACT

The present work is based mainly on mineralogical and technological characterization studies done on the phosphate deposit associated with the Anitápolis alkaline massif, State of Santa Catarina, southern Brazil.

The massif is subcircular, cropping out over 6 km² as an intrusion in Precambrian granites, at the Eastern border of the Paraná basin. It is almost entirely covered by talus deposits. Borehole data show a concentric rock distribution, which were grouped into "series"; syenite and nepheline syenite series are found as border varieties, while ijolite and ultramafic series are centrally located; sovite veins, although ubiquitous, are mainly concentrated in the central part. Three alteration levels (overall thickness of 30 m, with pronounced variations) are observed. The talus deposit (at the most 20 m thick) is the uppermost, constituted predominantly by blocks of alkaline rocks, in a silty-argillaceous matrix; main minerals are feldspars, goethite, vermiculite and/or smectite and kaolinite, with some basement derived quartz, secondary phosphates and magnetite; a lower level ("A horizon") shows residual apatite, amphiboles and pyroxenes. Below is the "B horizon" of altered rock (average thickness of 10 m); main minerals are feldspars, vermiculite, "limonite", several clay minerals, apatite and pyroxene, with subordinate amphibole and magnetite. The lowermost "C horizon", poorly developed, lies on the top of fresh rock; it shows only incipient weathering, and its mineralogy is that of the underlying rock (calcite, if present, has not been leached out completely, and biotite/phlogopite is partially altered). The distribution of the several horizons is shown in isopach maps.

The distribution of main minerals (apatite, feldspars, vermiculite, biotite/phlogopite, calcite, pyroxenes, amphibole and analcime) was studied both in the weathered levels ("residual ore") and in the fresh rocks ("rock-ore"). Mineral weight proportions, determined by semiquantitative diffraction methods, are plotted in equal contour maps.

Eight residual ore types were preliminarily defined, based on the previous studies, with due consideration for the main interfering minerals in the ore dressing (vermiculite and piroxene); only three of them comprise about 85% of the residual ore. Three rock-ore types were defined (ultramafic, ijolitic and syenitic), coinciding with the main petrographic series found in the massif.

In addition five galleries were opened, and 16 residual ore samples were prepared for technological studies. The mineralogical compositions were determined, and compared with the predicted values, defined by the previous district-wide mineralogical studies. The 16 samples were ground and sieved, and the size fractions analysed both chemically and mineralogically, in order to define the minerals distribution, the degree of liberation of apatite and its surficial coating by iron oxides-hydroxides, and the amount of loss of apatitic phosphorus in slimes. Several correlation equations were established to estimate minerals proportions from chemical data. One of these galleries, situated in a beforsitic area, was studied in more detail (8 samples); its anomalous mineralogy is characterized by dolomite, ankerite, vermiculite/smectite, baritocalcite, alstonite, amorphous silica, witherite, magnetite and other several unusual minerals as accesories. Ore dressing development was carried out in a pilot plant with composite samples based on the above studies; the results (only summarized in the present work) showed the need to redefine the residual ore types for dressing and exploitation steps. Five technologically different types were thus established (A, B1, B2, C1 and C2), which correspond to the three defined weathering levels and are related to the underlying fresh rock composition.

Technological studies were also performed in two composite rock-ore samples (ultramafic and ijolitic types); the syenitic type was not studied, on account of its similarity with the A residual ore type, which showed an excellent performance during dressing development tests. These two samples behaved similarly in batch flotation tests; the main interference is related to carbonate contents (or the amount of carbonatite veins found in the fresh rocks).

AGRADECIMENTOS

O autor expressa os seus mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

A Paulo Abib Engenharia S.A. pelas facilidades oferecidas para a realização e divulgação do presente trabalho.

A Adubos Trevo e Indústria de Fosfatados Catarinense S.A. - IFC, através do Geol. Valmor D'Avila Vergara e dos engenheiros Jacob Hartmman, Diretor Industrial da Adubos Trevo, Goodson B. de Moura, Diretor Técnico da IFC, Paulo Fernando P. Felin e Paulo B. Mendes, pelas facilidades oferecidas na execução dos trabalhos e autorização para a divulgação dos mesmos.

Ao Prof. Dr. Horstpeter H. G. J. Ulbrich pela leitura, correção dos manuscritos, sugestões para o trabalho e também pela minha iniciação na pesquisa mineralógica.

Ao Eng. José Luis Beraldo, Vice-Presidente da Paulo Abib Engenharia S.A. e Prof. do Depto. Eng. Minas da EPUSP, e à Geol. Lilia Sant'Agostino, principais responsáveis pelo meu aperfeiçoamento na área de mineralogia aplicada ao tratamento de minérios, pela orientação e acompanhamento na realização dos trabalhos.

Aos vários colegas de Depto. de Eng. Minas da EPUSP e do IG-USP que opinaram com ensinamentos e sugestões para o presente trabalho. São eles o Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves (sugestões por ocasião do exame de qualificação e também no texto), a Prof. Dra. Sonia M. B. Oliveira (leitura e sugestões dadas ao texto nos capítulos 4 e 5), o Prof. Dr. Eduardo Camilher Damasceno (sugestões por ocasião do exame de qualificação) e o Prof. Dr. Helmut Born.

A equipe técnica da Paulo Abib Engenharia S.A. envolvida no presente trabalho, representada pela Geol. Maria Manuela Tassinari e pelos técnicos Elisabete S. Camilo, Jailson Cardoso, José Ronaldo de Oliveira e Pedro Verga, todos do setor de caracterização tecnológica, aos engenheiros de processo Nelson T. Shimabukuro, Clovis H. de Almeida, Paulo B. Mendes, Monica S.

Cassola, Nelson Roberto G. Munhoz, Bonzi Yokomizo dos Santos, aos engenheiros do setor de lavra e em particular ao Eng. Jorge Valente, atual Diretor de Desenvolvimento, e a todos os demais técnicos dos setores de laboratórios químicos e mineral, em particular aos Quim. Giuliana Ratti, José Eduardo Devai e aos técnicos Maria do Carmo Karan e Maria José Navarenho.

A minha esposa, Delaine Guimarães Kahn, pelo incentivo durante a realização dos trabalhos e pela leitura e revisão final do texto.

Ao Sr. Cláudio Hopp, pela confecção das secções delgadas, e ao Sr. Jaime A. da Silva e à equipe da secção gráfica, pela impressão do texto.

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

No Brasil, as mineralizações vinculadas a maciços alcalino-carbonatíticos representam a quase totalidade das reservas de fosfato e nióbio e, em menor escala, as de titânio e terras raras. Todas elas estão associadas a processos supergênicos com frequente enriquecimento secundário, sendo também que o fósforo em algumas jazidas brasileiras é ou poderá vir a ser aproveitado a partir de minério inalterado ou rocha fresca (Jacupiranga, Anitápolis, Tapira, Juquiá e Angico dos Dias).

Os estudos referentes aos maciços alcalino-carbonatíticos brasileiros focalizam principalmente aspectos geológico-petroológicos, por um lado, e características ligadas a lavra e beneficiamento do minério, por outro. Pouco tem sido divulgado em relação às características do minério e sua influência nas fases de pesquisa geológica e de processos de beneficiamento (Ziesemer e Kahn, 1980 e Takata et alii, 1986).

O maciço alcalino de Anitápolis, correspondente ao único depósito de fosfato da região sul do país, é conhecido desde o início do século, mas somente a partir de 1926 é que foram publicados os primeiros estudos geológicos sistemáticos. Os vários trabalhos, executados até 1967, indicaram que a ocorrência de apatita em Anitápolis era destituída de maior interesse econômico (Carraro et alii, 1967; Melcher e Coutinho 1966; Teixeira e Scheibe, 1965, e Salgado, 1963, apud Carraro et alii, 1967).

Em 1976, por iniciativa do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), os estudos foram retomados pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), com o objetivo de definir as características da mineralização de fosfato. Na continuidade dos trabalhos a Adubos Trevo, após três anos de atividades de pesquisa, delimitou significativas reservas de minério de fosfato, definindo as condições de seu aproveitamento econômico.

A região sul do país é hoje totalmente dependente em termos de rocha fosfática. Atualmente este mercado de fertilizantes é suprido com matéria prima proveniente das regiões de São Paulo, sul de Goiás e Triângulo Mineiro, com elevados custos de transporte. Neste contexto é prioritária a implantação do Projeto Anitápolis, praticamente paralisada desde meados de 1983, em função de conjunturas político-econômicas.

Prevê-se uma produção inicial da ordem de 900.000 t/ano de concentrado de rocha fosfática a partir do projeto a ser implantado pela IFC - Indústria de Fosfatados Catarinense S.A. (formada pelos grupos Trevo, Fertisul, Serrana-Quimbrasil e Petrofértil).

O trabalho, ora apresentado, compreende essencialmente os estudos mineralógicos executados pelo autor e colaboradores, no âmbito dos contratos firmados entre a Adubos Trevo e a IFC com a Paulo Abib Engenharia S.A. (PAA 1977, 1978a, 1978b, 1978c, 1978d, 1978e, 1978f, 1978g, 1979a, 1979b, 1979c, 1979d, 1979e, 1979f, 1980a, 1980b, 1980c, 1980d, 1986a, 1986b, 1987a e 1987b)

1.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O maciço alcalino de Anitápolis, abrangendo uma superfície de aproximadamente 6 Km², está situado na Serra da Boa Vista, no local denominado Pinheiros Altos, no município de Anitápolis, sudeste do Estado de Santa Catarina, nas coordenadas 27°49' de latitude sul e 49°06' de longitude oeste (figura 1).

A área dista cerca de 90 km de Florianópolis. O acesso é feito a partir das rodovias BR 101 e BR 282, até próximo à localidade de Rancho Queimado, e daí em diante pela rodovia estadual SC 407, até a ponte do Rio Braço do Norte. Segue-se então por estrada secundária, acompanhando o vale do rio Pinheiros.

1.2. GEOMORFOLOGIA

O relevo, na região de Anitápolis, é caracterizado pela existência de grandes desníveis topográficos, com vales estreitos e profundos. As altitudes variam desde cerca de 700 m a quase

1300 m (figura 2).

As drenagens apresentam nítido controle estrutural. Na área externa ao maciço, verifica-se padrão reticulado, condicionado principalmente por fraturas de direção N-S e N50-60 E; na porção interna a drenagem é centripeta, controlada tanto pelos padrões de fraturamento já mencionados, como por fraturas radiais.

O maciço apresenta forma subcircular, ligeiramente alongada no sentido E-W, formando uma acentuada depressão morfológica (figura 2, foto 1 e prancha 1).

A depressão originou-se por alteração intempérica diferencial entre as rochas encaixantes (granitos) e as rochas alcalinas máficas-ultramáficas, aliado ainda ao intenso fraturamento das rochas do maciço (Vergara, 1979b).

O relevo na porção interna do maciço é suave, contrastando com o relevo mais acentuado do anel periférico, constituído por rochas sieníticas. O curso do rio Pinheiros, que corta a área na direção N-NW, apresenta forte condicionamento estrutural; o rio forma uma planície aluvionar na porção central do maciço.

Na periferia do maciço são observadas escarpas abruptas, com nítidas facetas triangulares, provavelmente formadas a partir de erosão diferencial (foto 1 e prancha 1).

1.3. CLIMA E VEGETAÇÃO

O clima da região estudada, segundo a classificação de Köppen, é do tipo cfa (mesotérmico, superúmido com verão quente e ocorrência de chuvas em todos os meses do ano, Nimer, 1979).

A pluviometria média anual da região no período de 1946/77 (Adubos Trevo, 1979) é de 1696 mm. Os meses de janeiro, fevereiro e março são os de maior precipitação (14 a 16 dias), com pluviometria média mensal entre 200 e 220 mm. Os meses de junho e julho são os que apresentam menor intensidade pluviométrica, em média de 90 mm, com 8 dias chuvosos por mês (figura 3).

As temperaturas registradas em 1979 (Adubos Trevo, 1980) indicam médias mensais máxima e mínima, respectivamente, de 22,3°C e 11,5°C (figura 4), com valores absolutos máximo de 36°C em dezembro e mínimo de -4°C em julho.

FIGURA 1
LOCALIZAÇÃO DO MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS

FIGURA 2

MAPA TOPOGRÁFICO DA REGIÃO DE ANITAPOLIS

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA NO ESTADO

ESCALA 1: 50 000

Equidistância das curvas de nível: 20 metros

ESCALA APROXIMADA

0 500 m.

1 - ALUVIÕES	5 - SÉRIE DOS FELDSPATO ALCALINO SIENITOS
2 - SÉRIE DAS ROCHAS ULTRAMÁFICAS	6 - SÉRIE DOS FELDSPATO ALCALINO QUARTZO SIENITOS
3 - SÉRIE DOS IJOLITOS	7 - ROCHAS GRANITÓIDES
4 - SÉRIE DOS NEFELINA SIENITOS	— FALHA PROVÁVEL
— CONTATO APROXIMADO	— FRATURA PROVÁVEL
-- CONTATO GRADACIONAL	

FOTO I

VISTA AÉREA DA INTRUSÃO ALCALINA

VISTA DE NORTE PARA LESTE-SUL

VISTA DE OESTE PARA LESTE

VISTA DE SUDOESTE PARA NOROESTE-NORTE-LESTE

VISÃO PANORÂMICA DO MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS

FIGURA 3

DADOS PLUVIOMÉTRICOS PARA O PERÍODO 1946-1977
MÉDIAS MENSAIS

LOCALIDADE : DIVISA DE ANITÁPOLIS

(Segundo Adubos Trevo, 1979)

FIGURA 4

TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAS - MÁXIMA E MÍNIMA (ANO 1979)
MACIÇO DE ANITÁPOLIS

(Segundo Adubos Trevo, 1980)

A cobertura vegetal primitiva, já em grande parte desaparecida, pertencia ao domínio da Mata Atlântica. As partes mais baixas do maciço de Anitápolis, uma das poucas de relevo mais suave na região, tem sido intensivamente cultivadas pela população local. Nas áreas vizinhas, de relevo mais acidentado, são encontradas áreas com predomínio de vegetação nativa, caracterizada pela presença da canela preta (*Ocotea catharinensis*), laranjeira do mato (*Slonea guianensis*), pau-óleo (*Capaifera trapezifolia*), estopeira (*Cariniana estrellensis*) e biteira (*Beosimopsis lacitensis*), além de outras espécies, como o ingabaú, a taquara mansa e samambaias (Adubos Trevo, 1979). As restrições impostas pelo relevo acidentado limitam a maior ocupação da região, fazendo com que o extrativismo vegetal das variedades nativas seja uma das principais atividades econômicas.

1.4. OBJETIVOS

O trabalho efetuado teve por objetivo o estudo da distribuição dos principais minerais presentes nos minérios residual e de rocha do maciço alcalino de Anitápolis, bem como o da tipologia de minério, definida a partir de características mineralógicas e comportamentos diferenciais no processo de beneficiamento.

Os estudos de pesquisa e avaliação da jazida de fosfato de Anitápolis foram executados de forma integrada, considerando as várias diretrizes de pesquisa (geologia, processos de beneficiamento, lavra e viabilidade econômica, ver figura 5).

Assim, os estudos mineralógicos e de caracterização da jazida foram conduzidos em etapas, condizentes com o estágio de conhecimento da mineralização e a potencialidade de seu aproveitamento econômico.

Enumeram-se a seguir as principais atividades executadas e seus objetivos.

A atividade inicial, na fase preliminar de pesquisa geológica, compreendeu o estudo de amostras selecionadas dos minérios residual e de rocha, em suporte aos ensaios exploratórios de processo.

FIGURA 5

INTERAÇÃO ENTRE A CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E DEMAIS ATIVIDADES DE PESQUISA

Na sequência, foi desenvolvido um programa analítico semiquantitativo de difração de raios X. Este programa, realizado concomitantemente às sondagens e análises dos testemunhos, teve por objetivo identificar os principais minerais presentes e estabelecer a tipologia de minério, base para a definição e execução de ensaios tecnológicos.

Nas amostras coletadas, segundo os critérios de tipologia de minério estabelecidos, executaram-se estudos de caracterização mineralógica e tecnológica, como suporte à realização dos ensaios de beneficiamento e à otimização do processo de concentração.

Finalizada esta etapa, e avaliadas as várias interferências das características do minério frente ao processo, foram redefinidas as tipologias dos minérios residual e de rocha, para fins da elaboração do projeto básico de lavra.

1.5. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS DEPOSITOS DE FOSFATO

O fósforo, décimo primeiro elemento em abundância na crosta, ocorre como traços em quase todos os tipos de rochas, mas relativamente concentrado em certas intrusões de rochas alcalinas básicas ou ultrabásicas, em sedimentos marinhos (fosforitos) e em guano. Seu principal uso é na indústria de fertilizantes.

São conhecidos cerca de 200 minerais com conteúdo de fósforo acima de 1,0% P₂O₅. Os do grupo da apatita são os de maior ocorrência e uso, e tem a fórmula simplificada $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl}, \text{CO}_2)$. Várias substituições atômicas são comuns; destacam-se as de urânio, terras raras, estrôncio e sódio no lugar do cálcio, e as de silício, vanádio, alumínio e enxofre nas posições do fósforo.

Os principais minerais de importância econômica são: fluorapatita, carbonato-apatita (dahlita), carbonato-fluorapatita (francolita) e hidroxiapatita (Anexo 3). Fluorapatita é mais comumente encontrada nas rochas ígneas, e francolita (carbonato-fluorapatita) nos depósitos primários de fosforitos. Cita-se ainda a colofana, variedade textural de apatita criptocristalina, constituída usualmente por carbonato-fluorapatita.

No processamento dos concentrados de apatita, obtém-se por

vezes como subprodutos o urânio, o fluor (fabricação de ácido fluor-silícico) e o vanádio (a partir da escória metalúrgica na fabricação de fósforo elementar). Os concentrados de apatita são comumente denominados de rocha fosfática.

Os depósitos de fosfato são classificados quanto a sua gênese e características em três tipos principais:

- ígneo (intrusões alcalinas básicas-ultrabásicas);
- sedimentar;
- guano (orgânico).

Nos três casos, os processos de alteração relacionados ao intemperismo químico propiciam um enriquecimento significativo do fósforo, seja pela formação de um depósito residual, seja pela neoformação e reprecipitação de fosfatos.

Importantes depósitos de origem ígnea ocorrem na Península de Kola (URSS e Finlândia), no leste da África e no Brasil.

Os depósitos sedimentares são os mais importantes em termos mundiais, destacando-se dentre estes os do Marrocos. São depósitos formados em ambientes marinhos semi-confinados, em profundidades variáveis de dezenas a centenas de metros, situados em plataformas tectonicamente estáveis, nas quais é restrita a contribuição de sedimentos terrígenos. Usualmente são constituídos por calcários fosfáticos e margas, acompanhados por quartzo detrítico e algum chert, com horizontes enriquecidos em fosfato. Depósitos sedimentares formados por subsidência de bacias são de importância restrita, e apresentam aspectos litológicos e estruturais bem distintos dos citados previamente.

Depósitos de guano formados essencialmente pela acumulação de excrementos de aves marinhas são encontrados principalmente em ilhas oceânicas ou regiões costeiras, a baixas latitudes. O excremento original, contendo até 4% de P₂O₅, por decomposição pode atingir 10-20% de P₂O₅ através da perda de nitrogênio e matéria orgânica. Processos de lixiviação podem elevar este teor até 32% de P₂O₅ ou mais. O fósforo, no material pouco decomposto, ocorre principalmente na forma de magnésio- e amônio-magnésio fosfatos; no material totalmente decomposto, aparece como fosfatos de cálcio, monetita e whitlockita e no material lixiviado (neoformado) como apatita ou alumino-, alumino-ferro- ou ferro-fosfatos (dependendo da composição da rocha subjacente).

No Brasil, os depósitos de fosfatos estão associados principalmente a maciços alcalinos: Araxá e Tapira em Minas Gerais, Catalão I em Goiás, Jacupiranga, Juquiá e Ipanema, situados em São Paulo, Anitápolis em Santa Catarina, Angico dos Dias na Bahia e Maecuru no Pará.

Em todos eles os processos supergênicos exerceram papel importante para a formação de depósitos residuais enriquecidos em apatita. Quatro destes depósitos encontram-se atualmente em fase de exploração (Araxá, Tapira, Catalão I e Jacupiranga), um em fase de implantação (Anitápolis) e dois em fase de pesquisa (Angico dos Dias e Maecuru). A exploração de minério associado a rocha fresca é executada em Jacupiranga, estando prevista também para Anitápolis, Tapira, Juquiá e Angico dos Dias.

Dentre os depósitos brasileiros de origem sedimentar destacam-se aqueles submetidos a processos metamórficos: Patos de Minas, Lagamar e Itataia. Os dois primeiros estão situados em Minas Gerais e se encontram em fase de exploração, e o outro no Ceará, com projeto de implantação em fase de detalhamento para aproveitamento conjunto de fosfato e urânio. São reconhecidos ainda depósitos relacionados à presença de algas marinhas (Irecê na Bahia) e a sedimentos marinhos do Cretáceo Superior, na região costeira dos Estados de Pernambuco e da Paraíba; dentre estes últimos destacam-se àqueles dos municípios de Olinda e Paulista.

Cita-se também a ocorrência de depósitos de bauxita fosfática com alumino-fosfatos no Maranhão e no Pará (Pirocaua, Trauira e Itacupim, dentre outros - ver Oliveira e Costa, 1984). Pequenas ocorrências de depósitos de guano são descritas em várias ilhas oceânicas: Rata (PE), Alcatrazes (SP) e Castilho (SP).

CAPITULO 2

TRABALHOS GEOLOGICOS ANTERIORES

As primeiras notícias existentes sobre a região de Anitápolis são os relatos de Pedro Rodolfo Jr. (1923, "apud" Carraro et alii, 1967), administrador do Serviço do Povoamento do Núcleo Colonial de Anitápolis, que faz menção da ocorrência de carvão e ferro, em diversos locais da Colônia de Anitápolis; relata também a visita do geólogo Gonzaga de Campos, que classificou de "ótimos os minerais encontrados". Consta também a extração de minério de ferro, já em 1922, pelo Sr. Manoel Pio Correa.

Moraes Rêgo e Guimarães (1926) descrevem ocorrências de magnetita e classificam as rochas alcalinas em "nefelinitos", "pórfiro-nefelinitos", "dolerito porfirítico", "sienitos" e "larvikitos"; as três primeiras ocorrem como diques cortando o granito encaixante ("hornblenda granito" e "granitito"). A jazida de magnetita, morfologicamente descrita como "stock-work", foi considerada como um tipo genético intermediário entre os depósitos de segregação magmática e os associados à metassomatismo de contato. Citam os autores, ainda, a presença de um "calcário branco" junto ao leito do Rio Pinheiros, de granulação grosseira e com magnetita, apatita, biotita e tremolita associadas, que foi considerado como rocha metamórfica de idade ordoviciana.

Guimarães (1947, "apud" Pozza e Garcia, 1974) descreveu a presença de diversos tipos de rochas no rio Pinheiros: apatita piroxenito, magnetita piroxenito, veios de apatita e magnetita, rocha a biotita e magnetita e "massas" de magnetita idiomórfica monominerálica, por vezes acompanhada de abundante apatita e ilmenita subordinada. Mencionou variedades de shonkinito que localmente, por incremento da proporções de piroxênio e/ou nefelina, passariam para "fácies" de jacupiranguitos, piroxenitos e ijolitos. Considerando a hipótese de metamorfismo de contato para a formação do "calcário branco", o autor admite migração iônica de Fe, P, Ti e Si das rochas ígneas para a rocha carbonatada.

Leonardos (1956 a, b), analisando as informações de Moraes Rêgo e Guimarães (1926), sugeriu ser o "calcário branco" de Anitápolis um possível carbonatito.

Mohr (1962, "apud" Carraro et alii, 1967) salienta a potencialidade econômica da jazida e sugeriu "ser interessante e promissor executar a prospecção da jazida de apatita de Anitápolis, embora considerasse precária a maneira de prospectá-la".

Salgado (1963, citado em Carraro et alii, 1967) executou reconhecimento das ocorrências de apatita, concluindo que os teores mais elevados de P₂O₅ situavam-se em área relativamente restrita, provavelmente sem expressão econômica.

Teixeira e Scheibe (1965, conforme referências em Pozza e Garcia, 1974, e Carraro et alii, 1967) realizaram trabalhos de prospecção em Altos do Rio Pinheiros, com vistas à avaliação da potencialidade econômica das ocorrências de apatita nos aluviões do leito do Rio Pinheiros, no carbonatito e em veios de apatita e magnetita que cortam as rochas alcalinas.

Melcher e Coutinho (1966) apresentaram o primeiro trabalho petrográfico e estrutural de maior detalhe. A intrusão alcalina localizou-se em grande zona de falhamentos em granitos regionais, nos quais produziu um sistema de fraturas radiais e concêntricas. Os granitos encaixantes, na zona de contato, sofreram ligeira fenitização, com hidratação e recristalização parcial dos feldspatos e neoformação de piroxênios e anfibólios sódicos em fraturas. As rochas alcalinas feldspáticas (fenitos, sienitos e mais raramente nefelina sienitos) são interpretadas como rochas híbridas originadas da ação metassomática alcalina sobre os granitos, com a adição sequenciada de Na (numa primeira fase) e de Ca, Mg e Fe. Na porção central são descritos ijolitos, melteigitos e biotita-piroxenitos de origem magmática, além de pequeno corpo carbonatítico encaixado em piroxenitos. Salientam as ocorrências de magnetita de pequena expressão e com titânio e fósforo associados, que dificultariam o seu aproveitamento. Consideram também improvável a existência de volumes consideráveis de apatita, pela pequena expressão de carbonatitos e piroxenitos então conhecidos.

Carraro, Issler e Formoso (1967) realizaram mapeamento em escala 1:25.000, com base em fotografias aéreas. Segundo os autores, as rochas alcalinas são representadas predominantemente por urtitos, ijolitos e melteigitos, circundados por sienitos, fenitos e mais raramente sienitos nefelínicos. Um depósito de encosta, constituído de blocos e matacões de rochas alcalinas, é caracterizado como "Conglomerado Pinheiros". Consideram que o corpo alcalino constitui um diatrema localizado na intersecção de grandes falhamentos do embasamento cristalino. Sugerem uma origem hidrotermal para um sistema de veios de apatita e magnetita com estrutura do tipo "stock-work". Consideram que as ocorrências de apatita são destituídas de valor econômico, e sugerem a execução de trabalhos de detalhamento nas ocorrências de magnetita.

Amaral et alii (1967), que realizaram sistematicamente datações K/Ar na maioria das ocorrências alcalinas do Brasil meridional, obtiveram idades entre 105 e 131 m.a. para diversos tipos petrográficos do maciço.

Pozza e Garcia (1974), em trabalho realizado pela CPRM através de convênio com a CNEN (Projeto Anitápolis), efetuaram reconhecimento radio-geológico autoportado em aproximadamente 1600 Km², na região sudeste do Estado de Santa Catarina, detectando um total de 104 anomalias radioativas. A maioria destas estão associadas a diques de rochas alcalinas, em geral muito alterados, encaixados em rochas graníticas ou migmatíticas do embasamento ou em rochas sedimentares dos Subgrupos Itararé e Guatá; estes diques, por sua vez, se concentram em torno do maciço alcalino de Anitápolis, ocorrendo numa faixa de aproximadamente 40 km na direção N-S e 20 km na E-W; as direções preferenciais são próximas de N-S e secundariamente NE, coincidentes com o padrão de fraturamento da área. Os autores sugerem a existência de duas gerações de diques alcalinos, uma pouco alterada e geralmente com baixa radioatividade, e a outra com alteração mais acentuada e menores espessuras, correspondendo às maiores anomalias. Foram detectados teores de até 2800 ppm de U308. Constatou-se também uma relação U/Th crescente a distâncias maiores do maciço alcalino (passando de 0,1-0,2 nas suas imediações para 5-8 em áreas mais afastadas).

Herz (1977) sugeriu que o maciço alcalino de Anitápolis, assim como o de Jacupiranga, marcam a atividade de "hot spots", e estariam localizados em pontos de junção triplice de extensos falhamentos, associados a abertura do Oceano Atlântico.

Kaul (1977), no Projeto Anitápolis (CPRM/DNPM), estudou a mineralização apatítica, executando trabalhos geológicos, geofísicos (magnetometria, VLF e resistividade) e de prospecção mais detalhada para verificar a exatidão dos mapas geológicos anteriores; junto aos aluviões do rio Pinheiros foram realizados 5 furos de sondagens (total de 476,2m). Verificou que a apatita, a qual ocorre disseminada em todas as unidades litológicas, é mais abundante nas rochas alteradas e pouco frequente na matriz dos depósitos de talus e nos aluviões; na rocha fresca ocorre preferencialmente associada a piroxenitos e glimeritos, sendo mais rara nos carbonatitos. Estimou uma reserva total da ordem de 189.000.000 t, com teor médio de 6,72% de P₂O₅.

Vergara (1977) apresentou os resultados obtidos na fase preliminar de pesquisa, executada através do convênio Adubos Trevo/CPRM, por meio de mapeamento geológico de detalhe em escala 1:5000, execução de 16 furos de sondagens em malha regular de 400 x 400 m (10 dos quais com perfilagem gama), três poços e duas trincheiras e composição de uma amostra de minério residual e outra de rocha para estudos tecnológicos iniciais. O mapa geológico final apresenta a disposição concêntrica dos principais grupos de rochas: quartzo-sienitos, alcali-sienitos, rochas máficas e ultramáficas; mostra também, que as áreas de ocorrência destes dois últimos não se limitavam somente a porção mais baixa e central do maciço. A espessura do material de cobertura era superior à prevista, com uma zona de alteração intempérica característica sotoposta a um depósito de talus com espessuras variáveis. A reserva total (medida + indicada) de minério fosfático foi avaliada em 330.000.000 t, com teor médio de 6,5% de P₂O₅.

Kahn e Ziesemer (1978) apresentaram a sistemática de análises mineralógicas semiquantitativas por difração de raios X, desenvolvida para o estudo do zoneamento mineralógico e os resultados parciais até então obtidos.

Vergara (1979 a; 1979 b; 1980) apresentou a sistemática e os

resultados finais da pesquisa de fosfato em Anitápolis conduzida pela Adubos Trevo. Constaram desta etapa: reavaliação do mapa geológico do maciço nas escalas 1:5000 e 1:2000, furos de sondagens, poços e galerias, análises químicas, mineralógicas e petrográficas, ensaios tecnológicos, estudos geofísicos e investigações geotécnicas. A partir de informações de campo e dos estudos petrográficos, o autor descreve o zoneamento das rochas do complexo e distingue as seguintes unidades litológicas: "série dos feldspato alcalino quartzo sienitos", "série dos feldspato alcalino sienitos", "série dos urtitos", "série das ultramáficas" e carbonatitos. A mineralização de apatita na rocha fresca está associada principalmente às rochas ultramáficas, urtitos e nefelina-sienitos; os carbonatitos (essencialmente sovíticos) ocorrem principalmente como venulações de espessuras variadas, que cortam as rochas alcalinas silicáticas. No material de cobertura foi determinado uma reserva de 53.500.000 t de minério com teor médio de 8,2% de P₂O₅ apatítico, e na rocha fresca uma reserva de 206.000.000 t, com teor médio de 5,9% de P₂O₅. O autor menciona ainda as possibilidades de aproveitamento de sub-produtos (feldspato e calcita).

O relatório do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1979) apresenta o estudo petrográfico do maciço alcalino de Anitápolis. São descritos os vários tipos petrográficos, correspondentes às séries mencionadas por Vergara (1979b e 1980). Discute ainda os aspectos petrológicos e a mineralização primária de apatita.

Ziesemer, Hartmann e Torres (1980) descrevem os procedimentos adotados na pesquisa do jazimento de fosfato e nos ensaios tecnológicos executados. Definem 8 tipos distintos de minério residual, e as principais características do minério na etapa de beneficiamento mineral, sintetizando os trabalhos até então executados pela Paulo Abib Engenharia S.A..

Ziesemer e Kahn (1980) apresentam o estudo do minério residual. O perfil de alteração é constituído por três zonas distintas: zona de talus, correspondente ao depósito coluvionar, zona intermediária e zona mais compacta (ver também Vergara 1979b ; 1980). A zona intermediária, intemperizada, representa cerca de 67% do minério residual. A zona mais compacta, ou

horizonte de rocha semi-decomposta, mostra aspecto semi-compacto, caracterizando o início da lixiviação dos minerais primários. Os minerais de fosfato são a fluorapatita e um alumino-fosfato amorfo, o qual ocorre essencialmente na zona de talus, e contém em média 3,5% do fósforo total contido no minério residual. Os minerais de ganga são silicatos (vermiculita e/ou vermiculita/esmectita e/ou hidrobiotita, feldspatos, piroxênio, anfibólio e analcima), com presença menor e mais restrita de carbonatos (calcita) e óxidos (magnetita, goethita, titanita e rutilo). Com base na variação da composição mineralógica foi definido um zoneamento do minério frente ao comportamento do mesmo no processo mineral, sendo distinguidos dois tipos principais: um rico em feldspato (>50%) e outro em silicatos ferromagnesianos (vermiculita + piroxênio >60%).

Yamamoto, Goulart e Hasui (1980) apresentam os resultados dos estudos do IPT referentes à análise estatística dos dados químicos de 7 óxidos em 40 furos de sondagens (P205, Fe2O3, CaO, SiO2, Al2O3, K2O e BaO). Concluíram que o P205 encontra-se preferencialmente nas rochas ultramáficas, seguindo os nefelina-sienitos, urtitos, carbonatitos e finalmente álcali-sienitos; o Fe2O3 apresenta variação crescente e continua dos álcali-sienitos para os sienitos, urtitos e rochas ultramáficas, enquanto que a soma de SiO2 + Al2O3 + K2O apresenta comportamento inverso. Mencionam que as várias séries petrográficas devem ser cogenéticas e originadas, provavelmente, a partir de um único evento. Os carbonatitos estariam relacionados a um evento posterior que atingiu todo o maciço.

Yamamoto (1980) descreve os resultados de análise de hipersuperfície de tendência a partir de teores de P205, CaO e BaO, baseado nos estudos executados para a Adubos Trevo (IPT, 1978). A análise dos perfis obtidos possibilitou a identificação de duas regiões anômalas para P205: uma positiva na porção NE do maciço, associada a rochas ultramáficas, e outra negativa sobreposta à forte anomalia de bário, junto ao corpo de carbonatito dolomítico, situado na região SE do maciço. O autor ainda admite a existência de pelo menos duas fases de geração de apatita primária: a primeira provavelmente associada à formação das rochas alcalinas e a segunda, à das rochas carbonatíticas.

Valente (1980) apresenta os resultados de avaliação das reservas de fosfato através de análise geoestatística, incluindo a variografia, krigagem e parametrização do depósito. A jazida de minério residual foi krigada em P205 total e em CaO, sendo dividida em blocos tecnológicos de 50 x 50 x 10 m. As curvas de parametrização, considerando um teor médio igual a 8,2% de P205 apatítico, indicam um teor de corte de 5,2% de P205 apatítico e uma reserva lavrável de 53.500.000 t, havendo que rejeitar como estéril 15.000.000 t. Para o minério de rocha, recorre o autor à utilização do método IQD (inverso do quadrado das distâncias), corrigido pela consideração de auréolas elipsoidais; os resultados desta avaliação indicaram uma reserva lavrável de 206.500.000 t, com teor médio de 5,91% de P205 total e teor de corte de 4,0% de P205. Após a revisão do Projeto Básico (PAA, 1987b), que definiu teores marginais de 4,0% (minério residual) e 3,0% (minério de rocha) de P205, as reservas reavaliadas passaram para 65.100.000 t de minério residual, com teor médio de 7,58% de P205, e 213.010.000 t de minério de rocha, com 5,77% de P205.

Ulbrich e Gomes (1981), em um trabalho de síntese sobre as rochas alcalinas brasileiras, agruparam as diferentes ocorrências em oito tipos distintos de associações petrográficas. O maciço de Anitápolis foi enquadrado no tipo III, caracterizado por uma associação de rochas máficas a ultramáficas. Os autores agrupam ainda as ocorrências brasileiras em 10 províncias; o maciço de Anitápolis foi considerado como o único representante da "Província de Anitápolis".

Almeida (1983), estudando as relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da Região Sul da Plataforma Sul-Americana, distinguiu 12 províncias alcalinas e inclui o Complexo de Anitápolis, juntamente com os de Lajes e Quarenta, na "Província Santa Catarina". Destacou a possibilidade de que os movimentos opostos ocorridos entre o Arco de Ponta Grossa e o Sinclinal de Torres tenham ensejado o desenvolvimento ou a reativação de fraturamentos profundos, pelos quais teria ascendido o magma alcalino.

Rodrigues e Lima (1984) definem cinco províncias alcalino-carbonatíticas no Brasil. O maciço de Anitápolis, a exemplo do de Lajes, foi enquadrado na "Província Sul".

Rodrigues (1985), em sua dissertação de mestrado, resume os estudos realizados no IPT (IPT, 1978). Segundo o autor, as rochas alcalinas ocorrem preferencialmente em quatro zonas aproximadamente concêntricas, assim distribuídas (da borda para o centro): zona álcali-sienítica (álcali-sienitos, mela-álcali-sienitos e lusitanitos); zona nefelínica sienítica (nefelina sienitos, malignitos e shonkinitos); zona ijolítica (urtitos, ijolitos e melteigitos); e zona ultramáfica (biotita piroxenitos, biotititos, piroxenitos e magnetita dunitos). Todas essas rochas acham-se irregularmente cortadas por veios carbonatíticos (geralmente sovíticos) de espessura milimétrica a métrica. Intensa atividade metassomática foi responsável pela fenitização dos granitos encaixantes, pela cristalização generalizada de piroxênios e nefelina secundárias e pelo amplo desenvolvimento de estruturas de substituição mineral. Como hipótese petrogenética, admite-se a intrusão de rochas ultramáficas seguida de intensos processos de metassomatismo e mobilização reomórfica e, finalmente, venulações carbonatíticas.

Rodrigues et alii (1986) sintetizam os estudos mineralógicos e petrográficos realizados pelo IPT (1978) e por Rodrigues (1985).

Furtado, Gomes e Scheibe (1986) descrevem a ocorrência de foscorito em Anitápolis. Trata-se de rocha composta por magnetita poiquilitica, apatita e pseudomorfos de olivina, além de conteúdos menores de carbonatos e flogopita; baddeleyita e pirocloro ocorrem como acessórios. Aparece na forma de veios cortando as rochas ultramáficas pré-existentes, sendo, por sua vez, atravessados por veios carbonatíticos. Essas rochas, anteriormente descritas por IPT (1978) e Rodrigues (1985) como magnetita dunitos, são comparadas com os foscoritos da localidade tipo de Palabora. Os autores mencionam ainda a importância dos foscoritos sob o ponto de vista econômico e na gênese de maciços alcalino-carbonatíticos mineralizados a fosfato.

Yamamoto (1987), em sua dissertação de mestrado, toma por base os dados químicos e topográficos do maciço alcalino de Anitápolis para um estudo sobre representações gráficas espaciais em geologia.

Costa (1987) menciona a natureza laterítica do minério residual, para o qual admite formação sob condições climáticas moderadas. As características texturais, mineralógicas e geoquímicas correspondem a perfis de alteração pouco evoluídos e intensamente afetados pelos processos físicos; as associações geoquímicas observadas refletem diretamente a natureza da rocha-mãe e o caráter coluvionar do topo do perfil.

CAPITULO 3

GEOLOGIA

Os aspectos geológicos, abordados a seguir, representam fundamentos importantes na condução dos trabalhos. Dedicar-se à eles um capítulo próprio, ressaltando-se principalmente as feições relatadas na bibliografia sobre o tema.

3.1. Geologia Regional

O maciço alcalino de Anitápolis acha-se introduzido em rochas graníticas pertencentes à Suiite Pedras Grandes (conforme Campos Neto, 1984, "apud" Rodrigues, 1985). Esta suite é constituída preferencialmente por granitos grosseiros a porfiróides com megacrístais brancos a rosados, foliados, que admitem grande variação faciológica; ocorrem desde tipos cinzas, inequigranulares com pontuações de máficos, até granitos róseos, maciços grosseiros e alaskíticos (Basei, 1985).

Esses granitos ocorrem como grandes batólitos intrusivos no "Complexo-Granito-Migmatítico", constituindo as principais unidades do Domínio Interno do Cinturão Dom Feliciano (Fragoso Cesar, 1980 ; Basei, 1985).

O Cinturão Dom Feliciano seria, segundo Fragoso Cesar (1980), uma unidade litoestrutural caracterizada por complexos metamórfico-migmatítico-graníticos, derivados da regeneração Brasileira atuante na porção Sudeste da Plataforma Sul-Americana.

Na região de Santa Catarina este cinturão apresenta uma largura de exposição da ordem de 130 km, desde o litoral, na porção sul, até a ante-fossa molássica (Grupo Itajaí), no seu limite norte. Apresenta a seguinte compartimentação tectônica, de sudeste para noroeste (Basei, 1985; ver figura 6 e tabela 1):

- Domínio Interno;
- Domínio Intermediário;
- Domínio Externo.

FIGURA 6
ESBOÇO DA GEOLOGIA REGIONAL, LESTE DO ESTADO
DE SANTA CATARINA

(ADAPTADO DE CAMPOS NETO, 1984, APUD RODRIGUES, 1988)

TABELA 1
ESBOÇO DA ESTRATIGRAFIA REGIONAL, LESTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA

I Cinturão Dom Feliciano: Domínio Externo
 II Cinturão Dom Feliciano: Domínio Intermediário
 III Cinturão Dom Feliciano: Domínio Interno

(Adaptado de Basei, 1985)

O Domínio Interno distribui-se do litoral até o lineamento de Major Gercino (ao norte), que representa importante zona de falhamento inverso e que o separa do Domínio Intermediário. É caracterizado pela ocorrência regional de rochas granitóides (Suíte São Pedro Alcântara, 600 m.a., e Suíte Pedras Grandes, $\pm$ 550 m.a.) associadas à migmatitos, provavelmente representando zonas profundas do Cinturão Dom Feliciano agora expostas. Nestes terrenos são restritas as ocorrências de tetos pendentes da cobertura supracrustal (Formação Queçaba).

O Domínio Intermediário é caracterizado pela presença das rochas metassedimentares do Grupo Brusque, distribuídas entre o lineamento Major Gercino, a sul, e a borda alóctone do mesmo Grupo ao norte, cavalgando na região frontal sudoeste as litologias do Grupo Itajaí e no restante os gnaisses da Faixa Ribeirão da Prata. O metamorfismo, do tipo baixa pressão e temperatura, aumenta regionalmente do fácies xisto verde, a noroeste, para o de anfibolito, a sudeste. São frequentes as intrusões granitóides das suítes Valsunga ($\pm$ 647 m.a.) e Guabiruba (601 a 644 m.a.). Em vários locais são observadas exposições de um embasamento félsico com ortognaisses e migmatitos predominantes: Serras do Cantagalo (2,59 b.a.) e de Presidente Nereu (2,39 b.a.) e a Faixa Ribeirão da Prata (2,8 b.a.).

