UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**O COMPLEXO ALCALINO DE ANITÁPOLIS
- UM ESTUDO PETROLÓGICO**

Eleno de Paula Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Vicente Antonio Vítório Girardi

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Área de Concentração: Mineralogia e Petrologia

São Paulo
1985

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005472

A memória de meu pai,
à minha mãe,
à minha família.

AGRADECIMENTOS

Meus mais sinceros agradecimentos são dirigidos às pessoas e instituições abaixo relacionadas, pela valiosa colaboração prestada à realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Vicente Antonio Vitório Girardi, pela atenciosa orientação, pelas valiosas sugestões e críticas e pela pronta e dedicada ajuda diante dos diversos problemas surgidos.

Ao Professor Doutor José Moacyr Vianna Coutinho, pelos preciosos ensinamentos, pelo permanente estímulo às atividades, aliado à envaidecedora demonstração de amizade e companheirismo.

Aos colegas Mírian C.B. de Oliveira, Hendrik H. Ens, Jairo de S. Taddeo, Evaristo P. Goulart, Maria Cristina de Moraes, Maria Heloísa B. de O. Frascá e ao Professor Doutor José Vicente Valarelli, pelo apoio na interpretação das lâminas delgadas e pelas sugestões, após leitura criteriosa do manuscrito. À colega Sandra Maria de A. Furtado, pelas discussões sobre a petrologia da área.

À equipe técnica dos Laboratórios de Laminação e Sedimentologia do IPT, nas pessoas dos colegas: Nilson de Paula, Sônia Aparecida R. Lopes, Amilton G. de Andrade, Fábio C. Queiróz, Jilson Cardoso, Elaine V. dos Santos e Expedito D. Amorim, pelo empenho extraordinário na execução de seus trabalhos.

Aos colegas Paulo Ernesto Mori e André Luiz M. da Silva, pelo apoio na quantificação de carbonatos por difratometria de raios-X e pela obtenção de inúmeros difratogramas.

À Secretária Márcia Aparecida P. Maróstica, do Agrupamento de Petrologia do IPT, pela excelente datilografia e, em conjunto com a Srta. Maria de Lourdes P. da Fonseca, pela dedicação e eficiência nas atividades de suporte administrativo. À colega Débora Fiuza F. Orsi, pelo valioso auxílio na revisão do texto final.

Ao Geólogo Jorge Kazuo Yamamoto pelo desenvolvimento dos programas de computação utilizados na análise estatística dos dados químicos e pela valiosa troca de idéias. À Estatística Lúcia de Fátima S. Dozzi e ao Sr. Mario Otávio Costa, pela adaptação e processamento dos programas.

Aos Químicos Giuliana Ratti, Durvalino F. da Rocha, Antonio Carlos Santa, do Agrupamento de Recursos Minerais do IPT; Luiza S. Ono-

saki e Noriko Hassui, do Agrupamento de Análises Químicas e Instrumentais do IPT; e ao Instituto di Mineralogia e Petrologia dell'Università di Ferrara - Itália, pelas análises químicas.

À equipe de desenhistas da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do IPT, em particular ao colega Francisco Carlos Ribeiro, pela paciente e cuidadosa participação na elaboração das ilustrações.

Às Bibliotecárias Maria Solange de Oliveira e Maria Inez do Prado, pela normalização da listagem dos artigos consultados.

Ao Sr. Álvaro C. Kopezynski pela qualidade das pranchas fotográficas.

Ao Professor Doutor Horstpeter H.G.J. Ulbrich e ao Sr. André Zular pelo apoio no processamento do programa de computação para cálculo dos parâmetros cristalográficos de apatita.

Ao Sr. Jaime Alves da Silva e equipe pela montagem da dissertação e aos colegas Antonio Beraldo Filho, Sebastião de Moraes, Wanderley de Oliveira e Eli A. Toledo pelas cópias xerográficas e heliográficas.

À Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT pelo imprescindível apoio oferecido em todas as etapas de minha formação profissional.

Às Indústrias Luchsinger Madrin S.A.-ILM, pela infra-estrutura e hospedagem oferecidas durante os trabalhos de campo, pela cessão de amostras, mapas e relatórios, e pelas importantes informações transmitidas pelo Geólogo Valmor D'Ávila Vergara e Engenheiro Paulo Picada Felim.

À Paulo Abib Engenharia S.A., pela cessão de amostras pertencentes aos seus arquivos.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
ILUSTRAÇÕES	x
RESUMO	01
ABSTRACT	02

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	03
1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA	03
1.1 Localização, Dimensões e Acesso	03
1.2 Geomorfologia, Clima e Vegetação	04
2 OBJETIVOS	06
3 METODOLOGIA	06
3.1 Trabalhos de Campo	06
3.2 Análises Microscópicas	07
3.2.1 Caracterização petrográfica	07
3.2.2 Determinação das propriedades ópticas dos minerais	08
3.3 Análises por Microsonda Eletrônica e Microscópio Eletrônico de Varredura	08
3.4 Análises por Difractometria de Raios-X	09
3.5 Análises Químicas	11
3.6 Análise Estatística dos Dados Químicos	11

3.6.1	Cálculo dos parâmetros estatísticos	13
3.6.2	Confecção de diagramas de dispersão	13
3.6.3	Análise fatorial (Modo R e Modo Q)	14
3.6.4	Traçado de curvas de isoteores	16

CAPÍTULO 2

TRABALHOS GEOLÓGICOS ANTERIORES	18
---------------------------------------	----

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA	25
1 GEOLOGIA REGIONAL	25
2 GEOLOGIA LOCAL	30
2.1 Características Gerais	30
2.2 O Granito Encaixante	30
2.3 Rochas de Dique	33
2.4 O Complexo Alcalino	34

CAPÍTULO 4

PETROGRAFIA	38
1 CRITÉRIOS PARA NOMENCLATURA	38
2 CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS	38
2.1 Série dos Álcali-Sienitos	38
2.2 Série dos Nefelina Sienitos	39
2.3 Série dos Ijolitos	42
2.4 Série das Ultramáficas	46
2.5 Carbonatitos	49

CAPÍTULO 5

MINERALOGIA	61
1 FELDSPATOS ALCALINOS	61
2 NEFELINA	61
3 PIROXÊNIOS	62
4 MICAS	64
5 APATITA	66
6 CARBONATOS	68
7 ANFIBÓLIOS	69
8 OLIVINA	70
9 MINERAIS OPACOS	71
10 PIROCLORO	71
11 TITANITA	72
12 ZIRCÃO	72
13 RUTILO	72
14 QUARTZO E CALCEDÔNIA	73
15 CLORITA	73
16 ZEÓLITAS	73
17 ARGILO-MINERAIS	73

CAPÍTULO 6

QUIMISMO	92
1 ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS EM RELAÇÃO ÀS UNIDADES LITOLÓGICAS	92
1.1 Apresentação dos Resultados	92
1.2 Discussão	98
2 ANÁLISE DE DIAGRAMAS DE DISPERSÃO ENTRE ÓXIDOS	99
2.1 Apresentação dos Resultados	99
2.2 Discussão	100
3 RELAÇÕES ENTRE COMPOSIÇÕES QUÍMICAS E MINERALÓGICAS	101
3.1 Apresentação dos Resultados	101
3.2 Discussão	101
4 ANÁLISE FATORIAL - MODO R	105
4.1 Apresentação dos Resultados	105
4.2 Discussão	105
5 ANÁLISE FATORIAL - MODO Q	108
5.1 Apresentação dos Resultados	108
5.2 Discussão	109

CAPÍTULO 7

COMPARAÇÃO COM OUTROS COMPLEXOS MÁFICO - ULTRAMÁFICOS ALCALINOS ..	136
--	-----

CAPÍTULO 8

EVOLUÇÃO PETROGENÉTICA	143
1 OS BIOTITA PIROXENITOS E ROCHAS AFINS	145

2	AS ROCHAS METASSOMÁTICAS	148
3	OS CARBONATITOS	152
4	SUMÁRIO E SEQUÊNCIA DOS EVENTOS PETROLÓGICOS	153
5	CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE DA APATITA	155
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	162
	ANEXOS	169

ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

FIGURA 1	Mapa de localização do Complexo Alcalino de Anitãpolis	05
FIGURA 2	Geologia regional	29
FIGURA 3	Principais fotolineamentos da região do Complexo Alcalino de Anitãpolis	36
FIGURA 4	Diagrama de frequência (comprimento x orientação) dos fotolineamentos	36
FIGURA 5	Distribuição modal dos feldspatos alcalinos	75
FIGURA 6	Distribuição modal da nefelina	75
FIGURA 7	Distribuição modal dos piroxênios	75
FIGURA 8	Distribuição modal das micas (biotita + flogopita) ...	76
FIGURA 9	Distribuição modal da apatita	76
FIGURA 10	Distribuição modal dos opacos	76
FIGURA 11	Distribuição dos teores de SiO_2	110
FIGURA 12	Distribuição dos teores de Al_2O_3	110
FIGURA 13	Distribuição dos teores de K_2O	110
FIGURA 14	Distribuição dos teores de Fe_2O_3 (Fe total)	111
FIGURA 15	Distribuição dos teores de MgO	111
FIGURA 16	Distribuição dos teores de CaO	111
FIGURA 17	Distribuição dos teores de P_2O_5	112
FIGURA 18	Distribuição dos teores de Na_2O	112
FIGURA 19	Distribuição dos teores de BaO	112
FIGURA 20	Mapa de localização dos furos de sonda com delimitação das unidades litológicas	113
FIGURA 21	Curvas de isoteores - porcentagem de SiO_2	114

FIGURA 22	Curvas de isoteores - porcentagem de Al_2O_3	115
FIGURA 23	Curvas de isoteores - porcentagem de K_2O	116
FIGURA 24	Curvas de isoteores - porcentagem de Fe_2O_3 (Fe total) .	117
FIGURA 25	Curvas de isoteores - porcentagem de CaO	118
FIGURA 26	Curvas de isoteores - porcentagem de P_2O_5	119
FIGURA 27	Curvas de isoteores - porcentagem de BaO	120
FIGURA 28	Diagrama de dispersão dos valores de $CaO \times SiO_2$	121
FIGURA 29	Diagrama de dispersão dos valores de $CaO \times K_2O$	122
FIGURA 30	Diagrama de dispersão dos valores de $CaO \times Al_2O_3$	123
FIGURA 31	Diagrama de dispersão dos valores de $CaO \times Na_2O$	124
FIGURA 32	Diagrama de dispersão dos valores de $SiO_2 \times Na_2O$	125
FIGURA 33	Diagrama de dispersão dos valores de $SiO_2 \times K_2O$	126
FIGURA 34	Diagrama de dispersão dos valores de $SiO_2 \times Al_2O_3$	127
FIGURA 35	Diagrama de dispersão dos valores de $Al_2O_3 \times K_2O$	128
FIGURA 36	Diagrama de dispersão dos valores de $Al_2O_3 \times Na_2O$	129
FIGURA 37	Diagrama de dispersão dos valores de Fe_2O_3 (Fe total) x MgO	130
FIGURA 38	Representação das cargas dos fatores principais - Análise fatorial - Modo R	131
FIGURA 39	Diagrama no plano dos fatores R_1 e R_2 - Análise fatorial - Modo R	132
FIGURA 40	Diagrama no plano dos fatores R_2 e R_3 - Análise fatorial - Modo R	133
FIGURA 41	Diagrama no plano dos faotres R_1 e R_3 - Análise fatorial - Modo R	134
FIGURA 42	Representação das cargas fatoriais das amostras - Análise fatorial - Modo Q	135
FIGURA 43	Gráficos de variação dos óxidos segundo teor de SiO_2 ..	157

FOTOS

FOTO 1	Vista do Complexo Alcalino de Anitápolis	17
FOTO 2	Aspecto da vegetação local	17
FOTO 3	Granito: aspectos texturais	37
FOTO 4	Tinguaíto: aspectos texturais	37
FOTOS 5 a 9	Álcali-sienitos: aspectos texturais	53
FOTO 10	Granito e álcali-sienito: aspectos estruturais	55
FOTOS 11 e 12	Nefelina sienitos: aspectos texturais	56
FOTOS 13 a 16	Ijolitos: aspectos texturais	57
FOTOS 17 e 18	Ultramáficas: aspectos texturais	59
FOTOS 19 e 20	Carbonatitos: aspectos texturais	60
FOTO 21	Ortoclásio substituído por anortoclásio em mela-álcali-sienito	77
FOTO 22	Nefelina substituída por cancrinita em apatita urtito	78
FOTO 23	Ortoclásio substituído por nefelina (geisekitizada) em nefelina sienito	78
FOTOS 24 e 25	Piroxênio zonado em apatita ijolito	79
FOTOS 26 a 33	Piroxênio zonado em álcali-sienito: aspectos microscópicos, análise por dispersão de energia, imagens de composição e de raios-X	80
FOTOS 34 e 35	Piroxênio e biotita em piroxênio biotitito e apatita-biotita piroxenito	82
FOTOS 36 a 41	Flogopita zonada em veio de apatita: aspectos microscópicos, análise por dispersão de energia, imagens de composição e de raios-X	83
FOTOS 42 e 43	Borda de reação biotita-flogopítica	85
FOTO 44	Carbonato-apatita em ijolito	86

FOTOS 45 a 47	Apatita em apatita-piroxênio biotitito e mela-álcali-sienito	87
FOTOS 48 e 49	Piroxênio e anfibólio sódico em lusitanito e apatita piroxenito	89
FOTO 50	Anfibólio sódico-cálcico em apatita sôvito	90
FOTO 51	Olivina em apatita sôvito	90
FOTO 52	Magnetita em magnetita dunito	91
FOTOS 53 e 54	Egirinização a partir de fraturas em mela - álcali - sienito	158
FOTO 55	Biotita piroxenito com "manchas" urtíticas	159
FOTO 56	Veio silicoso cortando lusitanito	159
FOTO 57	Veios silicosos cortando granito	160
FOTO 58	Apatita e biotita em apatita biotitito	160
FOTO 59	Apatita e piroxênio zonado em álcali-sienito	161
FOTO 60	Vênula carbonática cortando mela-álcali-sienito ...	161

QUADROS

QUADRO 1	Sinopse de informações relativas à metodologia das análises químicas	12
QUADRO 2	Sinopse das características de alguns complexos máficos-ultramáficos alcalinos	139

TABELAS

TABELA 1	Composições modais de amostras de granito	31
TABELA 2	Composições modais de amostras de tinguaito	33

TABELA 3	Composições modais de rochas da série dos álcali-sienitos	40
TABELA 4	Composições modais de rochas da série dos nefelina sienitos	43
TABELA 5	Composições modais de rochas da série dos ijolitos ...	44
TABELA 6	Composições modais de rochas da série das ultramáficas	47
TABELA 7	Composições modais de carbonatitos	50
TABELA 8	Características ópticas e teor de Eg em cristais de piroxênio	64
TABELA 9	Composições químicas de amostras de apatita	67
TABELA 10	Parâmetros cristalográficos (a e c) de amostras de apatita	67
TABELA 11	Características ópticas de anfibólios sódico e sódico-cálcico	70
TABELA 12	Composições químicas de amostras predominantemente da série dos álcali-sienitos	93
TABELA 13	Composições químicas de amostras predominantemente da série dos nefelina sienitos	94
TABELA 14	Composições químicas de amostras predominantemente da série dos ijolitos	95
TABELA 15	Composições químicas de amostras predominantemente da série das ultramáficas	96
TABELA 16	Composições químicas de amostras predominantemente de carbonatitos	96
TABELA 17	Parâmetros estatísticos da distribuição dos óxidos nas unidades litológicas	97
TABELA 18	Matriz de correlação entre as variáveis	99
TABELA 19	Composições químicas de amostras selecionadas de granito, rochas alcalinas e carbonatito	103
TABELA 20	Composições modais de amostras selecionadas de granito, rochas alcalinas e carbonatito	104

TABELA 21	Autovalores e porcentagens da variância total de cada fator - Análise fatorial - Modo R	107
TABELA 22	Cargas dos fatores principais (Matriz dos fatores Vari_ max) - Análise fatorial - Modo R	107
TABELA 23	Autovalores e porcentagens da variância total de cada fator - Análise fatorial - Modo Q	108

RESUMO

O Complexo Alcalino de Anitápolis situa-se nas partes mais rebaixadas de uma depressão morfológica de forma circular e área global de 15 km². Compreende um corpo arredondado, com área da ordem de 6 km², circundado por rochas graníticas pertencentes ao Embasamento Cristalino (Suíte Pedras Grandes).

As rochas alcalinas do Complexo ocorrem preferencialmente em quatro zonas aproximadamente concêntricas, assim distribuídas (da borda para o centro): Zona álcali-sienítica (álcali-sienitos, mela-álcali-sienitos, lusitanitos); Zona nefelina sienítica (nefelina sienitos, malignitos, shonkinitos); Zona ijolítica (urtitos, ijolitos, melteigitos); e Zona ultramáfica (biotita piroxenitos, biotititos, piroxenitos, magnetita dunitos). Todas essas rochas acham-se irregularmente cortadas por veios, de espessura milimétrica a métrica, de carbonatito geralmente sóvítico. A mineralização apatítica as socia-se principalmente às rochas máficas e ultramáficas.