No Domínio Externo ocorrem metassedimentos anquimetamórficos do Grupo Itajaí, que preenchem a antefossa molássica do Cinturão Dom Feliciano, instalada sobre as litologias retrabalhadas do craton Rio de la Plata. Trata-se de espesso pacote sedimentar, com predominância de turbiditos, e que se encontra afetado pelas últimas fases de dobramentos que atingiram o Grupo Brusque. Uma importante manifestação magmática de caráter ácido ocorre associada, iniciando-se na forma de tufos e brechas vulcânicas intercaladas nos metassedimentos e passando, posteriormente, a diques e derrames riolíticos. A atividade finaliza com a intrusão do granito Subida (524 m.a.).

3.2. GEOLOGIA LOCAL

3.2.1. Introdução

O maciço alcalino de Anitápolis apresenta forma subcircular levemente alongada na direção EW, abrangendo uma área de aproximadamente 6 km², constituindo uma forte depressão morfológica.

A idade da intrusão é de aproximadamente 129 m.a. (Amaral et alii, 1967), correspondendo ao grupo mais antigo de corpos alcalinos silico-carbonatíticos intrusivos nas bordas da Bacia do Paraná, juntamente com Jacupiranga, Ipanema e Juquiá (Serrote).

Diques de rochas alcalinas subsaturadas (Melcher e Coutinho, 1966 e Rodrigues, 1985) cortam o granito encaixante, apresentando ampla distribuição na área (cerca de 800 km², segundo Pozza e Garcia, 1974).

Tanto os granitos encaixantes como as rochas alcalinas apresentam-se intensamente fraturadas. Regionalmente tem-se dois sistemas preferenciais de fraturamento, o principal aproximadamente N-S e o outro N-50-60°E (Melcher e Coutinho, 1966). Associadas à intrusão ocorrem ainda fraturas radiais e concêntricas. Estes sistemas de fraturas, conjuntamente com a presença de rochas máficas e ultramáficas, situadas na porção central do maciço e de menor resistência à alteração, condicionaram a atual depressão, que constitui hoje o vale do rio Pinheiros (Vergara, 1980).

A presença de brechas, milonitos e espelhos de falha, em zonas de bordo e nos testemunhos de sondagens, provavelmente esteja relacionada tanto à falhas de idade pré-intrusão como posteriores.

A existência de um "manto de cobertura", abrangendo a quase totalidade do maciço, dificulta o mapeamento de superfície. Esse manto, com espessura média da ordem de 30 m, apresenta três horizontes principais. O de "talus" é o mais superficial, formado por um depósito de encosta; os outros dois são inferiores e oriundos da alteração intempérica das rochas alcalinas (Ziesemer e Kahn, 1980).

No maciço, as rochas de constituição mais félsica ocorrem na

periferia, com significativo aumento de rochas máficas e ultramáficas para a porção central. As rochas apresentam uma heterogeneidade muito grande, em escala mesoscópica. O mapa geológico do maciço, elaborado a partir de informações de sondagens, é exposto na figura 7, na qual também se indica a principal área mineralizada a fosfato (a oeste do depósito aluvionar do rio Pinheiros). A localização dos principais trabalhos de pesquisa (furos de sondagens, galerias e frente experimental de lavra) são apresentados na figura 8.

Um sumário dos dados químicos e de composição modal das diversas rochas é apresentado nas tabelas 2 a 5 (médias de séries litológicas e dados para amostras selecionadas). São muito significativas as variações químicas e mineralógicas dentro de cada série, comumente caracterizando tipos petrográficos que não se coadunam com o nome coletivo dado à série.

3.2.2. O Granito Encaixante

As rochas graníticas, com exceção daquelas da zona de contato afetada pelo magmatismo alcalino, são representadas por tipos notavelmente uniformes, não exibindo orientação preferencial, inclusões e diferenciações; são rochas de granulação predominantemente média a grossa, de coloração cinza clara e textura granular hipidiomórfica (Melcher e Coutinho, 1966 e Rodrigues, 1985) pertencentes à suíte Pedras Grandes. Os dados de composição mineralógica (tabelas 3 e 5) permitem enquadrá-las no grupo dos leuco-granitos (Streckeisen, 1973).

Os granitos encontram-se nitidamente tectonizados, como evidenciado pelo fraturamento dos seus minerais constituintes, forte extinção ondulante e textura "mortar" em cristais de quartzo, "kink bands" em biotita e encurvamento dos planos de geminação de cristais de plagioclásio. As transformações metassomáticas nos granitóides são localizadas, ocorrendo nas proximidades do corpo alcalino. Ao microscópio, as principais evidências dessa ação metassomática, de caráter essencialmente sódico, são a cristalização de egirina em microfraturas, a transformação de biotita em egirina e anfibólio sódico, e também a neoformação de albita, ora intersticial, ora constituindo

FIGURA 7
 MAPA GEOLÓGICO DO MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS

(SEGUNDO VERGARA, 1979 b)

1600 NS

LEGENDA

23 FURO DE SONDAGEM

GGM GALERIA

CRUZ GEOESTATÍSTICA (SONDAGENS)

FRENTE EXPERIMENTAL DE LAVRA

LIMITES MINÉRIO/ESTÉRIL

FIGURA 8

LOCALIZAÇÃO DOS TRABALHOS DE PESQUISA

TABELA 2

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS DIFERENTES TIPOS DE ROCHAS DO MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS

	SÉRIE DOS	SÉRIE DOS	SÉRIE DOS	SÉRIE DAS ROCHAS	CARBONATITOS	CARBONATITOS
	ÁLCALI-SIENITOS	NEFELINA SIENITOS	LIOLITOS	ULTRABÁSICAS	SOVÍTICOS	BEFORSÍTICOS
	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)
TEORES (%)	MÉDIA MAX. MIN.	MÉDIA MAX. MIN.	MÉDIA MAX. MIN.	MÉDIA MAX. MIN.	MÉDIA MAX. MIN.	MÉDIA MAX. MIN.
P2O5	3.29 9.33 .63	5.79 10.00 2.43	5.51 12.76 1.93	7.43 15.66 2.10	4.97 5.56 4.17	<0.10 .15 <0.10
CaO	10.42 23.10 3.98	19.03 30.00 11.59	16.96 26.50 8.70	18.06 30.10 10.60	52.79 55.20 50.90	18.87 23.00 14.70
SiO2	50.43 56.40 33.00	37.55 48.40 25.80	33.57 41.40 19.40	26.86 38.00 13.20	2.58 4.13 1.23	12.03 15.30 8.96
Al2O3	9.04 11.70 4.71	7.16 12.30 4.09	7.86 13.70 3.20	4.58 8.00 1.23	.28 .25 .01	.10 .66 <0.10
Fe2O3 (3)	9.86 13.00 6.38	10.48 13.40 6.65	14.87 24.10 6.83	20.11 35.60 13.00	4.43 7.90 2.92	11.51 13.70 8.49
K2O	6.73 9.49 3.32	4.08 6.82 1.34	3.01 4.77 1.70	3.06 5.92 .64	.13 .47 .01	<0.10 .66 <0.10
Na2O	3.77 5.56 2.86	3.21 5.69 1.35	3.34 4.80 2.05	2.19 3.40 1.19	ND ND ND	ND ND ND
MgO	4.94 6.20 2.85	5.73 8.65 4.51	6.94 11.67 5.37	10.59 13.00 5.97	ND ND ND	ND ND ND
BaO	<0.10 .29 <0.10	.15 .49 <0.10	.52 2.41 <0.10	.87 5.37 <0.10	<0.10 .10 <0.10	5.76 11.90 2.65
CaO/P2O5	3.17	3.29	3.08	2.43	10.62	

(1) RODRIGUES(1985)

(2) VERGARA(1979), MÉDIA DE 19 AMOSTRAS

(3) FERRO TOTAL CALCULADO COMO Fe2O3

ND NAO DETERMINADO

TABELA 3

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS DIFERENTES TIPOS DE ROCHAS DO MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS

	GRANITOS	ROCHAS DE DIQUES	SÉRIE DOS	SÉRIE DOS	SÉRIE DOS	SÉRIE DAS ROCHAS	CARBONATITOS	CARBONATITOS
	ENCAIXANTES	(FENOCRISTAIS)	ÁLCALI-SIENITOS	NEFELINA SIENITO	LIJOLITOS	ULTRABÁSICAS	SÓVÍTICOS	BEFORSÍTICOS
	(1)	(1)	(2)	(3)	(3)	(3)	(3)	(4)
	(12 AMOSTRAS)	(10 AMOSTRAS)	(37 AMOSTRAS)	(15 AMOSTRAS)	(35 AMOSTRAS)	(37 AMOSTRAS)	(37 AMOSTRAS)	(4 AMOSTRAS)
MINERAIS (2)	MÉDIA MAX MIN	MÉDIA MAX MIN	MÉDIA MAX. MIN	MÉDIA MAX. MIN	MÉDIA MAX. MIN	MÉDIA MAX. MIN	MÉDIA MAX. MIN	MÉDIA MAX. MIN
FELOSP. POTÁSSICO	42 54 39	2 10 -	61 94 9	43 67 13	1 13 -	- .5 -	- - -	- - -
PLAGIOCL. (KAN10)	21 24 12	- - -	2 22 -	.6 4 -	.3 3.5 -	- - -	- - -	- - -
NEFELINA (5)	- - -	10 21 4	1 5 -	19 43 2	35 63 11	.7 9 -	- - -	- - -
PIROXÊNIO	TR TR -	10 23 4	28 55 4	18 40 -	36 60 -	33 93 -	- - -	- - -
AMFIBÓLIO	TR 1 -	1 4 -	2 9 -	TR 1 -	TR 2 -	1 24 -	1 23 -	- - -
OLIVINA (5)	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	.8 63 -	.8 8 -	.7 3 -
BIOTITA-FLOGOPITA	3 4 3	1 3 -	2 25 -	10 40 -	10 56 -	26 64 -	3 8 -	1 3 -
QUARTZO (6)	32 41 29	- - -	TR 2 -	- - -	- - -	- - -	.1 2 -	2 7 -
ZEOLITAS	- - -	- - -	- - -	.4 5 -	2 26 -	.5 11 -	- - -	- - -
ZIRCONITA	TR TR TR	- - -	TR TR -	- TR -	- - -	- .3 -	- - -	- - -
TITANITA	- - -	TR 1 TR	1 31 -	.3 1 -	- - -	.5 6 -	- - -	- - -
CARBONATOS (7)	- - -	- - -	2 15 -	2 5 .2	2 8 -	3 22 -	- - -	- - -
CALCITA	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	70 96 31	TR 11 -
DOLOM. + ALSTONITA	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	5 31 -	67 77 15
APATITA	TR TR TR	- - -	4 5 -	6 29 -	10 53 -	15 39 -	9 25 -	2 9 -
RUFILO	- - -	- - -	- TR -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
OPACOS	TR 1 TR	TR TR -	.3 2 -	.8 6 -	2 10 -	11 62 -	5 30 -	3 10 -
CLORITA	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	1 19 -	- - -
ARGILOMINERAIS	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	6 35 -	24 34 20
ESFALERITA	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	.6 2 -
PIROCLORO	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	.4 1 TR

(1) MELCHER E COUTINHO(1966) E RODRIGUES(1945)

(2) MELCHER E COUTINHO(1966), EXCLUÍDO SHONKINITOS, E RODRIGUES(1945)

(3) RODRIGUES(1945)

(4) PRESENTES PRINCIPALMENTE NO FURO FURO 49

(5) RARAMENTE INALTERADA

(6) INCLUI CALCEDÔNIA, NAS ROCHAS NÃO GRANÍTICAS, VER REFERÊNCIAS EM (1)

(7) CALCITA PREDOMINANTE

TABELA 4

COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE ANOSTRAS SELECIONADAS DE GRANITOS ENCAIXANTES E DE ROCHAS ALCALINAS E CARBONATITOS DO MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS

ANOSTRAS	TEORES (%)													TOTAL
	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	P.F.OG0		
A2 (LEUCO GRANITO)	74.86	.25	12.44	1.22	.90	.05	.26	.63	2.99	5.44	.05	.78	99.87	
A5 (LEUCO GRANITO)	73.72	.23	12.94	.95	.97	.05	.18	.64	3.18	6.06	.04	.72	99.88	
A1 (ÁLCALI-SIENITO)	53.67	.52	13.76	.70	9.46	.21	2.71	3.71	2.46	9.00	1.96	1.76	99.92	
F18-43.80 m (ÁLCALI-SIENITO)	61.06	.94	16.06	.63	1.96	.06	.50	2.94	1.54	12.84	.67	.74	99.94	
F27-35.00 m (ÁLCALI-SIENITO)	53.16	.35	10.90	2.24	5.67	.16	2.64	10.64	2.10	7.71	2.85	1.34	99.76	
F04-32.70 m (NEFELINA SIENITO)	52.95	.64	19.17	1.74	4.07	.10	.81	4.49	5.08	7.56	.42	2.74	99.77	
F22-42.90 m (MALIGNITO)	43.04	.54	11.25	3.56	4.50	.12	4.45	15.27	2.70	5.87	6.79	1.50	99.59	
F04-67.50 m (APATITA IJOLITO)	43.43	1.42	11.42	2.24	10.06	.18	4.42	14.59	4.92	2.17	3.25	1.65	99.75	
F54-25.00 m (IJOLITO)	41.13	1.03	18.10	3.33	4.34	.13	3.42	11.65	9.69	3.10	2.72	.97	99.61	
F01-40.00 m (APATITA BIOTITA PIROXENITO)	32.78	3.59	4.51	10.20	10.90	.21	14.03	15.05	1.01	2.02	2.87	1.67	98.84	
F02-78.90 m (APATITA BIOTITA PIROXENITO)	34.35	2.68	4.39	12.50	11.90	.22	10.15	15.27	.78	2.57	3.28	.53	98.62	
F45-27.70 m (APATITA PIROXENIO BIOTITITO)	29.28	1.98	7.03	7.06	6.37	.16	12.63	17.43	.53	4.93	8.38	3.42	99.20	
F11-51.50 m (SÖVITO)	2.27	.13	.08	2.36	3.70	.29	4.11	46.57	----	.18	2.36	35.69	99.74	
F56-116.40 m (SÖVITO)	2.04	.28	.55	4.26	8.91	.24	4.01	43.22	----	.42	2.64	32.95	99.52	

(SEGUNDO RODRIGUES, 1985; PARA LOCALIZAÇÃO DAS ANOSTRAS DE FUROS DE SONDAÇENS VER FIGURA 8)

TABELA 5

COMPOSIÇÕES MODAIS DE AMOSTRAS SELECIONADAS DE GRANITOS ENCAIXANTES E DE ROCHAS ALCALINAS E CARBONATITOS DO MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS

AMOSTRAS	ORTOCLÁSIO	PLAGIOCLÁSIO	QUARTZO	NEFELINA	BIOTITA	PIROXÊNIO	CARBONATOS	ARFVEDSONITA	TREMOLITA ACTINOLITA	CLORLTA	FLOCOPIA	APATITA	ZIRCON	TITANITA	FLUORITA	ALLANITA	EPIDOTO	PRENHITA	ARGILO- MINERAIS	OPACOS
A2 (LEUCO GRANITO)	41.7	13.4	40.7	---	2.9	.1	---	---	---	---	---	Tr	Tr	---	Tr	.1	.4	Tr	---	.5
A5 (LEUCO GRANITO)	53.8	11.9	30.3	---	2.5	.1	---	---	---	.4	---	Tr	.1	---	---	.3	.4	---	---	Tr
A1 (ÁLCALI-SIENITO)	54.1	5.3	---	---	1.8	30.4	---	8.1	---	---	---	.2	---	.1	---	---	---	---	---	---
F18-43.80 m (ÁLCALI-SIENITO)	85.5	---	---	---	---	7.7	Tr	---	---	---	---	2.1	---	4.7	---	---	---	---	---	---
F27-35.00 m (ÁLCALI-SIENITO)	68.3	1.2	Tr	2	---	23.4	1.3	.5	---	---	---	2.4	---	.3	---	---	---	---	Tr	---
F04-32.70 m (NEFELINA SIENITO)	48.7	---	---	28.9	.3	20.7	.4	---	---	---	---	.4	---	---	---	---	---	---	---	.2
F22-62.90 m (HALSITO)	38.4	.1	---	8.5	4.3	32.3	.3	---	---	---	---	11.7	---	---	---	---	---	---	---	.2
F04-67.50 m (APATITA IJOLITO)	---	---	---	28.5	---	59.6	---	---	---	---	---	9.3	---	1.7	---	---	---	---	---	.9
F54-25.00 m (IJOLITO)	---	---	---	47.8	1.4	45.2	.3	---	---	---	---	3.2	---	1.5	---	---	---	---	---	.4
F01-40.00 m (APATITA BIOTITA PIROXENITO)	---	---	---	---	33.0	48.0	1.0	2.3	---	---	---	5.3	---	1.2	---	---	---	---	---	9.2
F02-78.90 m (APATITA BIOTITA PIROXENITO)	---	---	---	---	22.4	58.8	---	---	---	---	---	4.7	---	.7	---	---	---	---	---	11.2
F45-27.70 m (APATITA PIROXENIO BIOTITITO)	---	---	---	---	59.8	9.1	2.5	---	---	---	---	27.2	---	---	---	---	---	---	---	1.4
F11-51.50 m (SÓVITO)	---	---	---	---	4.2	---	72.2	---	2.4	---	---	13.7	---	---	---	---	---	---	---	7.5
F56-116.40 m (SÓVITO)	---	---	---	---	---	---	78.5	---	---	---	2.1	9.4	---	---	---	---	---	---	---	10.0

(SEGUNDO RODRIGUES, 1985; PARA LOCALIZAÇÃO DOS FUROS DE SONDAJENS VER FIGURA 8)

"capas" circundando cristais de plagioclásio e ortoclásio (Melcher e Coutinho, 1966; Rodrigues, 1985).

3.2.3. Rochas de Dique

As rochas de diques, segundo Melcher e Coutinho (1966) e Rodrigues (1985), cortam o granito encaixante em vários pontos da periferia do maciço. São rochas insaturadas de coloração verde escura a preta, granulação fina e textura porfírica, classificadas genericamente como tingualtos; apresentam fenocristais de nefelina e piroxênio e, subordinadamente, de feldspato potássico, representando em média 1/4 do volume da rocha. Como já mencionado, as relações U/Th nesses diques são maiores nas regiões afastadas do maciço alcalino (Pozza e Garcia, 1974).

3.2.4. O maciço alcalino

Os tipos litológicos encontrados no maciço alcalino (Streickeisen, 1973), pertencem aos campos 6*, 6, 11, 15 e 16. São rochas em geral mineralógica e texturalmente muito variadas, com rápida passagem de um tipo para outro, às vezes em questão de poucos centímetros. De maneira muito resumida, identificam-se três grandes grupos. O primeiro deles mostra o feldspato alcalino como mineral predominante, acompanhado de pequenos conteúdos de nefelina ou quartzo. O segundo grupo corresponde ao conjunto de rochas com predomínio de piroxênio e nefelina (ijolitos e rochas associadas) e o terceiro à rochas com abundância de minerais máficos. Estas rochas encontram-se como unidades no maciço, constituindo conjuntos mapeáveis através de dados de sondagens, e foram agrupadas como "séries" (ver IPT 1979; Vergara 1979 b, 1980; Rodrigues, 1985), conforme indicado a seguir:

- série dos feldspato alcalino quartzo sienitos;
- série dos feldspato alcalino sienitos;
- série dos nefelina sienitos;
- série dos ijolitos;
- série das rochas ultramáficas.

Todas essas rochas acham-se irregularmente cortadas por veios de carbonatitos sovíticos, de espessura variada (mm até m). Um corpo localizado de carbonatito beforsítico ocorre na porção centro-sul do maciço (furo-49), na área limítrofe entre ijolitos e rochas ultramáficas (figura 7).

A série dos feldspato alcalino quartzo sienitos, descrita por Vergara (1979 b; 1980), ocorre no bordo SW do maciço, comumente cortada por veios de quartzo. Dados químicos e petrográficos não são disponíveis para esta unidade. Trata-se de um conjunto litológico mineralogicamente intermediário entre os granitos encaixantes e a série dos feldspato alcalino sienitos, oriundo de processos metassomáticos.

A série dos feldspato alcalino sienitos ocorre na periferia do maciço, formando uma auréola da qual são observados escassos afloramentos. É constituída por rochas com feldspato potássico e piroxênio como minerais predominantes. São encontrados desde termos leucocráticos (feldspato alcalino sienitos), pobres em piroxênios, a termos melanocráticos (lusitanitos). Rodrigues (1985) incorpora esta série à anterior, definindo uma única unidade que denomina a "série dos álcali-sienitos".

A série dos nefelina sienitos é formada por rochas constituídas por proporções variadas de nefelina, feldspato potássico e piroxênio, passando de verdadeiros nefelina sienitos e sienitos (conteúdos variáveis de feldspato e/ ou nefelina) até malignitos e shonkinitos, por aumento nas proporções de piroxênio. A nefelina está quase que totalmente substituída por zeólitas, sericita e, mais raramente, por carbonatos.

A série dos ijolitos apresenta mineralogia bastante simples, predominando nefelina (alterada) e piroxênio; corresponde a "série dos urtitos" de IPT (1979) e Vergara (1979 b ; 1980). Os termos mesocráticos são francamente dominantes sobre os leucocráticos (urtitos) e melanocráticos (melteigitos). As rochas desta série apresentam-se de duas maneiras distintas. Na porção oeste, as rochas são texturalmente heterogêneas, à semelhança das séries citadas anteriormente. Mais ao sul, as texturas são mais homogêneas e compatíveis com uma cristalização magmática que, para IPT (1979) e Rodrigues (1985), estaria ligada a fenômenos de reomorfismo.

A série das rochas ultramáficas é constituída predominantemente por biotita-piroxenitos. Subordinadamente, observam-se piroxenitos e glimeritos com texturas magmáticas. Foscoritos são descritos por Furtado et alii (1986) na forma de veios na porção central do maciço; são constituídos por magnetita poiquilitica, apatita e pseudomorfos de olivina, além de conteúdos menores de carbonatos e flogopita; baddeleyita e pirocloro são minerais acessórios.

Carbonatitos soviticos (>90% de calcita) ocorrem na forma de veios com espessuras variáveis (desde mm a poucos m). Cortam todas as rochas silicáticas, mas concentram-se na porção central do maciço, em áreas de predomínio de ijolitos e rochas ultramáficas. Rodrigues (1985) descreve alguns veios com maiores proporções de dolomita.

Na porção centro-sul do maciço, próximo à região dos foscoritos, ocorre um pequeno corpo de carbonatito beforsítico, detectado através de sondagem (furo 49). Este corpo, cuja intrusão é controlada por um sistema de fraturamento, é constituído por uma particular assembléia mineral, com predomínio de dolomita, alstonita e/ou baritocalcita e argilominerais (esmectitas); como constituintes menores tem-se esfalerita, pirocloro, cordilita, witherita e sílica amorfa. Em analogia aos exemplos mostrados por Le Bas (1981), sobre diferenciação de carbonatitos (que evoluíram para termos mais ricos em Sr, Ba, TR, Mn, MgO e Fe₂O₃), este "corpo" beforsítico pode ser, provavelmente, uma das últimas manifestações carbonatíticas do maciço alcalino de Anitápolis.

As evidências geológico-estruturais e interpretações petrológicas sugerem a seguinte sequência de eventos (Rodrigues, 1985):

a) falhamento, fraturamento e brechação das rochas graníticas;

b) introdução de um magma de composição ultramáfica alcalina (biotita piroxenítica), na porção central do maciço;

c) metassomatismo durante e após a intrusão. Fraturas nas rochas granitóides e ultramáficas foram percoladas por soluções alcalinas com as seguintes reações:

- biotitização e/ou flogopitização parcial dos

piroxênios das rochas ultramáficas, com introdução de K, Al e Mg e remoção de Ca, Na e Si;

- fenitização gradativa do granito, nas zonas mais externas, por introdução de Ca, Mg, Fe, K e Na e remoção de Si. O processo metassomático teve caráter sódico nas porções mais externas do maciço, tornando-se gradualmente mais intenso e mais cálcico-magnesiano, em direção ao centro ultramáfico do maciço;

- nefelinização dos feldspatos com introdução de Na e Al e, possivelmente, com remoção de Si, gerando tanto ijolitos (com simultânea formação de piroxênio) como rochas da série dos nefelina sienitos, por transformação das rochas encaixantes granitóides;

- nefelinização dos piroxênios das rochas ultramáficas intrusivas, por introdução de mais Na, além de K e Al, e remoção de Ca, Mg, Fe e, possivelmente, algum Si, com geração de rochas da série dos ijolitos;

e) reomorfismo, como consequência final dos processos metassomáticos, gerando líquidos que, localmente reinjetados, cristalizaram-se como ijolitos e nefelina sienitos com texturas magmáticas;

f) injeção de material carbonatítico nos estágios finais da atividade magmática-metassomática, acompanhado de atividade hidrotermal sobre as rochas silicáticas encaixantes, originando fenômenos de uralitização, biotitização, flogopitização, cancrinitização e zeolitização.

A apatita, segundo IPT (1979) e Rodrigues (1985), encontra-se tanto nas rochas magmáticas como nas metassomáticas. A apatita primária (magmática) é explicada pela existência de um magma ultrabásico rico em fósforo, com a formação de apatita durante todo o tempo de cristalização magmática, acentuadamente nas fases tardi-magmáticas. A apatita primária que é encontrada nas rochas metassomáticas cristalizaria a partir de fluidos metassomáticos, que provocaram a piroxenização, supostamente ricos em fósforo.

Os sovitos de Anitápolis apresentam uma mineralização de apatita restrita e volumetricamente pouco expressiva. Os beforsitos, encontrados no furo 49 e na galeria GPF, são isentos de apatita.

Os resultados de avaliação e parametrização da jazida de

fosfato indicam para o minério de rocha uma reserva de 213.010.000 t, com teor médio de 5,77% de P₂O₅. O maior volume da reserva é representado por minério encontrado na série dos ijolitos, seguido pela série das rochas ultramáficas e série dos nefelina sienitos (Vergara, 1979b e 1980; PAA, 1987b).

3.2.5. Aluviões

Os depósitos aluvionares cobrem aproximadamente 15% da área do maciço, na sua porção centro-leste (figura 7).

Apresentam espessuras variáveis que, de maneira geral, crescem em direção ao contato leste, onde chegam a atingir até 17,0 m. Nas imediações do rio Pinheiros a cobertura é menor, 1,0 m ou menos, havendo novamente um acréscimo de espessura no sentido oeste (Vergara 1979 b).

Os aluviões são formados por seixos de tamanhos variados, constituídos tanto por rochas alcalinas como granitóides, imersos em uma matriz areno-siltico-argilosa. Vergara (1979 b) cita a presença de estratos bem definidos, com alternância de materiais siltico-arenosos e argilosos, e por vezes até delgados níveis de magnetita detritica.

CAPITULO 4

CARACTERISTICAS GERAIS DO MANTO DE INTEMPERISMO

4.1. O Perfil de Alteração

O manto de intemperismo do maciço alcalino de Anitápolis apresenta uma espessura média da ordem de 30 m, com valores extremos de 10 e 50 m. É caracterizado pela presença de três níveis principais: o mais superficial, ou talus, é formado a partir de um depósito de encosta, e os outros dois, inferiores, são formados por alteração intempérica das rochas alcalinas. Os mapas de isópacas dos três horizontes separados e do material residual total são apresentados nas figuras 9 a 11.

A subdivisão do manto de intemperismo em três níveis (Vergara, 1979 b) foi baseada principalmente na descrição de testemunhos de sondagens, com base em aspectos texturais, estado de alteração dos minerais presentes e grau de coesão, utilizando, portanto, critérios que são algo subjetivos. Ensaio de sísmica de refração, executados no bordo oeste-sudoeste, não caracterizaram o contato do talus com os horizontes inferiores, tal como observado a partir da descrição dos furos de sondagens existentes (furos 107 e 108). Da mesma maneira, os dados químicos disponíveis (teores de P₂O₅ e CaO) não mostram variações sistemáticas que possam ser utilizadas na definição dos limites entre os três horizontes (ver discussão no item 11.1.).

O depósito de talus cobre a quase totalidade da jazida. É constituído por blocos e seixos predominantemente de rochas alcalinas, imersos em matriz siltico-argilosa. Sua espessura, bem como a dimensão dos blocos e a relação blocos/matriz, diminui em direção às porções mais centrais e inferiores do maciço. As espessuras máximas, de 20 m ou mais, são encontradas junto à escarpa do bordo SW; nas porções central, leste e centro-meridional, ocorrem espessuras significativamente menores. As feições acima descritas indicam uma clara relação entre a topografia atual do maciço e a geometria e estrutura do colúvio, sugerindo que esse depósito se formou em épocas relativamente recentes.

FIGURA 9

MAPAS DE ISÓPACAS DO MATERIAL RESIDUAL E DO TALUS

FIGURA 10

MAPAS DE ISÓPACAS DO "HORIZONTE B" E DO "HORIZONTE C"

FIGURA II

MAPA DE ISÓPACAS DO "HORIZONTE B+C"
ROCHA ALTERADA

Mineralogicamente, o horizonte de talus é constituído predominantemente por feldspatos, goethita e eventuais óxidos-hidróxidos amorfos de ferro, caolinita/esmectita, e conteúdos menores de fosfatos secundários (1), vermiculita, magnetita e quartzo (derivado da alteração das rochas encaixantes). Apatita e, subordinadamente, piroxênio e anfibólio, ocorrem nos níveis mais inferiores e/ou menos alterados do talus, constituindo (junto com os minerais já citados) um horizonte mineralizado, que Vergara (1980) denomina de "horizonte A". Costa (1987), em um estudo do perfil do furo 22, menciona a existência de uma região de transição entre o nível de talus e o seguinte, no qual nota-se significativo incremento de fragmentos de composição semelhante à da litologia subjacente; esta porção de transição é a que usualmente caracteriza o "horizonte A"

O horizonte seguinte, sotoposto ao depósito de talus, é de material intemperizado; representa a maior parcela do perfil e nele as estruturas e texturas originais da rocha pré-existente estão ainda bem preservadas. Este horizonte foi denominado por Vergara (1980) de "horizonte B" e por Ziesemer e Kahn (1980) de "zona intermediária". Sua espessura média é superior a 10 m, ocorrendo regiões com até 20 m ou mais (porção NW da jazida, figura 10).

(1) O termo "fosfato secundário" na literatura sobre mineralizações de fosfatos apatíticos é usualmente empregado para designar fosfatos não apatíticos, usualmente detectados por baixos valores na relação $\text{CaO/P}_2\text{O}_5$ (menor que 1,3); estes minerais, que comumente englobam gorceixita, goyazita, wavelita, variscita e florencita, entre outros, não são recuperados no processo. Assim, exclui-se deste termo a apatita de origem supergênica (neoformada), a qual também é recuperada pelos processos usuais de concentração. Em Anitápolis, os fosfatos secundários são constituídos essencialmente por alumino-ferro(?) - fosfatos amorfos e wavelita; gorceixita e/ou goyazita foram observadas localmente (Anexo 3).

Neste horizonte, os processos intempéricos alteraram os minerais primários, pelo menos parcialmente, com a formação de vermiculita (associada a hidrobiotita e/ou esmectita), oriunda da alteração de biotita-flogopita, junto com alguma limonitização de piroxênio e anfibólio e cristalização de apatita supergênica em microfraturas ou intersticialmente aos grãos minerais. Os carbonatos originais já foram totalmente lixiviados, e outros argilominerais (caolinita, clorita, esmectita) são encontrados em pequenas quantidades. Ilita é observada principalmente como produto de alteração de nefelina e/ou analcima; a caolinização dos feldspatos é incipiente.

O horizonte inferior é constituído por rocha pouco decomposta e com menor grau de coesão que a rocha fresca. Representa uma pequena parcela da jazida, cerca de 3%, estando restrito à porção central e SW da jazida; as espessuras observadas são usualmente inferiores a 10 m (figura 10). Predominam os mesmos minerais encontrados nas litologias subjacentes; grau algo mais elevado de alteração é apresentado pela biotita-flogopita, a qual dá origem a micas de camadas mistas (hidromicas) e a vermiculita. Óxidos e hidróxidos de ferro aparecem como alteração apenas incipiente de outros minerais máficos; são também encontrados carbonatos, não totalmente lixiviados. As estruturas e texturas primárias encontram-se muito bem preservadas. Vergara (1980) denominou este nível de "horizonte C" e Ziesemer e Kahn (1980) de "zona mais compacta".

Valores de pH e Eh (Costa, 1987) caracterizam a predominância de um meio alcalino no "horizonte C", ligeiramente ácido a neutro e oxidante no "horizonte B" e ácido e oxidante no talus.

A partir da somatória dos "horizontes B e C" (rocha alterada) verifica-se que em algumas porções da jazida os processos intempéricos foram mais atuantes e atingiram maiores profundidades (figura 11). Dois perfis esquemáticos de alteração, desenvolvidos sobre rochas sieníticas e máficas-ultramáficas, são mostrados na figura 12. A interferência no grau de evolução do perfil de alteração causada pela presença do depósito de talus, como cobertura dos níveis subjacentes, não foi pesquisada.

BORDO OESTE E SUDOESTE

ZONA CENTRAL, LESTE E SUL

FIGURA 12

PERFIS ESQUEMÁTICOS

OBSERVADOS NA JAZIDA

A sequência de alteração dos minerais, indicada a partir de observações microscópicas, em cerca de 60 secções delgadas, e também segundo dados de Costa (1987), é apresentada a seguir para os principais minerais presentes:

- apatita: altera-se dando origem a fosfatos secundários (amorfos ou wavelita) e, subordinadamente, a carbonato-apatita neoformada, principalmente a partir do "horizonte B", em um processo crescente para os níveis mais superficiais do perfil. Fosfatos secundários encontram-se sobretudo nos níveis mais superficiais (capeamento estéril e "horizonte A"), enquanto que a carbonato-apatita é formada principalmente no "horizonte C";

- feldspatos: nos níveis constituídos por rocha intemperizada ("horizontes B e C"), sua alteração se caracteriza por uma caolinização incipiente, acompanhada por impregnação de óxidos de ferro em intensidade variável. Caolinização mais intensa é verificada no horizonte de talus, principalmente nos fragmentos de rochas sieníticas;

- biotita-flogopita: altera-se rapidamente para vermiculita ("horizonte C"), comumente com uma fase intermediária de hidrobiotita. A vermiculita permanece até os níveis mais superficiais do perfil (talus), porém com aumento significativo na relação $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO}$;

- piroxênios: sua alteração inicia-se tanto a partir de linhas de clivagem, como de contatos intergranulares; começa já na própria rocha, ou no "horizonte C", prosseguindo até o nível inferior do talus ("horizonte A"). Na porção de capeamento estéril e na matriz do talus, os piroxênios são praticamente ausentes. Aparentemente, as variedades sódicas são mais resistentes à alteração intempérica que os tipos mais cálcico-magnesianos. Como produtos, tem-se óxidos-hidróxidos de ferro e secundariamente argilominerais (do grupo de 14 - 15 Å);

- anfibólios: mostram comportamento semelhante ao dos piroxênios, sendo mais estáveis que estes;

- carbonatos: são rapidamente lixiviados, sendo, por vezes, encontrados ainda em pequenas proporções no "horizonte C".

4.2. O Minério Residual

Para efeito de avaliação do depósito, Vergara (1979 b; 1980) estabeleceu a nomenclatura exposta a seguir, que é utilizada no presente trabalho:

- material residual: abrange o depósito de talus e a porção de rocha intemperizada (inclui, portanto, o depósito de talus e os "horizontes B e C"; figura 9);

- capeamento estéril: abrangendo a maior parcela do depósito de talus, corresponde principalmente a sua parte mais superficial, com teores de P2O5 apatítico abaixo de 5,0% (teor de corte);

- minério residual: constituído por material residual com teor de P2O5 apatítico acima de 5,0% ("horizontes A, B e C");

- minério marginal: corresponde às porções de material previstas de serem lavradas e com teores entre 4,0 a 5,0 % de P2O5 para o material residual e de 3,0 a 4,0 % de P2O5 para a rocha;

- minério de rocha: corresponde à rocha fresca que apresenta teores de P2O5 acima de 4%.

Os mapas de isópacas do capeamento estéril, do talus mineralizado ("horizonte A") e de minério com presença de fosfatos secundários, bem como o mapa de isoteores de P2O5 para o minério residual, estão expostos nas figuras 13 e 14. As maiores espessuras de capeamento estéril ocorrem na porção centro-norte da jazida, em área de predomínio de rochas ultramáficas, enquanto que minério com presença de fosfatos secundários é encontrado na região oeste, coincidentemente com as áreas de maiores espessuras de material residual (ver também figura 9) e com teores mais elevados de fósforo apatítico.

O minério residual apresenta uma reserva de 65.100.000 t de minério, com teor médio de 7,58% de P2O5 apatítico (teor de corte de 5,0%). Apatita é o principal mineral de fosfato, representando em média cerca de 96,5% do total de P2O5 contido no minério residual. Nos níveis mais superficiais do perfil, ocorre um alumino-fosfato amorfo, que aparece como finos agregados porosos, impregnados por óxidos-hidróxidos de ferro (Ziesemer e Kahn, 1980).

No material residual, o "horizonte B" corresponde à maior parcela de minério a ser explotado (tabela 6). A apatita ocorre principalmente ocupando os interstícios dos grãos de silicatos e, secundariamente, sob a forma de veios, vênulas e bolsões (Vergara 1979 b).

TABELA 6
DISTRIBUIÇÃO DOS DIVERSOS HORIZONTES NA JAZIDA

Tipo de material	Distribuição no	
ou horizonte	material a ser	
	a ser lavrado (%)	
----- -----		
capeamento estéril	16,8	
"horizonte A"	22,5	
"horizonte B"	57,4	
"horizonte C"	3,3	

"horizonte A" corresponde à porção de talus mineralizado

Estudos microscópicos, em amostras de minério residual, indicam que a apatita é geralmente primária (ou seja de cristalização magmática e/ou metassomática) e, neste caso, de origem residual, guardando as relações texturais encontradas originalmente na rocha alcalina pré-existente. Ocorre também, secundariamente, geração supergênica de apatita, que se deposita intersticialmente aos grãos primários de apatita e silicatos (em parte substituindo carbonatos pré-existentes) ou ao longo de fissuras e microfraturas (fotomicrografias 2A a 2F). Quimicamente, a apatita autigênica é uma variedade empobrecida em fluor e mais birrefringente (maior teor de CO₂). São ainda comuns feições de dissolução ou corrosão da apatita residual (fotomicrografias 2F e 2G) e de precipitação intersticial de óxidos-hidróxidos de ferro, responsável pela impregnação superficial dos grãos de apatita (fotomicrografias 2D, 2G e 2H), constituindo feição enormemente prejudicial na etapa de concentração.

Outros aspectos texturais do minério são mostrados na prancha 3. As fotos 3A e 3H/3I apresentam exposições do minério em área de ocorrência de rochas ultramáficas e de material de talus mineralizado; as demais fotomicrografias mostram características texturais e de produtos de alteração de diferentes tipos litológicos.

Os teores médios de P2O5 apatítico para a rocha fresca e o material residual, respectivamente de 5,51% e 6,72% de P2O5, estabelecem uma relação de enriquecimento de 1,21 para as porções enquadradas como reserva geológica (PAA, 1980 c); excluindo-se o capeamento estéril, esta relação passa a ser da ordem de 1,49.

TABELA 2

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS DIFERENTES TIPOS DE ROCHAS DO MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS

	SÉRIE DOS	SÉRIE DOS	SÉRIE DOS	SÉRIE DAS ROCHAS	CARBONATITOS	CARBONATITOS
	ÁLCALI-SIENITOS	NEFELINA SIENITOS	IJOLITOS	ULTRABÁSICAS	SOVÍTICOS	BEFORSÍTICOS
	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)
TEORES (%)	MÉDIA MAX. MIN.	MÉDIA MAX. MIN.	MÉDIA MAX. MIN.	MÉDIA MAX. MIN.	MÉDIA MAX. MIN.	MÉDIA MAX. MIN.
P2O5	3.29 9.33 .63	5.79 10.00 2.43	5.51 12.76 1.93	7.43 15.60 2.10	4.97 5.56 4.17	<0.10 .15 <0.10
CaO	10.42 23.10 3.98	19.03 30.00 11.50	16.96 26.50 8.70	18.06 30.10 10.60	52.79 55.20 50.90	18.87 23.00 14.70
SiO2	50.43 56.40 33.00	37.55 48.40 25.80	33.57 41.40 19.40	26.86 38.00 13.20	2.58 4.13 1.23	12.03 15.30 8.96
Al2O3	9.04 12.70 4.71	7.16 12.30 4.09	7.86 13.70 3.20	4.58 8.00 1.23	.28 .25 .01	.10 .66 <0.10
Fe2O3 (3)	9.86 13.00 6.38	10.48 13.40 8.65	14.87 24.10 6.83	20.11 35.60 13.00	4.43 7.90 2.92	11.51 13.70 8.49
K2O	6.73 9.49 3.32	4.08 6.82 1.34	3.01 4.77 1.70	3.06 5.92 .64	.13 .47 .01	<0.10 .66 <0.10
Na2O	3.77 5.56 2.86	3.21 5.69 1.35	3.34 4.80 2.05	2.19 3.40 1.19	ND ND ND	ND ND ND
MgO	4.94 6.20 2.85	5.73 6.65 4.51	6.94 11.67 5.37	10.59 13.00 5.97	ND ND ND	ND ND ND
BaO	<0.10 .29 <0.10	.15 .49 <0.10	.52 2.41 <0.10	.87 5.37 <0.10	<0.10 .10 <0.10	5.76 11.90 2.65
CaO/P2O5	3.17	3.29	3.08	2.43	10.62	

(1) RODRIGUES(1985)

(2) VERGARA(1979), MÉDIA DE 19 AMOSTRAS

(3) FERRO TOTAL CALCULADO COMO Fe2O3

ND NAO DETERMINADO

TABELA 3

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS DIFERENTES TIPOS DE ROCHAS DO RABÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS

	GRANITOS			ROCHAS DE DIQUES			SÉRIE DOS			SÉRIE DOS			SÉRIE DOS			SÉRIE DAS ROCHAS			CARBONATITOS			CARBONATITOS		
	ENCAIXANTES			(FENOCRISTAIS)			ÁLCALI-SIENITOS			NEFELINA SIENITO			IJOLITOS			ULTRABÁFICAS			SOVÉTICOS			BEFORSÉTICOS		
	(1)			(1)			(2)			(3)			(3)			(3)			(3)			(4)		
	(12 AMOSTRAS)			(10 AMOSTRAS)			(37 AMOSTRAS)			(15 AMOSTRAS)			(35 AMOSTRAS)			(37 AMOSTRAS)			(37 AMOSTRAS)			(4 AMOSTRAS)		
MINERAIS (2)	NÉDIA	NAX	NIN	NÉDIA	NAX	NIN	NÉDIA	NAX	NIN	NÉDIA	NAX	NIN	NÉDIA	NAX	NIN	NÉDIA	NAX	NIN	NÉDIA	NAX	NIN	NÉDIA	NAX	NIN
FELOSP.POTÁSSICO	42	54	39	2	10	-	61	94	9	43	67	13	1	13	-	-	.5	-	-	-	-	-	-	
PLAGIOCL.(CANIO)	21	24	12	-	-	-	2	22	-	.6	4	-	.3	3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
NEFELINA (5)	-	-	-	10	21	4	1	5	-	19	43	2	35	63	11	.7	9	-	-	-	-	-	-	
PIROXÊNIO	TR	TR	-	10	23	4	28	55	4	18	40	-	36	60	-	33	93	-	-	-	-	-	-	
ANFIBÓLIO	TR	1	-	1	4	-	2	9	-	TR	1	-	TR	2	-	1	24	-	1	23	-	-	-	
OLIVINA (5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	63	-	.8	8	-	.7	3	
BIOTITA-FLOROPITA	3	4	3	1	3	-	2	25	-	10	40	-	10	56	-	26	64	-	3	8	-	1	3	
QUARTZO (6)	32	41	29	-	-	-	TR	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.1	2	-	2	7	
ZEOLITAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.4	5	-	2	26	-	.5	11	-	-	-	-	-	-	
ZINCONITA	TR	TR	TR	-	-	-	TR	TR	-	-	TR	-	-	-	-	-	.3	-	-	-	-	-	-	
TITANITA	-	-	-	TR	1	TR	1	31	-	.3	1	-	-	-	-	.5	6	-	-	-	-	-	-	
CARBONATOS (7)	-	-	-	-	-	-	2	15	-	2	5	.2	2	8	-	3	22	-	-	-	-	-	-	
CALCITA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	96	31	TR	11	
DOLOM.+ALSTONITA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	31	-	67	77 15	
APATITA	TR	TR	TR	-	-	-	4	5	-	6	29	-	10	53	-	15	39	-	9	25	-	2	9	
RUTILO	-	-	-	-	-	-	-	TR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
OPACOS	TR	1	TR	TR	TR	-	.3	2	-	.8	6	-	2	10	-	11	62	-	5	30	-	3	10	
CLORITA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	19	-	-	-	
ARGILOMINERAIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	35	-	24	34 20	
ESFALERITA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.6	2	
PIROCLORO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.4	1 TR	

(1) BELCHER E COUTINHO(1966) E RODRIGUES(1985)

(2) BELCHER E COUTINHO(1966), EXCLUÍDO SHONKINITOS, E RODRIGUES(1985)

(3) RODRIGUES(1985)

(4) PRESENTES PRINCIPALMENTE NO FURD FURD 49

(5) RARAMENTE INALTERADA

(6) INCLUI CALCEDÔNIA, NAS ROCHAS NAO GRANÍTICAS, VER REFERÊNCIAS EM (1)

(7) CALCITA PREDOMINANTE

TABELA 4

COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE AMOSTRAS SELECIONADAS DE GRANITOS ENCAIXANTES E DE ROCHAS ALCALINAS E CARBONATITOS DO MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS

AMOSTRAS	TEORES (%)												TOTAL
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	P.F.O ₆ O	
A2 (LEUCO GRANITO)	74.86	.25	12.44	1.22	.90	.05	.26	.63	2.99	5.44	.05	.78	99.87
A5 (LEUCO GRANITO)	73.72	.23	12.94	.95	.97	.05	.18	.84	3.18	6.06	.04	.72	99.88
A1 (ÁLCALI-SIENITO)	53.67	.52	13.76	.70	9.46	.21	2.71	3.71	2.46	9.00	1.96	1.76	99.92
F18-43.80 m (ÁLCALI-SIENITO)	61.06	.94	16.06	.63	1.96	.06	.50	2.94	1.54	12.84	.67	.74	99.94
F27-35.00 m (ÁLCALI-SIENITO)	53.16	.35	10.90	2.24	5.67	.16	2.84	10.64	2.10	7.71	2.85	1.34	99.76
F04-32.70 m (NEFELINA SIENITO)	52.95	.64	19.17	1.74	4.07	.10	.81	4.49	5.08	7.56	.42	2.74	99.77
F22-42.90 m (MALIGNITO)	43.04	.54	11.25	3.56	4.50	.12	4.45	15.27	2.70	5.87	6.79	1.50	99.59
F04-67.50 m (APATITA IJOLITO)	43.43	1.42	11.42	2.24	10.06	.18	4.42	14.59	4.92	2.17	3.25	1.65	99.75
F54-25.00 m (IJOLITO)	41.13	1.03	18.10	3.33	4.34	.13	3.42	11.65	9.69	3.10	2.72	.97	99.61
F01-40.00 m (APATITA BIOTITA PIROXENITO)	32.78	3.59	4.51	10.20	10.90	.21	14.03	15.05	1.01	2.02	2.87	1.67	98.84
F02-78.90 m (APATITA BIOTITA PIROXENITO)	34.35	2.68	4.39	12.50	11.90	.22	10.15	15.27	.78	2.57	3.28	.53	98.62
F45-27.70 m (APATITA PIROXENIO BIOTITITO)	29.28	1.98	7.03	7.06	6.37	.16	12.63	17.43	.53	4.93	8.38	3.42	99.20
F11-51.50 m (SÖVITO)	2.27	.13	.08	2.36	3.70	.29	4.11	46.57	----	.18	2.36	35.69	99.74
F56-116.40 m (SÖVITO)	2.04	.28	.55	4.26	8.91	.24	4.01	43.22	----	.42	2.64	32.95	99.52

(SEGUNDO RODRIGUES, 1985; PARA LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE FUROS DE SONDAGENS VER FIGURA 8)

COMPOSIÇÕES NOVAS DE ARGENTAS SELECIONADAS DE GRANITOS ENCAIXANTES E DE ROCHAS ALCALINAS E CARBONATÍFICAS DO MACIÇO ALCALINO DE ANTIFÓLIS

[illegible]

"capas" circundando cristais de plagioclásio e ortoclásio (Melcher e Coutinho, 1966; Rodrigues, 1985).

3.2.3. Rochas de Dique

As rochas de diques, segundo Melcher e Coutinho (1966) e Rodrigues (1985), cortam o granito encaixante em vários pontos da periferia do maciço. São rochas insaturadas de coloração verde escura a preta, granulação fina e textura porfírica, classificadas genericamente como tingualitos; apresentam fenocristais de nefelina e piroxênio e, subordinadamente, de feldspato potássico, representando em média 1/4 do volume da rocha. Como já mencionado, as relações U/Th nesses diques são maiores nas regiões afastadas do maciço alcalino (Pozza e Garcia, 1974).

3.2.4. O maciço alcalino

Os tipos litológicos encontrados no maciço alcalino (Streickeisen, 1973), pertencem aos campos 6*, 6, 11, 15 e 16. São rochas em geral mineralógica e texturalmente muito variadas, com rápida passagem de um tipo para outro, às vezes em questão de poucos centímetros. De maneira muito resumida, identificam-se três grandes grupos. O primeiro deles mostra o feldspato alcalino como mineral predominante, acompanhado de pequenos conteúdos de nefelina ou quartzo. O segundo grupo corresponde ao conjunto de rochas com predomínio de piroxênio e nefelina (ijolitos e rochas associadas) e o terceiro à rochas com abundância de minerais máficos. Estas rochas encontram-se como unidades no maciço, constituindo conjuntos mapeáveis através de dados de sondagens, e foram agrupadas como "séries" (ver IPT 1979; Vergara 1979 b, 1980; Rodrigues, 1985), conforme indicado a seguir:

- série dos feldspato alcalino quartzo sienitos;
- série dos feldspato alcalino sienitos;
- série dos nefelina sienitos;
- série dos ijolitos;
- série das rochas ultramáficas.

Todas essas rochas acham-se irregularmente cortadas por veios de carbonatitos sovíticos, de espessura variada (mm até m). Um corpo localizado de carbonatito beforsítico ocorre na porção centro-sul do maciço (furo-49), na área limítrofe entre ijolitos e rochas ultramáficas (figura 7).

A série dos feldspato alcalino quartzo sienitos, descrita por Vergara (1979 b; 1980), ocorre no bordo SW do maciço, comumente cortada por veios de quartzo. Dados químicos e petrográficos não são disponíveis para esta unidade. Trata-se de um conjunto litológico mineralogicamente intermediário entre os granitos encaixantes e a série dos feldspato alcalino sienitos, oriundo de processos metassomáticos.

A série dos feldspato alcalino sienitos ocorre na periferia do maciço, formando uma auréola da qual são observados escassos afloramentos. É constituída por rochas com feldspato potássico e piroxênio como minerais predominantes. São encontrados desde termos leucocráticos (feldspato alcalino sienitos), pobres em piroxênios, a termos melanocráticos (lusitanitos). Rodrigues (1985) incorpora esta série à anterior, definindo uma única unidade que denomina a "série dos álcali-sienitos".

A série dos nefelina sienitos é formada por rochas constituídas por proporções variadas de nefelina, feldspato potássico e piroxênio, passando de verdadeiros nefelina sienitos e sienitos (conteúdos variáveis de feldspato e/ ou nefelina) até malignitos e shonkinitos, por aumento nas proporções de piroxênio. A nefelina está quase que totalmente substituída por zeólitas, sericita e, mais raramente, por carbonatos.

A série dos ijolitos apresenta mineralogia bastante simples, predominando nefelina (alterada) e piroxênio; corresponde a "série dos urtitos" de IPT (1979) e Vergara (1979 b ; 1980). Os termos mesocráticos são francamente dominantes sobre os leucocráticos (urtitos) e melanocráticos (melteigitos). As rochas desta série apresentam-se de duas maneiras distintas. Na porção oeste, as rochas são texturalmente heterogêneas, à semelhança das séries citadas anteriormente. Mais ao sul, as texturas são mais homogêneas e compatíveis com uma cristalização magmática que, para IPT (1979) e Rodrigues (1985), estaria ligada a fenômenos de reomorfismo.

A série das rochas ultramáficas é constituída predominantemente por biotita-piroxenitos. Subordinadamente, observam-se piroxenitos e glimeritos com texturas magmáticas. Foscoritos são descritos por Furtado et alii (1986) na forma de veios na porção central do maciço; são constituídos por magnetita poiquilitica, apatita e pseudomorfos de olivina, além de conteúdos menores de carbonatos e flogopita; baddeleyita e pirocloro são minerais acessórios.

Carbonatitos soviticos (>90% de calcita) ocorrem na forma de veios com espessuras variáveis (desde mm a poucos m). Cortam todas as rochas silicáticas, mas concentram-se na porção central do maciço, em áreas de predomínio de ijolitos e rochas ultramáficas. Rodrigues (1985) descreve alguns veios com maiores proporções de dolomita.

Na porção centro-sul do maciço, próximo à região dos foscoritos, ocorre um pequeno corpo de carbonatito beforsítico, detectado através de sondagem (furo 49). Este corpo, cuja intrusão é controlada por um sistema de fraturamento, é constituído por uma particular assembléia mineral, com predomínio de dolomita, alstonita e/ou baritocalcita e argilominerais (esmectitas); como constituintes menores tem-se esfalerita, pirocloro, cordilita, witherita e sílica amorfa. Em analogia aos exemplos mostrados por Le Bas (1981), sobre diferenciação de carbonatitos (que evoluíram para termos mais ricos em Sr, Ba, TR, Mn, MgO e Fe₂O₃), este "corpo" beforsítico pode ser, provavelmente, uma das últimas manifestações carbonatíticas do maciço alcalino de Anitápolis.

As evidências geológico-estruturais e interpretações petrológicas sugerem a seguinte sequência de eventos (Rodrigues, 1985):

a) falhamento, fraturamento e brechação das rochas graníticas;

b) introdução de um magma de composição ultramáfica alcalina (biotita piroxenítica), na porção central do maciço;

c) metassomatismo durante e após a intrusão. Fraturas nas rochas granitoides e ultramáficas foram percoladas por soluções alcalinas com as seguintes reações:

- biotitização e/ou flogopitização parcial dos

piroxênios das rochas ultramáficas, com introdução de K, Al e Mg e remoção de Ca, Na e Si;

- fenitização gradativa do granito, nas zonas mais externas, por introdução de Ca, Mg, Fe, K e Na e remoção de Si. O processo metassomático teve caráter sódico nas porções mais externas do maciço, tornando-se gradualmente mais intenso e mais cálcico-magnesiano, em direção ao centro ultramáfico do maciço;

- nefelinização dos feldspatos com introdução de Na e Al e, possivelmente, com remoção de Si, gerando tanto ijolitos (com simultânea formação de piroxênio) como rochas da série dos nefelina sienitos, por transformação das rochas encaixantes granitoides;

- nefelinização dos piroxênios das rochas ultramáficas intrusivas, por introdução de mais Na, além de K e Al, e remoção de Ca, Mg, Fe e, possivelmente, algum Si, com geração de rochas da série dos ijolitos;

e) reomorfismo, como consequência final dos processos metassomáticos, gerando líquidos que, localmente reinjetados, cristalizaram-se como ijolitos e nefelina sienitos com texturas magmáticas;

f) injeção de material carbonatítico nos estágios finais da atividade magmática-metassomática, acompanhado de atividade hidrotermal sobre as rochas silicáticas encaixantes, originando fenômenos de uralitização, biotitização, flogopitização, cancrinitização e zeolitização.

A apatita, segundo IPT (1979) e Rodrigues (1985), encontra-se tanto nas rochas magmáticas como nas metassomáticas. A apatita primária (magmática) é explicada pela existência de um magma ultrabásico rico em fósforo, com a formação de apatita durante todo o tempo de cristalização magmática, acentuadamente nas fases tardi-magmáticas. A apatita primária que é encontrada nas rochas metassomáticas cristalizaria a partir de fluidos metassomáticos, que provocaram a piroxenização, supostamente ricos em fósforo.

Os sovitos de Anitápolis apresentam uma mineralização de apatita restrita e volumetricamente pouco expressiva. Os beforsitos, encontrados no furo 49 e na galeria GPF, são isentos de apatita.

Os resultados de avaliação e parametrização da jazida de

fosfato indicam para o minério de rocha uma reserva de 213.010.000 t, com teor médio de 5,77% de P₂O₅. O maior volume da reserva é representado por minério encontrado na série dos ijolitos, seguido pela série das rochas ultramáficas e série dos nefelina sienitos (Vergara, 1979b e 1980; PAA, 1987b).

3.2.5. Aluviões

Os depósitos aluvionares cobrem aproximadamente 15% da área do maciço, na sua porção centro-leste (figura 7).

Apresentam espessuras variáveis que, de maneira geral, crescem em direção ao contato leste, onde chegam a atingir até 17,0 m. Nas imediações do rio Pinheiros a cobertura é menor, 1,0 m ou menos, havendo novamente um acréscimo de espessura no sentido oeste (Vergara 1979 b).

Os aluviões são formados por seixos de tamanhos variados, constituídos tanto por rochas alcalinas como granitóides, imersos em uma matriz areno-siltico-argilosa. Vergara (1979 b) cita a presença de estratos bem definidos, com alternância de materiais siltico-arenosos e argilosos, e por vezes até delgados níveis de magnetita detritica.

CAPITULO 4

CARACTERISTICAS GERAIS DO MANTO DE INTEMPERISMO

4.1. O Perfil de Alteração

O manto de intemperismo do maciço alcalino de Anitápolis apresenta uma espessura média da ordem de 30 m, com valores extremos de 10 e 50 m. É caracterizado pela presença de três níveis principais: o mais superficial, ou talus, é formado a partir de um depósito de encosta, e os outros dois, inferiores, são formados por alteração intempérica das rochas alcalinas. Os mapas de isópacas dos três horizontes separados e do material residual total são apresentados nas figuras 9 a 11.

A subdivisão do manto de intemperismo em três níveis (Vergara, 1979 b) foi baseada principalmente na descrição de testemunhos de sondagens, com base em aspectos texturais, estado de alteração dos minerais presentes e grau de coesão, utilizando, portanto, critérios que são algo subjetivos. Ensaios de sísmica de refração, executados no bordo oeste-sudoeste, não caracterizaram o contato do talus com os horizontes inferiores, tal como observado a partir da descrição dos furos de sondagens existentes (furos 107 e 108). Da mesma maneira, os dados quílicos disponíveis (teores de P2O5 e CaO) não mostram variações sistemáticas que possam ser utilizadas na definição dos limites entre os três horizontes (ver discussão no item 11.1.).

O depósito de talus cobre a quase totalidade da jazida. É constituído por blocos e seixos predominantemente de rochas alcalinas, imersos em matriz siltico-argilosa. Sua espessura, bem como a dimensão dos blocos e a relação blocos/matriz, diminui em direção às porções mais centrais e inferiores do maciço. As espessuras máximas, de 20 m ou mais, são encontradas junto à escarpa do bordo SW; nas porções central, leste e centro-meridional, ocorrem espessuras significativamente menores. As feições acima descritas indicam uma clara relação entre a topografia atual do maciço e a geometria e estrutura do colúvio, sugerindo que esse depósito se formou em épocas relativamente recentes.

FIGURA 9

MAPAS DE ISÓPACAS DO MATERIAL RESIDUAL E DO TALUS

FIGURA 10

MAPAS DE ISÓPACAS DO "HORIZONTE B" E DO "HORIZONTE C"

FIGURA II

MAPA DE ISÓPACAS DO "HORIZONTE B+C"
ROCHA ALTERADA

Mineralogicamente, o horizonte de talus é constituído predominantemente por feldspatos, goethita e eventuais óxidos-hidróxidos amorfos de ferro, caolinita/esmectita, e conteúdos menores de fosfatos secundários (1), vermiculita, magnetita e quartzo (derivado da alteração das rochas encaixantes). Apatita e, subordinadamente, piroxênio e anfibólio, ocorrem nos níveis mais inferiores e/ou menos alterados do talus, constituindo (junto com os minerais já citados) um horizonte mineralizado, que Vergara (1980) denomina de "horizonte A". Costa (1987), em um estudo do perfil do furo 22, menciona a existência de uma região de transição entre o nível de talus e o seguinte, no qual nota-se significativo incremento de fragmentos de composição semelhante à da litologia subjacente; esta porção de transição é a que usualmente caracteriza o "horizonte A"

O horizonte seguinte, sotoposto ao depósito de talus, é de material intemperizado; representa a maior parcela do perfil e nele as estruturas e texturas originais da rocha pré-existente estão ainda bem preservadas. Este horizonte foi denominado por Vergara (1980) de "horizonte B" e por Ziesemer e Kahn (1980) de "zona intermediária". Sua espessura média é superior a 10 m, ocorrendo regiões com até 20 m ou mais (porção NW da jazida, figura 10).

(1) O termo "fosfato secundário" na literatura sobre mineralizações de fosfatos apatíticos é usualmente empregado para designar fosfatos não apatíticos, usualmente detectados por baixos valores na relação $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ (menor que 1,3); estes minerais, que comumente englobam gorceixita, goyazita, wavelita, variscita e florencita, entre outros, não são recuperados no processo. Assim, exclui-se deste termo a apatita de origem supergênica (neoformada), a qual também é recuperada pelos processos usuais de concentração. Em Anitápolis, os fosfatos secundários são constituídos essencialmente por alumino-ferro(?) - fosfatos amorfos e wavelita; gorceixita e/ou goyazita foram observadas localmente (Anexo 3).

Neste horizonte, os processos intempéricos alteraram os minerais primários, pelo menos parcialmente, com a formação de vermiculita (associada a hidrobiotita e/ou esmectita), oriunda da alteração de biotita-flogopita, junto com alguma limonitização de piroxênio e anfibólio e cristalização de apatita supergênica em microfraturas ou intersticialmente aos grãos minerais. Os carbonatos originais já foram totalmente lixiviados, e outros argilominerais (caolinita, clorita, esmectita) são encontrados em pequenas quantidades. Ilita é observada principalmente como produto de alteração de nefelina e/ou analcima; a caolinização dos feldspatos é incipiente.

O horizonte inferior é constituído por rocha pouco decomposta e com menor grau de coesão que a rocha fresca. Representa uma pequena parcela da jazida, cerca de 3%, estando restrito à porção central e SW da jazida; as espessuras observadas são usualmente inferiores a 10 m (figura 10). Predominam os mesmos minerais encontrados nas litologias subjacentes; grau algo mais elevado de alteração é apresentado pela biotita-flogopita, a qual dá origem a micas de camadas mistas (hidromicas) e a vermiculita. Óxidos e hidróxidos de ferro aparecem como alteração apenas incipiente de outros minerais máficos; são também encontrados carbonatos, não totalmente lixiviados. As estruturas e texturas primárias encontram-se muito bem preservadas. Vergara (1980) denominou este nível de "horizonte C" e Ziesemer e Kahn (1980) de "zona mais compacta".

Valores de pH e Eh (Costa, 1987) caracterizam a predominância de um meio alcalino no "horizonte C", ligeiramente ácido a neutro e oxidante no "horizonte B" e ácido e oxidante no talus.

A partir da somatória dos "horizontes B e C" (rocha alterada) verifica-se que em algumas porções da jazida os processos intempéricos foram mais atuantes e atingiram maiores profundidades (figura 11). Dois perfis esquemáticos de alteração, desenvolvidos sobre rochas sieníticas e máficas-ultramáficas, são mostrados na figura 12. A interferência no grau de evolução do perfil de alteração causada pela presença do depósito de talus, como cobertura dos níveis subjacentes, não foi pesquisada.

BORDO OESTE E SUDOESTE

ZONA CENTRAL, LESTE E SUL

FIGURA 12

PERFIS ESQUEMÁTICOS

OBSERVADOS NA JAZIDA

A sequência de alteração dos minerais, indicada a partir de observações microscópicas, em cerca de 60 secções delgadas, e também segundo dados de Costa (1987), é apresentada a seguir para os principais minerais presentes:

- apatita: altera-se dando origem a fosfatos secundários (amorfos ou wavelita) e, subordinadamente, a carbonato-apatita neoformada, principalmente a partir do "horizonte B", em um processo crescente para os níveis mais superficiais do perfil. Fosfatos secundários encontram-se sobretudo nos níveis mais superficiais (capeamento estéril e "horizonte A"), enquanto que a carbonato-apatita é formada principalmente no "horizonte C";

- feldspatos: nos níveis constituídos por rocha intemperizada ("horizontes B e C"), sua alteração se caracteriza por uma caolinização incipiente, acompanhada por impregnação de óxidos de ferro em intensidade variável. Caolinização mais intensa é verificada no horizonte de talus, principalmente nos fragmentos de rochas sieníticas;

- biotita-flogopita: altera-se rapidamente para vermiculita ("horizonte C"), comumente com uma fase intermediária de hidrobiotita. A vermiculita permanece até os níveis mais superficiais do perfil (talus), porém com aumento significativo na relação $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO}$;

- piroxênios: sua alteração inicia-se tanto a partir de linhas de clivagem, como de contatos intergranulares; começa já na própria rocha, ou no "horizonte C", prosseguindo até o nível inferior do talus ("horizonte A"). Na porção de capeamento estéril e na matriz do talus, os piroxênios são praticamente ausentes. Aparentemente, as variedades sódicas são mais resistentes à alteração intempérica que os tipos mais cálcico-magnesianos. Como produtos, tem-se óxidos-hidróxidos de ferro e secundariamente argilominerais (do grupo de 14 - 15 A);

- anfibólios: mostram comportamento semelhante ao dos piroxênios, sendo mais estáveis que estes;

- carbonatos: são rapidamente lixiviados, sendo, por vezes, encontrados ainda em pequenas proporções no "horizonte C".

4.2. O Minério Residual

Para efeito de avaliação do depósito, Vergara (1979 b; 1980) estabeleceu a nomenclatura exposta a seguir, que é utilizada no presente trabalho:

- material residual: abrange o depósito de talus e a porção de rocha intemperizada (inclui, portanto, o depósito de talus e os "horizontes B e C"; figura 9);

- capeamento estéril: abrangendo a maior parcela do depósito de talus, corresponde principalmente a sua parte mais superficial, com teores de P2O5 apatítico abaixo de 5,0% (teor de corte);

- minério residual: constituído por material residual com teor de P2O5 apatítico acima de 5,0% ("horizontes A, B e C");

- minério marginal: corresponde às porções de material previstas de serem lavradas e com teores entre 4,0 a 5,0 % de P2O5 para o material residual e de 3,0 a 4,0 % de P2O5 para a rocha;

- minério de rocha: corresponde à rocha fresca que apresenta teores de P2O5 acima de 4%.

Os mapas de isópacas do capeamento estéril, do talus mineralizado ("horizonte A") e de minério com presença de fosfatos secundários, bem como o mapa de isoteores de P2O5 para o minério residual, estão expostos nas figuras 13 e 14. As maiores espessuras de capeamento estéril ocorrem na porção centro-norte da jazida, em área de predomínio de rochas ultramáficas, enquanto que minério com presença de fosfatos secundários é encontrado na região oeste, coincidentemente com as áreas de maiores espessuras de material residual (ver também figura 9) e com teores mais elevados de fósforo apatítico.

O minério residual apresenta uma reserva de 65.100.000 t de minério, com teor médio de 7,58% de P2O5 apatítico (teor de corte de 5,0%). Apatita é o principal mineral de fosfato, representando em média cerca de 96,5% do total de P2O5 contido no minério residual. Nos níveis mais superficiais do perfil, ocorre um alumino-fosfato amorfo, que aparece como finos agregados porosos, impregnados por óxidos-hidróxidos de ferro (Ziesemer e Kahn, 1980).

No material residual, o "horizonte B" corresponde à maior parcela de minério a ser explotado (tabela 6). A apatita ocorre principalmente ocupando os interstícios dos grãos de silicatos e, secundariamente, sob a forma de veios, vênulas e bolsões (Vergara 1979 b).

TABELA 6
DISTRIBUIÇÃO DOS DIVERSOS HORIZONTES NA JAZIDA

! Tipo de material !	Distribuição no !
! ou horizonte !	material a ser !
! !	a ser lavrado (%) !
!-----!-----!	!-----!
! capeamento estéril !	16,8 !
! "horizonte A" !	22,5 !
! "horizonte B" !	57,4 !
! "horizonte C" !	3,3 !
!-----!-----!	!-----!

"horizonte A" corresponde à porção de talus mineralizado

Estudos microscópicos, em amostras de minério residual, indicam que a apatita é geralmente primária (ou seja de cristalização magmática e/ou metassomática) e, neste caso, de origem residual, guardando as relações texturais encontradas originalmente na rocha alcalina pré-existente. Ocorre também, secundariamente, geração supergênica de apatita, que se deposita intersticialmente aos grãos primários de apatita e silicatos (em parte substituindo carbonatos pré-existent) ou ao longo de fissuras e microfraturas (fotomicrografias 2A a 2F). Quimicamente, a apatita autigênica é uma variedade empobrecida em fluor e mais birrefringente (maior teor de CO₂). São ainda comuns feições de dissolução ou corrosão da apatita residual (fotomicrografias 2F e 2G) e de precipitação intersticial de óxidos-hidróxidos de ferro, responsável pela impregnação superficial dos grãos de apatita (fotomicrografias 2D, 2G e 2H), constituindo feição enormemente prejudicial na etapa de concentração.

Outros aspectos texturais do minério são mostrados na prancha 3. As fotos 3A e 3H/3I apresentam exposições do minério em área de ocorrência de rochas ultramáficas e de material de talus mineralizado; as demais fotomicrografias mostram características texturais e de produtos de alteração de diferentes tipos litológicos.

Os teores médios de P2O5 apatítico para a rocha fresca e o material residual, respectivamente de 5,51% e 6,72% de P2O5, estabelecem uma relação de enriquecimento de 1,21 para as porções enquadradas como reserva geológica (PAA, 1980 c); excluindo-se o capeamento estéril, esta relação passa a ser da ordem de 1,49.

FIGURA 13

MAPAS DE ISÓPACAS DO CAPEAMENTO ESTÉRIL E DO TALUS MINERALIZADO

(Adaptado de VERGARA, 1979 b)

FIGURA 14

**MAPAS DE ISÓPACAS DE MINÉRIO COM PRESENÇA DE FOSFATOS
SECUNDÁRIOS E DE ISOTEORES DE P_2O_5**

PRANCHA 2

FOTOMICROGRAFIA 2A - Furo NS-02 (cruz geoestatística), 32 a 35 m: "horizonte C", rocha incipientemente alterada constituída por piroxênios e apatita com vermiculita subordinada; óxidos-hidróxidos de ferro ocorrem preferencialmente em microfraturas.

FOTOMICROGRAFIA 2B - Furo NS-02 (cruz geoestatística), 26 a 28 m: "horizonte C", carbonato-apatita (cap) supergênica em microfraturas de apatita; fosfatos secundários (amorfos ?) na porção central da fratura.

FOTOMICROGRAFIA 2C - Furo NS-02 (cruz geoestatística), 21 a 26 m: "horizonte B", grãos de apatita com carbonato-apatita supergênica (cap) intersticial.

FOTOMICROGRAFIA 2D - Furo NS-02 (cruz geoestatística), 21 a 26 m: "horizonte B", grãos de apatita com interstícios preenchidos por óxidos-hidróxidos de ferro e/ou argilominerais e mais raramente por carbonato-apatita. Carbonato-apatita (cap) ocorre preferencialmente preenchendo microfraturas.

FOTOMICROGRAFIA 2E - Furo NS-02 (cruz geoestatística), 17 a 21 m: "horizonte B", grãos de apatita com interstícios preenchidos por minerais supergênicos (carbonato-apatita e fosfatos secundários ?) ao lado de grão de vermiculita.

FOTOMICROGRAFIA 2F - Furo NS-02 (cruz geoestatística), 17 a 21 m: "horizonte B", carbonato-apatita (supergênica) intersticial à apatita primária, com feições de corrosão da apatita e preenchimento por carbonato-apatita.

FOTOMICROGRAFIA 2G - Amostra T.5.0. 0003/86 (-100 +200#) : aspecto geral da apatita; grãos límpidos com impregnações pontuais de óxidos-hidróxidos de ferro são os mais comuns.

FOTOMICROGRAFIA 2H - Amostra T.5.0. 0003/86 (-100 +200#), detalhe foto 2G : detalhe da porção central da foto 2G. O aspecto corroído da apatita é devido a dissolução parcial (sulcos).

PRANCHA 2

PRANCHA 3

FOTO 3A - Frente experimental de lava: secção vertical em região de rochas ultramáficas, mostrando os diferentes níveis do perfil de alteração.

FOTOMICROGRAFIA 3B - Frente experimental de lava, cota 748,0 m: "horizonte B", aspecto da alteração de apatita biotitito; presença de vazios relacionados à diminuição de volume e de óxidos-hidróxidos de ferro intersticiais aos grãos de apatita.

FOTOMICROGRAFIA 3C - Frente experimental de lava, cota 759,0 m: óxidos-hidróxidos de ferro e argilominerais se desenvolvendo em microfraturas e interstícios dos grãos de piroxênio e apatita e em linhas de clivagem dos piroxênios.

FOTOMICROGRAFIA 3D - Frente experimental de lava, cota 767,5 m: grãos de apatita imersos em massa de óxidos-hidróxidos de ferro e argilominerais, associados a plaquetas de vermiculita.

FOTO 3E - Frente experimental de lava, cota 745,0 m: aspecto textural da rocha em início de alteração (ap: apatita, car: carbonatos, pir: piroxênios e gei: giesseckita).

FOTOMICROGRAFIA 3F - Furo 46, 18,0 m: "horizonte C", apatita biotitito inalterado (próximo a frente de lava).

FOTOMICROGRAFIA 3G - Furo 36: apatita biotita piroxenito inalterado; carbonatos ocorrem intersticialmente à apatita; anfibólio ocorre em auréolas nas bordas dos grãos de piroxênio (origem metassomática) e mais raramente associado aos carbonatos.

FOTO 3H - Frente GGM: aspecto do material de talus mineralizado encontrado na região da galeria GGM; notar estruturas horizontais relacionadas à formação do depósito de talus.

FOTO 3I - Frente GGM: detalhe da foto anterior.

FOTOMICROGRAFIA 3J - Furo NS-02 (cruz geoestatística), 13 a 16 m (nicks cruzados): talus, fragmento de rocha sienítica; piroxênio, quase que totalmente alterado em óxidos-hidróxidos de ferro, ocorre preferencialmente em microfraturas.

FOTOMICROGRAFIA 3K - Furo NS-02 (cruz geoestatística), 11 a 13 m: talus mineralizado; grãos de apatita imersos em massa de óxidos-hidróxidos de ferro e argilominerais.

FOTOMICROGRAFIA 3L - Furo 49, 19 a 20 m (nicois cruzados): aspecto textural do carbonatito beforsítico constituído basicamente por dolomita, dolomita-ankerita, baritocalcita e/ou alstonita.

FOTOMICROGRAFIA 3M - Furo 49, 12 m (nicois paralelos/cruzados + gipso): beforsito em início de alteração; barita se desenvolvendo em microfraturas.

FOTOMICROGRAFIA 3N - Furo 49, 6 a 7 m: produto da alteração do beforsito; grãos de barita, magnetita e carbonatos imersos em massa de argilominerais e óxidos-hidróxidos de ferro.

FOTOMICROGRAFIA 3O - Furo 49, 0 a 3 m e galeria GPF, 0 a 12 m: aspecto dos grãos de pirocloro, barita e cordilita.

CAPITULO 5

COMPARAÇÃO COM OUTROS MACIÇOS CARBONATITICOS MINERALIZADOS A FOSFATO

Trabalhos de síntese sobre os maciços (1) carbonatíticos brasileiros foram apresentados por Ulbrich e Gomes (1981) e Rodrigues e Lima (1984). Rodrigues (1985), por outra parte, compara o maciço de Anitápolis com outros do Brasil e do mundo, quanto aos aspectos de mineralização, petrografia e estrutura.

A comparação do maciço de Anitápolis com outros complexos carbonatíticos, apresentada a seguir, adota como critério os aspectos da mineralização de fosfato. Englobam-se na discussão os maciços de Araxá, Tapira, Catalão I, Jacupiranga, Juquiá, Ipanema e Angico dos Dias.

A tabela 7 apresenta um sumário das principais características destes maciços.

Estudos comparativos do perfil de alteração, com ênfase nos aspectos ligados à exploração e avaliação de minérios de fosfato, mostram uma sequência característica encontrada em maciços alcalinos nos quais a participação de carbonatitos é mais restrita, principalmente na forma de veios e venulações: Araxá, Tapira, Catalão I e Anitápolis (Beraldo e Telles, 1985 e Paulo Abib Engenharia S.A., informações inéditas). Os horizontes identificados, em número de quatro (figura 15), são os seguintes:

(1) A palavra "complexo" é frequentemente utilizada para identificar maciços ígneos (e. g. "O Complexo Alcalino de Anitápolis", ver Rodrigues, 1985). Prefere-se aqui a denominação de "maciço", meramente descritiva, uma vez que a palavra "complexo" tem uma conotação estratigráfica definida (unidade litoestratigráfica composta pela associação de rochas de diversos tipos, de duas ou mais classes, com ou sem estrutura, ou por misturas estruturalmente complexas de diversos tipos de uma única classe; ver Petri et alii, 1986 (Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica, Rev. Bras. Geoc. 16, p. 380.)

TABELA 07

SUMARIO DAS PRINCIPAIS CARACTERISTICAS DOS MACIGOS ALCALINO-CARBONATITICOS BRASILEIROS MINERALIZADOS A FOSFATO

FEIGOES PRINCIPAIS	ANITAPOLIS (SC)	ARAXA (MG)	TAPIRA (MG)	CATALAO I (GO)	JACUPIRANGA (SP)	JUQUIA (SP)	IPANEMA (SP)	ANGICO DOS DIAS (BA)
IDADE K/Ar (m.a.)	129	91	70	83	133	127	123	2011 (U/Pb)
AREA APROXIMADA km ²	6,0	16,0	33,0	24,0	65,0	13,5	9,0	
FORMA EM PLANTA E DIMENSÕES(km)	± circular, diâmetro 3,5	circular, diâmetro 4,5	oval, 7,0 x 6,0	oval, 5,5 x 6,0	oval, 10,2 x 6,6	oval, 5,4 x 4,0	circular, diâmetro 3,5	tabular, 2,3 x 0,5
ROCHAS ENCAIXANTES	Granitos pré-cambrianos	Quartzitos com micaxistos subordinados, Grupo Araxá, pré-cambriano médio	Quartzitos e xistos, Grupo Canastra, pré-cambriano médio superior	Quartzitos com micaxistos subordinados, Grupo Araxá, pré-cambriano médio	Micaxistos e granodiorito, Grupo Acungui, pré-cambriano superior	Gnaisses com quartzitos e micaxistos subordinados, Grupo Acungui, pré-cambriano superior	Granitos e anfibolitos do embasamento cristalino, Filitos e mármore do Grupo Acungui, arenitos e siltitos do Grupo Tubarão	Gnaisses cataclásticos
LITOLOGIAS PRINCIPAIS	Ijolitos, piroxenitos, biotititos, shonkinitos, nefelina sienitos, feldspato alcalino sienitos, sovitos.	bevorsito, sovito, glimeritos, foscoritos e lamprófiros	carbonatito, piroxenito, peridotito, traquito, uncomphagrito e sienito	carbonatito, peridotito, piroxenito(serpentinolito) e glimerito	carbonatito, jacupirangui- to, piroxenito, peridotito, sienito, essexito, ijolito, monchiquito, tingualto e nefelina sienito	carbonatito, piroxenito, peridotito, ijolito, pulaskito, lamprófiro, sienito, alcaligabro, nefelina sienito e tingualto	sovito, glimerito, sienito, foscorito, piroxenito, lusitanito, pulaskito e nordmarkito	metacarbonatito, meta- alcali sienito, metapiro- xenito e metahornblendito
FENITIZACAO	presente nas rochas do maciço(sienitos, ijolitos, melteigitos e shonkinitos) e nos granitos encaixantes	principalmente em fraturas nos quartzitos e xistos. Incipiente, porém extensa nos granitos encaixantes (largura de até 2,5 km)	presente no traquito, sienito e nas fraturas das rochas encaixantes, principalmente nos quartzitos, auréola irregular com até 2,0 km	atuante em brechas, nefelina sienitos e também no quartzito. Auréola irregular com até 2,0 km	desenvolvida em fraturas na encaixante e representada principalmente por nefelina sienitos	em gnaisses, com desenvolvimento de uma auréola irregular	presente na forma de sienito e na rocha granítica	
CARBONATITO PREDOMINANTE	sovito	bevorsito	sovito	sovito	sovito	bevorsito	sovito	sovito
MANTO DE INTEMPERISMO	solo residual com espessura média de 30 m, localmente atingindo 50 m	solo laterítico com espessura média de 80 m, atingindo 230 m em alguns locais	solo laterítico com espessura média de 30 m, localmente atingindo 250 m	solo laterítico com espessura média de 30 m, localmente atingindo 250 m	solo residual com espessura média de 5 m, localmente atingindo 10 m	solo residual com espessura média de 15 m, localmente atingindo 30 m	solo residual com espessura média de 17 m, localmente atingindo 56 m	solo laterítico com espessura média de 10 m
MINERALIZACAO	P205 - apatita	Nb205 - Ba pirocloro (1) P205 - apatita (2) BaO - barita (3) TR - fosfatos U308	P205 - apatita (1) TiO2 - anatásio (2) Nb205 - Ba pirocloro (3) TR - fosfatos	P205 - apatita (1) Nb205 - Ba pirocloro (2) TiO2 - anatásio (3) TR - fosfatos (4) vermiculita (5)	P205 - apatita (1) Fe - magnetita (2) Ni - garnierita (3)	P205 - apatita (1) Fe - magnetita (2)	P205 - apatita (1) vermiculita (2)	P205 - apatita
JAZIMENTO	manto de intemperismo e rocha fresca	manto de intemperismo	manto de intemperismo	manto de intemperismo	manto de intemperismo e rocha fresca	manto de intemperismo	manto de intemperismo	manto de intemperismo e rocha fresca
RESERVAS TOTAIS DE MINERIO (milhões t)	residual - 65 rocha fresca - 213	462 (1) 460 (2) 463 (3)	921 (1) 95 (2) 166 (3)	306 (1) 19 (2) 6 (3) 2 (4) 5 (5)	89 (1) 1 (2) 3 (3)	2 (1) 1 (2)	117 (1) 5 (2)	residual - ± 20 rocha fresca - ± 50
TEORES MEDIOS (%)	residual - 7,58 P205 rocha fresca - 5,77 P205	Nb205 - 2,48 P205 - 15,07 BaSO4 - 20,67	P205 - 8,32 TiO2 - 17,68 Nb205 - 1,18	P205 - 7,96 Nb205 - 1,08 TiO2 - 19,90 TR203 - 12,00 vermiculita - 14,0	P205 - 6,15 Fe203 - 65,0 Ni - 1,39	P205 - 16,0 Fe203 - 63,9	P205 - 6,73 vermiculita - 20,0	residual - 18,0 rocha fresca - 8,0

REFERENCIAS: Araxá, Tapira, Catalão I, Jacupiranga, Juquiá e Ipanema conforme Rodrigues e Lima (1984)
Angico dos Dias, conforme Silva et alii (1987)

ASPECTOS GERAIS DA SEÇÃO VERTICAL

- ROCHAS ALCALINO-CARBONATÍICAS
- ROCHAS ENCAIXANTES
- ZONA DE FENITIZAÇÃO
- MANTO DE INTEMPERISMO

VARIAÇÕES VERTICAIS DO MANTO DE INTEMPERISMO

FIGURA 15

SEÇÃO ESQUEMÁTICA DOS DEPÓSITOS DE FOSFATO ASSOCIADOS A ROCHAS ALCALINO-CARBONATÍICAS

(Adaptado de BERALDO et al, 1985)

- capeamento estéril: porção superficial do depósito na qual a alteração da rocha é completa. A apatita foi lixiviada praticamente em sua totalidade; o fósforo eventualmente presente ocorre sob a forma de fosfatos secundários (supergênicos), do tipo gorzeixita-goiazita e, menos abundantemente, wavelita, variscita e florencita, entre outros. Este horizonte está enriquecido em Fe, Ti e Al;

- minério oxidado : horizonte constituído mineralogicamente por apatita, óxidos e hidróxidos de ferro (principalmente goethita e hematita), óxidos de titânio (geralmente anatásio) e argilominerais (caolinita e esmectitas, principalmente). Vermiculita, piroxênios, anfibólios e outros silicatos máficos foram transformados em agregados argilo-limoníticos. Ocorrem também proporções menores de fosfatos secundários, oriundos da alteração da apatita. Usualmente o teor de MgO é inferior a 2%. Trata-se de horizonte comumente enriquecido em apatita e tecnologicamente é o de mais fácil tratamento na etapa de beneficiamento;

- minério silicático ou micáceo: neste horizonte os silicatos máficos estão parcial ou totalmente preservados. A composição mineralógica é dependente das características da rocha subjacente. Vermiculita, piroxênios e anfibólios, parcialmente transformados em goethita e/ou argilominerais, são comuns neste horizonte; os carbonatos foram totalmente lixiviados. Feições estruturais e texturais da rocha original estão relativamente bem preservadas. Quimicamente, os teores de MgO variam de 2 - 3 a 8 - 10%. Tecnologicamente, este horizonte apresenta maiores dificuldades para a concentração da apatita que o de minério oxidado;

- zona sílico-carbonatítica ou "carbonatada": corresponde ao horizonte imediatamente acima da rocha fresca, com alteração apenas incipiente. Carbonatos são comuns neste horizonte, caracterizado por elevadas relações CaO/P₂O₅, (geralmente superiores a 2,0), teores elevados de MgO e baixos para o P₂O₅ (similares ou pouco superiores aos da rocha fresca). Neste horizonte tem-se minério de difícil concentração, o qual, presentemente, não é explotado de forma extensiva. Tem-se hoje rígidos controles de lavra de modo a limitar a sua participação

no "run of mine", em razão dos sérios problemas acarretados por este tipo de minério na etapa de beneficiamento (Arafertil em Araxá, Fosfertil em Tapira e Goiásfertil em Catalão I; ver discussão sobre interferências dos minerais no item 6.2).