A intensa atividade metassomática que afetou as rochas do Complexo foi responsável pela fenitização dos granitos encaixantes, pela cristalização generalizada de piroxênio (egirina a egirina-augita) e nefelina, e pelo amplo desenvolvimento de estruturas de substituição mineral.

Este trabalho apresenta os resultados dos estudos mineralógicos, petrográficos e químicos efetuados em amostras de rocha. Propõe também uma hipótese para a evolução petrogenética do Complexo Alcalino, envolvendo intrusão de rochas ultramáficas, metassomatismo e mobilização reomórfica de magma alcalino e, finalmente, venulação carbonatítica.

ABSTRACT

The Anitápolis Alkaline Complex in the state of Santa Catarina, Southern Brazil, is emplaced in granitic rocks of the Embasamento Cristalino (Suíte Pedras Grandes) and is made up of a rounded body with a mapped area of about 6 km². It is located in the ~~inferior~~ most depressed region of a circular structure covering 15 km².

Four roughly concentric zones of alkaline rocks were mapped, in the following order, from border to the center; 1) alkali syenite; 2) nepheline syenite; 3) ijolite; 4) ultramafite (mainly biotite piroxenate).

All ~~the~~ lithologies are cut by irregular veins ~~millimeters~~ ^{with thicknesses varying from mm to m.} to several meters thick of sovitic carbonatite. Some ~~tinguaite~~ ^{tinguaite} dykes ~~have been~~ ^{were} found in the granitic aureole. Apatite mineralization is concentrated in the mafic to ultramafic portions of the body.

Fenites, implanted in the granite contacts, generalized alkali pyroxenization and nephelinization, together with ample development of replacement structures, attest to an intensive metasomatic activity in the complex.

Mineralogical, petrographic and chemical data are presented for the range of rock types. They suggest a petrogenetic evolution, starting with the intrusion of ultramafic rocks, metasomatism and rheomorphic mobilization of alkaline magma and ending by carbonatitic venulation.

Granite along the contacts are - - -

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Complexo Alcalino de Anitápolis é conhecido desde o início do século, mas somente a partir de 1926 surgiram oficialmente os primeiros estudos de geologia. Deste período até 1967 as pesquisas realizadas foram dificultadas pela quase inexistência de afloramentos e às reduzidas investigações de subsuperfície.

Somente a partir de 1976, por iniciativa do DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL-DNPM, foram reiniciados os estudos na região do Complexo, sob a responsabilidade da COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS-CPRM. Estes estudos envolvendo mapeamento geológico (escala 1:50 000), alguns furos de sonda, poços e trincheiras além de perfilações geofísicas, evidenciaram a viabilidade econômica da ocorrência, que hoje constitui importante jazida de apatita no Sul do Brasil.

Em 1977 os trabalhos de pesquisa geológica em Anitápolis foram assumidos pelas INDÚSTRIAS LUCHSINGER MADORIN S.A.-ILM, sendo elaborado um plano de atuação voltado à definição das possíveis condições de lavra da jazida. Este plano compreendeu, dentre outras atividades, a execução de furos de sonda, cobrindo praticamente toda a área do Complexo. Dentro desse plano, o autor, através de contrato firmado entre a ILM e o INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-IPT, executou estudos mineralógicos e petrográficos essencialmente em testemunhos de sondagem. Este contrato encerrou-se em 1978, e a partir daí aprofundaram-se os estudos sobre a petrologia do Complexo, desta vez subsidiados exclusivamente pelo IPT.

1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA

1.1 Localização, Dimensões e Acesso

Este trabalho foi desenvolvido na Região Sul Catarinense, na localidade de Rio Pinheiros Altos, município de Anitápolis, Estado de Santa Catarina.

A área pesquisada, correspondente ao Complexo Alcalino de Anitápolis, apresenta forma subcircular, com área global da ordem de 6 km^2 e acha-se limitada pelas coordenadas geográficas $49^{\circ}05'$ de longitude oeste e $27^{\circ}50'$ de latitude sul (FIGURA 1).

A região dista 92,7 km da cidade de Florianópolis e o acesso, a partir dessa Capital, é feito pelas rodovias: BR 101, BR 282 e SC 407.

1.2 Geomorfologia, Clima e Vegetação

VERGARA (1980), ao descrever os aspectos geomorfológicos da Região do Complexo Alcalino de Anitápolis, enfatizou que as feições morfológicas mais evidentes são a forma subcircular e a espetacular depressão originada pela intrusão e as rochas granitóides do Escudo Catarinense (FOTO 1).

A nível interno destacam-se as elevações escarpadas do bordo oeste. Existe um grande contraste destas áreas com as zonas mais internas da intrusão, onde as rochas máficas e ultramáficas predominam, propiciando assim uma morfologia mais suave, que se estende até a planície aluvionar comandada pelo Rio Pinheiros. Os níveis hipsométricos mais elevados atingem cotas superiores a 1 100 m, enquanto nas zonas mais internas ocorrem altitudes da ordem de 700 m.

As áreas periféricas, por estarem densamente fraturadas, funcionam como fontes de matacões e seixos, originando os depósitos de talus que têm ampla distribuição em todo o Complexo.

Normalmente as linhas de drenagem estão controladas por lineamentos estruturais, coincidindo, na maioria dos casos, com o padrão das áreas encaixantes, de formato centrípeto. Nos aluviões esse controle não pôde ser observado, mas o Rio Pinheiros se orienta também segundo fraturamentos pré-existentes (VERGARA, op. cit.).

O clima da região é mesotérmico brando, do tipo temperado; a temperatura média anual situa-se em torno de 15°C (NIEMER, 1977).

A pluviometria média anual, observada no período entre 1942 e 1972, foi de 1 570 mm. Os meses mais chuvosos são janeiro, fevereiro e março, e os mais secos maio, junho e julho (VERGARA, 1979).

A cobertura vegetal primitiva pertence ao domínio da Mata Atlântica, tratando-se, de acordo com ALONSO (1977), de floresta perenófi

Figura 1 – Mapa de localização do Complexo Alcalino de Anitópolis

la higrófila costeira (FOTO 2). Entretanto, a vegetação original apresenta-se bastante devastada pela ação antrópica, sendo substituída por lavouras e mata secundária.

2 OBJETIVOS

Os objetivos da presente pesquisa foram os seguintes:

- a) estudar a mineralogia e a petrografia das rochas alcalinas que compõem o Complexo;
- b) definir possíveis zoneamentos dos tipos petrográficos;
- c) conhecer as características químicas dos principais tipos petrográficos e verificar a relação dos elementos maiores entre si e com as litologias;
- d) verificar o comportamento da apatita, sua origem, distribuição e relação com as rochas do Complexo;
- e) fornecer subsídios mineralógicos, petrográficos e químicos para a interpretação da evolução petrogenética do Complexo e, se possível, formular uma hipótese sobre a mesma.

3 METODOLOGIA

3.1 Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram conduzidos em duas etapas distintas. A primeira compreendeu o levantamento geológico regional visando a familiarização e o reconhecimento dos tipos litológicos aflorantes, suas relações, a estrutura, a geomorfologia, etc.. Este trabalho foi apoiado no mapa geológico, escala 1:5 000, elaborado por VERGARA (1979) e na carta topográfica 1:50 000 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, 1976).

A etapa posterior constou do exame macroscópico dos testemunhos de sondagem, de propriedade da ILM, provenientes de 55 furos de sonda e perfazendo um total de 2 882 m de rocha perfurada. Esta atividade foi desenvolvida paralelamente ao estudo microscópico descrito a seguir, e objetivou o reconhecimento e distribuição espacial dos tipos petrográficos. Nesta fase selecionaram-se amostras ho

mogêneas, representando intervalos de aproximadamente 5 m de rocha perfurada, para serem submetidas a análises químicas (dosagens de Na_2O e MgO) complementares aos dados extraídos de VERGARA (1979).

3.2 Análises Microscópicas

Nestes trabalhos utilizaram-se os seguintes equipamentos, pertencentes ao Agrupamento de Petrologia da Divisão de Minas e Geologia Aplicada-DMGA do IPT:

- Microscópio Leitz Ortholux II - Pol - BK
- Fotomicroscópio - Zeiss
- Platina Universal - Leitz
- Refratômetro de Abbe - Carl Zeiss
- Filtro de interferência - Jena (Schott & Mainz)

3.2.1 Caracterização petrográfica

Foram estudadas 144 lâminas delgadas com vistas à obtenção de composições modais e classificações petrográficas, bem como à análise das paragêneses minerais e das relações texturais. Estudou-se também cerca de 15 seções polidas para a caracterização dos minerais opacos.

As composições modais foram obtidas em lâminas por contagem de 1 000 a 2 000 pontos espaçados a 0,3 mm ao longo de linhas separadas por 1 mm, cobrindo área de 320 mm^2 (20 X 16 mm) (JUNG & BROUSSE, 1959). A partir dos valores obtidos foram calculados, para os minerais mais comuns, a média, o desvio padrão e os extremos da distribuição (valores mínimo e máximo). Estes dados foram representados na forma de diagramas, para melhor visualização do arranjo modal dos principais minerais entre as rochas do Complexo.

Durante os trabalhos, por diversas vezes, tornou-se necessária a utilização de outros métodos para caracterização de certas fases mineralógicas. Para este fim, selecionaram-se espécimes para determinação das propriedades ópticas, análises por difratometria de raios-X e análises por microsonda eletrônica e microscópio eletrônico de varredura.

Em particular, no estudo das rochas graníticas, onde a granulação grosseira dificultava a determinação microscópica das composi -

ções modais, foi aplicado o método de coloração seletiva de feldspatos potássicos e cálcicos (MORAES & RODRIGUES, 1978) em cerca de 20 placas serradas de granito procedente das imediações do corpo alcalino.

A seleção de amostras para análise química (fragmentos com 300-500 g, das litologias mais comuns) foi efetuada durante esta fase de caracterização petrográfica.

3.2.2 Determinação das propriedades ópticas dos minerais

A maioria das propriedades ópticas dos minerais foi determinada através do exame microscópico convencional, em lâminas delgadas. Nos casos em que tal exame não foi suficiente para efetuar a identificação ou a melhor caracterização mineralógica, recorreu-se à platina universal e ao compensador de Berek, e à determinação dos índices de refração.

Os estudos com platina universal possibilitaram a obtenção de 2 V; ângulos de extinção; dispersão dos eixos ópticos e da extinção e orientação óptica.

O compensador de Berek permitiu determinar a birrefringência máxima de apatita. Recorreu-se a esse instrumento para evidenciar uma rara variedade de apatita cuja birrefringência lhe confere caráter distinto.

A determinação dos índices de refração foi feita pelo método da linha de Becke observada em grãos de cerca de 100 micra, imersos em líquidos da Coleção Cargille. As observações foram feitas sob luz monocromática. Os líquidos foram aferidos em refratômetro de Abbe.

Os estudos microscópicos de caracterização mineralógica foram apoiados e acompanhados de permanente consulta aos trabalhos de: WINCHELL & WINCHELL (1951); TRÖGER (1971); KERR (1959); BLOSS (1961); DEER et alii (1962, 1963, 1978); HEINRICH (1965); ROUBAULT (1982).

3.3 Análises por Microsonda Eletrônica e Microscópio Eletrônico de Varredura

Utilizou-se o instrumento de microsonda eletrônica acoplado a microscópio eletrônico de varredura, marca JEOL, modelo JXA-50 A, pertencentes ao Agrupamento de Caracterização de Produtos Metalúrgicos da Divisão de Metalurgia-DIMET do IPT. Seções delgadas - polidas foram confeccionadas e recobertas com carbono por um metalizador mar

ca JEOL, modelo JEE-4B. Foram obtidas imagens de elétrons secundários, de composição e de raios-X, e executadas análises por dispersão de energia em espécimes selecionados durante os trabalhos petrográficos. Estes estudos tiveram caráter qualitativo e visaram definir as variações químicas das diferentes zonas de cristais de mica e piroxênio.

As condições de operação para as análises por dispersão de energia foram: fundo de escala: 5 kcps; tempo de acumulação: 80 seg; tensão de aceleração: 15 Kev; corrente absorvida: 0,4 nA. As imagens de composição e de raios-X foram efetuadas com tensão de aceleração: 15 kV; corrente absorvida: 10^{-8} A.

3.4 Análises por Difratometria de Raios-X

Executaram-se análises por difratometria de raios-X em minerais e rochas, utilizando-se para este fim um difratômetro automático marca Rigaku, modelo Geigerflex D/Max, do Agrupamento de Petrologia-IPT.

Os grãos minerais foram separados sob lupa e moídos em gral de ágata. Amostras de rochas foram britadas e a seguir moídas em gral de ágata ou moinho Renard. Em ambos os casos procurou-se atingir uma granulometria inferior a 0,074 mm (200 mesh).

As condições instrumentais de operação foram: radiação: CuK_2 ; voltagem: 40 kV; amperagem: 20 mA; velocidade do goniômetro: $2^\circ/\text{min}$; velocidade do papel: 20 mm/min.

Na interpretação dos difratogramas foi utilizado o fichário do JOINT COMMITTEE ON POWDER DIFFRACTION STANDARDS (1974).

As análises efetuadas em argilo-minerais, carbonatos (calcita e dolomita) e apatita requereram um tratamento particular, como se segue:

a) Argilo-minerais

As amostras de rocha contendo argilo-minerais foram britadas, desagregadas em almofariz de porcelana, com pistilo de borracha e dispersadas em água deionizada. A fração argilosa foi pipetada e sedimentada por centrifugação. Com o material obtido foram confeccionados corpos de prova montados em lâmina de vidro, de maneira orientada, para exames por difratometria de raios-X.

A fim de avaliar propriedades de expansão e contração dos argilo-minerais, as amostras foram tratadas com vapor de etileno-gli

col e aquecimento em mufla (495°C durante 4 h), obtendo-se os respectivos difratogramas.

b) Carbonatos

Visando fornecer subsídios para a classificação petrográfica das rochas carbonatíticas foi efetuada a análise quantitativa de calcita e dolomita, por difratometria de raios-X, nas 31 amostras de carbonatito estudadas microscopicamente. Uma porção representativa da amostra foi submetida a análise qualitativa, por difratometria de raios-X, e outra, misturada com a alumina ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) na proporção de 3:1 (em peso) e sujeita a homogeneização e moagem, em moinho Renard durante 5 minutos, visando-se obter uma granulometria da ordem de 0,01 mm. A alumina foi utilizada como padrão interno.

Foram então obtidos os difratogramas para a mistura e medidas as intensidades integradas das raias selecionadas para a calcita ($d = 3,86 \text{ \AA}$ e $d = 3,04 \text{ \AA}$), para a dolomita ($d = 2,89 \text{ \AA}$) e para a alumina ($d = 3,46 \text{ \AA}$ e $d = 2,37 \text{ \AA}$).

As medidas de intensidade integrada das reflexões foram submetidas a tratamento matemático, de acordo com o trabalho de HUBBARD & SMITH (1977), obtendo-se as porcentagens de calcita e dolomita, que foram incorporadas às análises modais das rochas. Os difratogramas foram obtidos, nestes trabalhos, sob uma velocidade do goniômetro de $0,25^{\circ}/\text{min.}$ e do papel de 5 mm/min.

c) Apatita

Com a finalidade de determinar as dimensões da cela unitária (a_0 , c_0) da apatita foram obtidos os difratogramas de 11 concentrados de apatita, provenientes de diversas amostras de rochas do Complexo.

As amostras foram britadas, moídas em almofariz de porcelana e, após exame sob lupa, procedeu-se ao peneiramento e à seleção dos grãos na granulometria necessária para a liberação da apatita. Posteriormente submeteu-se à concentração mineralógica, utilizando-se líquido denso (bromofórmio) e separador eletromagnético Frantz e, finalmente, à catação sob lupa até a obtenção de concentrados puros de grãos de apatita. Os concentrados foram homogeneizados e moídos em gral de ágata, juntamente com 20% (em peso) de silício metálico (padrão interno), e

submetidos à varredura por difração de raios-X.

Os valores de 2θ , corrigidos em relação ao silício, e sua respectiva indexação (baseada no fichário do JOINT COMMITTEE ON POWDER STANDARDS, 1974) foram submetidos a um programa de computação de refinamento das constantes de cela pelo método dos mínimos quadrados (versão modificada e adaptada ao programa de BURNHAM, 1966).

Os difratogramas foram rodados a uma velocidade de $0,25^\circ/\text{min}$, com velocidade do papel de 10 mm/min .

3.5 Análises Químicas

Parte dos dados químicos utilizados neste trabalho foi extraída do relatório de VERGARA (1979) e o restante de análises de amostras de rochas e minerais, selecionado durante os trabalhos de campo e estudos microscópicos.

Na preparação das amostras procedeu-se à britagem (no caso de rochas), quarteação e moagem em moinho Renard, obtendo-se uma granulometria inferior a $0,074 \text{ mm}$ (200 mesh).