Algumas variações são observadas neste esquema geral em função da natureza da rocha alcalina subjacente. Apatita supergênica, por vezes associada a óxidos-hidróxidos de ferro, é encontrada na porção inferior do horizonte de minério oxidado, e junto aos minérios micáceo e sílico-carbonatítico.

O perfil de alteração, observado no maciço de Anitápolis, é menos desenvolvido que o apresentado no modelo geral. Os horizontes são pouco espessos e falta a zona tipicamente oxidada. Esta peculiaridade pode, em princípio, estar relacionada à presença do depósito de talus, cobrindo a totalidade da jazida, e/ou às condições climáticas da região, com temperatura média anual e regime de chuvas distinto dos observados nas outras regiões.

Nos complexos alcalino-carbonatíticos com "plugs" carbonatíticos, a espessura do manto de intemperismo é significativamente menor (Jacupiranga, Juquiá e Angico dos Dias ?).

Em Jacupiranga, o minério residual de fosfato apresentava espessura variando entre 1 a 5 m (medido em áreas já totalmente lavradas). O seu contato basal correspondia a uma superfície extremamente irregular, projetando numerosos prismas e cunhas para o interior do corpo carbonatítico, por vezes com desníveis de até 20 m, separados entre si por carbonatito semidecomposto (Melcher, 1965). O minério residual era constituído essencialmente por apatita e magnetita, imersos em uma matriz argilosa (30% em peso com granulometria inferior a 0,074 mm), com teor médio da ordem de 22% P₂O₅ e uma relação de enriquecimento, relativa à rocha carbonatítica fresca, da ordem de 3,5.

No maciço de Juquiá (Born, 1971), a mineralização de fosfato, localizada na extremidade sul-sudoeste da área de ocorrência de carbonatitos (Morro do Serrote), está relacionada a processos supergênicos nos quais os fenômenos de reprecipitação da apatita foram mais importantes, de modo contrário ao observado em Jacupiranga. Parte do minério, derivado de um "proto-minério"

localizado na zona de contato de rochas carbonatíticas com piroxenitos/ijolitos, pode ter origem residual. O fosfato mais importante é a carbonato-apatita (dahlita), criptocristalina e de coloração muito variada, desde branca ou amarelada até marrom escura (associação com óxidos de ferro). Ocorrem ainda no minério: magnetita, óxidos/hidróxidos de ferro secundários, óxidos de manganês, vermiculita, e material "argilo-limonítico" de granulação fina; barita ocorre comumente na forma de veios ou vênulas irregulares. A espessura total do manto de intemperismo é comumente superior a 20 m e nele foram reconhecidos três horizontes distintos, definidos a partir do comportamento do fósforo no perfil: material superficial, com espessuras entre 5 e 15 m e teores de fósforo entre 1 e 5% de P2O5; "minério intermediário", com espessuras entre 1 e 10 m e teores de 5 a 10% de P2O5, representando uma reserva da ordem de 1.000.000 t ; "minério inferior", com teores acima de 15% de P2O5 e uma reserva da ordem de 2.000.000 t.

Para o carbonatito de Angico dos Dias, recentemente descoberto, os dados preliminares de pesquisa (Silva et alii, 1987) indicam a ocorrência de minério residual com teor médio da ordem de 18% P2O5 e de metacarbonatito como "minério primário", com teor da ordem de 8% P2O5; a relação de enriquecimento é de 2,25. A constituição média do metacarbonatito é: 51% de carbonatos (predominantemente calcita), 21% de apatita, 11% de pseudomorfos de olivina, 10% de biotita/flogopita e 5% de magnetita/ilmenita. Como acessórios frequentes tem-se zircão/baddeleyita, monazita, pirrotita e pirita. O minério residual é constituído por apatita, magnetita/ilmenita e zircão/baddeleyita remanescentes, com neoformação de vermiculita, argilominerais, óxidos/hidróxidos de ferro e fosfatos secundários; a matriz argilo-ferruginosa parece estar substituída, em parte, por sílica, conferindo ao minério um caráter mais consolidado. A espessura média do minério residual é da ordem de 10m.

A evolução das rochas alcalino-carbonatíticas de Catalão I e de seu manto de decomposição é explicada, por Geirt et alii (1985), pela atuação de quatro estágios principais: magmatismo ultramáfico inicial, seguido de invasão de carbonatitos, com

posterior estágio hidrotermal e finalizando com a decomposição intempérica. Magnetita, carbonatos, apatita e flogopita cristalizaram-se em várias gerações, com composições, por vezes, diferentes de uma para outra geração. O processo de alteração intempérica inicia-se com a alteração de flogopita em vermiculita, a dissolução dos carbonatos e a corrosão da barita por calcedônia. Segue a martitização da magnetita, a limonitização da pirita e o desenvolvimento de horizontes silicificados. Na etapa final o pirocloro passa para Ba-pirocloro, depositam-se barita e pirolusita ao longo de fraturas e formam-se a rabdofanita e outros fosfatos secundários.

A atuação de processos supergênicos no maciço de Jacupiranga é focalizada por Oliveira e Trescases (1985), German et alii (1986), Oliveira e Delvigne (no prelo), com ênfase particular nos processos de laterização atuantes sobre dunitos serpentinizados e jacupiranguitos e no comportamento do níquel no perfil de alteração. Oliveira (1985) discute a gênese da bauxita de Lajes (SC), a partir da alteração de rochas alcalinas leucocráticas (fonólitos e tipos associados).

Oliveira e Schwab, 1980, descrevem a alteração do apatita-hornblendito de Itacupim, no qual a apatita altera-se dando origem a alumino-fosfatos (wardita, wavelita e crandalita). Processos de alteração envolvendo a formação de alumino-fosfatos, nos Estados do Maranhão e do Pará, são também abordados por Siqueira et alii, 1982, e Costa et alii, 1980.

O comportamento do fósforo, descrito para depósitos sedimentares associados a calcários e margas (The British Sulphur Corporation Limited, 1980) pode também servir como modelo para o comportamento deste elemento no perfil de alteração dos maciços alcalino-carbonatíticos.

Num estágio inicial, uma água levemente ácida permitiria a rápida dissolução dos carbonatos, dando origem a uma solução levemente alcalina. A apatita, pouco solúvel no meio alcalino, manter-se-ia estável, propiciando condições para sua concentração residual. Nos horizontes superiores, onde os carbonatos já foram totalmente solubilizados, existiria um meio um pouco mais ácido, favorecendo a dissolução da apatita. O fósforo solubilizado seria em parte fixado por outros cátions em solução (Ba, Al, Fe, Sr e

outros) originando os fosfatos secundários, e em parte migraria para níveis inferiores do perfil, eventualmente formando apatita supergênica, ao atingir horizontes ligeiramente alcalinos.

Assim os principais fatores condicionantes da solubilização e reprecipitação da apatita no perfil e da formação dos fosfatos secundários seriam o pH das águas pluviais e o do nível freático.

Este modelo explicaria, de maneira geral, algumas feições encontradas em Anitápolis e outros maciços semelhantes: o caráter intersticial da apatita supergênica em relação à apatita residual, bem como as variações químicas, a primeira com maior birrefringência, indicando maior conteúdo de CO₂ (fotomicrografias 2B a 2F). O modelo explica também as menores espessuras observadas para o manto de intemperismo e algumas das características do minério residual em maciços com "plugs" carbonatíticos.

CAPITULO 6

O PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DE FOSFATO COMO FATOR CONDICIONANTE DAS ETAPAS DE PESQUISA

O comportamento do minério na etapa de beneficiamento é fortemente condicionado pelo teor de elemento útil, como também por suas características físico-químicas. Portanto, estas características devem ser devidamente pesquisadas prévia e simultaneamente à etapa de desenvolvimento do processo de beneficiamento. Importa assim definir não só os parâmetros de processo, como também uma tipologia de minério a partir da qual se possa estabelecer critérios de planejamento de lavra, visando uma otimização do beneficiamento e do aproveitamento das reservas de minério.

Para permitir uma melhor compreensão dos estudos de avaliação e a interligação com as atividades de pesquisa mineral, de desenvolvimento de processos e de planejamento de lavra, são abordados neste capítulo alguns aspectos relacionados ao processo de beneficiamento de fosfato.

6.1 Instalações de Beneficiamento

Os processos de beneficiamento de minérios de fosfato associados a maciços alcalino-carbonatíticos são praticamente idênticos (Beraldo e Telles, 1985). Um fluxograma geral das instalações de beneficiamento é apresentado na figura 16.

O minério é lavrado a céu aberto e transportado por caminhões fora de estrada até as instalações de britagem primária, em distâncias médias da ordem de 2 Km.

A britagem inicial do minério é executada em britadores de vários tipos (giratórios, cônicos, de mandíbulas ou de impacto), obtendo-se produto com granulometria abaixo de 25-30 mm.

O minério britado é estocado em pilhas de homogeneização por intermédio de "stackers" e retomado ("bucket reclaimers") para ser alimentado na planta de concentração. A homogeneização do minério, processada na pilha, é de vital importância para a estabilidade e boa eficiência da etapa de concentração.

FIGURA 16

FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DAS INSTALAÇÕES DE BENEFICIAMENTO DE FOSFATO
 (Adaptado de BERALDO e TELLES, 1985)

A moagem é feita por intermédio de circuitos convencionais de moinhos de barras e de bolas em circuito fechado com hidrociclones. A granulometria final do minério é variável de planta para planta (desde -0,35 a -0,14 mm).

Um estágio de separação magnética entre os moinhos de barras e de bolas é empregado com o objetivo de retirar a magnetita já liberada, aliviando assim o(s) moinho(s) de bolas e dando origem a um rejeito magnético final.

O minério é posteriormente submetido a uma operação de deslamagem em hidrociclones com a separação das lamas, geralmente responsáveis por uma das maiores perdas de fosfato no processo. De forma a minimizar estas perdas, já existem circuitos de concentração de finos operando com as lamas primárias, nos quais é efetuada uma redeslamagem com cortes granulométricos mais finos.

Segue-se a etapa de concentração propriamente dita através da flotação de apatita. As condições operacionais dependem sobretudo das características do minério a ser tratado e variam de planta para planta (ver item 6.2.).

Os rejeitos da concentração são bombeados para bacias de deposição de rejeitos, de onde a água é usualmente recuperada e tratada para posterior reutilização.

O transporte e o tratamento posterior variam conforme a utilização do concentrado (rocha fosfática) e parâmetros econômicos.

Assim, os concentrados obtidos em Catalão I (Fosfago e Goiásfertil) e Tapira (Fosfertil) são transportados através de minerodutos para terminais rodo-ferroviários nos quais a rocha fosfática é desaguada em filtros a vácuo e secada, ou em parte alimentada na planta de ácido fosfórico, após espessamento (Uberaba). Os concentrados produzidos em Jacupiranga (Serrana) e Araxá (Arafertil) são principalmente consumidos pelas plantas de fabricação de fertilizantes fosfatados situadas nestas localidades. Para Anitápolis prevê-se o bombeamento de concentrados através de mineroduto até Imbituba, SC, onde se situa o pólo de fabricação de fertilizantes fosfatados da ICC - Indústria Carboquímica Catarinense S.A..

Para as instalações de beneficiamento de fosfatos

metassedimentares do Grupo Bambuí (Patos de Minas e Lagamar), tem-se circuitos distintos com produção de concentrados em quantidades inferiores aos das instalações de beneficiamento de minérios de origem ígnea.

6.2 Principais Influências das Características do Minério na Etapa de Flotação

A concentração da apatita é usualmente efetuada através de flotação aniônica, com o emprego de uma associação coletor-depressor ajustada em função dos minerais de ganga presentes e das características de superfície dos grãos de apatita. Esse ajuste consiste na definição dos tipos e dosagens de reagentes mais adequados à concentração de cada tipo de minério, que é traduzida pela seletividade dos minerais no processo de flotação (maior ou menor facilidade de separação) e pelo compromisso da obtenção de concentrados com índices de recuperação aceitáveis e dentro das especificações de mercado.

Os concentrados destinados à fabricação de ácido fosfórico e superfosfatos devem obedecer a normas mais restritas, principalmente quanto aos conteúdos de MgO solúvel (usualmente menor que 1%) e de R_2O_3 ($Al_2O_3 + Fe_2O_3$, usualmente inferior a 3,5%).

As principais variáveis interferentes no processo estão relacionadas às características físicas do minério, as quais são detalhadas a seguir:

- impregnação superficial da apatita por óxidos-hidróxidos de ferro: os grãos com maior intensidade de recobrimento superficial não respondem adequadamente ao processo;
- presença de carbonatos (calcita e dolomita) e outros minerais portadores de cálcio: tendem a ser coletados juntamente com a apatita diluindo o concentrado, por vezes com a adição de elementos indesejáveis, como por exemplo Mg , contido em minerais como dolomita e tremolita;
- presença de magnetita: a magnetita é muito difícil de moer e exige moinhos de bolas superdimensionados; como é muito dura, se não for separada previamente, causará uma sobrecominuição da apatita e maior geração de lamas. Por outro

lado, a magnetita também tende a ser coletada juntamente com a apatita, aumentando os teores de ferro do concentrado. Estes problemas são hoje minimizados com a inclusão de separação magnética na etapa de moagem entre os moinhos de barras e de bolas;

- presença de silicatos ferromagnesianos (principalmente vermiculita e agregados argilo-limoníticos de granulação fina): uma parte deles tende a ser coletada com a apatita, acarretando teores indesejáveis de Mg, Fe e Al no concentrado;

- presença de lamelas na flotação: aumentam expressivamente o consumo de reagentes e inibem a flotação. Tal problema pode ser contornado, ao menos em parte, pelo incremento no número de estágios de atrição e/ou deslamagem, de modo a minimizar a quantidade de lamelas presentes no condicionamento e flotação;

- liberação inadequada da apatita (parcela dos grãos de apatita que ocorre associada aos minerais de ganga na forma de grãos mistos): acarreta maiores perdas de fosfato. Este aspecto, bem como o da impregnação superficial da apatita, podem ser reduzidos com moagem em granulometria mais fina.

A recuperação no processo de flotação está relacionada às interferências citadas e à qualidade do produto final; concentrados de maior qualidade são obtidos com menores recuperações e/ou menores interferências. Boa parte destas interferências podem ser traduzidas em parâmetros mensuráveis, permitindo assim definir tipos de minério, que devem ser estudados quanto ao seu comportamento no beneficiamento e representatividade na jazida, de modo a permitir misturas adequadas para otimizar as operações de lavra e a eficiência do processo de concentração.

CAPITULO 7

METODOLOGIA

Neste capítulo são discutidos os equipamentos utilizados na realização dos estudos. É detalhado a seguir o programa de análises semiquantitativas por difração de raios X e o procedimento adotado nos estudos de caracterização tecnológica.

7.1. Equipamentos

7.1.1. Estudos Microscópicos

Para a realização dos estudos microscópicos utilizou-se microscópio de polarização Leitz, modelo Ortholux Pol BKII, dotado de recursos para observação em luz transmitida e refletida e de sistema fotográfico semi-automático.

Estudaram-se amostras de grãos minerais, montados em lâminas fixas, com bálsamo do Canadá, ou móveis, utilizando preferencialmente Nujol como meio de imersão. Secções delgadas de rocha e de material alterado foram confeccionados no setor de laminação do IG-USP; estas últimas necessitaram de uma impregnação prévia com resina poliéster ou Araldite (Verbeke, 1969).

Como suporte aos estudos mineralógicos e petrográficos foram consultadas as obras de Larsen e Berman (1934), Bloss (1961), Heinrich (1965) e Troeger (1979).

7.1.2. Difractometria de Raios X

Foi utilizado um difratômetro Rigaku, tipo Geigerflex, dotado de goniômetro horizontal, pertencente à Paulo Abib Engenharia S.A., o qual permite efetuar integração de áreas de pico.

As principais características do equipamento são :
voltagem, 0 a 50 kV; corrente, 0 a 50 mA; intervalos de integração, 0,01 - 0,02 - 0,05 - 0,10 (graus de 2 θ); tempo de integração, 1 a 8.000 segundos; atenuação da carta, 100 a 80.000

cps; velocidade do goniômetro, 1/32 - 1/16 - 1/8 - 1/4 - 1/2 - 1 - 2 - 4 graus de 2θ/min; velocidade da carta, 2 1/2 - 5 - 10 - 20 - 40 - 80 mm/min; tubos de raios X, cobre (1kW) e ferro (0,5 kW).

Para as identificações dos minerais presentes, adotou-se como referência manuais e microfichas do JCPDS (1974 e 1980), complementada por Nemezc (1981), para o caso específico de argilominerais.

7.1.3. Análises químicas

As análises químicas foram efetuadas nos laboratórios da Paulo Abib Engenharia S.A.. As principais técnicas utilizadas são referidas a seguir:

- fluorescência de raios X (FRX): P2O5, CaO, SiO2, Fe2O3, Al2O3, K2O, BaO e MgO (teores >2%);

- absorção atômica (AA): para determinação de baixos teores de MgO (<2%);

- métodos clássicos por via úmida: para verificação dos resultados das análises por FRX e AA.

O controle de qualidade analítico era efetuado tanto pelo próprio laboratório, como através da verificação dos teores dosados vs teores calculados.

7.1.4. Cominuição

Inclui-se aqui os equipamentos necessários para as etapas de redução granulométrica de amostras através de britagem e moagem. Os equipamentos utilizados são mencionados a seguir:

- britador de mandíbulas: Rosenhain, modelo 15 x 20. Empregado para a redução granulométrica inicial de amostras de furos de sondagens e galerias. Produto final entre -1/2" a -1/4" (-12,7 a -6,35 mm);

- moinho de rolos: Rosenlveig, largura do rolo 30 cm, acionamento simples. Usualmente empregado para britagem mais fina, fornecendo um produto com granulometria abaixo de 6 a 10 malhas (3,175 a 1,68 mm);

- moinho de jarros (1,5 l) ou de barras (20 l): foram utilizados para a geração de produtos usualmente com granulometria abaixo de 48 malhas Tyler (0,297 mm);

- moinho vibratório ou de panelas: marca Renard, modelo MPV-1 com panelas de carbetto de tungstênio. Utilizado para preparação de amostras para análises difratométricas e químicas; produto final com granulometria geralmente abaixo de 0,1 mm e 50% passante em 0,01 mm.

7.1.5. Classificação Granulométrica

Foram utilizadas peneiras circulares com diâmetro de 8" (20,3 cm) da série Tyler com peneiramento a úmido por lavagem intensa. Nas etapas de peneiramento, complementares às etapas de cominuição, procedeu-se a operação manual a seco. Para a classificação de partículas abaixo de 400 malhas (0,037 mm), utilizou-se um ciclopeneirador, marca Cimaq, com amostragem individual dos ciclos I a V e do "overflow".

7.1.6. Ensaios de Separações Minerais

Foram utilizados como técnicas auxiliares na identificação, quantificação, estudos de liberação e purificação de minerais presentes. Estão aqui incluídas as separações através de líquidos densos e separações magnéticas com imã de mão ou separador eletromagnético isodinâmico Frantz.

As separações em líquidos densos foram efetuadas através de centrífuga Mechanika Precyzyjna, modelo WE 2, com o emprego dos seguintes líquidos densos:

- bromofórmio industrial ($d = 2,86$);
- tetra-bromo-etano ($d = 2,96$), Merck art 35;
- di-iodeto de metileno ($d = 3,32$), Merck art 6053.

As técnicas utilizadas são as mesmas descritas por Hutchinson (1974), Zussman (1977) e Parfenoff et alii (1970). O comportamento geral dos principais minerais, nos ensaios executados, é apresentado na tabela 8.

TABELA 8
COMPORTAMENTO GERAL DOS PRINCIPAIS MINERAIS PRESENTES
NOS ENSAIOS DE SEPARAÇÕES MINERAIS

FRANTZ (3)	MEIO DENSO	
	Flutuado ($d < 2,96$)	Afundado ($d > 2,96$)
MAGNETICO		magnetita
(+0,1 A)		
FORTEMENTE MAGNET.	vermiculita (1)	piroxênio
	agreg. argilo-liminit.	goethita ^A
	biotita-flogopita	(anfíbólio)
		(biotita-flogopita)
FRACAMENTE MAGNET.		anfíbólio
(+1,2 A)		
NAO MAGNETICO	feldspatos	apatita
(-1,2 A)	calcita (2)	
	analcima	

(1) Solúvel por lixiviação sulfúrica + clorídrica (2:1 a 20%)

(2) Solúvel por lixiviação clorídrica a 10%

(3) Operação com inclinação lateral de 15

7.1.7. Estudos de Liberação

Estudos de liberação foram executados em amostras de minério moído, segundo metodologia descrita por Gaudin (1939) e Kelly e Spottiswood (1982).

As observações microscópicas foram realizadas rotineiramente em produtos de separações minerais, os quais foram também analisados quimicamente. Neste procedimento a separação de populações de grãos mistos e outras com predominância de grãos livres, nas quais a partição do mineral útil pode ser determinada através de análises químicas, permite uma maior facilidade na determinação do grau de liberação; este aspecto aumenta significativamente de importância para minérios de baixo teor, onde os erros estatísticos e de amostragem na contagem ao

microscópio/preparação de lâminas são bem mais significativos.

7.1.8. Ensaaios de Beneficiamento

Nas pesquisas relativas ao aproveitamento do minério de fosfato da jazida de Anitápolis foram ainda realizados vários ensaios de beneficiamento, que não serão abordados neste trabalho por fugirem ao assunto de principal interesse. São apresentadas apenas parte dos resultados finais obtidos através de ensaios em escala de bancada e usina piloto, e, quando pertinente, as características dos circuitos e as rotinas operacionais empregadas.

7.2 Análises Semiquantitativas por Difração de Raios X

Neste item são resumidos os fundamentos teóricos do método e discutidos os detalhes referentes aos ajustes do equipamento e à preparação das amostras e padrões de referência; são apresentados ainda os resultados das curvas de calibração e considerações sobre a precisão analítica, justificando os procedimentos adotados.

7.2.1. Fundamentos Teóricos

A análise quantitativa ou semiquantitativa por difração de raios X, à semelhança das técnicas usuais de análise instrumental, está baseada num procedimento comparativo entre amostras de referência (padrões) e o material a analisar.

Os principais fatores envolvidos na análise são:

- reprodutibilidade de preparação de amostras;
- absorção de radiação pela amostra;
- espectros difratométricos dos minerais a analisar.

O primeiro fator impõe uma rotina padronizada de preparação das amostras, principalmente no que se refere à técnica de moagem (item 7.2.3). O segundo refere-se à menor ou maior absorção da radiação incidente e da intensidade de resposta dos raios difratados, dependendo essencialmente da composição do material a analisar (item 7.2.6.). O terceiro fator indica que os espectros

dos minerais devem ser claramente distintos, sem sobreposição significativa das raia mais características.

Segundo Klug e Alexander (1954), a intensidade da raia difratada de um componente i (I_i) é função da geometria do aparelho (K_i), das características do componente analisado (proporções - W_i , densidade - ρ_i , e coeficiente de absorção de massa - μ_i) e da matriz (coeficiente de absorção de massa - μ_n), conforme a equação expressa a seguir:

$$I_i = \frac{K_i W_i}{\rho_i W_i (\mu_i - \mu_n) + \mu_n}$$

A solução desta equação geral é por demais complexa, já que geralmente não são conhecidas as relações entre intensidades difratadas e os vários coeficientes de absorção de massa (matriz e minerais presentes). Para simplificar os procedimentos, Klug e Alexander (1954) propõem a técnica do "padrão interno", que consiste na adição de uma substância em quantidades fixas que permita contornar os efeitos dos vários coeficientes de absorção de massa. Esta técnica, e outras propostas na literatura, são referidas a seguir.

a) Método de "padrão interno", para n substâncias ($n \geq 2$)

Esta técnica, a mais utilizada rotineiramente, consiste na preparação de várias amostras de referência, de conteúdos conhecidos e bem diversos, às quais adiciona-se uma quantidade fixa de padrão interno (item 7.2.4.). Com as amostras de referência preparam-se curvas de calibração (concentração do mineral versus intensidade de uma raia do mineral a analisar relativa à intensidade de uma raia do padrão interno) que servirão como base para as determinações quantitativas. A equação linear correspondente pode ser resumida da seguinte forma:

$$\% \text{ mineral} = a \frac{(\text{intensidade mineral})}{(\text{intensidade padrão})} + b$$

b) Método de "diluição"

Consiste no mesmo princípio utilizado em análises instrumentais, no qual é adicionado um diluente inerte (neste caso, amorfo, estável e de baixo coeficiente de absorção de massa) com o objetivo de tornar mais homogêneo o coeficiente de absorção de massa de várias amostras (Clark e Preston, 1974). Esta técnica apresenta o inconveniente de reduzir a sensibilidade analítica, além da dificuldade na obtenção de um diluente com características ideais.

c) Método "iterativo"

Este método considera apenas os padrões difratométricos, não necessitando da preparação de amostras de referência. As amostras devem conter proporções bem diversas de várias fases quimicamente semelhantes. Os respectivos conteúdos são determinados através da resolução de uma matriz matemática, considerando-se que o número de amostras é maior que o número de fases (Knudsen, 1981).

d) Método de "adição"

Esta técnica consiste em adições sucessivas do componente a determinar; pode ser considerada uma variação do método anterior.

e) Método de "leitura direta"

Neste caso determina-se o coeficiente de absorção de massa da matriz e as intensidades difratadas. Trata-se de um método muito trabalhoso e raramente empregado.

f) Técnica para apenas duas fases distintas, onde $\mu_1 \neq \mu_2$

É um caso particular, válido apenas para amostras de dois componentes, no qual pode-se dispensar o uso de padrão interno; neste caso, a curva de intensidade de uma raia difratada em função da concentração não é mais linear.

g) Duas ou mais fases alotrópicas, onde $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$

É um caso particular onde a equação geral é simplificada, sendo expressa como:

$$\% \text{ mineral} = a (\text{intensidade mineral}) + b$$

Dentre os vários métodos apresentados, o do padrão interno é o que melhor se aplica quando se deseja determinar as proporções de vários minerais em um grande número de amostras.

7.2.2. Ajustes do Equipamento

As inúmeras combinações que podem ser empregadas na operação de um equipamento de difração de raios X dependem principalmente dos seguintes fatores: tipo de tubo e de fendas utilizadas, posicionamento da lâmina no porta amostra, intervalos e modo de integração e tempo de contagem. Todos estes fatores foram testados isolada ou conjuntamente de modo a otimizar as condições operacionais e minimizar os erros analíticos.

Foi escolhido o tubo de Cu (1 kW), cuja radiação é menos absorvida pelos minerais presentes (apatita, calcita, feldspato, piroxênio, biotita-flogopita e vermiculita como minerais principais e magnetita, anfibólio e analcima como acessórios), estabelecendo-se assim condições de maior sensibilidade para as raias difratadas.

A influência da seleção das fendas (DS, "diffraction slit", RS, "receiving slit" e SS, "scatter slit") aparece retratada na figura 17, onde são mostrados os vários efeitos para diferentes condições operacionais. As respostas mais nítidas foram obtidas com as fendas DS = SS = 1,0 e RS = 0,3 mm, que indicaram uma boa resolução aliada à boa definição dos picos.

Na sequência, os testes para vários posicionamentos da lâmina, no porta-amostra, indicaram erros de pequena monta na resposta da intensidade difratada (até 1% relativo).

O tempo de contagem e intervalo de integração foram testados conjuntamente através de medidas do pico característico da apatita ($d = 2,80 + 2,77 \text{ \AA}$), em amostra com cerca de 25% deste mineral e relação área de pico/"background" (intensidade de fundo) superior a 5. A tabela 9 mostra os desvios padrão para três medidas de intensidades e diferentes combinações de tempos de contagem e intervalos de integração.

Segundo Klug e Alexander (1954), a precisão na medida de intensidade de uma raia difratada está condicionada ao tempo de contagem e à relação das intensidades pico/"background". A partir da análise mais detalhada das informações destes autores e dos resultados obtidos, adotou-se as condições de 10 segundos para o tempo de contagem e de 0,10 graus de 2θ para o intervalo de

FIGURA 17

INFLUÊNCIA DAS FENDAS NAS INTENSIDADES DIFRATADAS

DEMAIS CONDIÇÕES : tubo Cu ; 40 kV ; 20 mA ; 2000 cps .

integração. As demais condições operacionais para os testes subsequentes foram fixadas em: 40 kV; 20 mA; velocidade do goniômetro, 2 graus de θ /min; velocidade da carta, 10 mm/min.

TABELA 9

DESVIO PADRÃO DE INTENSIDADE DIFRATADA (apatita, $d = 2,77 + 2,80 \text{ \AA}$)
VARIANDO-SE O TEMPO DE CONTAGEM E O INTERVALO DE INTEGRAÇÃO

Intervalo de integração	Tempo de contagem	Desvio padrão relativo (%)			
		0,01	0,02	0,05	0,10
20 segundos		0,143	0,146	0,227	0,415
10 segundos		0,081	0,154	0,418	0,47
5 segundos		0,181	0,522	0,581	0,523
2 segundos		0,331	0,242	0,654	0,89

Valores obtidos a partir de 5 leituras; condições de operação:
Cu, 40 kV, 20 mA

7.2.3. Pulverização

Especial atenção foi dispensada à pulverização das amostras em razão da interferência do tamanho das partículas na intensidade dos picos difratados.

Esta interferência é causada pela orientação preferencial dos minerais, originada principalmente por influência dos planos de clivagem dos minerais (como no caso dos carbonatos e das micas, e menos pronunciadamente em minerais de clivagem imperfeita : feldspatos).

As amostras a analisar foram pulverizadas através de moinho vibratório ("swing mill"), tomando-se então alíquotas para execução de análises difratométricas e determinações químicas. A porção inicial de amostra deveria ser padronizada quanto a granulometria e quantidade de material.

O tipo de pulverização adotado, o mais amplamente difundido

na preparação de amostras para análise química, permite uma rápida redução granulométrica; o produto resultante comumente apresenta granulação inferior a 0,100 mm, com mais de 50% em peso abaixo de 0,010 mm.

A determinação do tempo ideal de pulverização e o comportamento dos vários minerais foram intensivamente pesquisados de modo a definir as melhores condições para análise difratométrica.

Aliquotas de amostras com granulometrias diversas foram pulverizadas em tempos distintos. Seguiu-se a execução de cartas difratométricas com medidas de altura absoluta (acima do "background") dos picos mais característicos dos minerais presentes. Alguns destes resultados (figuras 18 e 19) mostram claramente o comportamento diferencial dos diversos minerais.

Para minerais de hábito placóide (filosilicatos) ou de clivagem pronunciada (feldspato e calcita), com tendência à orientação preferencial, foram observadas diminuições progressivas da intensidade difratada com o aumento do tempo de moagem. No caso da magnetita, observou-se efeito inverso, com intensidades que aumentavam gradativamente até ser caracterizado um patamar constante, o qual não se alterava com moagens mais demoradas (aumento da superfície específica da magnetita?). As intensidades difratadas dos demais minerais (apatita, piroxênio e quartzo) pouco dependeram do tempo de moagem.

Estudos mais detalhados dos comportamentos de alguns minerais na pulverização (apatita, vermiculita, biotita-flogopita, calcita, magnetita e quartzo) foram realizados com amostras de concentrados de minerais puros, obtidos a partir de ensaios de separações minerais. Cinco aliquotas destes concentrados foram pulverizadas em tempos distintos (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 3,0 minutos), para cada uma das quais foram preparadas 5 lâminas segundo procedimento padronizado, e determinadas as intensidades do "background" e dos picos mais característicos (área e altura). Foi pesquisado, adicionalmente, o efeito da granulometria original sobre as intensidades difratadas, em amostras de vermiculita e flogopita. Esses resultados são apresentados nas figuras 20 a 22 e no Anexo 1.

FIGURA 18

COMPORTAMENTO DIFERENCIADO DAS INTENSIDADES DIFRATADAS COM O TEMPO DE MOAGEM
MINÉRIO RESIDUAL

FIGURA 19

COMPORTAMENTO DIFERENCIADO DAS INTENSIDADES DIFRATADAS COM O TEMPO DE MOAGEM

MINÉRIO DE ROCHA

FIGURA 20

COMPORTAMENTO DIFERENCIADO DAS INTENSIDADES DIFRATADAS COM O TEMPO DE MOAGEM: CALCITA, APATITA, BIOTITA-FLOGOPITA E MAGNETITA

FIGURA 21

COMPORTAMENTO DIFERENCIADO DAS INTENSIDADES DIFRATADAS COM O TEMPO DE MOAGEM : QUARTZO E VERMICULITA.

FIGURA 22

COMPORTAMENTO DIFERENCIADO DAS INTENSIDADES DIFRATADAS COM O
TEMPO DE MOAGEM : BIOTITA - FLOGOPITA

Magnetita, apatita e quartzo foram os minerais que apresentaram os menores decréscimos nas intensidades difratadas, cerca de 10% para medidas em área. Calcita, vermiculita, e biotita-flogopita apresentaram decréscimos de intensidade muito significativos; para calcita verifica-se uma estabilização em um patamar próximo à metade da intensidade inicial (correspondente à pulverização em 0,5 minutos). As curvas de decaimento de intensidades da vermiculita e biotita-flogopita são muito mais pronunciadas (0,2 a 0,25 da intensidade inicial) e não mostram o estabelecimento de um patamar com os tempos de moagem adotados.

Variações da granulometria original afetam a intensidade dos picos difratados apenas no caso da vermiculita, estabelecendo-se diferenças significativas que, no entanto, desaparecem com uma pulverização superior a 1,5 minutos (figura 21); no caso da biotita-flogopita, inexiste estas diferenças (figura 22).

O comportamento da relação de intensidades pico/"background", relacionado à precisão analítica, é apresentado na figura 23. De maneira geral, as menores relações foram obtidas para a vermiculita, a magnetita e, em menor escala, também para a biotita-flogopita. Na vermiculita, a relação já é inicialmente muito baixa, provavelmente por causa de sua pequena cristalinidade; adicionalmente, a relação diminui para a biotita-flogopita e a vermiculita durante a pulverização, por causa dos efeitos já discutidos nos parágrafos anteriores (ver figuras 21 e 22). No caso da magnetita, e bem secundariamente para a biotita-flogopita e vermiculita, a baixa relação inicial se deve ao incremento do "background" por efeito da fluorescência do ferro com a radiação do cobre; esta característica é significativamente atenuada nas amostras de minério, devido aos baixos teores de magnetita (comumente abaixo de 10%).

Observações similares são registradas na literatura por Hlavay et alii (1977 e 1978), Mingelgrin et alii (1977) e Reay (1981). Este último autor verificou ainda que o emprego de moinho vibratório pode causar distorções na estrutura cristalina dos minerais, assim como oxidação de certos elementos ou ainda a perda de voláteis.

Foi observado também um alargamento nos picos difratados para todos os minerais com o incremento dos tempos de

pulverização; estes inicialmente bem agudos e finos ("sharp"), passam a ser menos definidos ("broad"). O efeito é extremo principalmente no caso da vermiculita e quase inexistente para o quartzo e a biotita-flogopita. Este fator, mensurável através da relação de intensidades área/altura (figura 24), está relacionado à maior ou menor cristalinidade dos minerais com a progressão da moagem.

O comportamento extremo observado para a vermiculita pode estar relacionado aos fenômenos de distorção da estrutura cristalina, similares aos assinalados por Reay (1981); para a magnetita e a calcita o alargamento dos picos pode dever-se a fenômenos de oxidação parcial do ferro e perda de CO₂.

Frente aos resultados obtidos, foi adotado o tempo de pulverização de 3,0 minutos para todas as amostras.

Análises granulométricas dos produtos de moagem, executadas através de peneiramento a úmido e/ou ciclopeneiramento, são apresentadas em curvas granulométricas acumulativas Rosin-Rammler na figura 25. Para as condições de pulverização adotadas, todo o material encontra-se abaixo de 0,1 mm, cerca de 90% em peso abaixo de 0,04 mm e mais de 50% abaixo de 0,01 mm.

Finalizada esta etapa de testes operacionais e de preparação das amostras, já se podia prever que o comportamento diferencial dos minerais durante a pulverização seria uma das principais fontes de erro analítico. Optou-se então por utilizar uma metodologia que, sem minimizar totalmente esses erros, os mantivesse ao menos dentro de limites toleráveis para os objetivos propostos (ver item 7.2.8.). Na literatura, entretanto, são descritos métodos que permitem diminuir os erros na determinação quantitativa por difração, utilizando pulverizadores especiais que fornecem produtos de granulometria mais uniforme (por exemplo entre 0,005 e 0,020 mm, ver Hooton e Giorgetta, 1977).

FIGURA 23

COMPORTAMENTO DA RELAÇÃO DE INTENSIDADES PICO/"BACKGROUND" COM O TEMPO DE MOAGEM PARA CONCENTRADOS MINERAIS

FIGURA 24

COMPORTAMENTO DA RELAÇÃO DE INTENSIDADES ÁREA/ALTURA COM
O TEMPO DE MOAGEM

- 1 - MINÉRIO RESIDUAL POÇO 13 (03-04m) 3,0 min
- 2 - MINÉRIO RESIDUAL FASE A 3,0 min
- 3 - MINÉRIO DE ROCHA FASE A 3,0 min
- 4 - MINÉRIO DE ROCHA FURO 4 (33-34 m) 3,0 min

VERMICULITA - 48+400 #

- 1 tempo de moagem 1,0 min
- 2 tempo de moagem 2,0 min
- 3 tempo de moagem 3,0 min

VERMICULITA + 35 #

- 4 tempo de moagem 2,0 min
- 5 tempo de moagem 3,0 min

FIGURA 25

RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DOS PRODUTOS DE MOAGEM (Rosin - Rammler)

(AMOSTRAS DE MINÉRIO E DE CONCENTRADOS DE VERMICULITA)

7.2.4. Prensagem

Para a rotina de prensagem das amostras foram comparados os resultados difratométricos obtidos com a utilização de duas prensas, uma manual e outra hidráulica, para as quais foram variadas as condições de prensagem. Os resultados, mostrados na figura 26, são comparáveis entre si, e por tal motivo optou-se pelo sistema de prensagem manual.

Na rotina operacional, as lâminas para as análises difratométricas foram preparadas através da prensagem de quantidades padronizadas do material pulverizado, no orifício retangular de uma lâmina de alumínio. Os resultados de médias de cinco prensagens dos concentrados de minerais puros (Item 7.2.3. e anexo 1) indicaram um desvio padrão relativo de 2 a 3% com valores máximos não ultrapassando 5% para tempos de pulverização superiores a 2 minutos.

7.2.5. Seleção do padrão interno e homogenização da amostra

Frente à diversidade mineralógica das amostras, foi selecionado o método do padrão interno para minimizar os efeitos diferenciais de absorção e fluorescência.

Dos possíveis padrões examinados, optou-se pela gibbsita (art. 1093 Merck, hidróxido de alumínio). A sua raia mais definida e intensa é originada pelo plano (002) com distância interplanar de 4,84 Å. O material satisfaz plenamente as condições de um padrão interno, ou seja:

- ser um composto inerte;
- não ocorrer naturalmente no minério;
- ter padrão difratométrico não interferente com nenhuma das raia características dos minerais presentes;
- ter boa resolução em termos de definição e intensidade de pico.

Para determinar a quantidade de padrão a ser adicionado às amostras foram preparadas três amostras de vidro moldo com 5, 10 e 20% em peso de gibbsita. Constatou-se que 5% de gibbsita já bastavam para se obter boa resolução difratométrica.

Os resultados da análise granulométrica da gibbsita mostram uma distribuição em peso muito semelhante àquelas apresentadas pelas amostras pulverizadas de minério residual e de rocha (comparar figuras 27 e 25), dispensando portanto a necessidade de moagem. O padrão foi adicionado diretamente à amostra pulverizada com posterior homogeneização.

A homogeneização foi feita em um misturador composto de dois tubos de PVC ligados formando um ângulo de 90 graus, e que giravam em torno do eixo de gravidade do sistema. O dispositivo usado permite a homogeneização simultânea de até 10 amostras. Para contornar o problema da formação de pequenos "pellets" durante a homogeneização, as amostras pulverizadas foram levadas à estufa por 1 a 2 horas, previamente à homogeneização; adicionalmente foram introduzidas 2 esferas de aço (6 mm de diâmetro) na operação de homogeneização.

7.2.6. Preparação das Amostras de Referência

Como base analítica recorreu-se a uma série de amostras de referência com composição mineralógica conhecida e provenientes da jazida em estudo. Cuidou-se para que as amostras fossem bastante diversificadas (PRA, 1977), cobrindo toda a gama de minerais até então conhecidos, conforme relacionado a seguir:

- minério residual , fase A
- poço 24-2 (09 a 10 m)
- poço 13-4 (03 a 04 m)
- 4 FA 04 SC (33,0 a 34,0 m)
- 4 FA 06 SC (22,0 a 23,0 m)
- 4 FA 07 SC (36,0 a 37,0 m)
- 4 FA 05 SC sienito
- composto de rocha: 4 FA 01 SC (54,0 a 55,0 m) e
4 FA 06 SC (47,0 a 48,0 m + 67,0 a 68,0 m)
- minério de rocha , fase A

As três primeiras amostras correspondem a minério residual e as demais, a minério de rocha.

As amostras foram submetidas à moagem a - 100 malhas Tyler (0,149 mm), seguido de classificação por peneiramento em 150 e 200 malhas (0,105 e 0,074 mm). Nas frações assim obtidas,

FIGURA 26

TESTES COMPARATIVOS DE PRENSAGEM (CONDIÇÕES: tubo de Cu; 40KV; 20mA; 2000cps)

FIGURA 27

RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS - GIBBSITA (PADRÃO INTERNO)
(Rosin - Rammler)

determinaram-se as proporções minerais através de contagem modal e por meio de separações em líquidos densos, separador eletromagnético Frantz, lixiviação seletiva e análises químicas. Esses resultados são resumidos na tabela 10.

Por microscopia de luz transmitida determinou-se as proporções dos opacos (magnetita, sulfetos e agregados limoníticos), enquanto que por separação magnética foi definido o conteúdo de magnetita. Os teores obtidos pelos dois métodos são muito próximos entre si; as pequenas diferenças constatadas devem-se às baixas proporções de sulfetos e limonita presentes no minério.

As maiores diferenças ocorrem na determinação de minerais micáceos (principalmente em teores mais elevados), em razão da superestimação por contagem modal do conteúdo de minerais lamelares. Tem-se também desvios mais significativos para os minerais que ocorrem em pequenas proporções ($< 5\%$), seja por maiores dificuldades na identificação destes minerais, seja pelo menor número de grãos contados nas classes de baixa frequência (erro estatístico).