O QUADRO 1 sintetiza os dados utilizados na caracterização química dos diferentes tipos de amostras, os óxidos ou elementos analisados e o laboratório executante.

3.6 Análise Estatística dos Dados Químicos

Os resultados das análises químicas (teores em SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , CaO , Fe_2O_3 , P_2O_5 , BaO , MgO e Na_2O) de 151 amostras compostas, cada uma representando um intervalo de aproximadamente 5 m de testemunho de sondagem em rocha, foram tratados estatisticamente visando conhecer o comportamento desses óxidos, relacionando-os com as unidades litológicas. Para este estudo selecionaram-se macroscopicamente amostras o mais homogêneas possíveis dos diferentes tipos petrográficos. A única exceção ocorrida refere-se ao conjunto de carbonatitos, onde a dificuldade para obtenção de amostras satisfatoriamente homogêneas levou ao seguinte procedimento: para o cálculo dos parâmetros estatísticos considerou-se o conjunto de 4 amostras "puras"; para os demais tratamentos, juntou-se a estas, outras 6 amostras contendo até 20% de intercalações de rochas não carbonatíticas.

O tratamento estatístico efetuado constou de:

QUADRO 1 - SINOPSE DE INFORMAÇÕES RELATIVAS À METODOLOGIA DAS ANÁLISES QUÍMICAS

TIPO DE AMOSTRA	ÓXIDOS/ELEMENTOS	MÉTODO	LABORATÓRIO
Testemunho de sondagem (porção representativa de ~ 5 m)	(*) SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , CaO , Fe_2O_3 (Fe total), MnO , P_2O_5 , BaO MgO , Na_2O	Fluorescência de raios-X Espectrofotometria de absorção atômica	Paulo Abib Engenharia S.A. Laboratório de Geoquímica-IPT
Fragmento de rocha (300 - 500 g)	SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , CaO , Fe_2O_3 (Fe total), MnO , P_2O_5 , MgO , MgO , Na_2O , TiO_2 FeO Perda ao Fogo	Fluorescência de raios-X Via úmida -	Instituto de Mineralogia e Petrologia dell' Univeristà di Ferrara - Itália Laboratório de Produtos Inorgânicos-IPT Laboratório de Geoquímica-IPT
Concentrado de grãos de apatita (~ 1 g)	CaO , MgO Fe_2O_3 (Fe total), Na_2O , MnO , Sr F P_2O_5 , Cl	Via úmida Espectrofotometria de absorção atômica Eletrodo específico Via úmida	Laboratório de Geoquímica-IPT Laboratório de Geoquímica-IPT Laboratório de Geoquímica-IPT Laboratório de Produtos Inorgânicos-IPT

(*) Dados extraídos de VERGARA (1979)

- cálculo de parâmetros estatísticos: média, desvio padrão, valor mínimo e valor máximo, para cada óxido nas cinco unidades litológicas;
- confecção de diagramas de dispersão combinando-se teores ou relações entre teores de óxidos;
- análise fatorial (Modo R e Modo Q).

A metodologia utilizada para o cálculo dos parâmetros estatísticos, confecção de diagramas de dispersão e análise fatorial - Modo R foi baseada nos trabalhos de YAMAMOTO (1980).

3.6.1 Cálculo dos parâmetros estatísticos

Para cada óxido, nas cinco unidades litológicas, foram calculados a média e o desvio padrão, e determinados os extremos da distribuição (valores mínimo e máximo). O cálculo da média foi efetuado ponderando-se o teor em função da espessura da rocha que compõe a amostra.

Com esses dados foram construídos diagramas lançando-se o teor médio $\pm$ o desvio padrão e os valores extremos (mínimo e máximo), para se visualizar o comportamento de cada um dos óxidos em relação às unidades litológicas.

3.6.2 Confecção de diagramas de dispersão

Os diagramas de dispersão confeccionados destinaram-se ao estudo do grau de associação entre as variáveis (óxidos) e foram construídos lançando-se as medidas num sistema de eixos, os quais representavam as variáveis. Cada medida, correspondendo a uma amostra, foi lançada com uma simbologia representando a unidade litológica a que pertence.

A análise desses diagramas é feita observando-se a distribuição dos pontos. O grau de associação entre as duas variáveis pode ser medido pelo cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, que varia numericamente de -1 a +1. Coeficiente igual ou próximo de +1 significa a existência de correlação linear positiva (isto é, as variáveis são diretamente proporcionais). Coeficiente igual ou próximo a -1, implica em correlação linear negativa (isto é, as variáveis são inversamente proporcionais). Valores negativos ou positivos próximos a zero indicam grande dispersão dos pontos e ausência de relação linear entre os óxidos (YAMAMOTO, op. cit.).

Essas correlações são usualmente representadas numa forma de matriz quadrada e simétrica, com os valores da diagonal principal iguais a 1.

Todas as variáveis foram combinadas duas a duas, obtendo-se um total de 56 diagramas de dispersão. Após a análise dos coeficientes de correlação medidos, foram conservados somente aqueles diagramas que apresentaram correlações mais significantes, sendo consideradas como tal aquelas cujos coeficientes eram maiores que 0,60, em módulo.

3.6.3 Análise fatorial (Modo R e Modo Q)

A análise fatorial constitui uma técnica estatística exploratória e foi efetuada neste trabalho, segundo os Modos R e Q, com o objetivo de visualizar as possíveis relações existentes entre as variáveis (óxidos) ou entre as amostras. Neste trabalho foram excluídos os teores de BaO, uma vez que seus valores mais expressivos representam uma ocorrência localizada e praticamente restrita às amostras de um único testemunho de sondagem (furo nº 49).

A análise fatorial tem como propósito a interpretação da estrutura de um conjunto de dados multivariantes a partir da respectiva matriz de variância-covariância. A técnica consiste na extração dos autovalores e autovetores através do método dos componentes principais, originando eixos ortogonais chamados eixos fatoriais ou fatores (DAVIS, 1973).

Esses fatores foram extraídos tanto da matriz de correlação entre variáveis padronizadas (Modo R) como da matriz de distância entre amostras (Modo Q). A análise fatorial pelo Modo R é feita a partir das amostras lançadas no espaço das m variáveis e pelo Modo Q, quando as variáveis são lançadas no espaço das n amostras.

Os fatores são transformações dos componentes principais de tal modo que as orientações são as mesmas dos autovetores originais e seus comprimentos são iguais às raízes quadradas dos autovalores. Os autovalores representam a proporção da variância explicada pelos autovetores.

O modelo fatorial pode ser expresso pela seguinte relação:

$$x_j = \sum_{r=1}^p l_{jr}.fr + e_j$$

onde:

x_j = valor da j -ésima variável

fr = r -ésimo fator

l_{jr} = carga da j -ésima variável no r -ésimo fator

e_j = variação casual na variável x_j

p = número de fatores

A padronização consiste em transformar a distribuição original em uma distribuição com média = 0 e variância = 1.

A análise fatorial requer que p , o número de fatores, seja conhecido previamente à análise. Entre as várias sugestões apresentadas por DAVIS (1973), adotou-se, para análise pelo Modo R, a manutenção de todos os fatores que tenham autovalores maiores que 1,00 (ou seja, tenham variância maior que as variáveis originais padronizadas).

As cargas fatoriais representam as correlações entre cada variável original e o fator determinado. Podem ser entendidas como a contribuição de cada variável para o fator correspondente.

Uma outra definição importante no modelo fatorial é a comunalidade, que é igual à soma dos quadrados das cargas dos fatores de uma determinada variável.

$$h_j^2 = \sum_{r=1}^p l_{jr}^2$$

onde:

h_j^2 = comunalidade da variável j

Se p , número de fatores, for igual a m , número de variáveis originais, as comunalidades serão iguais às variâncias originais, que são iguais a 1,00 porque as variáveis foram padronizadas. Entretanto, como p é sempre menor que m , as comunalidades serão sempre menores que as variâncias originais e, portanto, proporcionam um índice de eficiência do conjunto de fatores. Assim, se forem necessários muitos fatores para explicar grande parte da variância original, ou se as comunalidades dos primeiros poucos fatores forem baixas, o modelo fatorial provavelmente não é apropriado. Para análise pelo Modo Q a comunalidade é o parâmetro importante para escolha do número de fa-

tores necessários à interpretação. Nesta análise os dois primeiros fatores explicam a maior parte de variância original, sendo portanto suficientes para a interpretação. Nestes casos a comunalidade devida aos dois primeiros fatores é geralmente maior que 0,90, satisfazendo assim o modelo fatorial.

Embora o modelo fatorial necessite de somente p fatores para explicar grande parte da variabilidade original dos dados, todos os m fatores são calculados a partir da extração dos m componentes principais. Assim a interpretação do significado dos fatores importantes, pode ser dificultada pela presença de $m - p$ eixos fatoriais indesejáveis. A interpretação dos p eixos fatoriais do modelo pode ser facilitada pela rotação fatorial, que consiste em girar os fatores para posições mais favoráveis à interpretação. A técnica utilizada no programa de DAVIS (1973) é denominada esquema VARIMAX de Kaiser, que opera sobre as cargas fatoriais de maneira que estejam próximas de ± 1 ou próximas de zero, ou seja, os eixos fatoriais rotados são orientados nas direções de maior ou menor variabilidade.

3.6.4 Traçado de curvas de isoteores

Para a obtenção de curvas de isoteores, inicialmente procedeu-se ao cálculo dos valores médios de teores, em cada furo de sonda, ponderando-se o teor em função da espessura da rocha correspondente a cada amostra. Foram utilizados os resultados de análises químicas de 396 amostras provenientes de 39 furos de sonda, extraídos de VERGARA (1979).

A partir desses dados foram traçadas curvas de isoteores, para cada óxido, sobre uma malha representativa da distribuição dos furos de sonda. O algoritmo do programa de computação utilizado foi elaborado de acordo com DAVIS (op. cit.).

FOTO 1 - VISTA DO COMPLEXO ALCALINO DE ANITÁPOLIS, NOTANDO - SE A ESPETACULAR DEPRESSÃO MORFOLÓGICA ORIGINADA PELO CORPO ALCALINO CIRCUNDADO POR ROCHAS GRANÍTICAS.

FOTO 2 - ASPECTO DA VEGETAÇÃO LOCAL, PTERIDÓFITAS PERTENCENTES À FLORESTA PERENÓFILA HIGRÓFILA COSTEIRA.

CAPÍTULO 2

TRABALHOS GEOLÓGICOS ANTERIORES

Desde 1908, data em que foi fundado o Núcleo Anitápolis, eram conhecidas ocorrências de magnetita na área, consideradas entretanto desprovidas de valor, como escrevia RODOLFO JÚNIOR (1923) "apud" CARRARO et alii (1967), administrador do Serviço de Povoamento do Núcleo Colonial Anitápolis. Em 1922 algum minério de ferro já era extraído na área pelo Sr. Manoel Pio Correia (CARRARO et alii, op. cit.).

As rochas alcalinas e ocorrências de magnetita associadas foram estudadas pela primeira vez por MORAES REGO & GUIMARÃES (1926). Estes autores descrevem a rocha encaixante, um grande batólito granítico, como "hornblenda granito" e "granitito", cortados por frequentes pegmatitos e, no Vale do Rio Pinheiros, por diques de "nefelinito", "pórfito nefelínico" e "dolerito porfirítico". Ocorrências de "sienitos" e "larvikitos" com "particularizações ricas em piroxênio sódico e apatita" nas cabeceiras do Rio Pinheiros teriam sido formadas por diferenciação do mesmo magma que gerou os granitos. No leito do rio foram identificados piroxenitos, ijolitos, jacupiranguitos e um "banco de calcário branco" de granulação grosseira, rico em magnetita e apatita, que constitui, segundo os autores, o resto de um teto metassedimentar. Este "calcário" foi considerado pertencente a uma série imediatamente sobreposta ao Arqueano e constituída de rochas sedimentares compostas de filitos, ardósias e calcários de idade ordoviciano. A gênese do Complexo é explicada por diferenciação magmática e assimilação de parte do calcário, ocorrendo concentrações dos minerais fêmicos nas regiões menos elevadas e ascensão de escória alcalina que teria originado os sienitos nas zonas mais elevadas. Posteriormente processos pneumatolíticos, agindo sobre o calcário, teriam formado piroxênio, nefelina, magnetita e pirita. Os autores citados classificaram morfológicamente a jazida de magnetita como do tipo "stock-work" e subdividiram o minério, de acordo com os minerais dominantes na ganga, em três tipos:

- 1) massas de granulação média compostas de pequenos cristais de magnetita, piroxênio e palhetas de mica. Essas massas correspon

dem a uma variedade de jacupiranguito contendo biotita;

2) massas de granulação grosseira constituídas essencialmente por cristais milimétricos de magnetita, ocorrendo apatita e tremolita em espaços intergranulares;

3) massas de granulação média compostas quase exclusivamente de cristais de magnetita. Subordinadamente ocorrem: cancrinita (produto de alteração de nefelina), biotita e piroxênio.

LEONARDOS (1956) sintetizou e analisou as informações fornecidas por MORAES REGO & GUIMARÃES (1926) e sugeriu serem os "calcários" de Anitápolis possíveis carbonatitos.

MOHR (1962) ("apud" CARRARO et alii (1967)) considerou ser "interessante e promissor executar a prospecção da jazida de apatita de Anitápolis, embora considerasse precária a maneira de prospectá-la".

SALGADO (1963) ("apud" CARRARO et alii (op. cit.)) fez um trabalho de reconhecimento em Altos do Rio Pinheiros executando perfurações a trado e análises químicas. Concluiu que os teores mais elevados de P_2O_5 situavam-se em área relativamente restrita, provavelmente sem expressão econômica.

MELCHER & COUTINHO (1966) estudaram com maior detalhe a petrografia das rochas alcalinas e os efeitos da intrusão sobre as rochas encaixantes. A intrusão alcalina localizou-se em importante zona de falhamentos, com orientação N-S, em granitos regionais, nos quais produziu um sistema de fraturas radiais e concêntricas. O granito encaixante tem aspecto homogêneo e uniforme, com exceção das proximidades do contato com o corpo intrusivo, onde sofreu ligeira fenitização, ocorrendo hidratação e recristalização parcial dos feldspatos, e formação de piroxênios e anfibólios sódicos em fraturas. Nas bordas da intrusão os autores identificaram uma ampla auréola de fenitos e sienitos, resultados da ação metassomática alcalina sobre os granitos, com adição inicialmente de Na e, depois, Ca, Mg e Fe. Na parte central do Complexo são descritos ijolito, melteigito, biotita-piroxenito e carbonatito, sendo este último um pequeno corpo de composição ssvítica. Segundo os autores, "a disposição dessas rochas no campo é aproximadamente concêntrica e sua composição e textura demonstram a origem ígnea". Quanto às possibilidades econômicas, ressaltaram que as ocorrências de minério de ferro, além de pequenas, apresentam elevado teor de titânio e fósforo, o que dificulta o seu

aproveitamento. Consideraram também improvável a existência de corpos de minério fosfático, por serem muito reduzidas as áreas ocupadas pelo carbonatito e pelo piroxenito, e por não se encontrarem na literatura exemplos sobre mineralizações deste gênero em rochas híbridas sieníticas e feníticas.

AMARAL et alii (1967) fizeram determinações geocronológicas em diversas rochas do Complexo, obtendo as seguintes idades: fenito: 131,0 m.a.; melteigito: 129,2 e 127,5 m.a.; tinguaito: 104,7 m.a.

CARRARO et alii (1967) estudaram as rochas alcalinas do Complexo de Anitápolis e pesquisaram as ocorrências de apatita e magnetita associadas. As rochas alcalinas são representadas predominantemente por urtitos, ijolitos e melteigitos, circundados por sienitos e fenitos, sendo raros os sienitos nefelínicos. Um dique de carbonatito corta as rochas básico-alcalinas. Os autores mapearam também um depósito de encosta composto de blocos de matacões de rochas alcalinas, denominando-o "Conglomerado Pinheiros". Consideraram que o Complexo constitui um diatrema alcalino e básico-alcalino localizado na intersecção de grandes falhamentos do embasamento cristalino. Para um sistema de venulações de apatita e magnetita com estrutura do tipo "stock work", sugerem uma origem hidrotermal. Concluem ser a ocorrência destituída de valor econômico no que tange à apatita; sugerem entretanto um detalhamento nas ocorrências de magnetita.

HERZ (1977) sugeriu localizar-se o Complexo de Anitápolis, assim como o de Jacupiranga, em um "hot spot" no ponto de uma junção tríplice de extensos falhamentos associados à abertura do Oceano Atlântico.

KAUL (1977), em pesquisa realizada pela CPRM, estudou a mineralização apatítica visando definir possibilidades de aproveitamento econômico. Contando com cinco furos de sonda, levantamento magnetométrico, VLF ("Very Low Frequency") e dados de eletrorresistividade, concluiu que a apatita ocorre disseminada em todas as unidades litológicas, sendo abundante nas rochas alteradas e pouco frequente na matriz do talus e nos aluviões. Observou que, nas rochas, a apatita ocorre disseminada e, raramente, constituindo venulações. Seu conteúdo é diretamente proporcional ao de magnetita. Determinou a existência de uma reserva total de 189.041.311 ton. de minério, sendo 176.171.842 ton. de reserva inferida e 12.869.469 ton. de reserva medida + indicada, com um teor médio de P_2O_5 de 6,72%.

VERGARA (1977) apresentou os resultados obtidos durante uma fase inicial de pesquisa para fosfato, executada através de convênio entre a CPRM e a ILM. Os trabalhos desenvolvidos compreenderam: mapeamento na escala 1:50 000, 16 furos de sonda, perfilagem gama, três poços, duas trincheiras e várias análises químicas e petrográficas. A área de ocorrência dos fenitos e sienitos foi detalhada, sendo individualizadas duas zonas aproximadamente concêntricas: a mais externa, de composição quartzo sienítica e a zona mais interna, álcali-sienítica, onde se verifica maior influência da intrusão alcalina. Nos fenitos ricos em piroxênio foi observado um enriquecimento em pirocloro, molibdenita, fluorita, barita, esfalerita, calcopirita e terras raras. As rochas piroxeníticas e as da série urtito-ijolito-melteigito, situadas na porção central do Complexo, ocorrem sem distribuição definida, sendo seus contatos muitas vezes gradacionais. São atravessadas por veios carbonáticos e níveis glimeríticos. A apatita associa-se principalmente às rochas básicas e ultrabásicas alcalinas. Sua maior ocorrência, segundo o autor, coincide com a presença de carbonatos, mas há uma diminuição considerável de apatita quando a rocha grada para um carbonatito puro. A reserva total (medida + indicada) de minério fosfático foi estimada em 330×10^6 ton., com teor médio de P_2O_5 de 6,5%. Foram observadas anomalias locais para Fe, Cu, Mo, La, I, Ba e Zr. Geneticamente o autor considerou que o magmatismo gerador das rochas alcalinas não teria sido unifásico; os piroxenitos seriam as rochas primárias, que por processos autometasomáticos originaram as rochas da série ijolítica, seguindo-se feldspatização, flogopitização e carbonatização ao longo de zonas de fraqueza.

ZIESEMER & KAHN (1980) caracterizaram o minério residual da jazida de Anitápolis quanto a sua ocorrência, mineralogia e quimismo. O perfil de solo sobre as rochas alcalinas exibe três zonas distintas: zona de talus, zona intermediária e zona mais compacta. A primeira representa um depósito eluvionar superficial, de acúmulo de matacões das rochas alcalinas periféricas, sendo essencialmente estéril. A zona intermediária constitui a maior parte do manto de intemperismo; é a zona mais rica em apatita, participando com 67% do minério residual. Imediatamente acima da rocha fresca situa-se a zona mais compacta, caracterizada por parcial lixiviação dos minerais primários. Os fosfatos são fluorhidróxiapatita e fosfato amorfo de alumínio, es

te ocorrendo principalmente na zona de talus. Os minerais de ganga são predominantemente silicatos, especialmente vermiculita e/ou argilo-minerais de camadas mistas (vermiculita-montmorilonita) e/ou hidrobiotita. Para efeitos de planejamento de lavra foram distinguidos, com base na variação da composição mineralógica, dois tipos principais de minério: um tipo feldspático (com mais de 50% desse mineral) e outro, rico em máficos (com mais de 60% de vermiculita + piroxênio).

YAMAMOTO et alii (1980) apresentaram os resultados obtidos por tratamento estatístico dos dados químicos (teores de P_2O_5 , Fe_2O_3 , CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O e BaO) de amostras provenientes de furos de sonda localizados na área do Complexo de Anitápolis. Concluíram que: o P_2O_5 se concentra preferencialmente nas rochas ultramáficas, seguidas pelas nefelina sienitos, urtitos, carbonatitos e álcali-sienitos; os teores de Fe_2O_3 aumentam continuamente dos álcali-sienitos para os nefelina sienitos, urtitos e ultramáficas, enquanto a soma dos teores de SiO_2 , Al_2O_3 e K_2O diminui. Conforme os autores, as variações químicas observadas indicam que os álcali-sienitos, nefelina sienitos, urtitos e ultramáficas são rochas provavelmente cogenéticas, formadas a partir de evento único; os carbonatitos seriam relacionados a um evento posterior que atingiu todo o Complexo.

YAMAMOTO (1980) efetuou análises de hipersuperfície de tendência a partir dos teores de P_2O_5 , CaO , e BaO observados nas mesmas amostras utilizadas por YAMAMOTO et alii (op. cit.). A análise dos diagramas obtidos possibilitou a identificação de uma zona anômala em apatita na porção NE do Complexo, onde ocorrem as rochas ultramáficas. O autor concluiu ainda que houve duas fases de geração de apatita: a primeira provavelmente associada à formação das rochas alcalinas e a segunda, à carbonatação.

VERGARA (1979, 1980) apresentou os resultados finais de pesquisa mineral para apatita efetuada pela ILM no Complexo Alcalino de Anitápolis. Constaram dessa pesquisa: mapeamento geológico (escalas 1:5 000 e 1:2 000), furos de sonda, poços e galerias, análises químicas, mineralógicas e petrográficas, ensaios tecnológicos e de beneficiamento mineral e frentes experimentais de lavra. Baseando-se em estudos petrográficos efetuados pelo INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-IPT (1979) o autor apresentou um mapa geológico onde distingue as seguintes unidades litológicas: "série dos

feldspato alcalino quartzo sienitos", "série dos feldspato alcalino sienitos", "série dos urtitos", "série das ultramáficas" e carbonatitos. Admitiu a intrusão de um magma alcalino piroxenítico, rico em voláteis, os quais foram responsáveis por uma intensa atividade metassomática que deu origem às demais rochas alcalinas do Complexo. Observou que os carbonatitos (predominantemente sódicos) constituem venulações, de espessura variada, que cortam as rochas alcalinas silicáticas. Em zonas específicas, anômalas, VERGARA (1979, 1980) verificou a formação de sulfetos de Pb e Zn. Constatou ainda que a mineralização apatítica concentra-se principalmente nas rochas ultramáficas, nos urtitos e nos nefelina sienitos. No manto de intemperismo ocorre considerável espessura de minério apatítico residual, responsável por uma reserva de 53.500×10^3 ton., com teor médio de 8,2% de P_2O_5 . A reserva de minério em rocha foi avaliada em 206.500×10^3 ton., com teor médio de 5,9% de P_2O_5 . Neste trabalho, o autor prevê o aproveitamento de feldspato alcalino para a indústria de cerâmica, e de calcita para a indústria cimenteira, como subprodutos.

ULBRICH & GOMES (1981), em trabalho de síntese sobre as rochas alcalinas do Brasil, agruparam as diferentes ocorrências em oito tipos de associações petrográficas. O Complexo de Anitápolis, a exemplo dos de Jacupiranga, Juquiã, Araxã, Tapira, Serra Negra, Catalão I e Ipanema, foi enquadrado no "tipo III", caracterizado por uma associação máfico-ultramáfica com dunitos, peridotitos, piroxenitos e glimeritos como termos dominantes. Ocorrem associadas rochas félsicas, tais como álcali-sienitos, malignitos, shonkinitos, e variedades peralcalinas fortemente insaturadas, como ijolitos e melteigitos. De acordo com os autores, o Complexo Alcalino de Anitápolis representa uma linhagem onde dunitos, peridotitos e piroxenitos constituem as rochas principais, incluindo núcleos carbonatíticos. Estes autores agruparam ainda as ocorrências brasileiras em 10 províncias alcalinas e consideraram o Complexo de Anitápolis, por sua localização e características petrográficas, genéticas e temporais, 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 incluiu o Complexo de Anitápolis, juntamente com os de Lajes e Quarenta, na "Província Santa Catarina". Destacou a possibilidade de que os movimentos opostos ocorridos en-

tre 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.

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA

1 GEOLOGIA REGIONAL

O Complexo Alcalino de Anitápolis acha-se introduzido em rochas graníticas que compõem o embasamento cristalino do Estado de Santa Catarina. Essa região faz parte da porção meridional da Província Mantiqueira (ALMEIDA et alii, 1977) onde foi reconhecido o Bloco Florianópolis (JOST & HARTMANN, 1984). Tal bloco pertence ao Maciço Pelotas, sendo dele separado por uma extensão da Bacia do Paraná ao longo da divisa entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Segundo JOST & HARTMANN (op. cit.), o Bloco Florianópolis é provavelmente uma continuação do Bloco Dom Feliciano situado no Rio Grande do Sul. Tal idéia foi também admitida por FRAGOSO CESAR (1980), que propõe a continuidade do Cinturão Dom Feliciano até Santa Catarina. O Cinturão seria, segundo esse autor, uma unidade lito-estrutural caracterizada por complexos metamórfico-migmatítico-graníticos, derivada da regeneração Brasileira atuante na porção sudeste da Plataforma Sul-Americana. De acordo com JOST & HARTMANN (op. cit.), apesar da falta de dados radiométricos na área do Bloco Florianópolis pode-se supor que o bloco corresponda tanto a um embasamento antigo retrabalhado no Brasileiro, quanto a um fragmento de raiz de arco magmático deste ciclo.

Neto

Segundo CAMPOS BETO (1984), as rochas graníticas hospedeiras da intrusão alcalina de Anitápolis pertencem à Suíte Pedras Grandes (FIGURA 2). Esta suíte é constituída por grandes batólitos graníticos introduzidos nas rochas do Complexo Granítico-Migmatítico (BASEI, 1984). São preferencialmente granitos alcalinos, de granulação grossa, comumente porfiróides, não foliados, exibindo grande variação faciológica, desde tipos enriquecidos em máficos (biotita e anfibólio) até variedades alaskíticas. Estudos radiométricos efetuados pelo método Rb/Sr por BASEI & CORDANI (1984) revelaram idades em torno de 540 ± 20 m.a.

As demais unidades de interesse, na região pré-cambriana de San

ta Catarina, acham-se indicadas na FIGURA 2 e são, a seguir, resumidamente caracterizadas.

As rochas mais antigas da região afloram entre as cidades de Tijuca e Itajaí. Constituem o Complexo Costeiro (SCHOBENHAUS, 1978 "apud" CAMPOS NETO, 1984) e compõem-se de gnaisses, rochas básicas e ultrabásicas, granulitos e migmatitos, de idade arqueana, retrabalhados nos ciclos Transamazônico e Brasileiro.

O Grupo Brusque ocorre segundo uma faixa com cerca de 40 km de largura, separada em duas porções pelo granito da Suíte Valsungana. Tem como limite sul o Lineamento de Major Gercino, que o coloca junto dos terrenos granito-migmatíticos. A norte é balizado em quase toda a sua extensão pela Faixa de Anatexitos Ribeirão da Prata. Sua fronteira a oeste é fornecida pelos sedimentos da Bacia do Paraná. É constituído predominantemente por metassedimentos representados por metapelitos, metapsamitos e metacarbonáticas, com intercalações de calcossilicáticas e metabásicas, metamorfoseadas na fácies xisto verde a anfíbolito (BASEI, 1984). ISSLER (1983) denomina, paleogeograficamente, o Grupo Brusque "Faixa Arco Fossa Tijuca", onde reconhece rochas eclogíticas com termos máficos e ultramáficos, ofiolitos e intrusões de granitos a duas micas. SILVA (1983 "apud" CAMPOS NETO, op. cit.) localiza o Grupo Brusque (para o autor, "Complexo Metamórfico Brusque") no Proterozóico Inferior-Arqueano e define a "Sequência Vulcano-Sedimentar Rio Itajaí-Mirim" (correspondente aos ofiolitos de ISSLER, op. cit.), com características de terrenos "greenschist". CAMPOS NETO (op. cit.) discorda das interpretações de ISSLER (op. cit.) e SILVA (op. cit.) por considerá-las "sem base geocronológica, estrutural ou litoestratigráfica". Datações Rb/Sr efetuadas por BASEI & CORDANI (1984) demonstraram a idade Brasileira (anterior a 700 m.a.) para o Grupo Brusque.

Penetrando as rochas do Grupo Brusque ocorrem os granitos das Suítes Valsungana e Guabiruba. Os primeiros constituem corpos de composição granodiorítica, estrutura orientada e textura porfirítica, com idade Rb/Sr 640 ± 20 m.a. (BASEI, op. cit., BASEI & CORDANI, op. cit.). Os granitos Guabiruba são predominantemente biotita granitos, podendo também ocorrer variedades a duas micas. Apresentam textura maciça, e ocorrem cortando os da Suíte Valsungana. Sua idade Rb/Sr situa-se em torno de 620 ± 20 m.a. (BASEI & CORDANI, op. cit.).

O Complexo Granito-Migmatítico tem como limites sul e oeste os

sedimentos da Bacia do Paraná e a norte, o Lineamento de Major Gercino, que o separa dos metassedimentos do Grupo Brusque (BASEI, 1984). Segundo este autor, trata-se de uma região essencialmente granítica onde predominam migmatitos, cortados por granitóides diversos. O leucossoma, de composição preferencialmente quartzo-monzonítica, constitui o material predominante dos migmatitos, tendo sido datado pelo método Rb/Sr em 640 ± 20 m.a. (BASEI & CORDANI, 1984). O melanossoma, volumetricamente pouco expressivo, é representado por estruturas tipo "schlieren" e tem como logotipos principais: hornblenda gnaisses e biotita gnaisses.

Introduzindo-se nas rochas do Complexo Granito-Migmatítico ocorrem corpos graníticos a monzoníticos, maciços e porfiríticos, com idade em torno de 580 ± 20 m.a. (BASEI & CORDANI, op. cit.), que compõem a Suíte São Pedro de Alcântara (BASEI, op. cit.).

A Faixa de Anatexitos Ribeirão da Prata separa os metassedimentos do Grupo Brusque dos sedimentos do Grupo Itajaí e corresponde a "augen"-gnaisses leucocráticos, granulitos e metassedimentos, cortados e injetados por granitos anatéticos (CAMPOS NETO, 1984). Segundo BASEI (op. cit.), esta faixa ter-se-ia desenvolvido durante o final do Ciclo Brasileiro, relacionada a grandes falhas inversas com sentido de deslocamento de SE para NW, colocando o Grupo sobre as litologias da Faixa de Anatexitos e estas, sobre os sedimentos do Grupo Itajaí.

O Grupo Itajaí corresponde a uma fossa molássica, exibindo conglomerados proximais nas bordas, seqüências continentais e marinho-turbidíticas, bem como rochas vulcânicas ácidas, tufos e granitos intrusivos (CAMPOS NETO, op. cit.). FRAGOSO CESAR et alii (1982) consideram o Grupo Itajaí "uma seqüência iniciada por arenitos arcoseanos e arcoseos intercalados com lentes de rochas rudíticas, e com tufos ácidos no topo, que passa gradativamente para uma unidade de ritmitos constituída por finas camadas argilo-siltosas intercaladas com outras arenosas (turbiditos), bem como tufos ácidos". A idade da sedimentação do Grupo Itajaí foi estimada em 560 m.a. (BASEI & CORDANI, op. cit.). Esta seqüência, segundo FRAGOSO CESAR et alii (op. cit.) acha-se afetada por sills e diques de vulcanitos ácidos, cujos derrames a recobrem. É também introduzida por um stock alaskítico, com idade Rb/Sr em torno de 540 ± 20 m.a. (BASEI & CORDANI, op. cit.), pertencente à Suíte Subida.

A oeste de Anitápolis, recobrando discordantemente as rochas dos Grupos Brusque e Itajaí, do Complexo Granito-Migmatítico e das Suítes Valsungana, São Pedro de Alcântara, Subida e Pedras Grandes ocorrem as rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná.

Na faixa costeira do Estado de Santa Catarina ocorrem extensos depósitos recentes de areias quartzosas apresentando morfologia de feixes de restinga, e sedimentos arenosos ou siltico-argilosos. Secundariamente ocorrem depósitos eólicos, de talus, coluviões e aluviões.

CONVENÇÕES

FANEROZÓICO

- Quaternário: aluviões e sedimentos litorâneos.
- Jurássico/Cretáceo: Complexo Alcalino de Anitápolis

EO-PALEOZÓICO

- Suíte Pedras Grandes: granitos a biotita e/ou anfibólio, alaskitos
- Suíte Subida: granitos alaskíticos
- Grupo Itajaí: sedimentos, vulcânicas ácidas, tufos, granitos

PROTEROZÓICO SUPERIOR

- Suíte São Pedro de Alcântara: granitos a monzonitos
- Suíte Guabiruba: biotita granitos, granitos a duas micas
- Suíte Valsungana: granodioritos porfiríticos
- Faixa de Anatexitos Ribeirão da Prata: augen gnaisses, granulitos, granitos anatéticos, metassedimentos
- Grupo Brusque: metapelitos, metapsamitos, metacarbonáticas, calcossilicáticas, metabásicas
- Complexo Granito-Migmatítico: migmatitos, granitos

PROTEROZÓICO INFERIOR

- Complexo Costeiro: gnaisses, granulitos, migmatitos, rochas básicas e ultrabásicas

Contatos Geológicos Falhamentos

FIGURA 2 - GEOLOGIA REGIONAL .