Face as divergências entre as técnicas utilizadas, adotaram-se os seguintes critérios para a definição dos conteúdos minerais:

- magnetita: através de separações minerais;
- apatita: calculada a partir dos teores de P2O5 apatítico;
- minerais micáceos: quando presentes em maior abundância foi adotado o valor obtido através das separações minerais e lixiviação seletiva;
- demais minerais e pequenas quantidades de micáceos: proporções calculadas a partir dos dados médios, com distribuição do erro para fechamento em 100%.

Em função deste procedimento estima-se que as determinações das proporções minerais, nas amostras de referência, não apresentam desvios superiores a 15% (em média 5 a 10%).

Outros métodos, expostos a seguir, foram também utilizados para a obtenção de um conjunto mais completo de amostras de referência:

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS DE REFERÊNCIA PARA A ELABORAÇÃO DE CURVAS DE CALIBRAÇÃO

TABLE 10

[illegible]

(1) VALORES CORRIGIDOS EM FUNÇÃO DAS DESVIAÇÕES DOS MINERAIS PRESENTES

- retirada de minerais magnéticos;
- adição de concentrados de minerais puros às amostras de referência;
- composição de amostras a partir de concentrados puros.

A retirada de minerais magnéticos foi utilizada em amostras de referência com quantidades de magnetita acima de 15% em peso, como recurso para se elevar os teores dos demais minerais. As adições de concentrados de minerais puros (apatita, calcita, feldspatos, biotita-flogopita e magnetita), em quantidade de até 25 a 30% em relação a uma determinada amostra inicial, foram realizadas para completar o conjunto de amostras de referência, preenchendo principalmente aqueles intervalos não abrangidos pelas amostras naturais. Com a mesma finalidade, foram preparadas algumas amostras "artificiais", misturando-se concentrados de minerais puros, para proceder ao levantamento das curvas de calibração de piroxênio, anfibólio, analcima e quartzo.

Os minerais puros utilizados nestes casos correspondem a concentrados obtidos a partir de amostras oriundas da ocorrência de Anitápolis, à exceção do quartzo, que foi extraído de amostra de quartzito e comparado também com produtos comerciais PA. Piroxênio e anfibólio foram obtidos como produtos de separações minerais de amostras da galeria GJH e analcima a partir de amostra de rocha, proveniente do furo 37.

7.2.7. Levantamento das curvas de calibração

Para as determinações semiquantitativas dos minerais foram analisados comparativamente três a cinco principais picos característicos de cada mineral, selecionando-se aqueles que apresentaram as menores interferências, por vezes até em detrimento da resolução analítica (picos de menores intensidades relativas, por ex: magnetita e quartzo). De preferência adotou-se a medida de área do pico; só em casos mais críticos de interferência foi utilizada a altura correspondente. Como é de conhecimento geral (e.g. Klug e Alexander, 1954), a determinação de minerais em pequenas quantidades (< 5%) por esta técnica é muito pouco precisa e, por vezes, quase impossível.

A calcita ($d(104)$ 3,03 Å) sofre interferência parcial de piroxênios ($d(22\bar{1})$ 2,99 Å), magnetita ($d(220)$ 2,97 Å) e de raia secundária dos feldspatos ($d(131)$ 2,99 Å : ortoclásio). Para a sua quantificação procedeu-se à medida da altura do seu pico principal. A determinação do piroxênio é a mais problemática, por apresentar composições variadas (augita, egirina-augita e egirina). As suas raia ($d(310)$ 2,94 Å e $d(22\bar{1})$ 2,99 Å) coincidem parcialmente com as de magnetita ($d(220)$ 2,96 Å) e feldspatos ($d(131)$ 2,99 Å). As raia selecionadas da apatita, biotita-flogopita, anfibólio e analcima não apresentam interferências de outros minerais.

Tem-se, no entanto, problemas adicionais relacionados a mudanças nas composições dos minerais, que originam algumas variações nas distâncias interplanares e/ou intensidades dos picos (por ex. nos anfibólios e na biotita-flogopita). Nas micas em particular, tem-se como fator complicador, ainda, a sua passagem para vermiculita (e fases intermediárias), gerando difratogramas mais complexos.

A curva do quartzo, elaborada apenas como precaução, se baseia no pico $d(112)$, 1,82 Å, de baixa intensidade relativa; as duas raia mais intensas ($d(101)$ 3,34 Å e $d(100)$ 4,26 Å) não puderam ser utilizadas por sobreposição com as de outros minerais (biotita-flogopita e feldspatos).

Para a magnetita foi utilizado o pico secundário $d(440)$, 1,485 Å, de intensidade relativa 40.

Em Anitápolis são encontrados tanto feldspatos potássicos (ortoclásio e microclínio), com variações no ordenamento Si: Al, como, subordinamente, albita ($An<10$). Variações no grau de triclinicidade não foram pesquisadas. Em lugar de identificar e quantificar separadamente os feldspatos preferiu-se definir o total de feldspatos presentes na amostra. Estudou-se previamente o comportamento de cinco concentrados de feldspatos alcalinos, quatro deles de Anitápolis e um de Poços de Caldas, determinando-se a intensidade dos picos mais característicos (tabela 11). Observa-se claramente que as raia correspondentes às distâncias interplanares de 3,47, 3,78 e 4,22 Å são as que apresentaram menor desvio padrão e que é possível uma definição conjunta de feldspatos potássicos + albita. Foi selecionado o pico com

distância interplanar de 3,78 Å, que não mostra interferência com outros minerais, e o de 4,22 Å (feldspato potássico), o qual apresenta pequena sobreposição com quartzo ($d(100)$ 4,27 Å) e goethita ($d(110)$ 4,18 Å); na prática, porém, estas interferências são inexpressivas face às diminutas quantidades de goethita e quartzo.

Para avaliar as interferências de diferentes coeficientes de absorção de massa, e os efeitos de fluorescência decorrentes, tomaram-se três amostras de referência com mineralogias distintas, principalmente no que se refere ao conteúdo de magnetita (0%; 22% e 62%); a estas amostras foram adicionados conteúdos variáveis de apatita, além da retirada de magnetita na amostra com conteúdo inicial de 22%. Os resultados (figura 28) mostram que as intensidades dos picos da apatita ($d(211)$ 2,80 Å + $d(112)$ 2,77 Å) aumentam linearmente conforme o conteúdo adicionado, constituindo três conjuntos distintos. Os efeitos de fluorescência pela presença de minerais portadores de ferro são também salientados no conjunto das amostras do poço P 13-4 (03 a 04 m), onde a retirada de magnetita acarreta em um aumento significativo da intensidade difratada, não coincidente com a tendência observada.

A verificação experimental dos efeitos de absorção de radiação e fluorescência secundária pela amostra reforçou a importância da utilização do padrão interno como uma forma de eliminar estas interferências. Como precaução em relação a eventuais problemas de homogeneização entre o padrão interno e as amostras, foram também levantadas curvas de calibração expressas em termos de intensidades absolutas (sem padrão interno). Entretanto, na rotina analítica posteriormente implantada, adotaram-se as curvas elaboradas com uso do padrão interno como base para a determinação semiquantitativa.

A relação dos picos selecionados para a quantificação dos diversos minerais, com as respectivas condições experimentais, são mostrados no Anexo 2. Os dados referentes às curvas de calibração são apresentados na tabela 12. Os pontos utilizados para as curvas de calibração aparecem representados nas figuras 29, 30 e 31.

A curva de calibração da apatita foi baseada na somatória de

TABELA 11

COMPARAÇÃO DE INTENSIDADES DIFRATADAS PARA PICOS CARACTERÍSTICOS DOS FELDSPATOS

hkl	(Ang.)	ALBITA + MICROCL. INTER.	ALBITA + MICROCL. INTER.	ORTOCLÁSIO + ALBITA	MICROCL. INTER. + ALBITA	MICROCLÍNIO INTER. - MAX.	DESVIO PADRÃO RELATIVO
		Intensidade (1)	Intensidade (1)	Intensidade (1)	Intensidade (1)	Intensidade (2)	(%)
220, 220, 040, 002, 202	3,15; 3,19	127525	97355	17442	127525		70,0
040, 002	3,24	316688	259334	272023	316688	366135	13,8
202, 220, 220	3,29; 3,31	88816	86109	123490	88816	128192	20,4
	3,15; 3,19; 3,24; 3,29; 3,31	530029	442798	412955	530029	494327	10,9
221, 112, 112	3,47	56923	60543	59098	56923	61872	3,7
111, 130, 130	3,78	81269	91140	90609	81269	81637	6,1
201	4,22	36359	40081	46423	36359	41982	10,3

OBS.: * DUAS LAMINAS DE CADA AMOSTRA - MOAGEM MANUAL ATÉ 100 % EM PESO PASSANTE EM 400 MALHAS

(1) ORIGEM : ANITÁPOLIS, SIENITOS DIVERSOS

(2) ORIGEM : POÇOS DE CALDAS, LUJAURITO

FIGURA 28

INFLUÊNCIA DOS EFEITOS DE ABSORÇÃO DE MASSA E FLUORÊSCENCIA
NA QUANTIFICAÇÃO DE APATITA

área dos dois picos mais característicos. Para um desvio máximo estimado nas amostras de referência de 10%, obteve-se um ajuste ligeiramente melhor para a curva com o uso de padrão interno. O desvio médio em relação aos teores das amostras de referência foi de 8,3% e o máximo de 25,2%.

A curva da calcita, baseada na altura de pico, apresenta melhor ajuste que a construída com o padrão interno; as magnitudes dos desvios são semelhantes aos da apatita.

A curva da biotita-flogopita foi elaborada considerando a área de seu pico mais característico, com regressão polinomial de terceiro grau. Os resultados foram semelhantes para as curvas elaboradas com ou sem padrão interno (tabela 12).

As curvas de calibração do quartzo, elaboradas com amostras de misturas de minerais puros, foram as que apresentaram os maiores coeficientes de correlação (tabela 12), com desvios pouco inferiores aos observados para a apatita e calcita.

Para os feldspatos, foram levantadas duas curvas de calibração (raias com $d = 3,78 \text{ \AA}$ e $4,22 \text{ \AA}$), com melhores ajustes obtidos sem a utilização de padrão interno. A curva para $d = 3,78 \text{ \AA}$ foi a adotada por apresentar o maior coeficiente de correlação e ausência de interferências com picos de outros minerais. Rejeitando-se um ponto anômalo (teor 10%), o desvio máximo observado foi de 43% e o médio de 21,8% (curva com padrão interno).

A curva para os piroxênios foi também elaborada a partir de um pico comum a todas as variedades. Para melhor definição do pico adotou-se um intervalo de integração de 0,02 graus de 2θ para a medida da altura de pico. As amostras de referência foram obtidas a partir da mistura de concentrados de minerais puros. O melhor ajuste, com regressão polinomial de segundo grau, foi obtido com a utilização de padrão interno (tabela 12).

A curva de calibração dos anfibólios foi obtida com uma equação de segundo grau (tabela 12). A exemplo dos piroxênios, as amostras de referência são de misturas de minerais puros.

Na determinação da curva da magnetita, a utilização do padrão interno foi de vital importância. Os desvios médios, com e sem a sua utilização, são respectivamente de 12,4 e 54,9% e os máximos de 22% e 188%.

TABELA 12

SUMÁRIO DOS DADOS REFERENTES ÀS CURVAS DE CALIBRAÇÃO

MINERAL	FAIXA DE TEORES (%)	d (Ang.)	MODO DE INTEG.	CURVA COM PADRÃO INTERNO					CURVA SEM PADRÃO INTERNO				
				GRAU DO POLINÔMIO	COEFIC. CORREL.	DESVIOS (X)			GRAU DO POLINÔMIO	COEFIC. CORREL.	DESVIOS (X)		
						médio	máximo	mínimo			médio	máximo	mínimo
APATITA	2,4 a 60,0	2.77 2.80	área	1	.9897	8.3	25.2	----	1	.9845	8.1	28.9	.3
CALCITA	2,0 a 30,0	3.03	altura	1	.9724	12.1	24.8	1.4	1	.9435	22.1	38.9	1.9
BIOT.-FLOGOP.	2,0 a 60,0	10.0	área	3	.9307	12.1	29.0	----	3	.9467	9.6	23.1	.6
MAGNETITA	3,0 a 60,0	1.48	área	1	.9921	12.4	22.3	----	1	.8213	54.9	108.2	8.7
FELDSPATOS	5,0 a 60,0	3.78	área	2	.9890	21.8	43.0	.8	2	.9653	16.4	95.6	.4
FELDSPATOS	0,0 a 60,0	4.22	área	2	.8449	17.2	58.2	1.0	2	.9199	10.3	43.9	----
QUARTZO	5,0 a 55,0	1.84	área	1	.9948	8.7	21.7	2.1	1	.9970	8.2	25.6	.6
PIROXÊNIO	5,0 a 80,0	2.98	altura	2	.9832	14.3	52.6	2.3	2	.9636	16.5	49.9	.8
ANFIBÓLIO	3,0 a 30,0	8.4	área	2	.9569	18.6	33.5	3.5	2	.9569	24.3	71.8	1.2
ANALCIMA	3,0 a 30,0	5.6	área	1	.9265	16.1	27.6	6.4	1	.9492	13.8	29.8	2.0

FIGURA 29

CURVAS DE CALIBRAÇÃO: APATITA, CALCITA, BIOTITA-FLOGOPITA e QUARTZO

FIGURA 30

CURVAS DE CALIBRAÇÃO: MAGNETITA, ANALCIMA, PIROXÊNIOS e ANFIBÓLIOS

FIGURA 31
CURVAS DE CALIBRAÇÃO: FELDSPATOS

A curva de calibração da analcima, mineral de pouca sensibilidade ao método, foi baseada na raia característica d(211), com intensidade relativa de 60 a 80%. Nota-se uma maior dispersão dos pontos para a faixa de teores mais elevados (figura 30).

A nefelina, embora mineral primário importante no maciço, ocorre geralmente alterada em analcima. Foi encontrada em apenas 15 amostras (14 das quais de minério de rocha), nas quais aparece em proporções menores, até como traços. Dado a sua restrita ocorrência, não são discutidos neste trabalho os resultados relativos à sua distribuição e proporções na jazida.

Para a vermiculita, tem-se drástica queda de resolução do seu pico característico nas condições de pulverização adotadas (ver discussão no item 7.2.3.), inviabilizando a utilização do método empregado. Os teores de vermiculita para o minério residual foram estimados por diferença.

7.2.8. Considerações sobre a precisão analítica

A metodologia analítica implantada para a determinação semiquantitativa dos principais minerais presentes no maciço de Anitápolis pode ser aplicada para teores acima de 3 - 5% em peso, com desvio médio ao redor de 15% e máximos entre 30 a 50%, em função do mineral a analisar (ver tabela 12). O limite de detecção (qualitativo) por difração de raios X situa-se entre 1 a 3%.

Os principais fatores que interferem na precisão analítica são relacionados a seguir, em ordem de importância decrescente:

- metodologia de preparação das amostras (pulverização, homogeneização do padrão interno e prensagem);
- variações nas composições químicas dos minerais analisados (piroxênios, anfibólios, biotita-flogopita e também, em parte, os feldspatos) e em suas estruturas cristalinas;
- interferência nos picos característicos utilizados como base para a quantificação (calcita e piroxênios principalmente);
- maior ou menor precisão analítica na determinação da composição mineralógica das amostras de referência utilizadas

para definir as curvas de calibração;

- desvios decorrentes do próprio equipamento de difração de raios X.

A ação conjunta de todos estes fatores e os desvios relativamente elevados conduziram a uma rotina operacional em que os resultados de quantificação dos diversos minerais foram agrupados em classes de frequência, com intervalos de 10% em peso. Deste modo, foram assumidos os seguintes valores:

Classe de frequência	Faixa de proporções de minerais
Tr	< 3%
5%	3 a 10%
15%	10 a 20%
25%	20 a 30%
35%	30 a 40%
45%	40 a 50%
55%	50 a 60%
65%	60 a 70%
75%	70 a 80%
85%	80 a 90%
95%	90 a 100%

A definição destas classes de frequência atende plenamente os objetivos de definir uma macrodistribuição dos minerais na jazida, caracterizando tipos de minério de interesse para o beneficiamento mineral.

Os desvios analíticos na quantificação dos diversos minerais devem estar, na maioria dos casos, englobados dentro de suas classes de frequência

As mesmas faixas de frequência foram adotadas para a vermiculita. O erro admitido nesta quantificação é, entretanto, significativamente maior do que o obtido para os demais minerais, já que a proporção de vermiculita foi determinada por diferença.

Para a apatita foram definidas classes de frequência com

intervalos de 5% em peso, em razão da sua importância como único mineral de minério e dos baixos desvios obtidos na etapa de calibração. Os teores assim determinados foram sistematicamente conferidos com os calculados a partir de dados químicos (P2O5 apatítico).

7.2.9. Procedimento Adotado para Análises de Rotina

No programa de análises mineralógicas semiquantitativas, foram estudadas cerca de 250 amostras de testemunhos de sondagens. O esquema de procedimento adotado para as análises de rotina está exposto na figura 32.

Os testemunhos de sondagem foram partidos ao meio segundo intervalos de 1,0 m para o material residual e de 5,0 m para a rocha fresca. Uma das metades permaneceu nas caixas de testemunhos, arquivadas em Anitápolis; a outra parcela foi encaminhada ao laboratório.

As amostras recebidas foram submetidas a cominuição a - 6 malhas Tyler (3,18 mm) através de britagem em britador de mandíbulas, seguida de moagem grosseira em moinho de rolos. Do produto - 6 malhas, após secagem, era retirada uma alíquota através de quarteamento (quarteador Jones), com cerca de 40 gramas, para moagem em moinho de vibratório.

Uma alíquota do material finamente moído era então analisada quimicamente. Em função dos resultados dessas análises e da descrição dos testemunhos, foram então definidas as porções de capeamento estéril, do minério residual e da rocha fresca. Análises difratométricas foram realizadas apenas em amostras de minério residual e de rocha fresca.

Foram preparadas amostras compostas a partir de alíquotas proporcionais aos intervalos amostrados. As amostras assim obtidas foram homogeneizadas manualmente através de intensa agitação em saco plástico e quarteadas em três alíquotas: uma para análise difratométrica qualitativa, uma para arquivo e a outra para a análise difratométrica semiquantitativa.

O minério residual foi considerado como um conjunto único, não se diferenciando os "horizontes A, B e C", em razão da pequena representatividade dos mesmos em termos de lavra.

FIGURA 32

ESQUEMA DE PROCEDIMENTO PARA ANÁLISES DIFRATOMÉTRICAS

Para a rocha fresca analisaram-se, inicialmente, amostras médias compostas dos testemunhos de sondagens, à semelhança do minério residual, porém com grande diversidade nos intervalos amostrados (desde poucos metros até cerca de 100 m). A qualidade da informação assim obtida pode, eventualmente, prejudicar uma avaliação mais precisa da distribuição horizontal dos vários minerais. Para avaliar este efeito e a variação vertical em maior detalhe, tomaram-se amostras correspondentes a intervalos de 20 m de profundidade (dois bancos de lavra), contidas preferencialmente entre as cotas de 720 a 880 m, na porção prevista de ser explotada segundo o anteprojeto de lavra (perfis 400, 600, 800, 1000, 1200 e 1400 EW; PAA, 1980 d).

7.3. Estudos de Caracterização Tecnológica

Os estudos de caracterização foram executados com o objetivo de determinar a composição mineralógica de amostras de minério e dados tecnológicos básicos, como suporte aos ensaios de desenvolvimento do processo de beneficiamento; foram executados em três etapas distintas, conforme exposto a seguir:

- estudos preliminares de caracterização: realizados simultaneamente à fase preliminar de pesquisa (fase A, Vergara, 1979 b; 1980);

- estudos sistemáticos de caracterização: realizados em amostras de minério residual e de rocha;

- estudos complementares: compreenderam os estudos mineralógicos de acompanhamento dos ensaios de processos, de concentrados finais de flotação e de amostras "média" da jazida.

As atividades executadas nestas etapas foram:

- análise macroscópica das amostras;
- homogeneização e cominuição;
- classificação granulométrica acompanhada de análises químicas das frações obtidas;

- ensaios de separações minerais através de líquidos densos e separador eletromagnético Frantz, acompanhado de análises químicas e/ou mineralógicas (microscopia óptica e difração de raios X);

- determinação da composição mineralógica do minério;

- determinação do grau de liberação da apatita e de aspectos de recobrimento superficial por óxidos de ferro;
- comportamento do fósforo na etapa de cominuição/deslamagem.

As três etapas de estudos realizados são descritas a seguir.

7.3.1. Estudos Preliminares

Na primeira etapa estudaram-se amostras compostas de minério residual e de rocha. Nesta etapa os estudos de processos foram conduzidos a nível de ensaios de bancada.

As amostras de minério residual foram compostas a partir de amostras coletados em 5 poços de pesquisa (P-13, P-14, P-20, P-21 e P-24) com profundidades médias de 10 m, gerando um total de 500 kg de amostra para estudos tecnológicos. As de minério de rocha foram compostas a partir de furos de sondagens, executados nesta fase de pesquisa (furos 6, 9, 10, 11, 13 e 14), num total de 379 kg de amostra.

A etapa de cominuição da amostra de minério residual foi efetuada em circuito fechado composto de moinho de barras (1x2') e classificador espiral de 6" (15,2 cm); o "overflow" do classificador foi deslamado em hidrociclone. Estudou-se o produto deslamado, correspondente ao "underflow" do hidrociclone.

Para o minério de rocha foram testadas três condições distintas de moagem: a primeira semelhante à utilizada para o minério residual, a segunda em circuito aberto e a terceira também em circuito aberto, porém com maior taxa de alimentação, com o objetivo de produzir material mais grosseiro.

Os produtos de moagem foram classificados através de peneiramento a úmido em 48, 65, 100, 150, 200 e 400 malhas Tyler. O passante em 400 malhas foi classificado em ciclopeneirador.

Todas as frações granulométricas, à exceção do "overflow" do ciclopeneirador, foram submetidas à separação em líquido denso (tetra-bromo-etano $d = 2,96$) seguido de separação eletromagnética do "afundado" com obtenção de 4 produtos, através do separador Frantz.

7.3.2. Estudos Sistemáticos de Caracterização

O estudo comparativo de amostras de minério residual, coletadas em galerias de pesquisa, constituiu a segunda etapa, na qual procedeu-se a testes de beneficiamento em escala piloto; os produtos intermediários e finais foram avaliados quanto a composição mineralógica e aspectos de liberação e impregnação superficial da apatita.

A locação das galerias de pesquisas foi baseada nos resultados do zoneamento mineralógico preliminar (ver item 8.1.2.). A amostragem das galerias foi efetuada de metro em metro e acompanhada por análises químicas. Com base nestes dados, o material retirado foi composto em intervalos maiores, nos quais as variações químicas e mineralógicas eram pouco significativas.

Foram assim obtidas 16 amostras, estudadas segundo um procedimento padronizado e comparativo, determinando-se a composição mineralógica, o comportamento dos minerais na moagem e deslamagem, o grau de liberação da apatita e outros aspectos de interesse no processamento mineral.

Estas amostras, após homogeneização e britagem a - 6 malhas Tyler (3,36 mm), foram peneiradas em 48 malhas (0,297 mm). O produto retido foi moído em moinho de bolas até 100% em peso abaixo de 48 malhas, e incorporado ao passante inicial. Todo o material foi então peneirado em 400 malhas Tyler (0,037 mm), seguido de separação em líquido denso (tetra-bromo-etano $d = 2,96$) da fração -48 +400 malhas.

Adicionalmente foram estudadas em maior detalhe outras oito amostras provenientes da zona anômala da jazida (galeria GPF, carbonatito com elevados teores de Ba), com a finalidade de definir a mineralogia presente.

Para o minério de rocha foram compostas duas amostras de minério, tomando por base as principais litologias presentes (ver item 8.2.2.). Estas amostras, após britagem a - 6 malhas (3,36 mm), foram moldas em moinho de barras a - 65 malhas (0,210 mm). Tanto os produtos de britagem, como os de moagem, foram classificados granulométricamente, com acompanhamento através de análises químicas de P205. Em uma das amostras procedeu-se variações nas condições de moagem (- 65#, - 48# e - 35#), de

modo a avaliar o comportamento do fósforo nesta etapa. Análises mineralógicas e estudos de liberação e impregnação da apatita também foram realizados.

7.3.3. Estudos Complementares

Compreenderam a execução de análises mineralógicas de acompanhamento aos ensaios de processo de diversas amostras de minério residual. Estudaram-se também outras amostras compostas de minério residual, simulando a composição média da jazida, em suporte a estudos dos processos de beneficiamento desenvolvidos pela IFC - Indústria de Fosfatados Catarinense S.A. (testes em usina piloto na jazida de Anitápolis) e pela Serrana S.A. de Mineração (testes de célula pneumática em Jacupiranga, S.P.).

Os concentrados finais de flotação (minério residual e de rocha, num total de 4 amostras) foram também estudados para definir as impurezas presentes e sua associação com a apatita.

CAPITULO 8

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS MINERAIS NA JAZIDA

Neste capítulo são apresentados os resultados decorrentes dos estudos de distribuição de minerais, tanto no minério residual como no minério de rocha.

8.1 Minério Residual

Comenta-se, a seguir, os resultados obtidos no estudo do minério residual, enfatizando a distribuição dos principais minerais presentes e a definição de uma tipologia preliminar.

8.1.1 Distribuição dos Minerais

Os resultados das análises mineralógicas semiquantitativas para o material mineralizado a fosfato (conforme item 7.2.8.) são apresentados em mapas de distribuições minerais nas figuras 33 a 36.

A apatita (fluorapatita, conforme as análises difratométricas) apresenta ampla distribuição na jazida (figura 33). Concentra-se na porção norte da jazida, coincidentemente com as regiões de maiores espessuras de material residual e de ocorrência de fosfatos secundários (ver figuras 9 e 14). Os menores teores são encontrados na zona de bordo (sienitos) e nas cercanias do corpo de carbonatito beforítico (furo 49; comparar figuras 33 e 7).

Feldspatos, vermiculita e piroxênios são os principais minerais de ganga do minério residual.

Os feldspatos ocorrem principalmente na zona de bordo, onde constituem mais de 50% em peso do minério (figura 33). Sua distribuição no minério residual é condicionada pela litologia subjacente. Na mesma figura observa-se a projeção de duas "línguas" com maiores conteúdos de feldspatos para o centro da jazida. Tal fato se deve não só à distribuição original na rocha, como também ao elevado gradiente topográfico e maior intensidade de fraturamento no bordo SE, que propiciaram um enriquecimento

FIGURA 33

MINÉRIO RESIDUAL : MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DE APATITA E FELDSPATOS

FIGURA 34

MINÉRIO RESIDUAL: MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DE VERMICULITA E PIROXÊNIOS

FIGURA 35

MINÉRIO RESIDUAL: MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DE CALCITA E ANFIBÓLIO

FIGURA 36

MINÉRIO RESIDUAL: MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DE, ANALCIMA E
TIPOLOGIA PRELIMINAR DE MINÉRIO

adicional de mactações sieníticos nesta porção do depósito coluvionar. Foram identificados tanto o feldspato potássico (ortoclásio-microclínio), como o sódico (albita, An <10).

A vermiculita comumente apresenta-se como variedade interestratificada, ora com hidrobiotita, ora com esmectita. Ocorre em quantidades variáveis, desde teores da ordem de 5% até proporções que superam 50% em peso. Os teores apresentados incluem localmente a eventual presença de caolinita e/ou clorita e/ou illita (figura 34). De modo geral, sua distribuição está relacionada com a presença de biotita-flogopita na rocha fresca; os maiores teores ocorrem na porção NE da área estudada, enquanto que os menores conteúdos são observados nas porções de borda da jazida (predomínio de sienitos).

Os piroxênios ocorrem praticamente em toda a zona mineralizada, atingindo proporções de até 50% (figura 34). Somente não foram detectados nos furos 09 (foscóritos) e 49 (beforsito). São distinguíveis duas variedades: uma sódica, egirina e egirina-augita, e outra mais cálcica, diopsídio-augita.

A exemplo do observado para a vermiculita e para os feldspatos, a distribuição dos piroxênios também é condicionada pela sua abundância na rocha fresca. Nota-se a projeção de três "línguas" de direção SW-NE com maiores conteúdos de piroxênio, que se superpõem a regiões de maior presença de ijolitos.

A calcita, o principal carbonato detectado no minério residual, ocorre predominantemente na porção central da área estudada (figura 35), atingindo quantidades máximas da ordem de 20% em peso. Devido à sua importância como mineral interferente no processo de beneficiamento, além da quantificação pela rotina analítica implantada, foram definidos os limites de sua área de ocorrência, através de testes com ácido clorídico nos testemunhos de sondagem. Trata-se de um mineral primário, cuja distribuição é controlada pelos teores presentes na rocha fresca.

O anfibólio ocorre em duas variedades, uma mais sódica (eckermannita-arfverdsonita) e outra mais cálcica (tremolita). Aparece em quantidades inferiores a 10% em peso, numa faixa alongada segundo a direção EW, na porção norte da jazida (linha 1000 a 1400 NS, figura 35).

A analcima (figura 36) aparece em quantidades inferiores a

20% em peso, preferencialmente na porção central da área estudada.

A magnetita é mineral acessório comum (< 10%), detectado em 70% das amostras estudadas (limite de detecção 3% em peso aproximadamente), mas que aparece em quantidades significativas em apenas uma amostra (40 a 50% em peso - furo 09, foscorito).

A nefelina, que foi observada em apenas uma amostra (furo 10), não foi quantificada.

Fosfatos secundários (amorfos ou de baixa cristalinidade) foram detectados através da análise das relações de teores $\text{CaO/P}_2\text{O}_5$. A sua principal ocorrência no minério se dá na porção NW-W da jazida, coincidentemente com a região de maiores espessuras de minério e teores de apatita (ver figura 14).

Dolomita, barita e baritocalcita foram detectadas apenas no furo 49 (beforsito).

O quartzo foi detectado em cerca de 20% das amostras, nas quais ocorre principalmente como mineral traço (<3%), preferencialmente junto à zona de bordo da jazida. Provém, provavelmente, de rochas do embasamento que se misturaram às rochas alcalinas do maciço durante a formação do depósito de talus.

8.1.2 Tipologia Preliminar do Minério Residual

O zoneamento preliminar do minério residual foi realizado tomando por base a distribuição dos dois principais minerais de ganga ferromagnesianos: a vermiculita e o piroxênio. Foram identificados oito tipos de minério (figura 36), fundamentados na distribuição das seguintes classes de frequência:

- vermiculita: < 30, 30-50 e > 50%;
- piroxênio: < 10, 10-30 e > 30.

Os vários tipos de minério (T1 até T8) e suas distribuições na jazida aparecem definidos na tabela 13.

Perto de 85% da área estudada é constituída pelos tipos T2, T4 e T5; o tipo T1 é o mais periférico e provavelmente será explotado de forma restrita.

TABELA 13
TIPOLOGIA PRELIMINAR DO MINÉRIO RESIDUAL

			Distribuição
Tipol	% Vermiculita	% Piroxênio	na jazida
			(% em área)
T1	< 30	< 10	6,1
T2	< 30	10-30	58,3
T3	< 30	> 30	3,3
T4	30-50	< 10	11,2
T5	30-50	10-30	15,7
T6	30-50	> 30	0,4
T7	> 50	< 10	3,5
T8	> 50	10-30	1,5

A partir desta divisão, passou-se a uma análise da tipologia em função dos demais minerais presentes (tabela 14). Cerca de 19% da área estudada apresenta conteúdos de apatita inferiores a 10% em peso, correspondendo ao tipo T2 e, subordinadamente, aos tipos T1 e T4.

Feldspatos, em conteúdos acima de 20 % em peso, ocorrem em 75 % da área estudada. Os tipos T5, T6, T7 e T8 são os mais pobres em feldspatos.

Os carbonatos estão ausentes em aproximadamente 62% da jazida. Os conteúdos mais expressivos são encontrados nos tipos T2, T3, T4 e T5.

O anfibólio mostra distribuição algo semelhante à da calcita, com maior concentração nos tipos T4, T5 e T7 (micáceos).

A composição mineralógica estimada por tipo de minério é apresentada na tabela 15. Como critério para o cálculo adotou-se a média ponderada entre os resultados de análises mineralógicas semiquantitativas e os intervalos de amostragem correspondentes, com valor final recalculado para fechamento em 100%; este procedimento subavalia os minerais acessórios em razão dos limites de sensibilidade do método analítico. O fato de se ter

TABELA 14

DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS POR TIPO DE MINÉRIO : MINÉRIO RESIDUAL

TIPO DE MINÉRIO	DISTRIBUIÇÃO NA JAZIDA (%)	APATITA (%)			FELDSPATOS (%)			CALCITA (%)			ANFIBÓLIO (%)		
		< 10	10-20	> 20	< 20	20-40	> 40	ND	SONDAS.	> 3	< 2	2-5	5-10
T1	6.10	2.00	.70	3.40	1.80	4.10	Tr	5.50	.60	---	5.50	.60	---
T2	58.30	13.80	28.30	16.20	5.50	35.30	17.50	37.40	12.80	8.10	49.70	6.70	1.90
T3	3.30	Tr	2.70	Tr	1.70	1.30	Tr	2.00	Tr	1.10	2.70	.60	---
T4	11.20	2.10	6.90	2.20	2.70	8.50	---	6.20	3.40	1.60	3.70	6.50	1.00
T5	15.70	.80	13.30	1.60	9.20	6.10	Tr	9.20	3.10	3.40	8.60	5.80	1.30
T6	.40	---	Tr	Tr	Tr	---	---	Tr	Tr	---	Tr	Tr	---
T7	3.50	---	3.20	Tr	2.50	1.00	---	1.40	1.50	.60	---	2.40	1.10
T8	1.50	---	1.50	---	1.50	---	---	Tr	.90	Tr	1.00	Tr	Tr
TOTAL	100.00	18.70	56.60	23.40	24.90	56.30	17.50	61.70	22.30	14.80	71.20	22.60	5.30

Tr , FREQUÊNCIA NA JAZIDA ABAIXO DE 0,5%

ND , NÃO DETECTADO

TABELA 15

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA POR TIPO DE MINÉRIO - MINÉRIO RESIDUAL

MINERAIS (%)	TIPO DE MINÉRIO								TOTAL
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
APATITA	20	21	19	23	23	ND	18	16	21
FELDSPATOS	42	35	24	17	20	ND	13	TR	28
VERMICULITA (1)	18	21	12	42	36	ND	56	66	27
PIROXÊNIO	5	19	37	4	17	ND	5	16	18
CALCITA (2)	-	1	2	1	TR	ND	TR	TR	1
ANFIBÓLIO (2)	-	1	TR	TR	2	ND	1	TR	1
ANALCIMA (2)	-	TR	4	-	TR	ND	-	-	TR
MAGNETITA (2)	7	1	1	12	2	ND	7	2	3
QUARTZO (2)	8	TR	-	TR	TR	ND	-	TR	1

(1) INCLUI LOCALMENTE OUTROS ARGILOMINERAIS

(2) VALORES SUBAVALIADOS EM RAZÃO DOS LIMITES DE SENSIBILIDADE ANALÍTICA

ND NÃO DETERMINADO

utilizado o valor médio da classe de frequência não deve significar desvios mais elevados (à medida que cresce o número de amostras dentro de uma classe, a média dos valores reais tende a se aproximar do valor médio da classe).

Eventualmente, pretende-se aproveitar o feldspato como subproduto. Este mineral, entretanto, concentra-se principalmente nas áreas de bordo (tipos T1 e T2) que provavelmente não serão explotadas em sua totalidade, seja pelos menores conteúdos em fósforo, seja pela necessidade da sustentação das escarpas de bordo (aspectos geotécnicos). Além da quantidade de feldspatos, é também importante verificar o seu estado de alteração intempérica e de associação com os óxidos de ferro, parâmetros estes que interferem no seu valor comercial e que não são mensuráveis na análise difratométrica.

8.2. Minério de Rocha

8.2.1. Distribuição dos Minerais

A distribuição espacial dos diversos minerais, elaborada a partir dos resultados das análises mineralógicas para amostras de rocha (compostas por furo de sondagem ou intervalos de 20 m, item 7.2.7.) é mostrada em mapas (figuras 37 a 40) e em perfis verticais de direção E-W (figuras 41 a 46).

A apatita concentra-se, preferencialmente, na porção centro-nordeste da jazida, em área de rochas ultramáficas; os menores teores são observados nos extremos SE (série dos ijolitos) e NW (série dos feldspato alcalino e nefelina sienitos).

Os feldspatos ocorrem principalmente nas zonas de bordo, onde atingem teores superiores a 30%; não foram detectados na porção centro-leste-sudeste (série das rochas ultramáficas e ijolitos). Considerando-se os intervalos amostrados, inexiste praticamente variação vertical nos teores de feldspatos.

Os maiores teores de biotita-flogopita são observados na porção centro-nordeste (série das rochas ultramáficas); secundariamente, nota-se uma estreita faixa enriquecida, orientada segundo a direção NW, no extremo sudeste da área estudada. Os menores teores (< 10%) são encontrados na zona de

FIGURA 37

MINÉRIO DE ROCHA: MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DE APATITA E FELDSPATOS

FIGURA 38

MINÉRIO DE ROCHA: MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DE BIOTITA-FLOGOPITA E PIROXÊNIOS

FIGURA 39

MINÉRIO DE ROCHA: MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DE CALCITA E ANFIBÓLIO

FIGURA 40

MINÉRIO DE ROCHA: MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ANALCIMA E TIPOLOGIA PRELIMINAR DE MINÉRIO

APATITA

FIGURA 41

DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE APATITA

FELDSPATOS

FIGURA 42

DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE FELDSPATOS

VERMICULITA
BIOTITA-FLOGOPITA

FIGURA 43

DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE BIOTITA-FLOGOPITA E VERMICULITA

PIROXÊNIO

FIGURA 44
DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE PIROXÊNIO

CALCITA

FIGURA 45

DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE CALCITA

ANFIBÓLIO

FIGURA 46

DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE ANFIBÓLIO

bordo (série dos feldspato alcalino sienitos). De modo geral o comportamento é inverso ao observado para os feldspatos. A variação vertical, embora presente localmente, é pouco marcada.

Os piroxênios apresentam em geral uma distribuição algo mais homogênea, com tendências de enriquecimento opostas às observadas para biotita-flogopita. Na zona de ocorrência das rochas ultramáficas, os teores predominantes de piroxênio são da ordem de 10 a 20%; estes valores crescem para as zonas de bordo, atingindo até 40%. Os teores mais baixos são observados na região de ocorrência de beforsitos e veios de foscóritos (furos 49 e 9, respectivamente). A distribuição vertical é bastante homogênea.

A calcita mostra enriquecimento na porção central da jazida, com dois núcleos principais, grosseiramente alinhados na direção N-NW, concordantes com a área de ocorrência de rochas da série dos ijolitos. A calcita apresenta-se distribuída pela quase totalidade da área estudada, à exceção do bordo NW. Os dados de distribuição vertical (figura 45) mostram variações mais significativas que a dos demais minerais, refletindo provavelmente a distribuição errática dos veios carbonatíticos.

O anfibólio, detectado apenas na porção norte entre as linhas 800 e 1400 NS (figura 46), mostra área de ocorrência coincidente com a de maiores conteúdos de biotita-flogopita.

A analcima é observada quase que exclusivamente na região da série dos ijolitos e, subordinadamente, na dos nefelina sienitos, numa faixa alongada de direção NW.

A magnetita foi detectada em cerca de 65-70% das amostras analisadas; ocorre em maiores quantidades principalmente nos furos 9 e 6 (veios de foscórito). O quartzo foi observado como traço apenas no furo 26 (que atravessa rochas da série dos feldspato alcalino sienitos). A nefelina foi encontrada em pequeno número de amostras, principalmente em área de ocorrência de ijolitos e nefelina sienitos.

A dolomita e variedades de carbonatos de bário, além de outros minerais acessórios, foram encontrados na porção SE da área estudada (principalmente no furo 49). Rodrigues (1985) cita a ocorrência subordinada de dolomita, e mais raramente de siderita, ankerita e magnesita, associadas aos veios de carbonatitos.

8.2.2. Tipologia Preliminar do Minério de Rocha

A semelhança do minério residual (item 8.1.2.), a tipologia do minério de rocha foi definida, inicialmente, em função da variação das proporções dos silicatos ferromagnesianos mais importantes.

Os piroxênios, como já discutido, mostram distribuição inversa e algo mais homogênea que a observada para a biotita-flogopita, com teores de 20 a 40% em média. Em razão do exposto, e dos resultados de ensaios de beneficiamento não indicarem maiores interferências dos piroxênios presentes no minério residual, adotou-se como premissa inicial o conteúdo de biotita-flogopita (< 10 ; 10-30 e $> 30\%$) para a definição preliminar dos tipos de minério de rocha.

Os carbonatos, apesar de serem reconhecidamente os minerais que mais interferem no processo, não foram considerados para efeito de tipologia, em virtude da forma errática de ocorrência dos veios carbonatíticos.

A distribuição dos vários tipos de minério de rocha e dos principais minerais presentes é mostrada na tabela 16. Como era de se esperar, a tipologia definida coincide com as séries litológicas presentes no mapa geológico (figura 7, ver também tabela 17).

TABELA 17
TIPOLOGIA PRELIMINAR DO MINERIO DE ROCHA
INDICES MINERALOGICOS vs LITOLOGIA

Tipo		% biotita-flogopita	série litológica
I		> 30	rocha ultramáficas
II		10-30	ijolitos
III		< 10	sienitos

TABELA 16

TIPOLOGIA DO MINÉRIO DE ROCHA E DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS

TIPO DE MINÉRIO	% BIOTITA- FLOGOPITA	DISTRIBUIÇÃO EM ÁREA (%)	FAIXAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS (%)				
			APATITA	FELDSPATO	PIROXÊNIO	CARBONATO	ANFIBÓLIO
I	> 30	33	10-20	0-10	0-30	0-15	0-5
II	10 - 30	48	10-20	0-10	10-30	10-20	0-5
III	< 10	19	0-15	0-40	10-50	0-15	---

Estas semelhanças permitiram simplificar a definição dos tipos de minério de rocha, que passou a ser feita com base nos dados de descrições macroscópicas de rochas (testemunhos de sondagens), sem a execução rotineira de análises mineralógicas.

A tabela 18 apresenta a distribuição aproximada dos tipos de minério, considerando-se as reservas geológicas (P205 > 0%) e de minério (P205 > 4,0%), as descrições dos testemunhos de sondagens (Vergara, 1979 b) e os resultados de análises mineralógicas semiquantitativas. A composição mineralógica média para os tipos de minério de rocha é apresentada na tabela 19 (o critério de cálculo utilizado foi o mesmo adotado para o minério residual, item 8.1.2.).

Em relação ao aproveitamento de subprodutos, prevê-se o uso de calcita como matéria prima para a indústria cimenteira.

TABELA 18

DISTRIBUIÇÃO APROXIMADA DOS TIPOS DE MINERIO DE ROCHA

I TIPO DE MINERIO	Intervalos amostrados		Distribuição na jazida	
	(metros)		(%)	
	reserva minério		reserva minério	
	geológica (P205>4,0%)		geológica (P205>4,0%)	
II R. ULTRAMAF.	460,8	402,3	29,4	31,9
III IJOLITOS	680,9	543,7	43,4	43,2
IIII SIENITOS	427,2	313,7	27,2	24,9
I TOTAL	1568,8	1259,7	100,0	100,0

TABELA 19
COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA ESTIMADA POR TIPO DE MINÉRIO
MINÉRIO DE ROCHA

MINERAIS (%)	TIPO DE MINÉRIO			média na jazida
	I	II	III	
	r. ultramáf.	ijolitos	sienitos	
apatita	17	13	12	14
feldspato	Tr	9	33	26
biot/flog.	38	19	15	24
piroxênio	16	30	33	26
calcita	18	20	15	18
anfibólio *	2	1	1	1
analcima *	3	6	1	4
magnetita *	6	1	Tr	2
nefelina **	Tr	Tr	Tr	Tr
quartzo *	-	-	Tr	Tr
vermiculita	Tr	Tr	Tr	Tr

* Valores subavaliados em razão dos limites de sensibilidade analítica

** Mineral não quantificado

CAPITULO 9

ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

São apresentados inicialmente os resultados obtidos na fase preliminar. A seguir, são comentados os estudos sistemáticos realizados tanto no minério residual como no de rocha. Um item a parte é dedicado ao estudo de material proveniente da região de beforsitos.

9.1. Fase Preliminar

Foram estudadas inicialmente duas amostras de minério (ver item 7.3.) cujas composições químicas são apresentadas na tabela 20.

TABELA 20
FASE PRELIMINAR - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS

teores (%)		minério residual	minério de rocha
P205		8,5	6,3
CaO		10,0	23,3
SiO ₂		27,9	28,8
Fe ₂ O ₃		24,5	15,6
Al ₂ O ₃		10,8	nd
MgO		3,0	nd
CaO/P205		1,18	2,48

nd: não determinado

As amostras britadas a - 6 malhas Tyler (3,18 mm) foram moidas em moinho de barras (a de minério residual em circuito fechado, e a de rocha em circuito aberto, ver item 7.3.); os conteúdos de lamas e perdas de P205 foram determinados através de classificação em hidrociclone (tabela 21). Com o objetivo de minimizar as perdas de P205 junto às lamas do minério residual,

procedeu-se a ensaio de moagem simulada da fração acima de 48 malhas, previamente classificada. Os resultados de classificação granulométrica e de distribuição de P205 nos produtos de moagem são apresentados na forma de curvas granulométricas acumulativas (papel Rosin - Rammler), na figura 47.

TABELA 21
RESULTADOS DE ENSAIOS DE DESLAMAGEM

AMOSTRA	PRODUTO	% PESO	TEOR(%)		DISTRIBUIÇÃO	
			P205		P205(%)	
MINÉRIO RESIDUAL	"underflow"	68,28	10,70	85,96		
	"overflow "	31,72	3,76	14,03		
	total	100,00	8,50	100,00		
MINÉRIO DE ROCHA	"underflow"	87,50	6,25	88,15		
	"overflow "	12,50	5,60	11,35		
	total	100,00	6,17	100,00		

(1) Moagem em circuito fechado;

"underflow": material deslamado, correspondente à alimentação da flotação;

"overflow": lamas do processo de beneficiamento

A composição mineralógica estimada dos produtos deslamados é mostrada na tabela 22.

No minério residual, a vermiculita, os feldspatos e a magnetita concentram-se nas frações granulométricas mais grosseiras e a apatita nas frações intermediárias. O feldspato predominante é o ortoclásio-microclínio, parcialmente alterado, e com intenso recobrimento por óxidos-hidróxidos de ferro. Piroxênios sódico-cálcicos (egirina-augita e, subordinadamente, diopsídio-augita, de tons mais claros) apresentam ampla predominância sobre os anfibólios (tremolita, de hábito fibroso); ambos encontram-se parcialmente alterados em uma massa de óxidos-hidróxidos de ferro e argilominerais secundários. Encontram-se ainda clorita, anatásio e goethita ("outros" na tabela 22), esta

MINÉRIO RESIDUAL

MINÉRIO DE ROCHA

- 1- PROD. MOAGEM CONTINUA - % PESO
- 2- PROD. MOAGEM SIMULADA - % PESO
- 3- PROD. MOAGEM CONTINUA - DISTRIBUIÇÃO $P_{2}O_{5}$
- 4- ALIMENTAÇÃO MOAGEM - % PESO
- 5- PROD. MOAGEM SIMULADA - DISTRIBUIÇÃO $P_{2}O_{5}$
- 6- ALIMENTAÇÃO MOAGEM - DISTRIBUIÇÃO $P_{2}O_{5}$

- 1- PRODUTO MOAGEM - % PESO
- 2- PRODUTO MOAGEM - DISTRIBUIÇÃO $P_{2}O_{5}$
- 3- ALIMENTAÇÃO MOAGEM- % PESO
- 4- ALIMENTAÇÃO MOAGEM- DISTRIBUIÇÃO $P_{2}O_{5}$

FIGURA 47

RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS: ALIMENTAÇÃO E PRODUTOS DE MOAGEM (FASE PRELIMINAR)

TABELA 22

FASE PRELIMINAR - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS MINÉRIOS DESLAMADOS

MINERAIS (%)	Minério Residual(1)	Minério de Rocha
Apatita	24	15
Fosfato secundário	Tr	--
Feldspato	12	18
Quartzo	8	--
Piroxênio e Anfibólio	13	24
Vermiculita	3	--
Biotita-Flogopita	--	20
Calcita	--	17
Magnetita	11	5
Outros	2	1

(1) moagem em circuito fechado

última intercrescida ou não com argilominerais (agregados argilo-limoníticos), os quais concentram-se nas lammas.

Na moagem do minério de rocha, a biotita-flogopita se concentra nas frações grosseiras. Apatita acumula-se preferencialmente nas frações intermediárias a finas (0,10 a 0,02 mm) e a calcita nas finas.

Também aqui foram encontradas as duas variedades citadas de piroxênio; anfibólio ocorre subordinadamente.

Apatita, em ambas as amostras, apresenta grau de liberação da ordem de 85% para as condições de moagem adotadas (P80 residual = 0,115 mm e P80 rocha = 0,170 mm). A presença de películas de recobrimento nos grãos de apatita é pouco significativa para o minério residual e quase inexistente para o minério de rocha.

9.2. Estudos Sistemáticos de Amostras de Minério Residual

Estudos sistemáticos de caracterização tecnológica do minério residual foram executados em amostras provenientes de galerias de pesquisa, distribuídas na futura área de lavra.

A localização das galerias (figura 8) foi determinada com base nas descrições dos testemunhos de sondagens e no zoneamento dos tipos de minério preliminarmente definidos (item 8.1.2.). A localização e abertura das galerias foram realizadas de modo a obter amostras dos minérios mais representativos para a execução de ensaios tecnológicos. Prevvia-se, inicialmente, que as galerias atingiriam até a rocha fresca, mas a elevada espessura do manto de intemperismo e dificuldades técnicas na execução de galerias profundas forçaram mudanças na programação, de modo a obter apenas amostras do minério residual (Vergara, 1979 b).

Foram abertas cinco galerias, com extensão total da ordem de 210,5 m escavados. Quatro destas galerias deram origem a dezesseis amostras compostas, as quais foram objeto de estudos comparativos de caracterização (item 9.2.2.). As características da galeria GPF, situada em uma região anômala da jazida, são descritas em maior detalhe no item 9.3.. Paralelamente a execução destes estudos realizaram-se uma série de análises mineralógicas em suporte aos estudos de desenvolvimento de processos.

9.2.1. Características Gerais das Galerias de Pesquisa

A galeria GVV (ver figura 8) está localizada em área de ocorrência de rochas da série dos nefelina sienitos, próxima ao contato NW da jazida (Vergara, 1979 b). Esta galeria alcançou uma profundidade de 22,5 m, dos quais foram amostrados 18,0 m. São assinaladas 4 zonas distintas. De 0,0 a 3,0 m de profundidade, tem-se material superficial (capeamento estéril-coldúvio), com presença de alguns seixos imersos em uma matriz silítico-argilosa. De 3,0 a 10,0 m ocorre um depósito de talus, onde seixos, calhaus e matacões de tamanhos diversos ocupam aproximadamente 40% do volume. De 10,0 a 18,0 m de profundidade, é observado pela primeira vez o manto de alteração residual da rocha subjacente ("horizonte B"), de provável composição ultramáfica. Finalmente, de 18,0 a 22,5 m de profundidade aparece uma "barreira" de matacões de rochas sieníticas, com pequena proporção de matriz. Apatita ocorre principalmente a partir de 10,0 m; na porção inicial (< 10,0 m) predominam os fosfatos secundários amorfos.

A galeria GJH está localizada em área de ocorrência de

rochas ultramáficas (figura 8). Sua extensão total é de 52,0 m, dos quais 49,0 m foram amostrados. A escavação deu-se através de um cachimbo, possibilitando penetração direta no minério residual (rocha alterada); na parte superior do teto permaneceu material estéril do talus, com espessura de aproximadamente 4,0 m. O minério é constituído principalmente por vermiculita, com maior ocorrência de feldspatos no intervalo de 25,0 a 44,0 m.

A galeria GWM (figura 8) foi escavada em região de rochas da série dos ijolitos. Sua execução deu-se também a partir da abertura de um cachimbo até o "horizonte B"; o depósito de talus apresenta uma espessura aproximada de 3,0 m. A profundidade total é de 50,0 m e a extensão amostrada de 46,5 m. As variações mineralógicas tanto como as mudanças texturais e estruturais, são marcantes, sugerindo variações igualmente notáveis nas rochas originais. Nos 10,0 m iniciais destaca-se a presença de abundantes filões e até bolsões brancos e cinza escuro, constituídos predominantemente de apatita e magnetita, os quais tendem a desaparecer em profundidade.

A galeria GGM (figura 8), embora localizada em área de ijolitos, é constituída principalmente por feldspatos e subordinadamente por vermiculita e apatita. Estende-se por 30,0 m, dos quais foram amostrados 29,0 m. O perfil desta galeria mostra no geral uma elevada quantidade de seixos e matacões de rochas feldspáticas (talus); destaca-se, no entanto, o intervalo de 3,0 a 12,0 m, constituído basicamente por vermiculita com elevados teores de apatita. A foto 3B mostra o aspecto deste material, em trincheira posteriormente aberta no local onde se situava a galeria GGM.

A comparação entre os resultados obtidos nestes estudos e os previstos, conforme definido na tipologia preliminar, é apresentada na tabela 23. As maiores discrepâncias são observadas nos conteúdos de calcita e piroxênios, e devem-se, provavelmente, a variações locais no tipo e nas espessuras dos horizontes de alteração. Calcita ocorre predominantemente no "horizonte C", o qual não foi amostrado em nenhuma das galerias mencionadas; o piroxênio, que apresenta relativa instabilidade no manto de intemperismo, decresce para os níveis mais superficiais (alteração em óxidos-hidróxidos de ferro e agregados argilo-

limoníticos), estando quase que ausente no horizonte de talus.

Determinações de densidades em paredes das galerias GJH, GWM e GGM (quinze amostras de cubos com aresta de 50 cm) indicam uma densidade aparente "in situ" de 1,70 t/m³ (base seca) e umidade "in natura" de 21,9% (Vergara, 1979 b).

9.2.2. Caracterização Sistemática do Minério Residual

As amostras de galeria foram compostas considerando-se intervalos química e mineralogicamente homogêneos (ver itens 7.3. e 9.3.). Fazem-se exceção às amostras da galeria GGM, as quais foram compostas segundo o procedimento de estocagem de minério para os ensaios tecnológicos (de 5,0 em 5,0 m).

A composição química das dezesseis amostras é apresentada na tabela 24. O teor de P₂O₅ varia desde 2,50 até 20,3 e a relação CaO/P₂O₅ de 0,20 a 2,10. De modo geral, os menores teores são encontrados no minério mais feldspático, correspondente ao horizonte de talus ("horizonte A"), no qual, por vezes, predominam os fosfatos secundários (galeria GVV). Os teores mais elevados são observados em amostras constituídas principalmente por vermiculita e apatita, derivadas da alteração de rochas ultramáficas.

As amostras, após britagem a - 6 malhas Tyler (3,18 mm), foram peneiradas em 48 malhas (0,297 mm), com a moagem em moinho de jarros da fração retida. Os produtos de moagem foram então peneirados em 400 malhas (0,037 mm) com análise das frações obtidas (tabelas 25 a 28).

O fósforo apatítico e o potássio (proveniente essencialmente de feldspatos) mostram enriquecimento na fração acima de 400 malhas Tyler (0,037 mm). Tendência oposta é observada para o fósforo não apatítico (constituente de fosfatos secundários, detectados pela relação CaO/P₂O₅); comportamento semelhante é verificado nos teores de ferro e de alumínio devido ao incremento de argilominerais e óxidos-hidróxidos de ferro secundários (neoformados) nas lamas. Por outro lado, em amostras com elevados conteúdos de biotita-flogopita, o ferro e o alumínio tendem a se concentrar nas frações mais grosseiras, devido ao comportamento deste mineral na moagem.

TABELA 23

AMOSTRAGEM EM GALERIAS : COMPARAÇÃO ENTRE MINERALOGIAS PREVISTA E OBTIDA

GALERIA	INTERVALO	TIPOLOGIA DE MINÉRIO		ROCHA SUBJACENTE	MINERALOGIA PREVISTA (X)						MINERALOGIA OBTIDA (X)					
		PREVISTA	REAL		APAT.	FELD.	MICA	PIROX.	CALC.	ANF.	APAT.	FELD.	MICA	PIROX.	CALC.	ANF.
					(1)						(2)					
GVV	10.0 a 18.0m	T1	T1	NEFELINA	15-20	20-30	10-30	10-20	---	Tr-3	(RE)	27	30	23	8	--
				SIENITO	10-15	20-30	20-30	30-40	10-20	Tr-3	(RO)					2 (RE)
GJH	0.0 a 49.0m	T7	T7	ULTRAMAFICA	15-20	10-20	>50	<10	3-5	3-10	(RE)	22	10	55	6	Tr
					10-15	3-10	40-50	10-20	10-20	3-10	(RO)					55 (RE)
GMH	0.0 a 46.50m	T5	T5	IJOLITOS	20-25	10-20	30-50	20-30	3-5	---	(RE)	22	3	47	24	--
					<10	3-10	<10	10-20	>30	Tr-3	(RO)					3 (RE)
GGH	5.0 a 29.0m	T2	T1	IJOLITOS	15-20	30-40	10-30	10-20	Tr	---	(RE)	22	40	24	5	--
					10-15	3-10	10-20	10-20	>30	---	(RO)					Tr (RE)

RE: RESIDUAL; RO: ROCHA

(1) : INCLUI VERMICULITA E BIODITA-FLOGOPITA

(2) : SOMENTE VERMICULITA

TABELA 24

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE GALERIA

GALERIA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	TEORES (Z)										RELAÇÃO
		P2O5	CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	MgO	K2O	BaO	PF	CaO/P2O5	
GVV	0.00 A 2.00	2.71	.55	47.25	16.05	17.35	1.04	2.70	.15	11.76	.20	
	2.00 A 10.00	6.30	3.07	37.70	21.08	15.76	1.56	4.88	.13	11.31	.49	
	10.00 A 18.00	12.93	13.85	26.75	22.41	10.59	2.36	4.00	.15	7.42	1.07	
	0.00 A 18.00	8.85	7.58	33.89	21.11	13.64	1.86	4.25	.14	9.63	.86	
GJH	0.00 A 10.00	10.46	15.86	26.20	20.39	5.98	9.91	1.46	.10	9.16	1.52	
	10.00 A 25.00	10.23	16.38	28.20	18.70	6.07	10.49	.81	.16	8.87	1.60	
	25.00 A 35.00	7.49	11.98	35.07	15.49	9.57	6.56	4.19	.75	8.07	1.60	
	35.00 A 44.00	5.11	7.69	35.05	21.63	10.35	7.00	4.59	.63	7.42	1.50	
	44.00 A 49.00	7.46	14.37	29.60	15.94	9.00	12.79	2.25	.13	9.13	1.93	
	0.00 A 49.00	8.49	13.57	30.59	18.65	7.85	9.16	2.47	.35	8.53	1.60	
GWN	0.00 A 8.00	15.24	20.99	21.37	17.19	8.44	6.73	.39	<.10	8.92	1.38	
	8.00 A 18.00	7.21	9.80	28.27	19.67	14.42	6.86	.56	.14	13.46	1.36	
	18.00 A 24.00	9.85	15.48	28.54	20.60	9.44	6.44	.34	<.10	10.42	1.57	
	24.00 A 46.50	7.86	16.47	33.59	17.22	8.23	6.85	.50	<.10	8.12	2.10	
	0.00 A 46.50	9.25	15.69	29.69	18.18	9.75	6.78	.47	<.10	9.70	1.70	
GGH	5.00 A 10.00	21.28	27.78	15.20	17.90	6.13	3.17	.84	.10	4.49	1.31	
	10.00 A 15.00	12.37	15.85	26.73	19.38	10.10	3.39	3.26	.14	5.42	1.28	
	15.00 A 20.00	8.91	11.34	35.27	17.06	11.68	3.12	5.60	.18	4.66	1.27	
	20.00 A 29.00	2.50	3.02	48.11	10.95	15.99	1.81	10.00	.22	3.63	1.21	
	5.00 A 29.00	9.80	12.58	34.12	15.43	11.81	2.70	5.77	.17	4.40	1.28	

Fe2O3 EXPRESSO COMO FERRO TOTAL

TABELA 25

GALERIA GVV

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS PRODUTOS DE MOAGEM

INTERVALO	FRAÇÃO	GRANULOMETRICA	EM PESO	TEORES (X)												RELATÃO												DISTRIBUIÇÃO (X)											
(%)	(mm)	(TYLEN)		P205	CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	MgO	K2O	NaO	Pf	P205	CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	MgO	K2O	NaO	Pf	P205	CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	MgO	K2O	NaO	Pf									
0.00 A 2.00	- 40 + 400 µ	71.46	2.20	.80	56.10	13.90	14.40	.95	3.31	.16	9.80	.36	61.08	79.39	78.31	63.28	63.87	65.37	83.99	69.00	59.56																		
- 400 µ		28.54	3.51	.52	38.90	20.20	20.40	1.26	1.58	.18	16.66	.15	38.92	20.61	21.69	36.72	36.13	34.63	16.01	31.00	40.44																		
TOTAL CALCULADO		100.00	2.57	.72	51.19	15.70	16.11	1.04	2.82	.17	11.76	.28	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00																		
TOTAL DOSADO			2.71	.57	47.25	16.05	17.35					.21																											
2.00 A 10.00	- 40 + 400 µ	69.02	6.01	4.05	41.50	17.70	14.60	1.47	6.15	.13	8.22	.67	66.39	88.18	76.95	58.05	65.94	65.04	86.60	67.41	50.14																		
- 400 µ		30.98	6.78	1.21	27.70	28.50	16.80	1.76	2.12	.14	18.21	.18	33.61	11.82	23.05	41.95	34.06	34.96	13.40	32.59	49.86																		
TOTAL CALCULADO		100.00	6.25	3.17	37.22	21.05	15.28	1.56	4.90	.13	11.31	.51	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00																		
TOTAL DOSADO			6.30	3.07	37.70	21.08	15.76					.49																											
10.00 A 18.00	- 40 + 400 µ	74.59	13.30	15.40	28.20	19.20	10.10	2.40	4.59	.14	5.73	1.16	80.25	87.19	79.92	60.30	70.68	75.68	87.87	69.54	57.62																		
- 400 µ		25.41	9.61	6.64	20.80	37.10	12.30	2.24	1.86	.18	12.37	.69	19.75	12.81	20.08	39.70	29.32	24.12	12.13	30.46	42.38																		
TOTAL CALCULADO		100.00	12.36	13.17	26.32	23.75	10.66	2.36	3.90	.15	7.42	1.07	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00																		
TOTAL DOSADO			12.93	13.85	26.75	22.41	10.59					1.07																											

Fe2O3 EXPRESSO COMO FERRO TOTAL

TABELA 26

GALERIA GJM

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS PRODUTOS DE MOAGEM

INTERVALO AROSTRADO (μ)	FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA (TYLER)	Z EM PESO	TEORES (Z)										RELAÇÃO CaO/P2O5	DISTRIBUIÇÃO (Z)									
			P2O5	CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	R2O	K2O	BaO	PF	P2O5		CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	R2O	K2O	BaO	PF		
0.00 A 10.00	- 48 + 400 μ	82.27	11.70	17.70	25.88	18.97	5.96	10.11	1.37	6.10	8.25	1.51	92.14	91.84	81.27	75.91	82.17	83.92	77.18	...	74.13		
	- 400 μ	17.73	4.63	7.30	27.67	27.94	6.00	8.99	1.88	.17	13.36	1.58	7.86	8.16	18.73	24.09	17.83	16.08	22.82	...	25.87		
	TOTAL CALCULADO	100.00	10.45	15.86	26.20	20.56	5.97	9.91	1.46	...	9.16	1.52	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	...	100.00		
	TOTAL DOSADO		10.88	16.50	26.59	21.22	6.20					1.52											
10.00 A 25.00	- 48 + 400 μ	82.65	11.41	18.02	27.91	17.21	6.11	10.63	.84	.15	7.92	1.58	92.21	90.92	81.80	76.06	83.19	83.77	86.03	77.29	73.76		
	- 400 μ	17.35	4.59	8.57	29.58	25.80	5.88	9.81	.65	.21	13.42	1.87	7.79	9.08	18.20	23.94	16.81	16.23	13.97	22.71	26.24		
	TOTAL CALCULADO	100.00	10.23	16.38	28.20	18.70	6.07	10.49	.81	.16	8.87	1.60	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
	TOTAL DOSADO		10.09	16.39	29.25	19.37	6.10					1.62											
25.00 A 35.00	- 48 + 400 μ	77.60	8.39	13.24	34.96	14.08	9.58	6.49	4.65	.80	7.13	1.58	86.96	85.74	77.36	70.53	77.67	76.78	86.15	82.69	68.55		
	- 400 μ	22.40	4.36	7.63	35.45	20.38	9.54	6.80	2.59	.58	11.33	1.75	13.04	14.26	22.64	29.47	22.33	23.22	13.85	17.31	31.45		
	TOTAL CALCULADO	100.00	7.49	11.98	35.07	15.49	9.57	6.56	4.19	.75	8.07	1.60	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
	TOTAL DOSADO		7.52	11.98	35.22	15.68	9.66					1.59											
35.00 A 44.00	- 48 + 400 μ	77.25	5.60	8.47	35.80	20.20	10.40	7.20	4.59	.65	6.26	1.51	84.72	85.22	78.90	72.36	77.59	79.46	83.05	80.05	65.21		
	- 400 μ	22.75	3.43	4.99	32.50	26.20	10.20	6.32	3.18	.55	11.34	1.45	15.28	14.78	21.10	27.64	22.41	20.54	16.95	19.95	34.79		
	TOTAL CALCULADO	100.00	5.11	7.68	35.05	21.57	10.35	7.00	4.27	.63	7.42	1.50	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
	TOTAL DOSADO		5.28	7.84	34.40	21.63	10.47					1.48											
44.00 A 49.00	- 48 + 400 μ	72.29	8.39	12.90	30.00	14.20	9.15	13.40	2.50	.12	8.06	1.54	81.34	81.28	71.43	62.42	71.32	75.74	80.10	66.18	...		
	- 400 μ	27.71	5.02	7.75	31.30	22.30	9.60	11.20	1.62	.16	...	1.54	18.66	18.72	28.57	37.58	28.68	24.26	19.90	33.82	...		
	TOTAL CALCULADO	100.00	7.46	11.47	30.36	16.44	9.27	12.79	2.26	.13	...	1.54	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	...		
	TOTAL DOSADO		7.46	11.61	29.60	15.94	9.00					1.56											

Fe2O3 EXPRESSO COMO FERRO TOTAL

TABELA 27

GALERIA GUN

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS PRODUTOS DE MOAGEM

INTERVALO	FRAÇÃO	Z EM PESO	TEORES (%)										DISTRIBUIÇÃO (%)									
ABSTRAÍDO	GRANULOMÉTRICA	(TYLER)	P205	CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	MgO	K2O	BaO	PF	CaO/P205	P205	CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	MgO	K2O	BaO	PF	
0,00 A 8,00	- 48 + 400 #	79,00	17,30	23,90	19,40	16,10	7,28	6,58	,39	<,10	7,76	1,38	89,65	89,94	71,70	73,98	68,15	77,25	78,58	...	68,72	
	- 400 #	21,00	7,51	10,06	28,80	21,30	12,80	7,29	,40	,13	13,29	1,34	10,35	10,06	28,30	31,85	22,75	21,42	...	31,28		
	TOTAL CALCULADO	100,00	15,24	20,99	21,37	17,19	8,44	6,73	,39	...	8,92	1,38	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	...	100,00	
	TOTAL DOSADO		15,04	21,18	22,31	17,18	8,75					1,41										
8,00 A 18,00	- 48 + 400 #	73,19	8,76	12,10	27,30	17,10	13,70	7,28	,65	,13	12,20	1,38	88,89	90,39	70,69	63,62	69,52	77,62	85,54	70,29	66,35	
	- 400 #	26,81	2,99	3,51	30,90	26,70	16,40	5,73	,30	,15	16,89	1,17	11,11	9,61	29,31	36,38	30,46	22,38	14,46	29,71	33,65	
	TOTAL CALCULADO	100,00	7,21	9,80	28,27	19,67	14,42	6,86	,56	,16	13,46	1,36	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
	TOTAL DOSADO		7,22	9,93	30,11	19,61	14,90					1,38										
18,00 A 24,00	- 48 + 400 #	70,48	12,20	19,00	27,30	17,50	8,54	6,63	,39	<,10	8,89	1,56	87,32	86,52	67,42	59,87	63,74	72,61	80,69	...	60,15	
	- 400 #	29,52	4,23	7,07	31,50	28,00	11,60	5,97	,22	,11	14,06	1,67	12,68	13,46	32,58	40,13	36,26	27,39	19,11	...	39,85	
	TOTAL CALCULADO	100,00	9,85	15,48	28,54	20,60	9,44	6,44	,34	...	10,42	1,57	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	...	100,00	
	TOTAL DOSADO		9,97	16,03	29,05	19,87	9,49					1,61										
24,00 A 46,50	- 48 + 400 #	75,63	9,38	19,38	33,00	15,10	6,72	7,23	,56	<,10	6,62	2,08	89,44	88,61	74,31	66,32	61,78	79,66	84,04	...	61,65	
	- 400 #	24,38	3,41	7,70	35,40	23,80	12,90	5,66	,33	,13	12,78	2,26	10,57	11,40	25,70	33,69	38,23	20,15	15,97	...	38,36	
	TOTAL CALCULADO	100,01	7,86	16,47	33,59	17,22	8,23	6,85	,50	...	8,12	2,09	100,01	100,01	100,01	100,01	100,01	100,01	100,01	...	100,01	
	TOTAL DOSADO		7,73	16,47	34,62	17,18	8,36					2,13										

Fe2O3 EXPRESSO COMO FERRO TOTAL

TABELA 28

GALERIA 66H

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS PRODUTOS DE MOAGEM

INTERVALO AMOSTRADO (m)	FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA (TYLER)	X EM PESO	TEORES (%)										RELAÇÃO CaO/P2O5	DISTRIBUIÇÃO X									
			P2O5	CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	H2O	K2O	BaO	PF	P2O5		CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	H2O	K2O	BaO	PF		
5.00 A 10.00	- 48 + 400 #	81.76	23.40	30.90	14.20	15.20	5.52	3.12	.85	1.10	3.85	1.32	89.89	90.94	76.36	69.43	73.61	80.58	82.65	...	70.16		
	- 400 #	18.24	11.80	13.80	19.70	30.00	8.87	3.37	.80	.11	7.34	1.17	10.11	9.06	23.64	30.57	26.39	19.42	17.35	...	29.84		
	TOTAL CALCULADO	100.00	21.28	27.78	15.20	17.90	6.13	3.17	.84	...	4.49	1.31	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	...	100.00		
	TOTAL DOSADO		21.06	27.48	15.66	17.88	6.38					1.30											
10.00 A 15.00	- 48 + 400 #	64.90	15.50	20.20	26.10	15.10	9.23	2.90	3.98	.14	4.47	1.30	81.30	82.71	63.37	50.56	59.33	55.55	79.14	64.90	50.35		
	- 400 #	35.10	6.59	7.81	27.90	27.30	11.70	4.29	1.94	.14	8.15	1.19	18.70	17.29	36.63	49.44	40.67	44.45	20.86	35.10	49.65		
	TOTAL CALCULADO	100.00	12.37	15.85	26.73	19.30	10.10	3.39	3.26	.14	5.76	1.28	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
	TOTAL DOSADO		12.22	15.56	27.72	19.22	10.49					1.27											
15.00 A 20.00	- 48 + 400 #	70.38	10.70	13.70	36.90	12.80	11.50	2.52	6.83	.19	3.15	1.28	84.43	85.01	73.63	52.79	69.31	56.77	85.78	73.83	47.54		
	- 400 #	29.62	4.69	5.74	31.40	27.20	12.10	4.56	2.69	.16	8.26	1.22	15.57	14.99	26.37	47.21	30.69	43.23	14.22	26.17	52.46		
	TOTAL CALCULADO	100.00	8.92	11.34	35.27	17.07	11.68	3.12	5.60	.18	4.66	1.27	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
	TOTAL DOSADO		9.25	11.04	35.22	16.66	11.61					1.19											
20.00 A 29.00	- 48 + 400 #	72.58	2.68	3.41	51.10	7.57	15.80	1.10	11.70	.23	2.48	1.27	77.75	81.94	77.09	50.17	71.71	44.11	84.92	77.18	46.57		
	- 400 #	27.42	2.03	1.99	40.20	19.90	16.50	3.69	5.50	.18	7.53	.98	22.25	18.06	22.91	49.83	28.29	55.89	15.08	22.82	53.43		
	TOTAL CALCULADO	100.00	2.50	3.02	48.11	10.95	15.99	1.81	10.00	.22	3.86	1.21	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
	TOTAL DOSADO		2.51	3.02	48.41	10.53	16.22					1.20											

Fe2O3 EXPRESSO COMO FERRO TOTAL

A sílica mostra distribuição mais homogênea, com ligeira elevação dos teores na fração + 400 malhas em amostras com maiores conteúdos de feldspato e/ou presença de quartzo (horizonte de talus). O magnésio também mostra ligeiro incremento de teores nas frações mais grossas, enriquecidas em vermiculita; fazem-se exceções às amostras mais feldspáticas e/ou correspondentes à zona de talus, onde se verifica a inversão deste comportamento.

A composição mineralógica das amostras de galeria é apresentada na tabela 29, enquanto que a tabela 30 resume os resultados dos ensaios de deslamagem e estudos do grau de liberação da apatita. De modo geral, no minério moído e deslamado em 400 malhas, a apatita apresenta grau de liberação da ordem de 90 %, enquanto que as perdas de P2O5 apatítico nas lamas representam cerca de 10 a 15 %.

A apatita, em Anitápolis, é predominantemente uma fluorapatita com relação CaO/P2O5 de $1,29 \pm 0,01$, com algum sódio e estrôncio substituindo o cálcio. São detectadas discrepâncias entre alguns dados químicos mostrados por Rodrigues (1985) e os aqui apresentados (concentrados de apatita das galerias GGM e GWM, tabela 31). Análise qualitativa por fluorescência de raios X no concentrado da galeria GGM indicou a presença de vários elementos menores: Cu, Ni, Zn, Mn, Y, Nd, Ce, Si, Al e S.

A carbonato-apatita, de rara ocorrência na rocha (Rodrigues, 1985), é algo mais frequente no minério residual. É principalmente de origem supergênica e aparece preenchendo microfraturas ou interstícios dos grãos de fluorapatita primária (fotomicrografias 2B a 2F).

A apatita (primária e supergênica) apresenta comumente um pequeno recobrimento superficial por óxidos-hidróxidos de ferro, em intensidade variável de amostra para amostra (desde <10 até 40% dos grãos). Ao microscópio apresenta-se como pequenas impregnações pontuais e, mais frequentemente, como diminutas películas encontradas nos planos de clivagem (fotomicrografia 2G). Nos níveis mais superficiais e alterados do minério, nota-se a presença comum de sulcos de dissolução na superfície dos grãos de apatita (fotomicrografia 2H). Essas feições ocorrem usualmente em menores proporções nas frações mais finas.

TABELA 29

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS DE GALERIAS

GALERIA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	MINERAIS (%)								FOSF. SEC.	
		APATITA	FELDSP.	VERMIC.	PIROX.	ANFIB.	MAGNET.	QUARTZO	CALCITA	AGR.	ARGIL.
GVV	0.00 A 2.00	1	20	10	-	-	3	20	-	46	
	2.00 A 10.00	6	40	15	3	1	1	10	-	24	
	10.00 A 18.00	27	30	23	8	2	1	TR	-	9	
	0.00 A 18.00	15	33	18	5	1	1	7	-	20	
GJH	0.00 A 10.00	27	TR	58	2	9	4	-	TR	TR	
	10.00 A 25.00	27	2	55	7	5	4	-	TR	TR	
	25.00 A 35.00	19	24	43	10	3	1	-	-	TR	
	35.00 A 44.00	15	23	46	9	3	4	-	-	TR	
	44.00 A 49.00	18	TR	75	2	4	.5	-	TR	TR	
	0.00 A 49.00	22	10	54	6	5	3	-	TR	TR	
GWH	0.00 A 8.00	36	2	50	6	2	5	-	-	TR	
	8.00 A 18.00	17	2	73	5	2	1	-	-	TR	
	18.00 A 24.00	23	3	47	23	3	.5	-	-	TR	
	24.00 A 46.50	18	4	35	40	3	TR	-	-	TR	
	0.00 A 46.50	22	3	47	24	3	1	-	-	TR	
GGH	5.00 A 10.00	49	4	32	4	TR	4	-	-	7	
	10.00 A 15.00	28	22	34	5	TR	3	-	-	8	
	15.00 A 20.00	20	40	25	6	TR	3	-	-	6	
	20.00 A 29.00	6	70	13	6	TR	TR	-	-	5	
	5.00 A 29.00	22	40	24	5	TR	2	-	-	6	

TABELA 30

SUMÁRIO DOS RESULTADOS DE DESLAMAGEM E GRAU DE LIBERAÇÃO
DA APATITA PARA AS AMOSTRAS DE GALERIA

GALERIA	INTERVALO AMOSTRADO (m)	LAMAS (-400#)		GRAU DE LIBERAÇÃO DA APATITA (%)
		% EM PESO	PERDAS DE P205 APAT. (%)	
(1)				
GVV	0.00 A 2.00	28.54	20	63
	2.00 A 10.00	30.98	12	86
	10.00 A 18.00	25.41	13	96
	0.00 A 18.00	28.23	13	88
GJH	0.00 A 10.00	17.73	8	95
	10.00 A 25.00	17.35	8	96
	25.00 A 35.00	22.40	13	77
	35.00 A 44.00	22.75	16	89
	44.00 A 49.00	27.71	19	90
	0.00 A 49.00	20.51	12	90
GWM	0.00 A 8.00	21.00	10	87
	8.00 A 18.00	26.81	11	89
	18.00 A 24.00	29.52	13	87
	24.00 A 46.50	24.38	11	89
	0.00 A 46.50	24.98	11	88
GGM	5.00 A 10.00	18.24	9	97
	10.00 A 15.00	35.10	17	97
	15.00 A 20.00	29.61	14	95
	20.00 A 29.00	27.42	17	85
	5.00 A 29.00	27.56	15	92

(1) AMOSTRAS MOÍDAS A MENOS 48 MALHAS (0.297mm)

TABELA 31

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE CONCENTRADOS DE APATITA

	TEORES (Z)										CaO/P2O5
	CaO	P2O5	Na2O	MgO	Fe2O3 (3)	MnO	SrO	F	Cl	SiO2	
CONCENTRADO GALERIA 66M (1)	53.57	41.10	1.10	.07	.26	ND	.51	2.88	ND	ND	1.30
CONCENTRADO GALERIA 66M (1)	53.38	41.15	1.48	ND	ND	ND	.56	3.22	ND	ND	1.30
IF2 - 52.80m (2) !(APATITA-PIROXENIO-BIOTITITO)!	54.61	43.20	.16	.16	.04	.013	.18	1.28	<0.005	ND	1.26
IF25 - 51.00m (2) !(APATITA-IJOLITO)!	55.26	42.90	.38	.13	.07	.013	.19	1.36	<0.005	ND	1.29
IF25 - 88.55m (2) !(APATITA-PIROXENIO-BIOTITITO)!	54.45	42.80	.37	.21	.12	.014	.18	1.33	<0.005	ND	1.27
IF26 - 43.90m (2) !(APATITA-LUSITANITO)!	54.56	42.40	.10	.13	.02	.007	.19	1.54	<0.005	ND	1.29
IF36 - 81.50m (2) !(APATITA-BIOTITA-PIROXENITO)!	55.68	43.10	.35	.56	.06	.003	.21	1.24	<0.005	ND	1.29

(1) LABORATÓRIO PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. (PAA, 1979d, 1979c)

(2) LABORATÓRIO IPT (RODRIGUES, 1985)

(3) FERRO TOTAL EXPRESSO COMO Fe2O3

ND. NAO DETERMINADO

Os feldspatos predominantes são ortoclásio-microclinio, com albita (An <10) subordinada. Ambos encontram-se parcialmente alterados em caolinita e com frequente impregnação por óxidos-hidróxidos de ferro. Estudos mais detalhados em concentrados de feldspatos obtidos a partir de amostras das galerias GVV e GGM acusaram, respectivamente, teores de 1,70 e 0,74% de Fe₂O₃ (PAA, 1980 a).

A vermiculita, com coloração amarelo dourada a avermelhada, concentra-se nas frações grosseiras. Análises difratométricas indicaram a presença de camadas mistas (hidromicas e/ou esmectita com vermiculita), fato este que provavelmente está diretamente relacionado ao grau de alteração supergênica das micas. A biotita-flogopita da rocha fresca parece alterar-se primeiramente para hidromica, passando posteriormente para vermiculita-esmectita, com perda de K₂O e provável aumento na relação Fe₂O₃/MgO (tabela 32).

Durante os ensaios de beneficiamento, observou-se que a vermiculita era um dos minerais sistematicamente coletados com a apatita, sempre em pequenas proporções e preferencialmente nas frações mais finas (abaixo de 0,074 mm). Quimicamente, esta vermiculita mostra relação Fe₂O₃/MgO da ordem de 1,0 (concentrados de apatita GWM e GGM; comparar este valor com o obtido para a vermiculita contida no minério destas galerias, tabela 32).

O piroxênio apresenta coloração esverdeada, mais clara nos tipos mais cálcicos (diopsídio-augita) e mais esverdeada nos sódicos (egirina - augita); comumente mostra alteração superficial para argilominerais. Na rocha fresca, Rodrigues (1985) assinala que os termos mais sódicos predominam nas regiões mais externas do maciço, enquanto que os mais cálcicos associam-se à série das rochas ultramáficas.

O anfibólio, que como mineral acessório ocorre principalmente na porção norte da jazida, pode apresentar pequenas concentrações locais. Mostra hábito acicular a prismático, com coloração variando desde o verde azulado (eckermannita - arfvedsonita) a quase incolor (tremolita). Dados químicos para alguns concentrados de anfibólio são apresentados na tabela 33. Os estudos petrográficos de Rodrigues (1985)

TABELA 32

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE CONCENTRADOS DE MICA

MINERAL	AMOSTRA	TEORES (%)					RELAÇÃO Fe203/MgO
		Fe203 (1)	MgO	SiO2	Al2O3	K2O	
VERMICULITA	GVV 10,0 A 18,0 m	25.40	10.20	31.50	13.30	3.61	2.49
	GGM 5,0 A 10,0 m	23.40	9.93	33.60	13.80	1.07	2.36
	GWM 24,0 A 46,5 m	19.60	10.30	35.90	16.00	.65	1.90
	GJH (MÉDIA)	17.90	12.50	37.40	10.03	2.10	1.43
	CONC. FLOTAÇÃO GWM	14.40	15.20	35.30	11.10	1.17	.95
BIOTITA-FLOGOPITA	GPF	22.50	15.10	36.80	11.90	8.51	1.49
	FURO 46	18.60	17.70	38.70	12.90	9.08	1.05

(1) FERRO TOTAL EXPRESSO COMO Fe203

(SEGUNDO ZIESEMER E KAHN, 1980)

TABELA 33

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE CONCENTRADOS DE PIROXÊNIO E ANFIBÓLIO

MINERAL	AMOSTRA	TEORES (%)						
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃ (1)	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
ANFIBÓLIO	GJH (MEDIA)	52.30	16.40	15.80	3.06	.84	7.13	1.24
	CONC. FLOTACAO GJH	52.10	12.10	15.70	2.85	.79	7.07	1.62
	GWM (MEDIA)	52.90	11.80	18.10	5.89	1.36	ND	.99
	CONC. FLOTACAO GWM	51.20	14.30	12.40	11.08	1.13	ND	.42
PIROXÊNIO	GWM 0,0 A 8,0 m	50.60	21.70	9.91	13.60	.87	5.85	<0.10
	GWM 24,0 A 46,5 m	50.90	16.80	10.80	18.30	.95	2.94	<0.10

(1) FERRO TOTAL EXPRESSO COMO Fe₂O₃
 ND NÃO DETERMINADO

(SEGUNDO ZIESEMER E KAHN, 1980)

mostram que as variedades sódicas estão associadas a piroxênios sódicos (como possíveis produtos de transformação metassomática), enquanto que as variedades cálcicas ocorrem em áreas de carbonatitos e zonas de carbonatização de rochas silicáticas.

Na flotação, o anfibólio é sistematicamente coletado em pequenas proporções junto com a apatita na etapa de flotação. Aparentemente, o conteúdo de CaO no anfibólio é o principal fator condicionante da sua maior ou menor seletividade no processo (os termos cálcicos são mais facilmente coletados).

A calcita, detectada como traço apenas na galeria GJH, é mineral rapidamente lixiviado pelos processos supergênicos; ocorre principalmente no "horizonte C", imediatamente acima da rocha fresca. Apresenta importante interferência na etapa de flotação, pois é coletada conjuntamente com a apatita, diluindo os concentrados.

A magnetita, embora disseminada em todo o minério como mineral acessório, raramente chega a ter maior importância local (zona de foscoritos, ver item 3.2.4.). Devido ao seu comportamento na moagem, tende a se concentrar nas frações grosseiras. De modo geral, mostra-se pouco alterada, à exceção dos grãos encontrados nos horizontes mais superficiais do talus. No processo de beneficiamento tende a acompanhar a apatita, e por isso é usualmente separada em campo magnético de baixa intensidade, anteriormente à flotação.

Os fosfatos secundários ocorrem frequentemente no nível mais superficial do perfil (talus e capeamento estéril). São observados como finos agregados terrosos de coloração castanho clara, que se concentram nas lamas do processo. São minerais amorfos (alúmino-ferro(?)-fosfatos) ou de baixa cristalinidade (wavelita, segundo dados de Costa 1987).