(Mapa baseado em CAMPOS NETO, 1984)

2 GEOLOGIA LOCAL

2.1 Características Gerais

O Complexo Alcalino de Anitápolis constitui uma depressão morfológica, de forma subcircular, circundada por rochas graníticas pertencentes à Suíte Pedras Grandes (CAMPOS NETO, 1984).

Na periferia do corpo alcalino os granitos encaixantes são cortados por diques de rochas subsaturadas, já estudadas por MELCHER & COUTINHO (1966) e classificadas como tinguaitos.

No local da intrusão alcalina, o mapa de fotolineamentos (FIGURA 3) de MELCHER & COUTINHO (op. cit.) exhibe diferentes padrões de estruturas vinculadas a fraturamento: dois tipos de fraturas (radiais ou concêntricas) dispõem-se ao redor do maciço e acham-se a ele relacionadas; enquanto que outros sistemas, mais regionais, cortam indistintamente as rochas do embasamento. Para verificar as orientações preferenciais desses sistemas mais amplamente distribuídos, foi elaborada uma rosácea (FIGURA 4) que indica o predomínio de orientação com direção N-S ($N10^{\circ}W$ a $N10^{\circ}E$) e um outro sistema, orientado segundo NE ($N50^{\circ}$ a $N60^{\circ}E$). A somatória de todos esses sistemas, associada aos tipos de rochas de composição máfica e ultramáfica, de menor resistência à alteração, provavelmente originou a atual depressão, que constitui hoje o Vale do Rio Pinheiros.

A área interna do Complexo não apresenta afloramentos devido ao energético e profundo intemperismo, mas nas zonas de bordo e nos testemunhos de sondagens são observadas brechas, milonitos e espelhos de falha. Essas feições estariam provavelmente relacionadas com as estruturas lineares, que são visíveis nas rochas granitóides periféricas e que, em muitos casos, atravessam a área (ANEXO C) e podem corresponder a falhas de idade pré-intrusão, reativadas após a formação do Complexo (VERGARA, 1980).

2.2 O Granito Encaixante

Uma vez que as rochas graníticas encaixantes do Complexo Alcalino caracterizam-se por uma notável homogeneidade mineralógica e textural (MELCHER & COUTINHO, op. cit. e VERGARA, 1979), sua caracterização petrográfica foi efetuada a partir da análise de cinco amostras localizadas em pontos situados a menos de 500 m da periferia do corpo al

calino (ANEXO C). Destas, foram selecionadas duas para análises químicas, cujos resultados serão apresentados e discutidos nos capítulos subsequentes.

São rochas de coloração cinza clara e granulação grossa, embora ocorram, localmente, variedades de granulação média a fina. Sua composição mineralógica, apresentada na TABELA 1, permite enquadrá-las no grupo dos leuco-granitos (SUBCOMMISSION ON THE SYSTEMATICS OF IGNEOUS ROCKS-IUGS, 1973). Exibem textura granular hipidiomórfica, caracterizada pelo arranjo de cristais subédricos de plagioclásio e ortoclásio, e anédricos de quartzo.

TABELA 1 - COMPOSIÇÕES MODAIS DE AMOSTRAS DE GRANITO

AMOSTRAS MINERAIS	A2	A3	A4	A5	A6
ORTOCLÁSIO	41,7	46,5	44,5	53,8	40,4
PLAGIOCLÁSIO	13,6	18,4	16,5	11,9	16,4
QUARTZO	40,7	29,0	32,0	30,3	36,6
BIOTITA	2,9	4,3	2,9	2,5	3,9
CLORITA	-	0,3	0,5	0,4	0,2
HORNBLENDÁ	-	-	-	-	1,0
RIEBECKITA	-	-	-	-	0,1
EGIRINA	0,1	0,1	0,5	0,1	-
APATITA	tr	0,1	0,2	tr	tr
ZIRCÃO	tr	0,1	0,2	0,1	tr
ALLANITA	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3
EPÍDOTO	0,4	0,3	1,5	0,6	0,7
PREHNITA	tr	0,3	0,1	-	-
FLUORITA	tr	tr	-	-	-
OPACOS	0,5	0,5	0,9	tr	0,4

Ortoclásio é o feldspato predominante; exibe nítido intercrescimento pertítico, freqüentemente apresenta geminção Carlsbad e atinge dimensões de até 3 cm.

Plagioclásio ocorre na forma de cristais milimétricos, individualizados ou em agregados. Aham-se geralmente zonados, com núcleos mais cálcicos (chegando até An_{30}), freqüentemente sericitizados e/ou saussuritizados, e bordas sódicas (até An_{10}), praticamente sãs.

Quartzo ocorre intersticialmente, em cristais submilimétricos e milimétricos, isolados ou constituindo agregados.

Biotita é o principal mineral máfico primário, observado nos granitos. Nas amostras mais distantes do corpo alcalino (amostras A-5 e A-6) apresenta-se com coloração parda, em placas milimétricas, às vezes cloritizadas. Nas mais próximas (amostras A-2, A-3 e A-4) exibe coloração esverdeada e ocorre na forma de agregados de microcristais recristalizados (FOTO 3), associados a egirina, epídoto, opacos e, às vezes a prehnita. Neste caso, resulta da transformação da biotita parda primária.

Outro mineral máfico primário encontrado esporadicamente nessas rochas, é a hornblenda. Ocorre em prismas esparsos, de dimensões submilimétricas, associados a biotita e parcialmente substituídos por riebeckita.

A ação de esforços deformacionais é nitidamente evidenciada nos granitos pelas presenças de: fraturamento generalizado dos constituintes minerais (especialmente quartzo, plagioclásio e ortoclásio); forte extinção ondulante e textura "mortar" em cristais de quartzo; "kink bands" em plaquetas de biotita; encurvamento dos planos de geminção de cristais de plagioclásio.

O grau de transformação metassomática dessas rochas parece estar relacionado com a proximidade do corpo alcalino e/ou com a intensidade dos esforços deformacionais responsáveis pelo fraturamento que teria favorecido a percolação de soluções alcalinas. As principais evidências da ação metassomática, de caráter essencialmente sódico, que afetaram os granitos são: cristalização de egirina em microfraturas; transformação de biotita em egirina (notando-se, em alguns casos, o aparecimento de delgada faixa de mineral fêlsico, provavelmente ortoclásio, entre a biotita e a egirina) e anfibólito sódico (riebeckita); neoformação de albita, constituindo "capas" ao redor de cristais de oligoclásio e ortoclásio, ou intersticialmente,

na forma de agregados de microcristais.

2.3 Rochas de Dique

Os diques que cortam as rochas graníticas, na periferia do corpo alcalino, são constituídos por rochas de coloração verde escura a preta, granulação fina e textura porfirítica. Os resultados obtidos a partir da análise petrográfica efetuada em quatro dessas amostras (TABELA 2) são semelhantes aos descritos por MELCHER & COUTINHO (1966) para essas rochas, classificando-as como tinguaito.

TABELA 2 - COMPOSIÇÕES MODAIS DE AMOSTRAS DE TINGUAÍTO

MINERAIS AMOSTRAS	FENOCRISTAIS							MASSA FUNDAMENTAL	
	NEFELINA	PIROXÊNIO	FELDSPATO POTÁSSICO	APATITA	BIOTITA	TITANITA	OPACOS	NEFELINA + FELDSPATO POTÁSSICO + ZEOLITA + PIROXÊNIO	MELANITA
B	20,5	12,7	10,3	1,4	3,3	0,8	0,1	50,9	-
B2	10,9	22,6	0,1	0,2	-	0,2	0,1	65,9	-
B4	3,7	11,3	-	0,5	-	0,7	0,2	78,6	5,0
B6	16,4	17,8	0,4	3,3	0,9	-	-	61,2	-

A TABELA 2 mostra que os fenocristais são constituídos predominantemente por nefelina e piroxênio (egirina-augita) e, subordinadamente, por apatita, ortoclásio, biotita, titanita e opacos. Nefelina ocorre na forma de prismas, com seção hexagonal ou retangular, comumente alterados em cancrinita, sericita, carbonato ou zeólita. Piroxênio constitui prismas curtos exibindo nítido zoneamento, onde distinguem-se zonas concêntricas com diferentes teores em molécula de egirina, aproximadamente paralelas às superfícies dos cristais. Apatita ocorre com relativa frequência entre os fenocristais, na forma de prismas hexagonais curtos.

A massa fundamental dessas rochas apresenta textura tinguaitica, caracterizada por abundantes acículas de egirina dispostas caótica -

mente sobre uma base leucocrática constituída essencialmente por nefelina (parcialmente cancrinitizada), feldspato potássico e zeólita.

Zeólita ocorre também preenchendo cavidades miarolíticas e microfraturas.

Finalmente, deve-se destacar, na amostra B-4, a presença de quantidade considerável de minúsculos cristais, de hábito rombododecaédrico, dispersos na massa fundamental (FOTO 4). Tais cristais foram identificados por difratometria de raios-X como melanita.

2.4 O Complexo Alcalino

Devido à falta de afloramentos na porção interna do Complexo, o conhecimento das características e da distribuição dos tipos litológicos foi adquirido através do estudo dos testemunhos de sondagem. O ANEXO A apresenta uma síntese dos resultados obtidos, mostrando, em bloco-diagrama, a distribuição dos furos de sonda com as litologias dos testemunhos.

Apesar da grande variação das profundidades atingidas pelos diversos furos de sonda, dificultando a observação da distribuição espacial das litologias, as quantidades de tipos petrográficos observadas em cada furo foram ponderadas em função das espessuras de rocha atravessadas pela sonda (ANEXO B). Os dados obtidos, integrados àqueles extraídos de VERGARA (1979), possibilitaram a elaboração do mapa geológico (ANEXO C) e a interpretação, em bloco-diagrama, das relações entre as litologias (ANEXO D). Nos ANEXOS A a D observa-se que as rochas alcalinas ocorrem em quatro zonas aproximadamente concêntricas, assim distribuídas:

- *zona externa*, contendo preferencialmente rochas da série dos álcali-sienitos (álcali-sienitos, mela-álcali-sienitos, lusitanitos);
- *zona intermediária externa*, constituída predominantemente por rochas da série dos nefelina sienitos (nefelina sienitos, malignitos, shonkinitos);
- *zona intermediária interna*, formada essencialmente por rochas da série dos ijolitos (urtitos, ijolitos, melteigitos);
- *zona interna*, com predomínio de rochas da série das ultramáficas (biotita piroxenitos, biotititos, piroxenitos, magnetita dú

nitos).

Todas essas rochas acham-se irregularmente cortadas por veios de carbonatitos, de espessura submilimétrica a decamétrica. O ANEXO C apresenta também a delimitação das regiões com as maiores incidências de intercalações carbonatíticas.

As características do conjunto de tipos petrográficos que compõem o Complexo Alcalino de Anitápolis serão apresentadas detalhadamente nos capítulos subseqüentes.

Figura 3 – Principais fotolineamentos da região do Complexo Alcalino de Anitópolis (Reproduzido de Melcher e Coutinho, 1966)

Figura 4 – Diagrama de frequência (comprimento x orientação) dos fotolineamentos extraídos da Figura 3. As fraturas radiais e concêntricas não foram consideradas

FOTO 3 - AGREGADO DE MICROCRISTAIS RECRISTALIZADOS DE BIOTITA ESVERDEADA ASSOCIADA A EGIRINA E OPACOS EM GRANITO. NICÓIS CRUZADOS. AMOSTRA A4.

FOTO 4 - MICROCRISTAIS ROMBODECAÉDRICOS (CASTANHOS) DE MELANITA DISPERSOS EM MASSA FUNDAMENTAL DE TINGUAÍTO, NEFELINA (FENOCRISTAL BRANCO), PIROXÊNIO (VERDE). NICÓIS PARALELOS. AMOSTRA B4.

CAPÍTULO 4

PETROGRAFIA

1 CRITÉRIOS PARA NOMENCLATURA

Pretendendo-se homogeneizar a classificação das rochas graníticas e alcalinas estudadas, adotou-se, no presente trabalho, as sugestões da IUGS (1973). Os carbonatitos foram classificados de acordo com os critérios estabelecidos pela IUGS (1978).

Os tipos petrográficos alcalinos observados no Complexo de Antópolis enquadram-se nos campos de números 6, 11, 15 e 16 (IUGS, 1973), denominados respectivamente, neste trabalho: série dos álcali-sienitos (álcali-sienito, mela-álcali-sienito, lusitanito); série dos nefelina sienitos (nefelina sienito, malignito, shonkinito); série dos ijolitos (urtito, ijolito, melteigito); e série das ultramáficas (biotita piroxenitos, biotititos, piroxenitos, magnetita dunitos). Observe-se que os piroxenitos se incluíam, especificamente, entre os álcali-piroxenitos de LE BAS (1977).

A classificação dos carbonatitos baseou-se na porcentagem relativa entre calcita e dolomita e em sua denominação considerou-se os nomes específicos (como sdvito, beforsito) (IUGS, 1978). Nos casos em que se observou quantidades significativas de outros minerais carbonáticos, convencionou-se incluí-los no nome da rocha em posição antecedente.

A importância econômica da apatita na área estudada e a sua ocorrência em praticamente todas as rochas do Complexo determinaram a sua inclusão, antes do nome da rocha, nos casos em que o seu conteúdo modal é igual ou superior a 5%.

2 CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

2.1 Série dos Álcali-Sienitos

Os tipos petrográficos que compõem a série dos álcali-sienitos

apresentam granulação geralmente média e coloração variando de cinza claro a escuro. Constituem-se essencialmente de feldspatos potássicos (ortoclásio e anortoclásio) e piroxênio (TABELA 3) em quantidades diversas, podendo variar de termos leucocráticos (álcali-sienitos), pobres em piroxênio, a termos melanocráticos (lusitanitos), muito ricos neste mineral. Em quantidades subordinadas observou-se: nefelina, biotita, flogopita, anfibólio sódico-cálcico, opacos, titanita, zircão, carbonato, apatita, quartzo, calcedônia e rutilo.

Estas rochas geralmente exibem arranjo textural granular hipidiomórfico (FOTOS 5 e 6), embora estruturas substitutivas e distribuição irregular dos minerais possam resultar em heterogeneidades texturais (FOTOS 7 e 8).

Comumente, observam-se agregados de piroxênio egirínico em prismas de tamanho variado (submilimétrico a centimétrico), às vezes isorientados; preenchem fraturas ou ocupam espaços entre cristais de feldspato (FOTOS 9 e 10). Neste último caso, os agregados piroxênicos apresentam as mesmas formas intersticiais características dos agrupamentos de quartzo e plagioclásio dos granitos encaixantes. Este aspecto evidencia claramente o processo de fenitização (egirinizacão) dos granitos encaixantes, originando álcali-sienitos.

O ortoclásio é o feldspato potássico predominante nos álcali-sienitos. Ocorre na forma de cristais subédricos a anédricos, geralmente milimétricos, não sendo raros os cristais submilimétricos ou centimétricos. A estrutura pertítica e as propriedades ópticas são exatamente as mesmas apresentadas pelos feldspatos potássicos dos granitos.

O anortoclásio constitui uma variedade neoformada de feldspato potássico, resultante da recristalização de ortoclásio. Ocorre na forma de agregados de cristais subédricos submilimétricos, em arranjo por vezes pavimentoso.

Em algumas amostras de álcali-sienitos foram observados raros cristais de plagioclásio, intensamente sericitizados, provavelmente remanescentes do granito original.

2.2 Série dos Nefelina Sienitos

As rochas desta série apresentam granulação fina a grossa e coloração variando de cinza claro a cinza escuro, às vezes com manchas róseas.

São rochas constituídas essencialmente por feldspato potássico

TABELA 3 - COMPOSIÇÕES MODAIS DE ROCHAS DA SÉRIE DOS ÂLCALI-SIENITOS

AMOSTRAS \ MINERAIS	FELDSPATO POTÁSSICO	ALBITA	NEFELINA	PIROXENIO	BIOTITA	FLOGOPITA	ANFIBÓLIO SÓDICO-CÁLCICO	OPACOS	TITANITA	ZIRCON	CARBONATO	APATITA	QUARTZO + CALCEDONIA	RUTILO
F7 - 46,50 m (Mela-álcali-sienito)	59,9	tr	-	36,5	-	-	tr	-	-	-	tr	3,6	-	-
F7 - 93,40 m (Lusitanito)	49,2	-	-	45,5	-	-	1,5	-	0,1	-	1,6	0,1	2,0	-
F12 - 85,40 m (Álcali-sienito)	77,8	1,9	-	18,2	-	-	-	-	-	0,2	0,2	1,7	-	-
F13 - 52,00 m (Apatita mela lusitanito)	8,8	-	0,9	35,5	0,3	-	1,1	1,2	0,2	-	7,2	44,8	-	-
F14A - 48,70 m (Mela lusitanito)	17,1	-	-	54,9	24,7	-	-	0,1	-	-	-	3,2	-	-
F18 - 17,45 m (Álcali-sienito)	70,7	3,4	2,5	17,3	-	-	4,5	-	0,5	tr	0,5	0,6	-	-
F18 - 43,90 m (Álcali-sienito)	85,5	-	-	7,7	-	-	-	-	4,7	-	tr	2,1	-	-
F18 - 44,60 m (Lusitanito)	50,1	-	-	46,8	-	-	0,5	-	1,0	-	0,5	1,1	-	-
F18 - 63,00 m (Mela-álcali-sienito)	58,1	0,4	-	30,0	-	-	5,3	-	tr	-	1,4	4,8	-	-
F19 - 64,30 m (Álcali-sienito)	82,0	0,2	-	14,7	-	1,7	0,2	-	-	-	1,1	0,1	-	-
F21 - 136,90 m (Álcali-sienito)	83,4	1,9	-	11,0	-	-	0,4	-	-	-	2,4	0,9	-	-
F24 - 23,60 m (Álcali-sienito)	43,6	0,3	-	12,5	tr	-	2,5	1,5	31,4	-	6,9	0,1	1,2	-
F26 - 44,90 m (Mela-álcali-sienito)	57,2	3,0	-	34,5	-	-	1,5	-	-	-	-	3,8	-	-
F26 - 63,60 m (Lusitanito)	46,6	-	0,1	37,8	-	-	8,9	-	-	-	6,0	0,6	-	-

continua

continuação

AMOSTRAS \ MINERAIS	FELDSPATO POTÁSSICO	ALBITA	NEFELINA	PIROXÊNIO	BIOTITA	FLOGOPITA	ANFIBÓLIO SÓDICO-CÁLCICO	OPACOS	TITANITA	ZIRCÃO	CARBONATO	APATITA	QUARTZO + CALCEDONIA	RUTILO
F26 - 98,00 m (Mela-álcali-sienito)	51,00	-	0,2	34,4	2,2	-	7,7	-	-	-	2,4	2,1	-	-
F27 - 33,20 m (Mela-álcali-sienito)	69,9	-	tr	27,4	-	-	0,9	0,1	tr	-	tr	1,7	-	-
F27 - 35,00 m (Álcali-sienito)	68,3	1,2	2,0	23,6	-	-	0,5	-	0,3	-	1,3	2,8	tr	-
F27 - 35,20 m (Mela-álcali-sienito)	57,9	0,4	-	38,1	-	-	1,1	-	0,3	-	1,4	0,8	-	-
F27 - 72,80 m (Apatita mela-álcali-sienito)	50,3	-	0,8	34,5	0,1	-	2,0	-	0,2	-	1,2	10,9	-	-
F30 - 41,50 m (Álcali-sienito)	73,8	-	-	21,7	-	-	-	-	-	-	0,9	3,6	-	-
F30 - 45,30 m (Mela-álcali-sienito)	46,2	-	4,9	37,7	1,2	-	0,2	0,6	0,5	-	1,3	7,4	-	-
F38 - 41,20 m (Álcali-sienito)	38,8	22,6	-	11,0	-	9,9	1,1	-	1,3	-	14,6	0,7	-	-
F38 - 41,80 m (Mela-álcali-sienito)	69,0	-	4,9	4,9	18,9	-	-	1,5	0,3	tr	-	0,5	-	-
F38 - 46,80 m (Apatita mela-álcali-sienito)	55,4	0,5	1,0	25,7	7,7	-	-	-	0,3	-	0,7	8,7	-	-
F56 - 61,35 m (Mela-álcali-sienito)	52,1	-	1,0	26,1	-	8,8	5,4	0,6	-	-	4,8	1,0	-	0,2
F56 - 111,50 m (Álcali-sienito)	76,9	-	3,4	8,7	5,6	-	-	0,2	-	0,1	2,0	3,1	-	-
A ₁ (Mela-álcali-sienito)	54,1	5,3	-	30,4	1,8	-	8,1	-	0,1	-	-	0,2	-	-

(ortoclásio e mais raramente anortoclásio), nefelina e piroxênio (TABELA 4). Apatita, biotita, flogopita, opacos, albita, zeólita, carbonato, titanita, anfibólio sódico-cálcico, zircão e argilo-minerais ocorrem em quantidades subordinadas.

A exemplo dos álcali-sienitos, a distribuição mineral é bastante irregular, notando-se zonas enriquecidas em piroxênio (malignitos e shonkinitos) ou em nefelina e/ou feldspato potássico (nefelina sienitos).

A despeito das freqüentes estruturas de substituição e da distribuição irregular dos minerais, a textura predominante nesta série é a granular hipidiomórfica (FOTO 11). Esta textura caracteriza-se pela associação de cristais geralmente tabulares, de feldspato potássico, nefelina intersticial e piroxênio prismático, disseminado ou em agregados. Os feldspatos potássicos, geralmente subédricos, com hábito tabular, apresentam as mesmas propriedades ópticas e morfológicas dos feldspatos dos granitos e álcali-sienitos. A nefelina, em cristais anédricos a subédricos, está em sua quase totalidade substituída por cancrinita, geiseckita, zeólita e carbonato, sendo freqüentemente reconhecida apenas por sua forma e produtos de alteração. Macroscopicamente apresenta coloração variando de cinza claro a rosa e dimensões submilimétricas a milimétricas.

Os nefelina sienitos apresentam raramente textura de tipo mais homogêneo, "magmático", observado somente em variedades de granulação fina. Neste caso, anortoclásio tabular em arranjo cruzado ou grosseiramente radial se associa a nefelina subédrica ou euédrica, com hábito prismático curto, e ainda a agulhas ou prismas alongados de piroxênio, disseminado (FOTO 12).

2.3 Série dos Ijolitos

Nesta série os tipos petrográficos apresentam coloração cinza médio a cinza escuro, freqüentemente com manchas róseas, e granulação predominante média.

A mineralogia destas rochas é bastante simples, ocorrendo essencialmente nefelina e piroxênios (TABELA 5), com pequenas proporções de: feldspatos alcalinos, biotita, anfibólio cálcico, opacos, zeólita, titanita, clorita, carbonato, apatita e cancrinita. Os termos mesocráticos (ijolitos) são nitidamente predominantes sobre os leucocráticos (urtitos) e melanocráticos (melteigitos).

TABELA 4 - COMPOSIÇÕES MODAIS DE ROCHAS DA SÉRIE DOS NEFELINA SIENITOS

MINERAIS AMOSTRAS	FELDSPATO POTÁSSICO	ALBITA	NEFELINA	PIROXENIO	BIOTITA	FLOGOPITA	ARFVEDSONITA	ANFIBÓLIO SÓDICO- -CÁLCICO	OPACOS	ZEOLITA	TITANITA	ZIRCÃO	CARBONATO	APATITA
F4 - 32,70 m (Nefelina sienito)	48,7	-	28,9	20,7	0,3	-	-	-	0,2	-	tr	-	0,6	0,6
F12 - 62,70 m (Nefelina sienito)	67,0	-	18,3	0,2	8,6	-	-	-	0,2	-	0,2	-	5,2	0,3
F12 - 62,70 m (Nefelina sienito)	40,4	-	42,9	11,8	2,6	tr	-	tr	0,7	-	0,4	-	1,2	-
F12 - 82,10 m (Apatita nefelina sienito)	46,5	3,8	17,6	7,0	11,1	2,4	-	-	tr	-	tr	tr	4,6	7,0
F13 - 57,00 m (Malignito)	40,0	-	13,7	25,1	17,7	-	-	-	-	-	-	-	0,6	2,9
F13 - 91,50 m (Apatita malignito)	12,6	-	15,1	22,6	14,0	-	-	-	6,4	-	0,2	-	0,2	28,9
F22 - 42,90 m (Apatita malignito)	38,6	0,1	8,5	32,3	8,3	-	-	-	0,2	-	-	-	0,3	11,7
F23 - 88,50 m (Nefelina sienito)	49,2	-	37,2	6,8	1,8	-	-	-	1,1	1,3	0,9	-	1,3	0,4
F27 - 61,30 m (Apatita nefelina sienito)	63,0	1,1	11,9	12,3	tr	-	0,9	-	0,1	-	1,0	-	1,6	8,1
F29 - 90,50 m (Malignito)	46,3	0,1	9,9	0,6	39,7	-	-	-	-	-	-	-	0,8	2,6
F30 - 47,30 m (Apatita shonkinito)	13,5	-	2,4	39,8	29,7	-	-	-	2,4	-	-	-	0,9	11,3
F30 - 68,90 m (Apatita nefelina sienito)	36,8	-	32,2	12,0	5,0	-	-	-	-	5,2	-	-	0,5	8,3
F30 - 75,50 m (Apatita malignito)	43,5	-	11,9	36,8	1,8	-	-	-	-	-	-	-	0,2	5,8
F37 - 58,90 m (Nefelina sienito)	47,8	2,9	21,8	19,0	2,4	-	-	-	-	-	0,6	-	3,7	1,8
F41 - 41,40 m (Nefelina-sienito)	58,6	1,3	15,7	20,2	0,5	-	-	-	-	-	1,1	-	2,1	0,5

TABELA 5 - COMPOSIÇÕES MODAIS DE ROCHAS DA SÉRIE DOS IJOLITOS

MINERAIS AMOSTRAS	FELDSPATO POTÁSSICO	ALBITA	NEFELINA	PIROXÊNIO	BIOTITA	ANFIBÓLIO SÓDICO- CÁLCICO	OPACOS	ZEOLITA	TITANITA	CLORITA	CARBONATO	APATITA
F2 - 94,10 m (Apatita melteigito)	-	3,2	11,6	46,0	10,0	-	-	-	-	-	5,2	24,0
F4 - 67,50 m (Apatita ijolito)	-	-	28,5	59,6	-	-	0,9	-	1,7	-	-	9,3
F8 - 31,40 m (Ijolito)	-	-	35,7	45,3	8,4	-	4,7	-	2,9	-	tr	3,0
F9 - 45,50 m (Apatita ijolito)	-	-	16,8	45,9	5,7	-	10,1	-	1,7	-	-	19,8
F9 - 55,20 (Ijolito)	-	-	46,5	38,9	2,3	-	8,3	-	0,6	-	-	3,4
F10 - 42,70 m (Urtito)	-	-	54,4	20,4	6,5	-	0,4	16,3	-	-	1,5	0,5
F11 - 57,00 m (Ijolito)	-	-	43,9	39,9	7,5	-	-	3,9	-	-	4,6	0,2
F13 - 78,50 m (Apatita ijolito)	3,0	-	10,8	55,4	3,0	-	-	-	tr	-	2,6	25,2
F15 - 36,50 m (Ijolito)	-	1,2	52,8	33,3	8,1	-	-	-	-	-	0,3	4,3
F19 - 59,60 m (Apatita ijolito)	2,7	-	27,7	21,9	18,2	1,6	6,3	-	-	-	7,8	13,8
F20 - 65,00 m (Ijolito)	-	-	40,9	49,8	3,6	-	0,4	-	-	-	3,7	1,6
F21 - 60,90 m (Apatita ijolito)	-	3,5	27,5	41,8	16,7	-	-	0,5	-	-	2,6	7,4
F21 - 114,65 m (Ijolito)	1,5	-	20,7	43,3	6,9	-	0,2	20,4	-	-	6,3	0,7
F21 - 149,20 m (Apatita ijolito)	1,2	1,6	11,7	43,3	11,4	-	1,2	-	-	-	2,1	27,5
F22 - 46,00 m (Apatita ijolito)	1,5	-	32,6	36,8	17,0	-	0,5	4,5	0,2	-	1,1	5,8
F29 - 52,40 m (Ijolito)	-	-	61,7	31,5	4,2	-	0,2	-	-	-	1,6	0,8
F29 - 60,40 m (Apatita ijolito)	-	-	52,2	23,6	6,8	-	0,2	2,7	-	-	0,4	14,1
F30 - 57,60 m (Apatita urtito)	-	-	20,5	24,5	1,9	-	-	-	0,3	-	0,2	52,6

continua

continuação

MINERAIS AMOSTRAS	FELOSPATO POTÁSSICO	ALBITA	NEFELINA	PIROXÊNIO	BIOTITA	ANFIBÓLIO SÓDICO- -CÁLCICO	OPACOS	ZEOLITA	TITANITA	CLORITA	CARBONATO	APATITA
F30 - 79,20 m (Ijolito)	13,3	-	39,9	41,4	3,6	-	0,4	-	0,3	-	0,9	0,2
F37 - 30,00 m (Apatita ijolito)	-	-	12,7	40,2	7,5	-	0,8	0,9	-	-	5,5	32,4
F37 - 30,70 m (Apatita ijolito)	-	-	36,2	44,3	13,4	-	0,3	-	-	-	0,7	5,1
F38 - 43,60 m (Apatita ijolito)	-	0,6	46,4	21,0	14,4	-	3,9	-	0,3	-	2,0	11,4
F41 - 23,80 m (Ijolito)	-	-	35,3	31,6	26,1	-	2,0	-	3,7	-	tr	1,3
F42 - 64,20 m (Apatita melteigito)	-	-	10,8	18,3	56,2	-	1,4	-	3,0	-	0,4	9,9
F42 - 64,20 m (Ijolito)	-	-	35,8	40,8	16,1	-	2,4	-	2,8	-	0,5	1,6
F45 - 55,50 m (Apatita ijolito)	1,1	-	39,2	41,0	6,1	-	-	-	-	-	1,3	11,3
F51 - 27,50 m (Ijolito)	-	-	39,2	39,6	9,7	-	4,9	-	1,8	-	0,1	4,7
F51 - 38,50 m (Ijolito)	-	-	38,5	41,4	17,1	-	1,8	-	0,9	-	-	0,3
F51 - 58,00 m (Apatita ijolito)	-	-	27,3	36,0	22,0	-	1,6	-	2,8	-	0,2	10,1
F54 - 25,00 m (Ijolito)	-	-	47,8	45,2	1,4	-	0,6	-	1,5	-	0,3	3,2
F54 - 26,80 m (Apatita ijolito)	-	-	50,5	38,1	3,3	-	1,0	-	0,1	-	0,2	6,8
F54 - 33,00 m (Ijolito)	-	-	32,3	47,7	10,2	-	6,3	-	1,4	-	-	2,1
F54 - 46,70 m (Urtito)	-	-	63,3	-	7,1	-	-	25,9	-	0,9	2,8	-
F56 - 45,40 m (Ijolito)	11,6	-	39,3	34,5	9,7	-	-	-	0,9	-	0,4	3,6
F56 - 76,95 m (Apatita urtito)	-	-	45,9	13,4	1,8	-	0,2	-	tr	-	0,3	38,4

O arranjo textural granular hipidiomórfico é muito comum nas rochas desta série, ocorrendo cristais de piroxênio, subédricos a euédricos, com hábito prismático, inter-relacionados com cristais subédricos a anédricos de nefelina, esta em disposição intersticial ou, quando mais abundante (urtitos), incluindo parcialmente piroxênios. Observe-se todavia que a distribuição dos minerais é extremamente variada, ocorrendo frequentemente manchas e faixas irregulares, ora com predomínio de piroxênio, ora de nefelina com diversas estruturas minerais de substituição, e heterogeneidades granulométricas (FOTOS 13 e 14).

Esporadicamente, observam-se amostras com textura granular hipidiomórfica, homogênea, de aparência tipicamente magmática, caracterizada pelo arranjo de cristais submilimétricos, subédricos a euédricos de piroxênio e nefelina (FOTOS 15 e 16).

2.4 Série das Ultramáficas

Foram agrupados nesta série os tipos petrográficos constituídos essencialmente por piroxênios e biotita (piroxenitos, biotita piroxenitos, piroxênio biotititos, biotititos) e os compostos predominantemente por "olivina" e magnetita (denominados provisoriamente magnetita dunitos) (TABELA 6).

As rochas piroxênicas e/ou biotíticas apresentam granulação fina a média e coloração cinza escuro. Diferem fundamentalmente dos álcali-sienitos, nefelina sienitos e ijolitos por apresentarem texturas consideravelmente mais homogêneas, que se caracterizam pela associação íntima e equilibrada de cristais prismáticos de piroxênio e placóides de biotita, ambos com granulometria submilimétrica a milimétrica, constituindo um arranjo granular hipidiomórfico (FOTO 17). Biotita, localmente, substitui piroxênio, especialmente ao longo de planos de clivagens e periferia dos cristais. Magnetita é o mineral acessório mais comum. Outros minerais presentes em quantidades subordinadas são: apatita, nefelina, anfibólio sódico e sódico-cálcico, titanita e carbonato.

Esporadicamente, associados a zonas de fraturas, ocorrem tipos essencialmente biotíticos, de granulometria extremamente grosseira (centimétrica), às vezes apresentando textura cataclástica. Relacionar-se-iam a fenômenos pneumatolíticos em zonas de brechação.