O quartzo é observado principalmente no capeamento estéril, concentrado nas porções periféricas do maciço. Origina-se, provavelmente, a partir de componentes detriticos das rochas granitóides encaixantes.

Como minerais acessórios de ocorrência mais frequente, aparecem ainda outros argilominerais (esmectitas, caolinita, illita e clorita), hidróxidos de ferro (principalmente goethita) e titanita; rutilo e anatásio são raros. Analcima, cuja área

principal de ocorrência é na porção central da jazida, (ver item 8.1.1.), não foi identificada nas amostras estudadas.

9.2.3. Correlação entre Composições Químicas e Mineralógica

Do trabalho realizado ficou evidente a correlação entre as composições químicas e mineralógicas das amostras estudadas, fato este que permitiu o estabelecimento de parâmetros químicos capazes de indicar os conteúdos dos principais minerais presentes.

Esses índices, publicados por Ziesemer e Kahn (1980), permitem definir as seguintes equações de correlação:

- Apatita = $2,4 \times P2O5$ (apatítico) (Eq. 9.1)

- Feldspatos = $- 2,6 + 7,0 \times K2O$ (Eq. 9.2)

- Piroxênio + anfibólio: $> 30\%$ se $A > B$ ou $< 30\%$ se $A < B$
onde $A = Al2O3 + MgO + K2O + 8,1$
 $B = 0,77 (SiO2 - 4,2 \times K2O)$ (Eq. 9.3)

- Vermiculita = $- 16,0 + 3,98 \times (Al2O3 + MgO \rightleftharpoons K2O)$
(se piroxênio + anfibólio $> 30\%$) (Eq. 9.4)

- Vermiculita = $- 9,5 + 4,56 \times (Al2O3 + MgO \rightleftharpoons K2O)$
(se piroxênio + anfibólio $< 30\%$) (Eq. 9.5)

Nas equações 9.1 a 9.5, os minerais e os óxidos estão expressos como porcentagem em peso.

Estas correlações, aplicáveis a cerca de 80% da área da jazida, são invalidadas na presença de quantidades significativas de fosfatos secundários ($CaO/P2O5 < 1,20$) ou em áreas localizadas, com maiores conteúdos de outros argilominerais; estes casos podem ser parcialmente contornados através da estimativa da quantidade de sílica necessária para a formação de feldspatos (66% $SiO2$) e vermiculita (35% $SiO2$) e confrontando o valor estimado com o dosado através de análises químicas. Em amostras com outros minerais portadores de alumínio (fosfatos secundários, caolinita, etc.), o valor calculado de $SiO2$ tende a ser maior que o analisado. Nas amostras onde tal fato não ocorre, a sílica restante (dosado menos calculado) é atribuída a piroxênio + anfibólio e pode ser utilizada como critério para a estimativa destes minerais:

$$\% \text{piroxênio} + \text{anfibólio} = \frac{\text{SiO}_2 - (0,66 \times \text{Feldspato} + 0,35 \times \text{Vermiculita})}{0,52}$$

Utilizando estes critérios, procedeu-se a uma comparação entre os resultados obtidos a partir dos índices químicos e os das análises mineralógicas semiquantitativas (item 8.1.1.), para algumas amostras de minério residual (furos 17, 22, 23, 39, 43, 44 e 47, ver figura 48).

9.3. Estudo da galeria GPF

A galeria GPF, localizada em região de ocorrência de rochas ultramáficas, atingiu profundidade total de 56,0 m e apresentou nos seus primeiros 27,0 m características mineralógicas anômalas, semelhantes às aquelas encontradas no furo 49.

Os resultados de análise química, de metro em metro (figura 49), indicam a ocorrência de três porções principais, cada uma com características relativamente homogêneas. A primeira, de 0,0 a 12,0 m, corresponde a material tipicamente residual, com aspecto terroso e enriquecido em ferro, sílica e bário. A segunda é uma zona de transição, de 12,0 a 27,0 m, já com maior presença de carbonatos (dolomita principalmente) e abundantes fragmentos de rocha semi-decomposta (carbonatito). Finalmente, encontra-se rocha ultramáfica inalterada a partir dos 27,0 m.

Foram estudadas 8 amostras desta galeria; os resultados de análises químicas e composição mineralógica estão expostos, respectivamente, na tabela 34 e na figura 50.

As duas porções iniciais (0 a 27,0 m) são constituídas principalmente por barita, dolomita, ankerita, vermiculita/esmectita, baritocalcita, sílica amorfa, witherita e magnetita; como acessórios, tem-se alstonita, cordilita, pirocloro, pirita, galena, esfalerita, serpentina e ilmenita.

Na terceira porção, com feições típicas de rocha ultramáfica, tem-se como minerais essenciais: biotita-flogopita, calcita, dolomita, baritocalcita e fluorapatita; como acessórios ocorrem vermiculita/esmectita, piroxênio, anfibólio, magnetita, serpentina e traços de pirita, galena, esfalerita, pirocloro e alstonita.

FIGURA 48

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE ANÁLISES MINERALÓGICAS
DIFRATOMETRIA vs ÍNDICES QUÍMICOS

FIGURA 49
DISTRIBUIÇÃO DE TEORES DE ELEMENTOS NA GALERIA GPF

TABELA 34

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS DA GALERIA GPF

INTERVALO AMOSTRADO (m)	TEORES (%)											RELAÇÃO CaO/P2O5
	P2O5	CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	MgO	K2O	BaO	Nb2O5	Mn	PF	
0.00 A 7.00	.83	2.00	22.30	34.00	.82	8.16	(.10	11.50	.46	2.30	12.78	2.41
7.00 A 12.00	.29	3.07	22.00	33.70	.41	9.52	(.10	9.60	.52	1.65	15.60	10.59
12.00 A 16.00	(.10	16.30	12.40	19.90	.21	13.90	(.10	6.30	(.10	1.42	29.35	...
16.00 A 27.00	.32	16.30	13.30	17.40	.20	13.70	(.10	5.97	.11	1.27	28.77	50.94
27.00 A 32.00	5.68	16.90	23.90	18.30	5.00	11.00	3.33	1.90	.13	.40	11.31	2.98
32.00 A 39.00	3.41	19.80	20.60	14.90	3.47	8.67	2.03	4.53	(.10	.50	17.87	5.81
39.00 A 45.00	5.22	16.60	28.90	18.10	4.87	11.20	3.28	.59	(.10	.21	8.32	3.18
45.00 A 53.30	6.64	18.10	21.60	19.30	3.20	9.03	1.86	3.53	.18	.40	11.80	2.73

Fe2O3 EXPRESSO COMO FERRO TOTAL

FREQUÊNCIA

AB - ABUNDANTE : >40% EM PESO
 FR - FREQUENTE : 10-40% EM PESO
 ES - ESCASSO : 3-10% EM PESO
 TR - TRAÇO : <3% EM PESO

FIGURA 50

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA AO LONGO DA GALERIA GPF

Pirrotita, calcopirita, gorceixita e/ou goyazita e natrolita (?) são também encontradas em ínfimas quantidades nesta galeria.

Dolomita e dolomita-ankerita são os carbonatos predominantes e mostram significativo enriquecimento no intervalo de 12,0 a 27,0 m. A dolomita é de coloração branca e a dolomita-ankerita é amarelo-esverdeada. Ambas concentram-se preferencialmente nas frações grosseiras do produto de moagem. Análises químicas de um concentrado purificado de dolomita-ankerita acusaram os seguintes teores: 27,4% CaO; 14,7% MgO; 8,0% Fe₂O₃; 2,50% Mn (total); < 0,05% Al₂O₃; 0,02% K₂O e 42,2% de perda ao fogo.

A calcita é encontrada como mineral traço entre os 16,0 e 27,0 m; a partir desta profundidade é mais abundante, chegando a constituir até 25% em peso do material (39 a 45 m).

A barita é de provável origem intempérica, supergênica, uma vez que ocorre em maior quantidade até os 12,0 m; torna-se escassa até os 16,0 m e praticamente desaparece a partir desta profundidade. Ocorre também com distribuição similar no furo 49 (ver a seguir). Forma-se provavelmente a partir da alteração dos carbonatos de bário e sulfetos. Apresenta-se comumente na forma de grãos xenomórficos com intensa impregnação superficial por películas de óxidos-hidróxidos de ferro.

A witherita aparece com coloração esbranquiçada a incolor; alguns poucos cristais são idiomórficos (com forma bipiramidal pseudo-hexagonal), mostrando rara impregnação superficial por óxidos de ferro. Ocorre com maior frequência na zona de transição.

A baritocalcita ocorre desde traços, na zona de transição, até em conteúdos da ordem de 9,0% na porção de rocha ultramáfica (39,0 a 45,0 m); é incolor a esbranquiçada e comumente está associada com apatita na forma de agregados granulares.

Cordilita foi detectada como mineral traço até os 27,0 m, com ligeiro empobrecimento no intervalo de 7,0 a 12,0 m. Apresenta-se comumente na forma de pequenos prismas de hábito hexagonal e cor alaranjada. Análises qualitativas por fluorescência de raios X indicaram Ce, Nd e La como os principais elementos do grupo das terras raras.

Alstonita (polimorfo da baritocalcita) concentra-se na porção de transição.

Argilominerais, do grupo de 14 - 15 A, encontrados em toda a extensão da galeria, são mais frequentes até os 16,0 m. Apresentam-se na forma de agregados de coloração castanho escura e menos frequentemente com hábito micáceo. Análises por difratometria de raios X indicaram a presença predominante de esmectitas. Observou-se também, a partir dos 27,0 m, a passagem aparentemente "direta" de biotita-flogopita para esmectita.

A sílica amorfa, com coloração em tons de caramelo, concentra-se principalmente nos 12,0 m iniciais.

A biotita-flogopita ocorre essencialmente na rocha ultramáfica (a partir de 27,0 m). Dados químicos para concentrado purificado deste mineral são apresentados na tabela 32.

O piroxênio e o anfibólio ocorrem como constituintes acessórios ou traços na rocha ultramáfica. A serpentina encontra-se dispersa em pequenas quantidades em toda a extensão da galeria. Prismas translúcidos de um mineral com hábito idêntico ao da natrolita, foram identificados à lupa binocular.

A magnetita aparece em quantidades de 3 a 12%, concentrando-se na porção superficial, onde também se observam maiores conteúdos de pirocloro. Ilmenita só foi encontrada no intervalo de 16,0 a 27,0 m.

Gorceixita e/ou goyazita ocorre como mineral traço.

A apatita, identificada como uma fluorapatita, aparece em proporções significativas somente a partir dos 27,0 m; apresenta-se comumente na forma de agregados microcristalinos, de aspecto nacarado e cor levemente rosada, por vezes associada à baritocalcita.

Os sulfetos (galena, esfalerita e pirita) concentram-se preferencialmente nos 27,0 m iniciais.

Para uma melhor definição e compreensão da distribuição dos minerais de bário, realizaram-se estudos adicionais em amostras dos furos 48 e 49 (ver localização na figura 8).

No furo 48 (20,0 a 25,0 m) detectou-se baritocalcita como o único mineral portador de bário. A apatita, granular, microcristalina ou na forma de agregados fibrorradiados, apresenta as mesmas características assinaladas para a galeria GPF.

No furo 49 foram estudadas duas amostras, uma correspondente ao material alterado (0,0 a 12,0 m), e outra à rocha ultramáfica (12,0 a 99,7). A mineralogia dessas amostras é apresentada na tabela 35.

9.4. Estudo do Minério de Rocha

Para os estudos do minério de rocha foram compostas duas amostras de minério referentes aos tipos I, rochas ultramáficas e tipo II, ijolitos (ver itens 7.3.2. e 8.2.2.). O tipo III, sienitos, não foi pesquisado por apresentar características mineralógicas similares às observadas no minério residual, derivado de sua alteração intempérica (ver item 9.2.2., galeria GGM).

Os dados químicos disponíveis para as amostras estudadas são apresentados na tabela 36.

TABELA 36
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE MINÉRIO DE ROCHA

TEORES (%)	TIPO I (r.ultramáfica)	TIPO II (ijolitos)
P205	7,45	5,99
CaO	24,2	26,3
SiO ₂	25,9	29,8
Fe ₂ O ₃	15,7	10,7
Al ₂ O ₃	4,01	6,22
MgO	9,72	7,22
relação CaO/P205	3,29	4,39

Resultados de peneiramento dos produtos de britagem a - 6 malhas (3,18 mm) e de moagem em moinho de barras de 20 l são apresentados, conjuntamente com a distribuição de P205, na forma de curvas acumulativas Rosin-Rammler na figura 51.

TABELA 35

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DO FURO 49

RESIDUAL - 0.0 a 12.0 m		ROCHA - 12.0 a 99.7 m	
MINERAIS	% em peso	MINERAIS	% em peso
DOLOMITA(D) E CALCITA(C) - D>>C	25.0	DOLOMITA(D) E CALCITA(C) - D>>C	60.0
MINERAIS PESADOS: BARITOCALCITA	18.0	MINERAIS PESADOS: ALSTONITA	10.0
BARITA		BARITOCALCITA	
PIROCLORO		PIRITA	
WITHERITA		WITHERITA	
GALENA		PIROCLORO	
OX.-HIDROX. FERRO		GORCEI, E/OU GOYAZ	
		SULFETOS	
		CORDILITA	
MAGNETITA	3.0	MAGNETITA	1.5
SILICATOS LEVES: FELDSPATO	50.0	SILICATOS: PIROXÊNIO	25.0
QUARTZO		SERPENTINA	
VERMIC. OU ESNECT.		VERMIC. OU ESNECT.	
		SILICA AMORFA	
APATITA	4.0	APATITA

TIPO I - ULTRAMÁFICAS

- 1 PM - 65 # distr. P_2O_5
- 2 PM - 65 # distr. peso
- 3 PM - 48 # distr. peso
- 4 PM - 35 # distr. peso
- 5 Alim. distr. P_2O_5
- 6 Alim. distr. peso

TIPO II - IJOLITOS

- 1 PM-65 # distr. P_2O_5
- 2 PM-65 # distr. peso
- 3 Alim. distr. P_2O_5
- 4 Alim. distr. P_2O_5

FIGURA 51

MINÉRIO DE ROCHA - RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DA ALIMENTAÇÃO E DOS PRODUTOS DE MOAGEM

Os silicatos e a magnetita concentram-se preferencialmente nas porções mais grosseiras; apatita e carbonatos apresentam comportamento inverso.

A apatita apresenta-se limpa e com grau de liberação acima de 90% para as amostras moídas a -65 malhas Tyler (0,210 mm).

O resumo dos resultados de deslamagem dos diversos produtos de moagem é apresentado na tabela 37. Em ambas as amostras (tipos I e II), a moagem a -65 malhas Tyler (P80 = 100 malhas) gerou entre 10 a 12% em peso de lamas ("overflow" do hidrociclone), com perda de 9,0 a 9,5% do total de fósforo contido. Uma moagem algo mais grosseira reduz significativamente a perda de fósforo.

A composição mineralógica obtida para estas amostras, comparada com a média prevista a partir dos resultados de análises mineralógicas semiquantitativas, é apresentada na tabela 38 (PAA, 1986 b).

TABELA 38
COMPARAÇÃO ENTRE COMPOSIÇÕES MINERALÓGICAS PREVISTAS
E OBTIDAS PARA AS AMOSTRAS DE MINERIO DE ROCHA.

	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (%)			
	PREVISTA		OBTIDA	
	Tipo I	Tipo II	Tipo I	Tipo II
Apatita	17,0	14,2	19,0	14,5
Feldspato	1,0	11,0	0,5	8,0
Biotita-flogopita	39,0	22,0	29,0	22,5
Piroxênio	17,0	28,0	21,0	27,5
Carbonatos	15,0	19,0	19,0	23,5
Anfibólio	3,0	--	4,5	1,5
Magnetita	4,0	1,0	7,0	2,5

TABELA 37

RESUMO DOS RESULTADOS DE DESLAMAGEM PARA O MINÉRIO DE ROCHA

AMOSTRA	CONDIÇÕES DE		Z EM PESO	TEOR (%) DISTRIBUIÇÃO	
	MOAGEM	PRODUTO		P205	P205 (%)
R. ULTRANAFICAS - TIPO I					
	- 35 #	"UNDERFLOW"	94.50	7.46	98.24
		"OVERFLOW"	5.50	2.30	1.76
		ALIMENTAÇÃO	100.00	7.18	100.00
	- 48 #	"UNDERFLOW"	93.10	7.39	96.76
		"OVERFLOW"	6.90	3.34	3.24
		ALIMENTAÇÃO	100.00	7.11	100.00
	- 65 #	"UNDERFLOW"	87.80	7.39	90.55
		"OVERFLOW"	12.20	5.55	9.45
		ALIMENTAÇÃO	100.00	7.17	100.00
IJOLITOS - TIPO II					
- 65 #	"UNDERFLOW"	89.80	5.98	90.92	
	"OVERFLOW"	10.20	5.26	9.08	
	ALIMENTAÇÃO	100.00	5.91	100.00	

CAPITULO 10

SUMARIO DO COMPORTAMENTO DO MINÉRIO NA ETAPA DE BENEFICIAMENTO

Com base nos resultados de caracterização sistemática, passou-se ao estudo do processo mineral através de testes de bancada e operação em usina piloto, conduzidos pela equipe técnica de desenvolvimento de processos da Paulo Abib Engenharia S.A.

As amostras estudadas são aquelas abordadas no item 9.2.1. (galérias GGM, GJH, GWM, GVV e minérios de rocha tipos I e II), excetuando-se apenas a proveniente da galeria GPF.

Adicionalmente, outros ensaios foram executados com o objetivo de definir parâmetros para o dimensionamento de equipamentos (ensaios de deslamagem, filtragem, espessamento, determinação de índice de moabilidade, etc.). Estudaram-se as variáveis de processo para cada tipo de material, definindo-se as características críticas para efeitos de concentração e os parâmetros de engenharia.

São aqui abordados de forma resumida as principais variáveis, do ponto de vista mineralógico, interferentes no processo de concentração. Estas informações foram posteriormente utilizadas para a revisão e consolidação da tipologia de minério, que em sua versão mais definitiva serviu de suporte para o projeto básico de lavra.

10.1. Minério Residual

As amostras de minério residual foram processadas através de operação em circuito piloto, nas dependências da PAA - Paulo Abib Engenharia S.A.. Da discussão apresentada a seguir são excluídos os resultados obtidos com o minério da galeria GVV, por representar este uma porção muito superficial da jazida.

Para tal estudo, selecionaram-se principalmente amostras com características extremas, que deveriam, em princípio, corresponder a comportamentos diferenciados na etapa de beneficiamento. Estas amostras são relacionadas a seguir:

- amostra GGM: minério rico em feldspato e com baixas porcentagens de mica e piroxênio;
- amostra GJH: minério rico em mica e anfibólio;
- amostra GWM: minério rico em piroxênio e com conteúdo médio de vermiculita.

Os resultados do processamento dessas amostras (PAA, 1980 a) são resumidos na tabela 39.

TABELA 39
TEORES DE CONCENTRADOS E RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO
MINERIO RESIDUAL

Amostra Aliment.		Teores do concentrado final (%)					recuperação	
(galeria)	P205 (%)	P205	Fe2O3	Al2O3	MgO		P205 (%)	
GGM	10,8	41,0	0,40	0,32	0,15		78,5	
GJH	9,7	36,9	1,46	0,13	1,22		78,8	
GWM	7,9	37,9	1,19	0,75	1,07		71,5	

As perdas nas lamas representam 20 a 30% em peso e 15 a 20% do total de P205 contido.

As principais características do minério, que interferem de forma positiva ou negativa na concentração, estão relacionadas à seletividade da apatita em relação aos minerais de ganga. Carbonatos, vermiculita magnesiânica e agregados argilo-limoníticos tendem a ser coletados conjuntamente com a apatita, principalmente nas frações mais finas. O anfibólio cálcico e o piroxênio (este em menor proporção) tendem a ser coletados com a apatita, em todas as faixas granulométricas.

A presença dos silicatos ferromagnesianos e agregados argilo-limoníticos no concentrado acarreta, além da diluição do teor de fósforo, em teores mais elevados e por vezes indesejáveis de Fe2O3, Al2O3 e principalmente de MgO. A tabela 40, obtida a partir de curvas de teor vs recuperação, ilustra este efeito. No processo industrial de fabricação de ácido fosfórico, importa essencialmente a parcela solúvel desses óxidos; neste caso específico, cresce entre os diluentes a importância relativa da

TABELA 40

TEORES vs RECUPERAÇÃO PARA AMOSTRAS DE MINÉRIO RESIDUAL

AMOSTRAS (GALERIA)	RECUPERAÇÃO TOTAL	TEORES DO CONCENTRADO (%)		
		P205	Fe2O3	MgO
GGM	70	40.6 - 40.4	0.30 - 0.38	0.11 - 0.13
	75	40.4 - 40.2	0.38 - 0.48	0.13 - 0.18
	80	40.2 - 40.0	0.48 - 0.63	0.18 - 0.22
GJH	69	40.0 - 39.0	0.73 - 0.86	0.48 - 0.55
	72	39.0 - 37.0	0.86 - 1.41	0.55 - 1.08
	75	37.0 - 35.0	1.41 - 2.22	1.08 - 1.30
GWM	65	40.0 - 39.0	0.62 - 0.93	0.50 - 0.74
	70	38.0 - 37.0	1.19 - 1.43	0.74 - 1.14
	75	36.0 - 35.0	1.67 - 1.97	1.37 - 1.64

OBSERVAÇÃO: OS TEORES DE Al2O3 NESTAS CONDIÇÕES VARIAM EM MÉDIA DE 0.30 a 0.70%

vermiculita + óxidos-hidróxidos de ferro sobre anfibólio + piroxênio, em razão da maior solubilidade dos primeiros.

O excepcional desempenho do minério mais superficial (galeria GGM), com recuperação de até 95% do fósforo na etapa de flotação e com concentrados de altos teores, pode ser explicado pela ausência, ou importância subordinada, de fatores interferentes (ausência de carbonatos, traços de anfibólio e estado mais avançado de alteração da vermiculita, empobrecida em magnésio). A influência negativa dos agregados argilo-limoníticos, que interferiu sobremaneira nos testes iniciais, foi praticamente eliminada através de uma atrição mais intensa e do acréscimo de mais um estágio de deslamagem.

A presença de carbonatos no minério determina uma diluição dos concentrados, e implica em maior consumo de ácido sulfúrico na fabricação de ácido fosfórico e de certos fertilizantes fostatados. Na galeria GJH, onde os carbonatos estão presentes apenas como traços, não foram observadas interferências negativas no processo, que entretanto devem tornar-se significativas com o incremento dos teores de carbonatos.

10.2. Minério de Rocha

Os estudos do minério de rocha foram desenvolvidos apenas a nível de ensaios de bancada e simulação.

O resultados previstos de teores e recuperação de P₂O₅, considerando-se para a flotação um circuito contínuo constituído por cinco estágios ("rougher", "scavenger" e três "cleaners"), são apresentados na tabela 41 (PAA, 1986 b).

As perdas de fósforo nas lamas representam em média 3 a 4% do total contido na alimentação (ver tabela 37) para moagem a - 48 malhas Tyler (0,297 mm).

Testes de flotação com minério do tipo I moído em diferentes granulometrias (-35, -48 e -65 malhas Tyler, respectivamente -0,354, -0,297 e -0,210 mm) indicaram igual seletividade, porém com maior consumo de coletor para as moagens mais grosseiras (PAA, 1986 b).

TABELA 41
TEORES DE CONCENTRADOS E RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO (SIMULAÇÃO)
MINÉRIO DE ROCHA

TIPO DE MINÉRIO	% P ₂ O ₅ no concentrado final	recuperação total P ₂ O ₅ %
I r. ultramáficas	34	81 ± 5
II ijolitos	35	81 ± 5

Para ambos os tipos pesquisados, a seletividade da apatita em relação aos minerais de ganga silicática foi muito boa; o mesmo já não ocorre em relação aos carbonatos, que são os principais diluentes do concentrado (ver figura 52).

A julgar por analogia, em função do comportamento dos minérios de rocha tipos I e II e das características de flotação do minério residual feldspático da galeria GGM (ver item 10.1.), prevê-se para o tipo III (sienitos) índices de recuperação de fósforo similares ou superiores aos obtidos para os tipos I e II (tabela 41).

10.3. Índices de Moabilidade do Minério

Foram realizados para os diferentes tipos de minério uma série de testes de moabilidade, em escala de laboratório, para a estimativa da energia específica consumida em moagem (PAA, 1980 a,b e 1986 b), segundo a metodologia de Bond; os resultados médios são apresentados na tabela 42.

Na realização destes ensaios, verificou-se para amostras de minério residual, ricas em vermiculita, índices de moabilidade crescentes com a redução do diâmetro da malha teste; este fato relaciona-se essencialmente às maiores dificuldades encontradas na moagem de minerais micáceos.

FIGURA 52

MINÉRIO DE ROCHA: COMPORTAMENTO DOS MINERAIS NA FLOTAÇÃO

TABELA 42
RESULTADOS DE INDICE DE MOABILIDADE - WI ("Work Index")

Amostra	tipo de minério	WI (kwh/st)
GJH	residual	14,2
GWM	residual	9,7
GGM	residual	9,7
GJH + GWM	residual	11,3
GGM + GWM	residual	9,7
Tipo I (r. ultramáficas)	rocha	12,43
Tipo II (ijolitos)	rocha	12,01

kwh/st (kilowatt hora/tonelada curta)

CAPITULO 11

ESTUDOS COMPLEMENTARES DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Adicionalmente aos ensaios de caracterização referidos no capítulo 9, foram estudadas outras amostras de minério residual, em suporte a testes de beneficiamento complementares, executados sob a coordenação da IFC - Indústria de Fosfatados Catarinense S.A.. São discutidas, também, as principais características químicas-mineralógicas dos concentrados de flotação.

11.1. Estudos em Amostras de Minério Residual

Finalizados os estudos em amostras representativas de alguns dos tipos preliminarmente definidos, e reavaliada a tipologia do minério residual (ver item 12.1.), a IFC implantou em Anitápolis uma pequena planta piloto. Nestas instalações foram conduzidos uma série de ensaios, preferencialmente em amostras médias correspondentes àquelas previstas para a alimentação do circuito industrial a ser implantado.

Foram abertas, além de uma frente experimental de lavra, duas novas galerias designadas de GJP e GPM (ver localizações na figura 8), que correspondem a minérios com características e composições mineralógicas semelhantes às das galerias GGM e GWM, respectivamente. Os resultados das composições mineralógicas estimadas destas galerias (de acordo com o procedimento exposto no item 9.2.3., complementado com análises difratométricas) estão expostos na tabela 43, comparativamente à mineralogia prevista (mapas de distribuições minerais, item 8.1.1.).

A frente experimental de lavra (ver localização na figura 8) foi aberta no extremo NE da área da jazida, em área de ocorrência de rochas ultramáficas, ficando exposta uma secção do perfil de alteração do minério, abrangendo desde o talus até a rocha semidecomposta ("horizonte C"). O perfil esquemático da frente de lavra, assinalando as várias canaletas de amostragem do minério, é apresentado na figura 53 e na foto 3a.

TABELA 43
COMPARAÇÃO ENTRE COMPOSIÇÕES MINERALÓGICAS PREVISTA
E OBTIDA PARA AS GALERIAS ADICIONAIS

MINERAIS	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (%)			
	Prevista		Obtida	
	GJP	GPM	GJP	GPM
	(6 a 26 m)	(0 a 31,3 m)	(6 a 26 m)	(0 a 31,5 m)
lapatita	20 - 25	15 - 20	21	24
feldspato	30 - 40	< 10	42	--
vermicul.	10 - 30	20 - 30	5 - 10	33
piroxênio	10 - 20	20 - 30	15 - 20	30
anfíbólio	2 - 5	2 - 5	2 - 4	9
magnetita	< 10	< 10	5 - 10	5

Os resultados de análises químicas e mineralógicas para a média das canaletas amostradas em um mesmo intervalo de cotas são apresentados na tabela 44. O intervalo de 765 a 770 m corresponde a material de talus do capeamento estéril; de 760 a 765 tem-se talus mineralizado e de 750 a 760 m rocha ultramáfica intemperizada, rica em vermiculita. Não foi amostrado o horizonte de rocha semidecomposta (abaixo da cota 747 m), onde se observa a presença de carbonatos.

Fosfatos secundários ocorrem no horizonte de talus. Nota-se, ainda, que a brusca variação na relação K_2O/MgO marca nitidamente a passagem de talus para a rocha alterada ("horizonte B"); esta mudança química, controlada também pelos processos de alteração intempérica, é marcante para material derivado de rochas ultramáficas e ijolitos; deve repetir-se também, embora de maneira menos acentuada, para a material oriundo da alteração de rochas sieníticas. Já os valores para a relação CaO/P_2O_5 (até 1,83 ou superiores), observados em perfis de alteração de rochas ultramáficas e ijolitos, não são suficientes para justificar a presença de carbonatos, que devem ser verificados através de testes adicionais.

FIGURA 53

PERFIL ESQUEMÁTICO DA FRENTE DE LAVRA

(Correponde a foto 3A)

TABELA 44

FRETE EXPERIMENTAL DE LAVRA : RESULTADOS DE COMPOSIÇÕES QUÍMICAS E MINERALÓGICAS

COTA (m)	TEORES MÉDIOS (%)						RELAÇÃO CaO/P2O5	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (%)			
	P2O5	CaO	SiO2	Al2O3	K2O	NaO		APATITA	FELDSPATOS	VERMICULITA	PIROXÊNIO ANFIBÓLIO
770 a 765 (CANALETAS 1 a 11)	4.74 (0.87)	3.46 (1.00)	42.54 (3.80)	17.55 (0.90)	5.51 (1.30)	1.38 (0.35)	.73	6	36	45 (2)	5 (1)
765 a 760 (CANALETAS 1 a 11)	7.70 (0.58)	8.95 (0.99)	36.70 (3.30)	15.80 (0.93)	5.61 (0.75)	1.57 (0.62)	1.16	17	37	30-35	10 (1)
760 a 755 (CANALETAS 1 a 8)	7.60 (2.12)	10.93 (3.04)	30.35 (3.86)	11.20 (2.30)	2.02 (0.57)	6.93 (1.71)	1.44	18	5-10	63	5-10
755 a 750 (CANALETAS 1 a 8)	8.14 (2.62)	14.90 (2.66)	31.02 (3.80)	7.84 (1.59)	1.28 (0.44)	9.27 (2.11)	1.83	20	< 7	63	10-15

DESVIO PADRÃO DOS TEORES MEDIDOS É ASSINALADO ENTRE PARENTÊSES

(1) VALORES ESTIMADOS - MATERIAL COM PRESENÇA DE FOSFATOS SECUNDÁRIOS

(2) VALOR ESTIMADO, INCLUI OUTROS ARGILOMINERAIS - MATERIAL COM PRESENÇA DE FOSFATOS SECUNDÁRIOS

Os ensaios de beneficiamento executados nesta etapa envolveram misturas, em proporções variadas, dos diversos tipos extremos de minério:

- minério feldspático: galerias GGM e GJP;
- minério rico em piroxênio e anfibólio: galerias GWM e GPM;
- minério micáceo: galeria GJH.

A amostra T.5.0 0003/86, preparada com a finalidade de execução de ensaios de flotação em célula pneumática, foi estudada em maior nível de detalhe, sendo composta a partir da mistura, em iguais proporções, dos seguintes minérios: galeria GGM ("horizonte A"); galeria GPM ("horizonte B") e frente experimental de lavra ("horizonte C"). A sua composição química e mineralógica aparece listada na tabela 45.

TABELA 45
AMOSTRA T.5.0. 00003/86 : COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA

COMPOSIÇÃO QUÍMICA		COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	
	(%)	MINERAL	(%)
P2O5	6,76	apatita	16
CaO	12,9	feldspatos	25
SiO2	37,3	vermiculita	25
Al2O3	8,44	piroxênio	24
Fe2O3	13,3	anfibólio	3
MgO	7,99	magnetita	1
K2O	3,63	agreg. argilo-limon.	5
Na2O	2,03	fosfatos secundários	Tr
BaO	0,20		
P.F.	7,62		
CaO/P2O5	1,91		

Os resultados de análises granulométricas (tabela 46) mostram que a moagem efetuada a -48 malhas Tyler (0,297 mm) gerou 19,4% em peso de material abaixo de 400 malhas (0,037 mm), contendo 11,7% do total de fósforo presente no minério. Os teores

mais elevados de P₂O₅ são observados nas frações intermediárias, e os maiores de CaO e K₂O nas frações grossas; o inverso ocorre para os teores de MgO e Na₂O e, de forma menos acentuada, também para os de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃. A relação CaO/P₂O₅ também decresce para os finos; o seu elevado valor inicial é devido unicamente à abundância de piroxênios e anfibólios.

A apatita (da variedade fluorapatita) está associada ao piroxênio e secundariamente à magnetita; em alguns grãos notam-se sulcos superficiais de dissolução parcial (Foto 2H). O grau de liberação da apatita para minério moído a -48 malhas (0,297 mm) é de 90% (tabela 47); verifica-se, ainda, que apenas 30% dos grãos mostram impregnações pontais por óxidos-hidróxidos de ferro (20% de fraca a moderada e 10% de média a intensa).

11.2. Estudos dos Concentrados de Flotação

São apresentados neste item os resultados de estudos de caracterização de quatro concentrados de flotação, dois referentes ao processamento do minério residual e dois ao de rocha.

A composição química, tabela 48, e mineralógica, tabela 49, desses concentrados evidenciam claras diferenças entre os contaminantes presentes. As principais impurezas dos concentrados de minério residual são anfibólio e vermiculita (mais magnesianas que a média da alimentação dos ensaios), enquanto que carbonatos (calcita e dolomita em proporção aproximada de 10:1) predominam nos concentrados do minério de rocha.

A tabela 50 mostra a distribuição granulométrica e o comportamento dos vários óxidos, exemplificada para os concentrados GWM e tipo I (rochas ultramáficas); em ambos os casos, observa-se nítido incremento de impurezas nas frações granulométricas mais finas.

A distribuição dos principais óxidos contaminantes entre os vários minerais presentes é mostrada na tabela 51. Como já citado, os minerais micáceos e os carbonatos correspondem às impurezas mais críticas, por serem os minerais mais solúveis no processo de fabricação de ácido fosfórico.

TABELA 46

AMOSTRA T.S.O. 0043/86

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DO PRODUTO DE MOAGEM

FRAÇÃO	X PESO		TEORES (X)								RELAÇÃO	DISTRIBUIÇÃO (X)							
	retido	acumul.	P2O5	CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	MgO	K2O	CaO/P2O5	P2O5	CaO	SiO2	Fe2O3	Al2O3	MgO	K2O		
- 48H + 65H	22.82	22.82	7.94	15.90	38.90	10.10	8.08	7.59	4.24	2.00	26.04	27.26	23.23	18.77	21.44	21.48	25.86		
- 65H + 100H	17.32	40.14	8.12	16.00	38.70	10.10	8.18	7.58	4.28	1.97	20.21	20.82	17.54	14.24	16.47	16.28	19.82		
- 100H + 200H	27.66	67.80	7.36	14.40	39.10	10.80	8.19	8.15	4.08	1.96	29.25	29.92	28.30	24.32	26.34	27.95	30.17		
- 200H + 400H	12.80	80.60	6.97	13.10	39.60	12.60	8.56	8.25	3.68	1.88	12.82	12.60	13.26	13.13	12.74	13.09	12.59		
- 400H	19.40	100.00	4.19	6.45	34.80	18.70	10.20	8.81	2.23	1.54	11.68	9.40	17.67	29.54	23.01	21.19	11.56		
TOTAL CALCULADO	100.00		6.96	13.31	38.21	12.28	8.60	8.06	3.74	1.91	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
TOTAL DOSADO			6.76	12.90	37.30	13.30	8.44	7.99	3.63										

FERRO TOTAL EXPRESSO COMO Fe2O3

TABELA 47
 AMOSTRA T.5.0. 0003/86 - GRAU DE LIBERAÇÃO DA APATITA (1)

FRAÇÃO (MALHAS)	DISTRIBUIÇÃO DA APATITA (%)	NA FRAÇÃO (%)	LIBERAÇÃO DA APATITA (%)	NO PASSANTE
- 48 + 65	26.04	84	90	
- 65 + 100	20.21	90	92	
- 100 + 200	29.25	93	94	
- 200 + 400	12.82	95	95	
TOTAL	88.32	90		

(1) VALORES OBTIDOS CONSIDERANDO-SE MOAGEM 100% ABAIXO DE 48 MALHAS

TABELA 48

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO

TEORES (%)	Concentrado de Flotação			
	GWM	GGM	Tipo I	Tipo II
P2O5	35,2	38,0	34,4	35,2
CaO	47,5	49,5	51,3	52,2
SiO2	6,24	3,61	0,76	0,47
Al2O3	0,58	0,94	0,075	0,12
Fe2O3	2,27	1,23	0,50	0,37
MgO	1,67	1,09	0,52	0,34
Na2O	1,23	1,63	nd	nd
F	nd	3,04	nd	nd
P.F.	0,93	1,37	6,45	5,71
CaO/P2O5	1,35	1,30	1,49	1,48

Ferro total expresso como Fe2O3;

nd : não determinado

TABELA 49

COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO

AMOSTRA	MINERAIS (%)						
	apat.	feldsp.	mica	pirox.	anfib.	carb.	ox.ferro
conc. GWM	86,0	--	4,0	1,0	8,0	--	1,0
conc. GGM	91,4	0,5	6,5	--	1,5 *	--	0,1
conc. tipo I	88,0	--	Tr	--	1,5 *	10,0	Tr
conc. tipo II	87,0	--	Tr	--	1,0 *	12,0	Tr

* inclui proporções menores de piroxênio

TABELA 50

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO

AMOSTRA	FRAÇÃO	Z PESO		TEORES (Z)						RELAÇÃO	DISTRIBUIÇÃO (Z)					
		retido acumul.		P205	CaO	Fe2O3	Al2O3	MgO	SiO2	CaO/P205	P205	CaO	Fe2O3	Al2O3	MgO	SiO2
						(1)										
CONCENTRADO	+ 100#	13.14	13.14	36.90	49.80	1.24	ND	.92	3.97	1.35	13.73	13.62	7.87	...	7.90	8.85
6WH	-100# + 150#	17.12	30.26	36.90	49.80	1.28	ND	.97	4.08	1.35	17.89	17.75	10.58	...	10.86	11.85
(RESIDUAL)	-150# + 200#	19.87	50.13	36.20	49.10	1.52	ND	1.30	4.74	1.36	20.37	20.31	14.59	...	16.89	15.98
	-200# + 270#	16.28	66.41	36.90	49.90	1.52	ND	.98	4.09	1.35	17.01	16.91	11.95	...	10.43	11.29
	-270# + 400#	13.04	79.45	32.90	45.20	2.89	ND	2.55	8.65	1.37	12.15	12.27	18.20	...	21.74	19.13
	CICLOS I e II	11.14	90.59	34.80	47.70	3.35	ND	1.72	8.90	1.37	10.98	11.06	18.03	...	12.52	13.04
	CICLOS III a V	8.50	99.09	31.40	43.80	3.15	ND	3.12	11.00	1.39	7.56	7.75	12.93	...	17.34	15.86
	OVERFLOW	.91	100.00	11.80	17.90	13.30	ND	3.92	25.90	1.52	.30	.34	5.85	...	2.33	4.00
	TOTAL	100.00		35.31	48.04	2.07	ND	1.53	5.90	1.36	100.00	100.00	100.00	...	100.00	100.00
CONCENTRADO	+ 100#	8.04	8.04	37.54	51.34	.75	.14	.47	1.45	1.37	8.88	8.12	13.54	15.16	9.49	13.96
TIPO I	-100# + 150#	16.66	24.70	36.16	50.90	.64	.14	.43	1.09	1.41	17.72	16.69	23.93	31.41	17.99	21.75
(ROCHA)	-150# + 200#	29.97	54.67	34.65	50.96	.41	.05	.36	1.02	1.47	30.54	30.05	27.58	20.13	27.09	30.82
	-200# + 400#	35.18	89.85	32.84	50.58	.33	.05	.37	.57	1.54	33.98	35.01	26.06	23.89	32.69	24.02
	-400#	10.15	100.00	29.74	50.69	.39	.07	.50	.30	1.70	8.88	10.12	8.89	9.57	12.74	3.85
	TOTAL	100.00		34.00	50.82	.45	.07	.40	.83	1.49	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

(1) FERRO TOTAL EXPRESSO COMO Fe2O3

ND NÃO DETERMINADO

TABELA 51

ESTIMATIVA DA DISTRIBUIÇÃO DOS PRINCIPAIS ÓXIDOS CONTAMINANTES
NOS CONCENTRADOS DE FLOTAÇÃO

AMOSTRA	ÓXIDO (X)	MINERAIS MICÁCEOS	PIROXÊNIO +ANFIBÓLIO	ÓXIDOS DE FERRO	CARBONATOS	TOTAL
CONCENTRADO GWM	Fe2O3 (1)	.57	1.09	.61	--	2.27
	Al2O3	.46	.09	.03	--	.58
	MgO	.60	1.07	--	--	1.67
	SiO2	1.44	4.80	--	--	6.24
CONCENTRADO GGM	Fe2O3 (1)	.93	.18	.12	--	1.23
	Al2O3	.80 (2)	.09	.05	--	.94
	MgO	.93	.16	--	--	1.09
	SiO2	2.35 (2)	1.26	--	--	3.61
CONCENTRADO TIPO I	Fe2O3 (1)	.03	.22	.25	--	.50
	Al2O3 (3)	...	...	...	--	.075
	MgO	.052	.234	--	.234	.52
	SiO2	.076	.684	--	--	.76
CONCENTRADO TIPO II	Fe2O3 (1)	.03	.15	.19	--	.37
	Al2O3 (3)	...	...	...	--	.12
	MgO	.034	.143	--	.165	.34
	SiO2	.05	.42	--	--	.47

(1) FERRO TOTAL EXPRESSO COMO Fe2O3

(2) TAMBÉM INCLUI TRAÇOS DE FELDSPATOS

(3) ALUMÍNIO NÃO FOI DETERMINADO, POR ESTAR PRESENTE EM PEQUENAS PROPORÇÕES E TAMBÉM CONTIDO NA APATITA, COMO ELEMENTO MENOR

CAPITULO 12

DEFINIÇÃO FINAL DA TIPOLOGIA DE MINÉRIO

Com base no levantamento das principais características observadas nos ensaios de beneficiamento (capítulo 10), foi revista a subdivisão de tipos de minério para efeitos dos estudos de planejamento de lavra e otimização do processo.

12.1. Tipologia do Minério Residual

O conhecimento detalhado da jazida, bem como os resultados obtidos nos ensaios de beneficiamento, indicam que a definição da tipologia do minério deve enfatizar, principalmente, a maior ou menor presença dos fatores que interferem no beneficiamento do minério, ou seja: conteúdos de vermiculita, carbonatos e anfibólio. A distribuição destes minerais na jazida é fortemente condicionada tanto pela geologia do distrito (distribuição na rocha fresca), como pelo perfil de alteração.