As rochas de composição magnetita-dunítica constituem intercala

TABELA 6 - COMPOSIÇÕES MODAIS DE ROCHAS DA SÉRIE DAS ULTRAMÁFICAS

AMOSTRAS \ MINERAIS	FELDSPATO POTÁSSICO	NEFELINA	PIROXÊNIO	BIOTITA	ANFIBÓLIO SÓDICO	ANFIBÓLIO SÓDICO-CÁLCICO	OLIVINA	OPACOS	ZEOLITA	TITANITA	ZIRCÃO	ARGILO-MINERAIS	CARBONATO	APATITA	ESFALERITA
F1 - 22,30 m (Apatita biotitito)	-	-	-	64,0	-	-	-	11,2	-	-	-	-	3,5	21,3	-
F1 - 29,10 m (Apatita piroxênio biotitito)	-	-	27,6	46,3	1,9	-	-	-	-	-	-	-	0,7	23,5	-
F1 - 40,00 m (Apatita biotita piroxenito)	-	-	48,0	33,0	2,3	-	-	9,2	-	1,2	-	-	1,0	5,3	-
F1 - 40,75 m (Apatita biotitito)	-	-	-	32,2	-	23,5	-	22,0	-	-	-	-	14,8	7,5	-
F2 - 52,80 m (Apatita piroxênio biotitito)	-	-	30,1	63,1	-	-	-	tr	-	tr	-	-	0,5	6,3	-
F2 - 60,70 m (Apatita biotita piroxenito)	-	-	42,0	30,3	-	-	-	0,3	-	0,2	-	-	-	27,2	-
F2 - 78,90 m (Apatita biotita piroxenito)	-	-	58,8	22,6	-	-	-	11,2	-	0,7	-	-	-	6,7	-
F6 - 48,00 m (Apatita magnetita dunito)	-	-	-	2,1	-	-	25,3	40,7	-	0,7	-	1,8	22,0	7,4	-
F6 - 56,70 m (Apatita magnetita dunito)	-	-	-	3,1	-	3,0	25,4	30,2	-	0,6	-	-	0,7	36,7	0,3
F8 - 18,10 m (Apatita piroxênio biotitito)	-	-	31,7	35,4	-	-	-	10,5	-	6,2	-	-	-	16,2	-
F8 - 42,30 m (Apatita biotita piroxenito)	-	8,8	44,5	28,1	-	-	-	-	11,0	0,7	-	-	1,8	5,1	-
F9 - 11,75 m (Apatita magnetita dunito)	-	-	-	1,0	-	-	51,8	29,5	-	0,1	-	-	3,3	14,3	-
F9 - 28,30 m (Apatita biotita piroxenito)	-	0,7	63,5	16,0	-	-	-	4,0	-	1,1	-	-	1,4	13,3	-
F9 - 48,40 m (Magnetita dunito)	-	-	-	0,8	-	-	34,1	62,1	-	0,3	-	-	1,5	1,2	-
F9 - 59,90 m (Apatita piroxênio biotitito)	-	1,3	37,6	41,9	-	-	-	8,7	-	0,6	-	-	4,8	5,1	-
F10 - 12,70 m (Piroxênio biotitito)	-	-	35,3	60,5	-	-	-	0,2	-	0,1	-	-	0,9	3,0	-
F10 - 51,00 m (Apatita piroxênio biotitito)	-	8,2	34,7	50,1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	6,5	-
F13 - 49,40 m (Apatita piroxenito)	-	-	45,6	2,4	-	-	-	2,1	-	-	-	3,7	8,2	38,0	-
F19 - 41,60 m (Apatita piroxenito)	-	-	85,8	2,5	0,3	-	-	0,1	-	-	-	-	1,3	10,0	-

continua

continuação

AMOSTRAS	MINERAIS	FELOSPATO POTÁSSICO	NEFELINA	PIROXÊNIO	BIOTITA	ANFIBÓLIO SÓDICO	ANFIBÓLIO SÓDICO- -CÁLCICO	OLIVINA	OPACOS	ZEOLITA	TITANITA	ZIRCON	ARGILO-MINERAIS	CARBONATO	APATITA	ESFALERITA
F20 - 46,47 m (Piroxênio biotítico)		-	5,8	34,2	52,1	-	-	-	-	-	-	-	-	3,2	4,7	-
F21 - 93,60 m (Apatita magnetita dunito)		-	-	-	-	-	-	15,7	42,0	-	-	0,3	-	22,2	19,8	-
F25 - 88,55 m (Apatita piroxênio biotítico)		-	-	31,2	32,7	-	-	-	3,9	-	tr	-	-	0,6	31,6	-
F25 - 58,00 m (Piroxenito)		0,5	-	84,0	3,8	3,0	-	-	0,1	-	-	-	-	6,4	2,2	-
F29 - 99,50 m (Apatita biotita piroxenito)		-	-	48,9	6,1	-	2,5	-	1,5	-	-	-	-	4,2	36,8	-
F37 - 46,20 m (Magnetita dunito)		-	-	-	0,5	-	-	63,4	29,9	5,1	1,0	-	-	-	-	0,1
F37 - 46,55 m (Magnetita apatita dunito)		-	-	-	8,5	-	-	54,9	12,5	1,0	0,9	-	-	1,5	20,5	0,2
F37 - 47,20 m (Magnetita dunito)		-	-	-	0,5	-	2,3	38,9	50,2	-	-	-	1,8	5,9	0,3	0,1
F42 - 64,20 m (Apatita piroxênio biotítico)		-	0,2	32,9	42,6	-	-	-	9,0	-	2,9	-	-	0,2	12,2	-
F44 - 49,00 m (Apatita biotita piroxenito)		-	-	41,6	38,9	-	-	-	1,0	-	0,1	-	-	-	18,4	-
F44 - 59,90 m (Apatita biotita piroxenito)		-	-	66,1	10,2	6,4	-	-	3,1	-	-	-	-	7,3	6,9	-
F45 - 27,70 m (Piroxênio apatita biotítico)		-	-	9,1	59,8	-	-	-	-	-	1,4	-	-	2,5	27,2	-
F48 - 36,50 m (Apatita biotítico)		-	-	3,5	56,3	0,7	-	-	0,4	-	-	-	-	5,4	33,7	-
F48 - 73,70 m (Apatita biotita piroxenito)		-	0,3	61,0	30,1	0,7	-	-	0,7	-	-	-	-	1,1	6,1	-
F48 - 80,50 m (Apatita piroxenito)		-	-	65,6	7,1	-	-	-	8,0	-	0,5	-	-	-	18,8	-
F53 - 58,60 m (Piroxênio biotítico)		-	-	21,2	77,3	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	1,3	-
F54 - 26,80 m (Apatita piroxenito)		-	-	93,4	0,1	-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,3	6,1	-
F56 - 112,60 m (Apatita piroxenito)		-	-	60,2	0,6	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	39,0	-

ções (até decamétricas) nos biotita piroxenitos e rochas afins. Apresentam granulação grossa e coloração cinza escuro esverdeado. Compõem-se essencialmente de pseudomorfos de cristais subédricos de olivina e cristais subédricos a euédricos de magnetita, ambos milimétricos a centimétricos (FOTO 18). Foram observados, subordinadamente: apatita, biotita, anfibólio cálcico, zeólita, titanita, zircão, carbonato e esfalerita. Estas rochas acham-se intensamente afetadas por hidrotermalismo, o qual teria provocado a transformação total de olivina (e possivelmente outros minerais) em serpentina, argilo-minerais e carbonato, obliterando as feições texturais originais, impossibilitando a classificação petrográfica precisa. Apesar disso, algumas amostras preservam uma textura aparentemente cumulática onde os cristais de magnetita e pseudomorfos de olivina agrupam-se formando "cúmulos", sendo os "inter-cúmulos" constituídos pelos minerais acessórios.

Os magnetita dunitos foram interpretados, neste trabalho, como possíveis xenólitos trazidos à superfície durante a ascensão do magma biotita-piroxenítico. O exame dos cristais de magnetita, por microscopia óptica de luz refletida, revelou a presença de lamelas de exsolução de ilmenita, num padrão octaédrico (segundo (111)), por vezes com espinélio associado. Tal fato pode constituir-se em argumento a favor de uma origem magmática para estas rochas

2.5 Carbonatitos

São rochas de cor branca acinzentada, com granulação fina a média.

Através de difratometria de raios-X verificou-se que o carbonato predominante é a calcita, sendo raras as amostras onde predomina a dolomita, que por vezes associa-se a alstonita e/ou baritocalcita ou kutnohorita. Assim, a variedade mais comum de carbonatito foi a denominada sövito, e as menos comuns: calcita beforsito, dolomita sövito, kutnohorita beforsito, alstonita-dolomita sövito, alstonita beforsito e alstonita carbonatito (TABELA 7).

A textura predominante é granular xenomórfica (FOTO 19), caracterizada por cristais anédricos de carbonato, geralmente equidimensionais, de granulometria submilimétrica a milimétrica, em agregado pavimentoso. Frequentemente observam-se cristais de carbonato apresentando seção rômica, isolados ou constituindo agregados.

TABELA 7 - COMPOSIÇÕES MODAIS DE CARBONATITOS

AMOSTRAS \ MINERAIS	CALCITA	DOLOMITA	ALSTONITA	APATITA	OLIVINA	ANFIBOLIO SÓDICO- -CÁLCICO	OPACOS	QUARTZO + CALCEDÔNIA	ARGILO-MINERAIS	CLORITA	BIOTITA + FLOGOPITA	PIROCLORO	ESFALERITA
F1 - 16,50 m (Apatita sôvito)	82,7	1,3	-	6,6	3,3	-	5,3	-	-	-	0,8	-	-
F1 - 23,00 m (Sôvito)	86,3	-	-	2,1	-	-	-	-	-	5,0	6,6	-	-
F11 - 51,50 m (Apatita sôvito)	67,5	4,6	-	13,7	-	2,4	7,6	-	-	-	4,2	-	-
F13 - 44,95 m (Apatita-calcita beforsito)	31,0	31,1	-	6,8	-	0,4	30,5	-	-	-	0,2	-	-
F13 - 48,10 m (Dolomita sôvito)	64,9	24,0	-	4,1	-	1,8	0,3	-	-	2,9	2,0	-	-
F13 - 51,00 m (Apatita sôvito)	61,4	5,9	-	20,1	-	0,1	6,8	-	tr	2,0	3,7	-	tr
F13 - 72,60 m (Apatita sôvito)	49,4	1,6	-	24,0	2,9	-	15,2	-	0,1	-	6,8	-	-
F14 - 45,50 m (Sôvito)	70,9	-	-	-	-	-	0,6	0,3	28,2	-	-	-	-
F15 - 50,15 m (Apatita sôvito)	58,6	-	-	6,2	-	-	-	-	35,0	-	0,2	-	-
F15 - 73,50 m (Sôvito)	93,7	1,8	-	-	0,7	-	-	-	-	-	3,8	-	-
F19 - 51,50 m (Apatita sôvito)	62,8	5,0	-	8,1	-	23,2	0,7	-	-	-	0,2	-	-
F19 - 52,00 m (Apatita sôvito)	62,8	1,7	-	25,4	7,9	0,6	1,3	-	-	-	0,3	-	-
F20 - 56,70 m (Apatita sôvito)	88,0	1,1	-	5,1	-	-	1,4	0,5	0,7	-	3,2	-	-
F20 - 67,00 m (Apatita sôvito)	68,4	6,4	-	10,1	-	0,7	10,2	1,6	1,0	-	1,6	-	-
F20 - 77,50 m (Apatita kutnohorita beforsito)	(*) 1,1	(*) 61,9	-	9,3	-	-	-	6,5	20,8	-	0,4	tr	-

continua

continuação

AMOSTRAS	MINERAIS												
	CALCITA	DOLOMITA	ALSTONITA	APATITA	OLIVINA	ANFIBÓLIO SÓDICO- -CÁLCICO	OPACOS	QUARTZO + CALCEDÔNIA	ARGILO-MINERAIS	CLORITA	BIOTITA + FLOGOPITA	PIROCLORO	ESFALERITA
F21 - 122,50 m (Apatita calcita beforsito)	48,2	10,9	-	23,2	-	2,1	6,6	0,1	0,8	-	8,1	-	-
F21 - 142,70 m (Apatita sôvito)	76,7	1,9	-	7,2	-	4,4	1,9	-	2,9	-	5,0	-	-
F35 - 50,20 m (Apatita sôvito)	58,3	-	-	9,8	0,6	-	-	-	12,7	18,6	-	-	-
F36 - 38,00 m (Apatita sôvito)	70,0	4,4	-	11,5	-	-	13,5	-	-	-	0,6	-	-
F44 - 57,20 m (Sôvito)	63,2	-	-	3,9	-	-	-	-	28,5	-	4,4	-	-
F44 - 58,10 m (Sôvito)	71,1	-	-	1,2	-	-	4,5	-	22,8	-	0,4	-	-
F44 - 60,40 m (Sôvito)	74,0	6,0	-	3,2	4,3	0,2	6,4	-	5,4	-	0,5	-	-
F44 - 61,30 m (Apatita sôvito)	72,7	3,1	-	11,3	-	2,3	2,4	-	5,4	-	2,8	-	-
F48 - 76,10 m (Sôvito)	83,1	2,2	-	4,2	-	0,4	0,9	-	1,5	-	7,7	-	-
F49 - 29,00 m (Alstonita carbonatito)	-	-	50,8	-	-	-	9,8	-	33,7	-	3,5	0,6	1,6
F49 - 54,10 m (Alstonita dolomita sôvito)	(***) 60,2	(***) 15,5	-	-	2,9	-	0,5	-	19,9	-	0,7	0,3	-
F49 - 86,10 m (Alstonita beforsito)	-	(**) 76,6	-	-	-	-	1,1	-	20,8	-	0,6	tr	0,9
F56 - 116,10 m (Apatita sôvito)	76,5	2,0	-	9,4	-	-	10,0	-	-	-	2,1	-	-
F56 - 151,00 m (Sôvito)	96,0	4,0	-	-	-	-	tr	-	-	-	-	-	-
F56 - 158,50 m (Apatita sôvito)	80,6	1,8	-	10,2	tr	-	1,5	-	tr	-	5,9	-	-

Mistura de minerais carbonáticos: * = presença de kutnohorita
 ** = presença de alstonita
 *** = presença de alstonita + baritocalcita

São muito comuns amostras de carbonatito compostas quase que exclusivamente por carbonato, não sendo raras, no entanto, aquelas enriquecidas em minerais acessórios. Apatita, magnetita e flogopita constituem os acessórios mais importantes, ocorrendo geralmente associados. Em quantidades subordinadas foram observados: olivina, clorita, biotita, anfibólio cálcico, pirocloro, esfalerita e, raramente, quartzo e calcedônia. Os minerais acessórios geralmente ocorrem dispersos entre os cristais de carbonato ou, menos comumente, concentrados em lâminas subparalelas, de espessura submilimétrica a milimétrica (FOTO 20). Algumas amostras apresentam consideráveis quantidades de argilo-minerais (predominantemente esmectíticos) ocupando espaços intergranulares.

FOTO 5 - TEXTURA GRANULAR HIPIDIOMÓRFICA EM LUSITANITO, PIROXÊNIO (VERDE), ORTOCLÁSIO (PARDO CLARO), NICÓIS PARALELOS. AMOSTRA F7 - 93,40 m,

FOTO 6 - IDEM, NICÓIS CRUZADOS.

FOTO 7 - TEXTURA HETEROGÊNEA EM LUSITANITO, RESULTANTE DA DISTRIBUIÇÃO IRREGULAR DE PIROXÊNIO (ESCURO) E ORTOCLÁSIO (CLARO), NICÓIS PARALELOS, AMOSTRA F26 - 43,90 m.

FOTO 8 - IDEM, NICÓIS CRUZADOS.

FOTO 9 - AGREGADOS DE PIROXÊNIO PREENCHENDO FRATURAS E OCUPANDO ESPAÇOS ENTRE CRISTAIS DE FELDSPATO EM ÁLCALI-SIENITO.

FOTO 10 - AMOSTRAS DE GRANITO (A2) E ÁLCALI-SIENITO (A1) SUBMETIDAS A ENSAIO DE COLORAÇÃO SELETIVA DE FELDSPATO POTÁSSICO (AMARELO), NOTAR QUE OS AGREGADOS PIROXÊNICOS DO ÁLCALI-SIENITO APRESENTAM AS MESMAS FORMAS INTERSTICIAIS DOS AGRUPAMENTOS DE QUARTZO (CINZA) E PLAGIOCLÁSIO (BRANCO) DO GRANITO.

FOTO 11 - TEXTURA HETEROGÊNEA EM NEFELINA SIENITO. À ESQUERDA DA FOTO PREDOMINA PIROXÊNIO; AO CENTRO, FELDSPATO POTÁSSICO E À DIREITA, NEFELINA GEISEKITIZADA. NICÓIS CRUZADOS. AMOSTRA F37 - 58,90 m.

FOTO 12 - TEXTURA HOMOGÊNEA EM NEFELINA SIENITO. ANORTOCLÁSIO (CRISTAIS TABULARES, CINZAS), NEFELINA PARCIALMENTE GEISEKITIZADA (CANTO INFERIOR DIREITO), PIROXÊNIO (VERDE ESCURO), NICÓIS CRUZADOS. AMOSTRA F4 - 32,70 m.