A vermiculita apresenta ampla distribuição na jazida, mas concentra-se principalmente na região de rochas ultramáficas. O anfibólio e os carbonatos ocorrem em pequenas quantidades e em áreas mais localizadas; os últimos concentram-se essencialmente no "horizonte C". A variação na composição química destes minerais é também outro fator que deve ser considerado, já que algumas variedades são mais interferentes que outras (por ex., as variedades de vermiculita e anfibólio mais ricas em MgO e CaO, respectivamente).

Em áreas livres destas interferências, é excepcional o desempenho do minério na etapa de beneficiamento, conforme demonstrado pelo minério da galeria GGM (horizonte de talus mineralizado).

A tipologia final adotada é apresentada a seguir:

- tipo A: corresponde à parcela do depósito de talus ("horizonte A") mineralizado a fosfato;
- tipo B (subdividido em B1 e B2): refere-se ao minério residual propriamente dito ("horizonte B"). O tipo B1

corresponde ao material oriundo da alteração de rochas sieníticas e ijolíticas (com vermiculita <30%), e o tipo B2 ao originado a partir da alteração de rochas ultramáficas (vermiculita > 30%);

- tipo C (subdividido em C1 e C2): representa o minério mais consolidado ("horizonte C"), constituído por rocha semidecomposta, na qual os processos supergênicos de alteração são incipientes. A presença ou ausência de carbonatos permite a subdivisão nos tipos C1 e C2, respectivamente.

A presença do anfibólio foi negligenciada nesta definição de tipologia, uma vez que a sua condição de mineral interferente no processo está ligada não só ao conteúdo presente, mas também a sua composição química. Prioritariamente à execução de um estudo mais detalhado, para melhor definir a sua área de distribuição na jazida e as proporções de anfibólio cálcico, devem ser conduzidos ensaios para determinar o conteúdo máximo permissível de anfibólio no concentrado de flotação.

A distribuição dos tipos de minério e do estéril por banco de lavra, segundo os dados de revisão do projeto básico de lavra (PAA, 1987 b) são apresentados na tabela 52. Neste estudo, os tipos C1 e C2, de pequena representatividade na jazida, foram agrupados como um único tipo de minério. Adicionalmente, inclui-se uma classe adicional de minério, o marginal, com teores de 4,0 a 5,0 % de P2O5 apatítico, o qual corresponde às porções de material de baixo teor, inclusas na cava de exaustão.

12.2. Tipologia do Minério de Rocha

Os vários tipos de minério de rocha, definidos preliminarmente a partir de critérios litológicos (item 8.2.2.), apresentaram, nos ensaios de beneficiamento, idêntico padrão de comportamento (ver item 10.2.). A principal interferência no processo de concentração se dá através da maior ou menor presença de carbonatos, que são sistematicamente coletados junto com a apatita.

Os dados atualmente disponíveis indicam que a principal variável a ser adotada como parâmetro de definição da tipologia

do minério de rocha deveria ser o conteúdo dos veios carbonatíticos. No entanto, a sua distribuição na jazida é por demais errática, limitando sobremaneira a aplicação deste critério na atual fase dos trabalhos, onde se dispõe de malha de sondagens de 200 x 200 m. Por outro lado, os veios mais espessos (comumente estéreis) poderão ser, eventualmente, extraídos seletivamente nas futuras frentes de lavra, diminuindo o conteúdo de carbonatos no material a ser enviado às instalações de beneficiamento.

O início da exploração do minério de rocha não é previsto para antes do ano 2000, e as pesquisas futuras para a concentração de minérios fosfáticos com carbonatos podem modificar drasticamente o panorama interpretativo atual, bem como outras considerações que venham a ser efetuadas no presente momento.

TABELA S2

DISTRIBUIÇÃO DOS TIPOS DE MINÉRIO E ESTÉRIL POR BANCO DE LAVRA

DEPÓSITO RESIDUAL - RESERVA LAVRÁVEL

	MINÉRIO		MINÉRIO MARGINAL		RESERVA TOTAL				ESTÉRIL (E)		
	(P205)≥5,0%		(4,0<P205<5,0%)		(P205 ≥4,0%)						E
A											
M					PERCENTUAL POR TIPO				PESO	M	
C	PESO	TEOR	PESO	TEOR	PESO	TEOR					
D	NÉDIO	NÉDIO	NÉDIO	NÉDIO	NÉDIO	NÉDIO					
	(1000t)	(XP205)	(1000t)	(XP205)	(1000t)	(XP205)	A	B1	B2	C	(1000t)
990	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	150
980	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	150
970	---	---	50	4.50	50	4.50	100	---	---	---	100
960	50	5.11	50	4.13	100	4.62	100	---	---	---	150
950	---	---	200	4.20	200	4.20	100	---	---	---	300
940	50	6.90	---	---	50	6.90	100	---	---	---	600
930	300	7.20	---	---	300	7.20	61	39	---	---	750
920	750	6.47	200	4.73	950	6.10	62	38	---	---	650
910	1350	5.79	200	4.86	1550	5.67	57	43	---	---	400
900	1900	7.83	100	4.72	2000	7.67	55	45	---	---	500
890	1650	6.47	850	4.65	2500	5.85	67	30	---	3	650
880	2600	7.33	450	4.60	3050	6.93	47	46	---	7	650
870	3750	8.34	600	4.52	4350	7.81	44	52	---	4	400
860	4050	8.95	800	4.60	4850	8.23	26	71	---	3	700
850	4150	8.28	850	4.52	5000	7.64	24	70	---	6	700
840	3850	9.52	750	4.61	4600	8.72	17	80	---	3	1150
830	4600	8.65	550	4.64	5150	8.22	23	69	1	7	450
820	4950	7.80	100	4.63	5050	7.74	14	74	4	8	450
810	3000	8.27	1150	4.49	4150	7.22	14	59	20	7	700
800	1900	7.47	850	4.46	2750	6.54	15	35	47	3	950
790	3100	7.23	250	4.49	3350	7.03	32	23	44	1	350
780	2250	8.30	200	4.51	2450	7.99	27	7	64	2	550
770	1950	6.87	450	4.87	2400	6.50	23	11	65	1	600
760	3100	7.63	50	4.54	3150	7.58	6	5	84	5	850
750	3950	7.74	350	4.40	4300	7.47	15	---	85	---	200
740	1500	7.73	50	4.22	1550	7.62	15	70	14	1	50
730	800	12.37	---	---	800	12.37	---	54	46	---	---
720	450	12.11	---	---	450	12.11	---	---	100	---	---
TOTAL	56000	8.06	9100	4.56	65100	7.58	27	47	22	4	13150
NÉDIA											

SEGUNDO PAA, 1987 b

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADUBOS TREVO - 1979 - *Relatório n.2. Plano rodoviário* (inédito).
- ADUBOS TREVO - 1980 - *Estudo analítico sobre as precipitações pluviométricas em Anitápolis, SC.* (inédito).
- ALMEIDA, F.F.M. DE - 1983 - *Relações tectônicas das rochas alcalinas da região meridional da Plataforma Sul-Americana.* Rev. Bras. Geoc., São Paulo, 13 (3), p.139-158.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. - 1967 - *Potassium-argon ages of alkaline rocks from Southern Brazil.* Geoch. Cosmoch. Acta, 31, p.117-142.
- BASEI, M.A.S. - 1985 - *O cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina.* Tese de Doutorado. Inst. Geoc. USP. (inédito), 195p.
- BERALDO, J.L., TELLES, A.F.N. - 1985 - *Technical, logistical and economic considerations in the development of Brazilian phosphate resources.* In: INTERNATIONAL CONFERENCE FERTILIZER 85, London, Feb. 1985, 1, p.143-164.
- BLOSS, D.F. - 1961 - *An introduction to the methods of optical crystallography.* New York. Holt, Rinehart and Winston, 294p.
- BORN, H - 1971 - *O complexo alcalino de Juquiá.* Tese de Doutorado. Inst. Geoc. USP. (inédito), 176p.
- CARRARO, C.C.; ISSLER, R.S.; FORMOSO, M.L.L. - 1967 - *Mapeamento do distrito alcalino de Altos do Rio Pinheiros, município de Anitápolis, Santa Catarina.* Porto Alegre, UFRGS. Publ. Esp. 16.
- CLARK, N.H.; PRESTON, R.J. - 1974 - *Dilution methods in quantitative X-ray diffraction analysis.* X-Ray Spectrometry, 3, p.21-22.
- COSTA, M.L.; SILVA SA, J.H. - 1980 - *Os fosfatos lateríticos da Amazonia Oriental: geologia, mineralogia, geoquímica e correlação com as bauxitas da Amazonia.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG, 3, p.1459-1472.

- COSTA, M.L. - 1987 - Uma contribuição geoquímica ao desenvolvimento do perfil intemperico de Anitápolis, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1, Porto Alegre, 1987. Anais... Porto Alegre, SBG, 2, p.17-34.
- FRAGOSO CESAR, A.R.S - 1980 - O Craton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio - Sul - Riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG, 5, p.2879-2892.
- FURTADO, S.M.A; GOMES, C.B; SCHEIBE L.F. - 1986 - Ocorrência de foscóritos no maciço alcalino de Anitápolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiania, 1986. Anais... Goiania, SBG, 4, p.1604-1614.
- GAUDIN, A.M. - 1939 - Principles of mineral dressing. New York. McGraw Hill, 554p.
- GEIRT, E.; GOLDMANN, D.; LEONARDOS, O.H.; BAECKER, M.L. - 1985 - Main features of the paragenetic evolution of the carbonatitic complex of Catalão I, Goiás, Brazil. Zentralbl. Geol. Pal. Teil I, Heft 9/10, p.1469-1475.
- GERMAN, A. ; MARKER, A. ;FRIEDRICH, G - 1986 - Der Alkalikomplex von Jacupiranga, São Paulo/Brasilien - neue Erkenntnisse zur Petrologie, Genese, und dem Verwitterungsverhalten seiner Gesteine. In: Berliner Geowiss. Abh., Reihe A, Sonderband 10 Geowiss. Lateinamerika Kolloquium, p.61-62.
- HEINRICH, E. W. - 1965 - Microscopic identification of minerals. New York. McGraw Hill, 414p.
- HERZ, N. - 1977 - Timing of spreading in the South Atlantic: information from Brazilian alkalic rocks. Geol. Soc. Am. Bull., 88, p.101-112.
- HLAVAY, J. ; JONAS, K. ; ELEK, S. ; INCZEDY, J. - 1977/1978 - Characterization of the particle size and the cristallinity of certain minerals by IR Spectrophotometry and other instrumental methods. I and II. Clays and Clays Minerals, 25, p. 451-456 and 26, p.139-143.
- HOOTON, D.H.; GIORGETTA, N.E. - 1977 - Quantitative X - ray diffraction analysis by a direct calculation method. X - Ray Spectrometry, 6, p.2-5.
- HUTCHISON, C.H. - 1974 - Laboratory handbook of petrographic techniques. New York. John Wiley & Sons, 527p.

- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA, - 1976 -
Carta topográfica de Anitápolis, 1:50.000. Rio de Janeiro.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SAO PAULO
 - 1978 - Tratamento estatístico e análise dos dados químicos do complexo alcalino de Anitápolis. (relatório 11.955, inédito)
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SAO PAULO
 - 1979 - Estudo petrográfico do complexo alcalino de Anitápolis, SC. São Paulo (relatório 11.945, inédito).
- JCPDS - JOINT COMMITTEE ON POWDER DIFFRACTION STANDARDS - 1974 -
Selected powder diffraction data for minerals. Data book & Search Manual. Swarthmore.
- JCPDS - JOINT COMMITTEE ON POWDER DIFFRACTION STANDARDS - 1980 -
Selected powder diffraction data for minerals. Data book, supplement I. Swarthmore.
- KAHN, H.; ZIESEMER, L. - 1978 - Análises mineralógicas semi-quantitativas por difração de raios X. In: II ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS, Salvador (inédito), 12p.
- KAUL, P.F.T. - 1977 - Projeto Anitápolis, CPRM/DNPM. Porto Alegre. (inédito).
- KELLY, E.G. ; SPOTTISWOOD, D.J. - 1982 - Introduction to mineral processing. New York. John Wiley & Sons, 491p.
- KLUG, H.P.; ALEXANDER, L.E. - 1954 - X-ray diffraction procedures. New York. John Wiley & Sons, 716p.
- KNUDSEN, T. - 1981 - Quantitative X-ray diffraction analysis control of calibration samples. X-Ray Spectrometry, 10, p.54-56.
- LE BAS, M.J. - 1981 - Carbonatitic magmas. Miner. Mag., 44, p.133-140.
- LARSEN, E. S. ; BERMAN, H. - 1934 - The microscopic determination of the nonopaque minerals. Bulletin 848. Geological Survey, US Dep. Interior.
- LEONARDOS, O.H. - 1956a - Carbonatitos com apatita e pirocloro. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. (avulso, 80), 30p.
- LEONARDOS, O.H. - 1956b - Carbonatitos com apatita e pirocloro no estrangeiro e no Brasil. Eng. Min. Met., 23, n.136, p.157-162.

- MELCHER, G.C. - 1965 - O carbonatito de Jacupiranga. Fac. Fil. Cien. Letras USP. Boletim 282. Geologia 21, 75p.
- MELCHER, G.C. ; COUTINHO, J.M.V. - 1966 - Rochas alcalinas e carbonatito de Anitápolis, Estado de Santa Catarina. Bol. Soc. Bras. Geol., São Paulo, 15(1), p.59-93.
- MINGELGRIN, U. ; KLIGER, L. ; SALTZMAN, S. - 1978 - The effect of grinding on the structure and behavior of bentonites. Clays and Clays Minerals. 26, n.4, p.299-307.
- MORAES REGO, L.F. ; GUIMARÃES, D. - 1926 - Estudos geológicos e petrográficos da jazida de magnetita de Anitápolis, Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro, DNPM/SGM, 21, p.1-27.
- NEMECZ, E. - 1981 - Clay minerals. Akadémiai Kiadó. Budapest, 547p.
- NIMER, E - 1979 - Climatologia do Brasil. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 422p.
- OLIVEIRA, N.P.; SCHWAB, R.G. - 1980 - Itacupim: um exemplo da influência do fósforo sobre o desenvolvimento de perfis lateríticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG, 1, p.184-196.
- OLIVEIRA, N.P.; COSTA, M.L. - 1984 - Os fosfatos aluminosos do Pará e do Maranhão: estágio atual de conhecimento e estratégia para o seu aproveitamento econômico. Ciências da Terra, 10, p.16-19.
- OLIVEIRA, S.M.B. - 1985 - Gênese da bauxita de Lages, SC. Bol.Inst. Geoc. USP. 16, p.46-81.
- OLIVEIRA, S.M.B.; TRESCASES, J.J. - 1985 - O depósito de níquel de Jacupiranga (SP): Evolução mineralógica e geoquímica. Bol. Inst. Geoc. USP. 15, p.249-254.
- OLIVEIRA, S.M.B.; DELVIGNE, J. -(no prelo)- Evolução mineralógica dos jacupiranguitos de Jacupiranga (SP) durante a alteração intempérica.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1977 - Estudos por difração de raios X (inédito), 30p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1978a - Caracterização mineralógica e tecnológica do fosfato residual (inédito), 52p.

- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1978b - Caracterização mineralógica e tecnológica do minério de profundidade (inédito), 90p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1978c - Caracterização sumária em minério da galeria GJH (inédito), 44 p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1978d - Caracterização sumária em minério de galeria GVY (inédito), 32p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1978e - Estudo das alternativas de beneficiamento das amostras da galeria GJH (inédito).
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1978f - Programa para análises mineralógicas semiquantitativas por difração de raios X (inédito), 67p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1978g - Estudo da tipologia do minério de fosfato, Anitápolis, SC (inédito), 34p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1979a - Caracterização sumária em minério da galeria GWM (inédito), 36p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1979b - Caracterização sumária em minério da galeria GGM (inédito), 22p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1979c - Caracterização de concentrado fosfático de Anitápolis (inédito), 41p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1979d - Caracterização do concentrado fosfático acumulado GGM de Anitápolis (inédito), 39p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1979e - Caracterização da galeria GPE (inédito), 129p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1979f - Características gerais do minério residual da jazida de Anitápolis (inédito), 53p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1980a - Estudos finais de processo de beneficiamento das amostras das galerias GGM/GJH/GWM, Anitápolis (inédito), 169p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1980b - Avaliação do índice de Bond (WI) do minério de fosfato de Anitápolis pelo método comparativo (inédito), 26p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1980c - Avaliação geoestatística com parametrização (inédito), 140p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1980d - Projeto básico de lavra (inédito), 74p.

- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1986a - Caracterização tecnológica de minério de fosfato de Anitápolis, SC; amostra I.S.O. 0003/86 (inédito), 17p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1986b - Desenvolvimento de processo para o minério primário de Anitápolis (inédito), 178 p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1987a - Caracterização mineralógica em concentrados de flotação; amostras urtito e ultramáfica (inédito), 18p.
- PAA - PAULO ABIB ENGENHARIA S.A. - 1987 b - Revisão do projeto básico de lavra (inédito), 91p.
- PARFENOFF, A.; POMEROL, C.; TOURENQ, J. - 1970 - Les minéraux en grains. Masson et Cie. Paris, 578p.
- PETRI, S.; COIMBRA, A.M.; AMARAL, G.; OJEDA, H.O.; FULFARO, V.J.; PONÇANO, W.L. - 1986 - Código brasileiro de nomenclatura estratigráfica. Rev. Bras. Geoc., 4, p.370-415.
- POZZA, V.E.; GARCIA, P.F. - 1974 - Projeto Anitápolis, CPRM/CNEN. Porto Alegre (inédito).
- REAY, A. - 1981 - The effect of disc mill grinding on some rock forming minerals. Min. Mag. 44, p.179-182.
- RODRIGUES, C.S.; LIMA, P.R.A.S. - 1984 - Complexos carbonatíticos do Brasil. In: COMPLEXOS CARBONATITICOS DO BRASIL: GEOLOGIA. Cia. Brasileira de Metalurgia e Mineração - CBMM, p.3-17.
- RODRIGUES, E.P. - 1985 - O complexo alcalino de Anitápolis - Um estudo petrográfico. Dissertação de mestrado. Inst. Geoc. USP (inédito), 173p.
- RODRIGUES, E.P.; OLIVEIRA, M.C.B.; COUTINHO, J.M.V.; GOULART, E.P.; ENS, H.H.; TADDEO, J.S.; MORAES, M.C. - 1986 - Mineralogia e petrografia do Complexo alcalino de Anitápolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiania, 1986. Anais... Goiania, 4, p.1508-1525.
- SILVA, A.B.; LIBERAL, G.S.; ISSA FILHO, A.; RODRIGUES, C.S.; RIFFEL, B.F. - 1987 - Depósito de fosfato em carbonatito do pré-cambriano, Angico dos Dias - BA. Palestra SBG. Núcleo Bahia, agosto 87, (inédito), 15p.

- SIQUEIRA, N.V.M.; LIMA, W.L. - 1982 - Estudo geoquímico de alterações e distribuição de elementos em perfil laterítico desenvolvido sob influência do fósforo - Pirocaua (MA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. Anais... Salvador, 5, p.1991-2002.
- STRECKEISEN, A.L. - 1973 - Classification and nomenclature of plutonic rocks. Geotimes. 18, p.1-14.
- TAKATA, L.A. ; SACHS, P.F.T. ; ASSIS, J.M.N. - 1986 - Caracterização tecnológica de fosfatos aplicada ao planejamento de lavra de Acafétil. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, Brasília, 1986, p.78-95.
- THE BRITISH SULPHUR CORPORATION LIMITED - 1980 - World survey of phosphate deposits. London, 237p.
- TROEGER, W.E. - 1979 - Optical determination of rock-forming minerals. Stuttgart. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 188p.
- ULBRICH, H.H.G.J. ; GOMES, C.B. - 1981 - Alkaline rocks from continental Brazil. Earth Science Reviews, 17, p.135-154.
- VALENTE, J. - 1980 - Avaliação geostatística com parametrização da jazida fosfática de Anitápolis, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais ... Camboriú, SBG, 2, p.1243-1257.
- VERBEKE, R. - 1969 - Sur un procédé de fabrication de lames minces dans de roches peu cimentées et des sols. XI Bul. Soc. Géol. France, 11, p. 426-433.
- VERGARA, V.D. - 1977 - Pesquisa de fosfato em Anitápolis: fase preliminar. Porto Alegre, ILM/CPRM (inédito).
- VERGARA, V.D. - 1979a - Considerações sobre a sistemática de pesquisa adotada na jazida de fosfato de Anitápolis, SC. ACTA GEOLÓGICA LEOPOLDENSE, Est. Tecn., 7, p.41-53.
- VERGARA, V.D. - 1979b - Pesquisa de fosfato em Anitápolis: relatório final. Porto Alegre, ILM (inédito).
- VERGARA, V.D. - 1980 - Pesquisa geológica desenvolvida no complexo alcalino de Anitápolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG, 1, p.2502-2517.

- YAMAMOTO, J.K. - 1980 - Análise de hipersuperfície de tendência aplicada aos parâmetros químicos do complexo alcalino de Anitápolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG, 2, p.1258-1271.
- YAMAMOTO, J.K.; GOULART, E.P.; HASUI, Y. - 1980 - Análise estatística dos dados químicos do complexo alcalino de Anitápolis, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG, 2, p.1272-1283.
- YAMAMOTO, J. K. - 1986 - Representações gráficas espaciais em geologia - aplicações no complexo alcalino de Anitápolis. Dissertação de mestrado. Inst. Geoc. USP (inédito), 167p.
- ZIESEMER, L.; KAHN, H. - 1980 - O minério residual da jazida de Anitápolis, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG, 4, p.2376-2390.
- ZIESEMER, L.; HARTMANN, J.R.; TORRES, W.F., 1980 - Caracterização e pesquisa do jazimento de fosfato de Anitápolis, SC. In: SEMINÁRIO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2, Gravatal, 1980. Anais... Gravatal, DNPM, p.97-108.
- ZUSSMAN, S. - 1977 - Physical methods in determinative mineralogy. Academic Press, 720p.

ANEXO 1

INTENSIDADES DIFRATADAS DE MINERAIS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE MOAGEM

ALCITA -48 +400H - RESULTADOS DE INTENSIDADES PARA AMOSTRAS PULVERIZADAS EM TEMPOS DISTINTOS

TEMPO	INTENSIDADE EM ÁREA - Ia (cps) d= 3,03 ANG.					INTENSIDADE EM ALTURA - Ip (cps) d= 3,03 ANG.				
	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'
LAMINA A	326783	215215	181179	171528	165467	120500	69450	49576	41997	35533
LAMINA B	320485	203614	182299	175317	166839	120137	63700	52437	43044	36327
LAMINA C	284566	213485	181085	173549	166898	102120	67341	51105	43150	36839
LAMINA D	277522	203867	181663	174810	167776	103052	63760	50691	44632	36372
LAMINA E	283221	203980	179266	175147	167215	102266	63248	49181	42687	35583
MEDIA	298515	208034	181098	174070	166839	109615	65500	50598	43102	36131
DESVIO PADRÃO(X)	7.77	2.80	.63	.91	.51	8.92	4.20	2.49	2.24	1.55
Ia/Ip	2.72	3.18	3.58	4.04	4.62					
Ia/I"background"	11.90	8.50	7.50	7.10	6.60					
Ip/I"background"	122.00	72.00	55.00	46.00	37.00					

APATITA -48 +400H - RESULTADOS DE INTENSIDADES PARA AMOSTRAS PULVERIZADAS EM TEMPOS DISTINTOS

TEMPO	INTENSIDADE EM ÁREA - Ia (cps) d= 2,77+2,80 ANG.					INTENSIDADE EM ALTURA - Ip (cps) d= 2,80 ANG.				
	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'
LAMINA A	96251	97494	94958	98630	97729	33414	30072	28719	28776	25986
LAMINA B	100133	104726	100495	96510	96391	35916	34652	32445	28882	26067
LAMINA C	96789	96790	93393	98321	95782	31241	31200	28049	28667	27057
LAMINA D	95111	94179	98749	94109	93999	32299	29672	31150	27899	27623
LAMINA E	97562	97956	100473	96695	94206	31644	31858	31007	27676	27664
MEDIA	97169	98229	97614	96835	95621	32903	31491	30266	28380	26879
DESVIO PADRÃO(X)	1.94	3.99	3.34	1.86	1.63	5.70	6.26	6.08	1.94	3.03
Ia/Ip	2.95	3.12	3.23	3.41	3.56					
Ia/I"background"	8.61	8.46	8.10	7.88	7.67					
Ip/I"background"	37.10	34.50	31.80	29.20	27.20					

QUARTZO -48 +400μ - RESULTADOS DE INTENSIDADES PARA AMOSTRAS PULVERIZADAS EM TEMPOS DISTINTOS

TEMPO	INTENSIDADE EM ÁREA - Ia (cps) d= 3,33 ANG.					INTENSIDADE EM ALTURA - Ip (cps) d= 3,33 ANG.				
	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'
LAMINA A	500466	494510	479791	464571	450782	244711	235367	220460	205485	192100
LAMINA B	520513	504248	477809	458161	452067	260394	242941	213555	200475	190825
LAMINA C	509758	508442	472513	463532	467332	251713	239059	214957	202755	202229
LAMINA D	520362	491983	479777	463399	457877	255746	233037	212153	203277	195866
LAMINA E	508116	500463	468702	473193	473745	252361	235541	216108	209421	206485
MEDIA	511843	499929	475734	464571	460361	252985	237189	215447	204283	197517
DESVIO PADRÃO	1.68	1.36	1.03	1.17	2.16	2.23	1.63	1.47	1.65	3.38
Ia/Ip	2.02	2.11	2.21	2.27	2.33					
Ia/I"background"	22.50	20.60	18.20	16.60	15.40					
Ip/I"background"	211.00	187.00	158.00	138.00	125.00					

QUARTZO -48 +400μ - RESULTADOS DE INTENSIDADES PARA AMOSTRAS PULVERIZADAS EM TEMPOS DISTINTOS

TEMPO	INTENSIDADE EM ÁREA - Ia (cps) d= 4,27 ANG.					INTENSIDADE EM ALTURA - Ip (cps) d= 4,27 ANG.				
	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'
LAMINA A	103991	96509	92671	90523	87438	55604	49475	46095	44737	41332
LAMINA B	101895	93012	90920	89490	86644	54522	46980	44631	42914	40425
LAMINA C	95441	97276	92300	92732	89730	50526	49389	45055	46211	42883
LAMINA D	99791	95745	90904	93468	87066	50806	40908	44431	46379	40444
LAMINA E	99634	96047	91036	89897	85829	52365	48542	45591	42177	40425
MEDIA	100150	95718	91560	91222	87341	52765	48659	45161	44484	41102
DESVIO PADRÃO	3.17	1.69	.93	1.94	1.68	4.25	2.08	1.52	4.27	2.60
Ia/Ip	1.90	1.97	2.03	2.05	2.13					
Ia/I"background"	8.60	7.80	7.00	6.60	6.00					
Ip/I"background"	44.90	38.90	33.70	31.00	26.80					

FLOGOPITA + 48 # - RESULTADOS DE INTENSIDADES PARA AMOSTRAS PULVERIZADAS EM TEMPOS DISTINTOS

TEMPO	INTENSIDADE EM ÁREA - Ia (cps) d= 10,0 ANG.					INTENSIDADE EM ALTURA - Ip (cps) d= 10,0 ANG.				
	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'
LAMINA A	554129	408201	302212	235478	141942	307549	230128	163066	126834	70518
LAMINA B	532154	412548	282147	222596	146821	305432	236459	153598	118096	70696
LAMINA C	501096	392077	295986	238711	137957	260566	208618	158972	128671	68259
LAMINA D	505017	385811	282435	237295	138788	261282	211895	157598	125014	69128
LAMINA E	568523	595776	303977	227781	145221	316491	228711	167042	120748	73931
MEDIA	532184	438883	293351	232372	142146	290264	223162	160055	123873	43203
DESVIO PADRÃO(X)	5.56	2.80	3.59	2.97	2.70	9.34	5.46	3.21	3.52	3.07
Ia/Ip	1.83	1.97	1.83	1.88	3.29					
Ia/I"background"	8.27	6.52	5.31	4.36	3.10					
Ip/I"background"	43.70	35.00	26.90	20.70	12.40					

FLOGOPITA -48 +400# - RESULTADOS DE INTENSIDADES PARA AMOSTRAS PULVERIZADAS EM TEMPOS DISTINTOS

TEMPO	INTENSIDADE EM ÁREA - Ia (cps) d= 10,0 ANG.					INTENSIDADE EM ALTURA - Ip (cps) d= 10,0 ANG.				
	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'
LAMINA A	565864	398558	278518	269313	141486	330668	223488	140987	138657	69629
LAMINA B	530949	404279	308310	257418	131592	288351	224543	165178	123885	65592
LAMINA C	531210	427196	280129	268533	143765	281729	238606	150944	137594	70431
LAMINA D	572120	404178	298672	268422	135628	333524	231897	169343	136527	66928
LAMINA E	532815	411553	285928	259278	134591	312594	235768	153491	128471	65877
MEDIA	546592	409153	290311	264593	137412	309373	230860	155989	133027	67691
DESVIO PADRÃO(X)	3.78	2.71	4.41	2.17	3.67	7.67	2.90	7.31	4.89	3.27
Ia/Ip	1.77	1.77	1.86	1.99	2.03					
Ia/I"background"	8.23	6.57	5.13	4.73	3.06					
Ip/I"background"	45.80	35.50	25.50	21.60	12.10					

FLOGOPITA + 48 W - RESULTADOS DE INTENSIDADES PARA AMOSTRAS PULVERIZADAS EM TEMPOS DISTINTOS

TEMPO	INTENSIDADE EM ÁREA - Ia (cps) d= 3,36 ANG.					INTENSIDADE EM ALTURA - Ip (cps) d= 3,36 ANG.				
	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'
LAMINA A	574759	318481	203884	151448	84548	300416	166794	104023	75419	38766
LAMINA B	559745	321758	197427	155759	81729	288431	168925	96685	74579	37043
LAMINA C	501828	307932	197531	147167	83175	252192	152432	101048	73573	38289
LAMINA D	506121	302185	201687	142129	82431	253718	152195	101085	69283	37154
LAMINA E	495944	297495	202455	151182	80594	243329	147845	103594	74057	36572
MEDIA	527679	309570	200597	149537	82495	267617	157558	101287	73382	37565
DESVIO PADRÃO(X)	6.95	3.35	1.47	3.44	1.81	9.40	6.09	2.89	3.22	2.45
Ia/Ip	1.97	1.96	1.98	2.04	2.20					
Ia/I"background"	7.54	4.83	3.52	2.89	2.04					
Ip/I"background"	38.20	22.50	15.00	11.20	6.30					

MAGNETITA -48 +400W - RESULTADOS DE INTENSIDADES PARA AMOSTRAS PULVERIZADAS EM TEMPOS DISTINTOS

TEMPO	INTENSIDADE EM ÁREA - Ia (cps) d= 2,53 ANG.					INTENSIDADE EM ALTURA - Ip (cps) d= 2,53 ANG.				
	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'
LAMINA A	77323	78594	76371	76287	75700	25839	21940	19246	16982	15235
LAMINA B	78460	76634	77494	77831	73862	25800	21859	19172	17195	15085
LAMINA C	77568	73729	76242	75544	75650	26082	20904	19234	17491	14876
LAMINA D	77560	79582	78807	74209	73624	25987	22351	19080	17085	15121
LAMINA E	72389	79496	76210	76900	74329	24265	22301	19006	17104	15153
MEDIA	76660	77607	77025	76154	74633	25595	21871	19148	17171	15094
DESVIO PADRÃO(X)	3.17	3.18	1.47	1.80	1.31	2.94	2.66	.54	1.13	.89
Ia/Ip	3.00	3.55	4.02	4.43	4.94					
Ia/I"background"	1.20	1.19	1.19	1.19	1.18					
Ip/I"background"	2.32	2.09	1.96	1.86	1.75					

VERMICULITA + 35 % - RESULTADOS DE INTENSIDADES PARA AMOSTRAS PULVERIZADAS EM TEMPOS DISTINTOS

TEMPO	INTENSIDADE EM ÁREA - Ia (cps) d= 14,0 ANG.					INTENSIDADE EM ALTURA - Ip (cps) d= 14,0 ANG.				
	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'
LAHINA A	375271	157601	122636	100477	64519	114625	40364	22898	16011	11732
LAHINA B	419743	185933	125862	94507	66894	128629	41907	22106	16176	11545
LAHINA C	409962	184975	111352	92905	85844	123136	40073	23657	16503	11517
LAHINA D	395891	182194	110611	97136	66600	118229	42489	23225	16424	11972
LAHINA E	386440	178072	107453	99109	61833	113477	42379	22217	17523	11830
MEDIA	397461	177755	115583	96827	69138	119619	41442	22821	16527	11723
DESVIO PADRÃO(X)	4.48	6.57	7.02	3.24	13.8	5.26	2.76	2.89	3.57	1.60
Ia/Ip	3.32	4.29	5.06	5.86	5.90					
Ia/I"background"	1.76	1.45	1.29	1.27	1.20					
Ip/I"background"	12.50	5.70	3.21	2.49	1.85					

VERMICULITA -100+200% - RESULTADOS DE INTENSIDADES PARA AMOSTRAS PULVERIZADAS EM TEMPOS DISTINTOS

TEMPO	INTENSIDADE EM ÁREA - Ia (cps) d= 14,0 ANG.					INTENSIDADE EM ALTURA - Ip (cps) d= 14,0 ANG.				
	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'
LAHINA A	264379	177674	126866	92220	68699	53730	32280	16761	10991	7365
LAHINA B	264161	175315	134052	97234	68124	52294	30627	17655	11375	7075
LAHINA C	266954	175190	115103	88543	67495	53158	29523	16566	10672	7363
LAHINA D	281135	166169	117442	92323	69302	58806	27138	16969	10392	7297
LAHINA E	271247	183462	113767	93093	68300	54870	32032	16971	10098	7439
MEDIA	269575	175562	121286	92683	68384	54172	30320	16984	10866	7308
DESVIO PADRÃO(X)	2.62	3.55	7.00	3.34	.98	3.22	6.92	2.42	3.38	1.91
Ia/Ip	4.98	5.79	7.14	8.53	9.36					
Ia/I"background"	1.58	1.42	1.31	1.24	1.20					
Ip/I"background"	7.43	5.01	3.39	2.55	2.09					

VERMICULITA -48 +400K - RESULTADOS DE INTENSIDADES PARA AMOSTRAS PULVERIZADAS EM TEMPOS DISTINTOS

TEMPO	INTENSIDADE EM ÁREA - Ia (cps) d= 14,0 ANG.					INTENSIDADE DE ALTURA - Ip (cps) d= 14,0 ANG.				
	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'	0,5'	1,0'	1,5'	2,0'	3,0'
LAMINA A	259657	152121	108904	95033	75147	68098	27829	15059	10933	6001
LAMINA B	253425	165526	109191	95092	71572	70498	30401	15570	11303	6382
LAMINA C	257550	159206	109611	98299	78677	69203	27467	14027	11128	6512
LAMINA D	288177	153778	106936	102816	70214	80269	31109	14458	11039	6063
LAMINA E	264901	169759	105387	96758	73907	72739	29906	14224	12148	5843
MEDIA	264742	160078	108006	97760	73903	72161	29342	14668	11310	6160
DESVIO PADRÃO(X)	5.19	4.71	1.66	3.14	4.46	6.72	5.49	4.34	4.31	4.51
Ia/Ip	3.67	5.46	7.36	8.64	12.00					
Ia/I"background"	1.52	1.40	1.30	1.29	1.22					
Ip/I"background"	8.82	4.98	3.23	2.81	2.02					

ANEXO 2

CONDIÇÕES OPERACIONAIS PARA A ANÁLISE
DIFRATOMÉTRICA SEMIQUANTITATIVA

CONDIÇÕES OPERACIONAIS

MINERAL	MODO DE INTEGRAÇÃO	INTERVALO DE INTEGRAÇÃO	d ANG.	I/I _o	h k l
MAGNETITA	SIMUL	63.50 a 61.50	1.48	40	440
QUARTZO	SIMUL	51.00 a 49.00	1.84	17	112
FLUORAPATITA	SIMUL	33.50 a 31.00	2.77 2.80	55 100	112 211
FELDSPATOS K-potássico A-albita	SIMUL	24.50 a 20.50	3.70 4.22	35 a 70 30 60	130 K 130 K 111 A 201 K
GIBBSITA-(PADRÃO)	SIMUL	19.50 a 17.50	4.84	100	002
ANALCIMA	SIMUL	17.00 a 15.00	5.61	80	211
ANFIBÓLIO	SIMUL	12.00 a 10.00	8.40	100	110
BIOT.-FLOGOP.	SIMUL	9.50 a 8.00	10.00	100	002
DIOPSÍDIO * (pico)	SIMUL INTERVALO 0.02°	30.00 a 29.80	2.99	100	221
CALCITA * (pico)	SIMUL INTERVALO 0.02°	29.50 a 29.30	3.03	100	104
* BACKGROUND	MANUAL	CORRIDA 0.5°/min 28.30 a 28.80	---	---	---
- CALCITA					
- DIOPSÍDIO					

DEFINIÇÃO DE PICO E "BACKGROUND"

MINERAL	INTERVALO DE INTEGRAÇÃO	d ANG.	INTERVALO DE CONTAGENS (20)	NO. ELEMENTOS
MAGNETITA	63.5 a 61.5	1.48	back: 63.5 a 63.0 pico: 62.9 a 62.0 back: 61.9 a 61.5	6 10 5
FELDSPATOS	24.5 a 19.5	3.78 4.22	s/int: 24.5 a 24.2 pico: 24.1 a 22.8 s/int: 22.7 a 21.6 pico: 21.5 a 20.6 s/int: 20.6 a 20.5	4 14 12 10 1
GIBBSITA	19.5 a 17.5	4.84	back: 19.0 a 18.6 pico: 18.5 a 17.9 back: 17.8 a 17.5	10 7 4
FLUORAPATITA	33.5 a 31.5	2.77+2.80	back: 33.5 a 33.4 s/int: 33.3 a 32.6 pico: 32.5 a 31.4 back: 31.3 a 31.2 s/int: 31.1 a 31.0	2 8 12 2 2
QUARTZO	51.0 a 49.0	1.84	s/int: 51.0 a 50.5 pico: 50.4 a 49.8 back: 49.7 a 49.3 s/int: 49.2 a 49.0	6 7 5 3
FLOGOPITA	9.5 a 8.0	10.00	back: 9.5 a 9.1 pico: 9.0 a 8.3 s/int: 8.2 a 8.0	5 8 3
ANALCIMA	17.0 a 15.0	5.60	s/int: 17.0 a 16.5 back: 16.4 a 16.1 pico: 16.0 a 15.5 back: 15.4 a 15.2 s/int: 15.1 a 15.0	6 4 6 3 2
ANFIBÓLIO	12.0 a 10.0	8.40	back: 12.0 a 11.0 s/int: 11.0 a 10.7 pico: 10.7 a 10.3 s/int: 10.2 a 10.0	10 4 5 2

ANEXO 3

MINERAIS CITADOS NO TEXTO

MINERAL	COMPOSIÇÃO
anfibólios	
actinolita	$\text{Ca}_2 (\text{Mg}, \text{Fe})_5 (\text{Si}_8 \text{O}_{22}) (\text{OH}, \text{F})_2$
arfvedsonita	$\text{Na}_{2,5} \text{Ca}_{0,5} (\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Al})_5 (\text{Si}_7, 5\text{AlO}, 5\text{O}_{22}) - (\text{OH}, \text{F})_2$
eckermannita	$\text{Na}_{2,5} \text{Ca}_{0,5} (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Li})_5 (\text{Si}_7, 5\text{AlO}, - 5\text{O}_{22}) (\text{OH}, \text{F})_2$
tremolita	$\text{Ca}_2 \text{Mg}_5 (\text{Si}_8 \text{O}_{22}) (\text{OH}, \text{F})_2$
alstonita	$\text{BaCa}(\text{CO}_3)_2$
analcima	$\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$
anatásio	TiO_2
ankerita	$\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$
apatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl}, \text{CO}_2)$
carbonato-apatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_2)$
francolita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{CO}_2)$
fluor-apatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
hidroxi-apatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$
baddeleyta	ZrO_2
barita	BaSO_4
baritocalcita	$\text{BaCa}(\text{CO}_3)_2$
biotita	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
calcita	CaCO_3
calcopirita	CuFeS_2
caolinita	$\text{Al}_4(\text{Si}_2\text{O}_{10})(\text{OH})_8$
clorita	$(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6$
cordilita	$(\text{Ce}, \dots)_2\text{Ba}(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$
cancrinita	$(\text{Na}, \text{K})_6 - 8(\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{24})(\text{CO}_3)_{1-2} \cdot 3 - 3\text{H}_2\text{O}$
crandalita	$\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{HPO}_4)(\text{OH})_5$
dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
esfalerita	ZnS
esmectitas	$(\text{Al}, \text{Mg})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3(\text{OH})_{10} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

MINERAL	COMPOSIÇÃO
feldspatos	
albita (An 10)	$\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$
microclínio	$\text{K(AlSi}_3\text{O}_8)$
ortoclásio	$\text{K(AlSi}_3\text{O}_8)$
flogopita	$\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
florencita	$(\text{Ce}, \dots)\text{Al}_3(\text{PO}_4)(\text{HPO}_4)(\text{OH})_6$
galena	PbS
gibbsita	$\text{Al}(\text{OH})_3$
gieseckita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
goethita	$\alpha\text{FeO} \cdot \text{OH}$
gorceixita	$\text{BaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{HPO}_4)(\text{OH})_6$
goyazita	$\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)(\text{HPO}_4)(\text{OH})_6$
hematita	Fe_2O_3
hidrobiotita	
ilita	$(\text{Na}, \text{K})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$
ilmenita	FeTiO_3
magnesita	MgCO_3
magnetita	Fe_3O_4
monazita	$(\text{Ce}, \dots)\text{PO}_4$
monetita	CaHPO_4
natrolita	$\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
nefelina	$(\text{Na}, \text{K})(\text{AlSiO}_4)$
olivina	$(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{SiO}_4$
piroclore	$(\text{Ca}, \text{Na})_2(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$
pirita	FeS_2
pirolusita	MnO_2
pirrotita	Fe_{1-x}S
piroxênios	
augita	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$
diopsídio	$\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$
egirina	$\text{NaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$
quartzo	SiO_2

MINERAL	COMPOSIÇÃO
rabdofanita	$(Y, La, \dots)PO_4 \cdot H_2O$
rutilo	TiO_2
sericita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
serpentina	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$
siderita	$FeCO_3$
titanita	$CaTiO(SiO_4)$
variscita	$(Al, Fe)(PO_4) \cdot 2H_2O$
vermiculita	$(Mg, Ca)_{0,3}(Mg, Fe, Al)_3(Al, Si)_4O_{10}(OH)_4 \cdot 8H_2O$
wardita	$NaAl_3(PO_4)(OH)_4 \cdot 2H_2O$
wavelita	$Al_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O$
whitlockita	$(Ca, Mg)_3(PO_4)_2$
witherita	$BaCO_3$
zircão	$ZrSiO_4$