FOTO 13 - TEXTURA HETEROGÊNEA EM IJOLITO. NOTAM-SE, À ESQUERDA DA FOTO, PIROXÊNIO (VERDE AMARELADO), BIOTITA (CASTANHA), OPACOS (PRETOS) E APATITA (BRANCA); AO CENTRO, NEFELINA GEISEKITIZADA INCLUINDO E SUBSTITUINDO PIROXÊNIO. NICÓIS PARALELOS. AMOSTRA F9 - 45,50 m.

FOTO 14 - IDEM. NICÓIS CRUZADOS.

FOTO 15 - TEXTURA HOMOGÊNEA EM IJOLITO. PIROXÊNIO (VERDE), NEFELINA (PARDA CLARA), NICÓIS PARALELOS. AMOSTRA F54 - 25,00 m,

FOTO 16 - IDEM, NICÓIS CRUZADOS.

FOTO 17 - TEXTURA GRANULAR HIPIDIOMÔRFICA EM APATITA-BIOTITA PIROXENITO. PIROXÊNIO (VERDE AMARELADO), BIOTITA (CASTANHA), OPACOS (PRETOS), APATITA (BRANCA). NOTAR ASSOCIAÇÃO ÍNTIMA E EQUILIBRADA DE PIROXÊNIO E BIOTITA. NICÔIS CRUZADOS. AMOSTRA F2 - 78,90 m,

FOTO 18 - TEXTURA "CUMULÁTICA" EM MAGNETITA DUNITO. OLIVINA (AMARELADA), MAGNETITA (PRETA), APATITA (CINZA). NICÔIS CRUZADOS. AMOSTRA F9 - 11,75 m,

FOTO 19 - TEXTURA GRANULAR XENOMÓRFICA TÍPICA EM APATITA SÖVITO, NICÓIS CRUZADOS, AMOSTRA F13 - 61,00 m.

FOTO 20 - LÂMINAS SUBPARALELAS FORMADAS PELA CONCENTRAÇÃO DE APATITA E MAGNETITA EM APATITA SÖVITO, NICÓIS PARALELOS, AMOSTRA F19 - 52,00 m.

CAPÍTULO 5

MINERALOGIA

1 FELDSPATOS ALCALINOS

São considerados feldspatos alcalinos os plagioclásios ricos em albita ($An \approx 0-5\%$) e os feldspatos potássicos.

Feldspatos alcalinos ocorrem nos álcali-sienitos e nos nefelina sienitos; são raros nos ijolitos e praticamente inexistem nas ultramáficas (FIGURA 5).

Distinguem-se duas gerações de feldspatos potássicos (FOTO 21). A primeira representada por ortoclásio com as características já descritas para os feldspatos do granito encaixante: tamanho milimétrico até centimétrico, contornos anédricos a subédricos, com pertitas e geminação de Carlsbad, freqüentemente turvos. A segunda, posterior, constituída de anortoclásio, em cristais menores (submilimétricos), anédricos a euédricos (tabulares), geralmente límpidos e zonados, que ocorrem em agregados substituindo ortoclásio.

Mencione-se ainda que os de primeira geração exibem freqüentemente bordas corroídas; piroxênio, nefelina, biotita, carbonato e apatita também aparentam tê-los substituído.

O ângulo dos eixos ópticos foi a característica que permitiu distinguir as duas variedades de feldspato potássico: $2V_x = 65-70^\circ$, para ortoclásio de primeira geração; $2V_x = 40-50^\circ$, para o anortoclásio (HUTCHISON, 1974).

Cristais de albita, geralmente euédricos, tabulares, submilimétricos a milimétricos, límpidos, associados aos grânulos de anortoclásio neoformados, ocorrem inclusos e substituindo bordas de ortoclásio, ou ainda, formando corpos segregados isolados.

2 NEFELINA

Nefelina ocorre na forma de cristais subédricos ou anédricos, submilimétricos a milimétricos, com hábito prismático hexagonal curto.

É muito comum nas séries dos nefelina sienitos e dos ijolitos, sendo escassa na série dos álcali-sienitos e das ultramáficas (FIGURA 6).

Cristais límpidos são extremamente raros; geralmente encontram-se totalmente alterados em geisekita e/ou sericita e/ou cancrinita (FOTOS 22 e 23), ao longo de clivagens e microfraturas. Observa-se comumente a geisekita desenvolvida em parte central do hospedeiro enquanto a cancrinita forma agregado prismático radial na periferia. Em outras ocasiões, a nefelina pode se encontrar totalmente substituída por cancrinita em agregado granoblástico interlobado ou decussado. Raramente, associada a geisekita e/ou cancrinita, ocorre zeólita (a-nalcima e/ou natrolita) e carbonato.

A nefelina contém normalmente inclusões de piroxênio, biotita, opacos e apatita.

Nos nefelina sienitos e, esporadicamente, nos álcali-sienitos a nefelina também ocorre na forma de inclusões em ortoclásio. Nestas condições, forma cristais anédricos ou subédricos, parcialmente geisekitizados ou cancrinitizados, dispostos sem orientação discernível. Naquelas rochas, a nefelina pode "invadir" e substituir feldspato potássico (FOTO 23), ou ainda preencher interstícios. Nos ijolitos a nefelina geralmente constitui a matriz das rochas.

3 PIROXÊNIOS

Os piroxênios ocorrem em cristais euédricos a subédricos, submilimétricos a centimétricos e de hábito geralmente prismático, localmente acicular.

Acham-se amplamente distribuídos nas rochas das séries estudadas, como minerais essenciais, dispersos ou concentrados em veios, ocorrendo em maiores proporções nas ultramáficas (FIGURA 7).

Os dados obtidos permitem enquadrá-los na série augita egirínica - egirina-augita - egirina, tendo sido denominados segundo o seu teor em molécula de egirina (Eg) (TRÖGER, 1971), em:

Augita egirínica	< 20% Eg
Egirina-augita	20-75% Eg
Egirina	> 75% Eg

São muito frequentes as variações no teor egirínico, conforme padrões de zoneamento bastante heterogêneos. Apesar de predominarem cristais com bordas enriquecidas em egirina, não são raros aqueles exibindo núcleos mais egirínicos (FOTOS 24 e 25), ou mesmo zoneamentos oscilatórios, concêntricos, ou ainda irregulares.

A FOTO 26 ilustra um cristal zonado, com núcleo de augita egirínica e borda de egirina-augita, e a FOTO 27 exhibe graficamente sua composição variável, segundo análise por microsonda eletrônica. Em comparação com o núcleo a borda é mais enriquecida em sódio e ferro e empobrecida em cálcio, magnésio e alumínio (FOTOS 28 a 33).

Apesar da variabilidade acima referida, a análise microscópica de piroxênios dos diferentes tipos petrográficos evidenciou nítida tendência de diminuição em molécula Eg na direção das litologias mais máficas. Assim, nos álcali-sienitos mais próximos ao granito, o piroxênio é egirínico (Eg_{80-90}); e nos nefelina sienitos mais internos observa-se toda a gama de egirina-augita (Eg_{20-75}); nos ijolitos, a variação comum encontrada fica entre augita egirínica e egirina-augita (Eg_{10-30}); e nas ultramáficas, a augita egirínica (Eg_{02-20}) é a variedade exclusiva. A TABELA 8 exemplifica o exposto, apresentando as características ópticas de piroxênios provenientes de um álcali-sienito (amostra A1) das proximidades do contato com o granito encaixante, de um apatita ijolito (amostra F21 - 149,20 m) situado em zona intermediária e de um piroxênio biotitito (amostra F10 - 51,00 m) procedente da região central do corpo alcalino.

Em contato com carbonato e/ou apatita o piroxênio encontra-se geralmente transformado em anfibólio sódico. Outro mineral co-produto de suas reações de transformação, é a biotita parda.

TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS E TEOR DE E_g EM CRISTAIS DE PIROXÊNIO SELECIONADOS

AMOSTRA	A ₁ (Alcali-sienito)	F21 - 149,20 m (Apatita ijolito)	F10 - 51,00 m (Piroxênio biotitito)
Cor	pardo esverdeado claro	verde escuro	verde médio
n_x	1,76	1,71	1,69
n_y	1,80*	1,73*	1,71*
n_z	1,81	1,75	1,73
$X \wedge c$	5°	32°	40°
$A^* \wedge c$	30°	*20°	16°
2V	72°(-)	78°(+)	65°(+)
% E_g	*85	*17	*9

(*) Valores estimados graficamente (TRÖGER, 1971) com a ajuda de outras determinações microscópicas.

A* = Eixo óptico A

4 MICAS

Foram identificadas as variedades: biotita e flogopita.

A biotita é a mica mais comum, caracterizando-se por sua cor castanho escura, pleocroísmo normal ($X < Y \approx Z$; X: marrom a castanho claro, pardo alaranjado claro; $Y \approx Z$: marrom escuro, castanho avermelhado escuro); $n_x = 1,584$; $n_y \approx n_z = 1,626$; $2V_x = 10^\circ$; dispersão dos eixos ópticos $r < v$ e plano dos eixos ópticos normal à face (010). Tais propriedades ajustam-na no termo meróxênio, variedade anomita (TRÖGER 1962, TROCHIN 1966, 1969 e FOSTER 1960 "apud" TRÖGER 1971).

A biotita ocorre sob a forma de cristais idiomórficos ou hipidiomórficos, geralmente milimétricos (FOTO 34), ou secundariamente, na forma de cristais minúsculos ($< 0,1$ mm) substituindo piroxênio (FOTO 35). Em determinadas ultramáficas ocorrem agregados quase puros de biotita centimétrica, originados provavelmente da ação de fluidos, em zona de brechação.

Distinguem-se duas variedades de flogopita: uma com pleocroísmo normal ($X < Y \approx Z$; X: incolor; $Y \approx Z$: marrom a castanho avermelhado claro, verde claro), e outra apresentando pleocroísmo inverso ($X > Y \approx Z$; X: marrom avermelhado médio a vermelho rubi; $Y \approx Z$: incolor). Ambas são geralmente encontradas em cristais zonados que podem incluir biotita meróxênica em partes centrais. A variedade de pleocroísmo normal exibe constantemente $n_y \approx n_z < 1,60$, dentro do intervalo de Índices de refração que caracteriza o membro flogopita (TROGER 1962, TROCHIM 1969 "apud" TROGER 1971). Entretanto registram-se diferenças, comumente graduais, de tonalidades de cores e outras propriedades ópticas, em zonas ou manchas num mesmo cristal. A análise por microsonda eletrônica efetuada em um cristal zonado (FOTOS 36 a 41) revelou que, em relação à variedade com pleocroísmo normal, que compõe o núcleo do cristal, as bordas, com pleocroísmo inverso, acham-se gradualmente (em proporção à intensidade da cor vermelha) enriquecidas em Fe e empobrecidas em Al e, ligeiramente, em Mg. Feições semelhantes, observadas em micas de rochas ultramáficas alcalinas da Província de Kola e de outras regiões (RIMSKAYA-KORSAKOVA et alii, 1964), foram atribuídas à substituição de Al por Fe^{3+} , em coordenação tetraédrica, a partir de flogopita ou biotita, gerando "tetraferri-flogopita" (variedade magnesiana) ou "tetraferribiotita" (variedade fêrrica). As propriedades químicas (elementos maiores: Si, Al, Mg e Fe) e ópticas ($n_x \approx 1,58$; $n_y \approx n_z \approx 1,60$; $2V_x \approx 0^\circ$) detectadas neste trabalho em flogopita vermelha de pleocroísmo inverso, são semelhantes às apresentadas por RIMSKAYA-KORSAKOVA et alii (op. cit.) para a variedade "tetraferri-flogopita", nome segundo o qual esta curiosa variedade de flogopita passará a ser referida.

Flogopita e tetraferri-flogopita podem formar: cristais idiomórficos isolados, por vezes em prismas bem alongados na direção de c; agregados de cristais submilimétricos a milimétricos, ou ainda formas de substituição de biotita ao longo de clivagens, fraturas e porções periféricas. Parecem geneticamente ligadas a processos de carbonatação e/ou apatitização, sendo encontradas em veios sóvíticos ou

no contato destes com as encaixantes. Derivar-se-iam da ação de voláteis sobre a biotita, em condições finais acentuadamente oxidantes.

As micas concentram-se nas rochas ultramáficas, aparecendo ainda, em menores proporções, nos ijolitos, nefelina sienitos, álcali-sienitos e nos carbonatitos (FIGURA 8).

Finalmente, mencione-se que nos contatos entre rochas silicáticas e veios de carbonatito e/ou apatitito ocorrem bordas de reação, com espessuras milimétricas e centimétricas, de agregados biotíticos e/ou flogopíticos (FOTOS 42 e 43).

5 APATITA

A apatita foi encontrada na maioria das rochas do Complexo, aumentando sua concentração nos termos mais máficos (FIGURA 9). Carbonatitos registraram para o mineral, ora ausência, ora teores significativos. De modo geral a concentração de apatita acha-se relacionada à magnetita e silicatos ferro-magnesianos (frequentemente flogopita).

As propriedades ópticas medidas: $\epsilon = 1,6343$; $\omega = 1,6384$, não foram consideradas suficientes para caracterizar a variedade. Por isso, efetuaram-se análises químicas (TABELA 9) e determinaram-se os parâmetros cristalográficos a e c (TABELA 10) em um conjunto de amostras que se supõe representar a apatita mais comum no Complexo. Os valores bastante homogêneos, obtidos pelos dois métodos, relacionam-se indubitavelmente à fluorapatita (MC CONNELL, 1973; DEER et alii, 1962). Neste trabalho determinaram-se valores de ϵ e ω ligeiramente superiores aos registrados na literatura para fluorapatita, o que poderia ser atribuído à presença de certos elementos menores, por exemplo, Sr (DEER et alii, op. cit.).

Além da apatita primária foi identificada outra variedade relativamente rara, certamente formada por processos hidrotermais tardios. Esta variedade ocorre geralmente substituindo e encapsando cristais de fluorapatita, em contato com carbonatos (FOTO 44). Medidas de birrefringência, utilizando compensador de Berek, efetuadas em cristais duplos, revelaram que os valores de 0,004 apresentados pelos núcleos passaram a 0,013 nas capas. Esta propriedade e mais, biaxialidade ($2V_x \approx 10^\circ$) e orientação do plano de eixos ópticos paralelo

TABELA 9 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE AMOSTRAS DE APATITA

OXIDOS (%) AMOSTRAS	CaO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃ *	MnO	F	Sr	Cl	TOTAL
F2 - 52,80 m (Apatita-piroxênio biotitito)	54,61	43,20	0,16	0,16	0,04	0,019	1,28	0,15	< 0,005	99,61
F25 - 51,00 m (Apatita ijolito)	55,26	42,90	0,38	0,13	0,07	0,013	1,36	0,16	< 0,005	100,27
F25 - 88,55 m (Apatita-piroxênio biotitito)	54,45	42,80	0,37	0,21	0,12	0,014	1,33	0,15	< 0,005	99,44
F26 - 43,90 m (Apatita lusitanito)	54,56	42,40	0,10	0,13	0,02	0,007	1,54	0,16	< 0,005	98,01
F36 - 81,50 m (Apatita-biotita piroxenito)	55,68	43,10	0,35	0,56	0,06	0,030	1,24	0,18	< 0,005	101,20

* Ferro total calculado como Fe₂O₃TABELA 10 - PARÂMETROS CRISTALOGRAFICOS (a E c)
DE AMOSTRAS DE APATITA

AMOSTRAS	a (Å)	c (Å)
F1 - 22,30 m (Apatita biotitito)	9,3931	6,8898
F2 - 52,80 m (Apatita-piroxênio biotitito)	9,3943	6,8868
F7 - 46,50 m (Mela-álcali-sienito)	9,3946	6,8886
F9 - 45,50 m (Apatita ijolito)	9,3942	6,8890
F13 - 72,60 m (Apatita sôvito)	9,3916	6,8886
F13 - 91,50 m (Apatita malignito)	9,3937	6,8882
F27 - 72,80 m (Apatita-mela álcali-sienito)	9,3897	6,8887
F29 - 60,40 m (Apatita ijolito)	9,3966	6,8869
F36 - 81,50 m (Apatita-biotita piroxenito)	9,3958	6,8869
F37 - 30,00 m (Apatita ijolito)	9,3895	6,8894
F56 - 61,35 m (Mela-álcali-sienito)	9,3929	6,8881
MEDIA ± DESVIO PADRÃO	9,3933 ± 0,0023	6,8883 ± 0,00102

a cada uma das seis faces externas em seis setores diferentes, permite identificar a variedade secundária das capas como uma carbonato-apatita (MC CONNELL, 1973; DEER et alii, 1962).

A fluorapatita apresenta-se em cristais xenomórficos (ovóides), hipidiomórficos e idiomórficos (prismas alongados ou cristais eqüidimensionais em textura pavimentosa). A granulometria é variada, de submilimétrica a milimétrica.

Nas séries dos ijolitos e das ultramáficas a apatita, localmente associada a carbonatos, constitui disseminações ou veios. Nestas rochas pode formar cristais "poiquilíticos" com inclusões de biotita, piroxênio, nefelina e opacos (FOTO 45). Constituem feições texturais notáveis as bordas de reação, de aspecto denteado, observadas nos contatos de cristais de apatita com piroxênio ou biotita.

Nos álcali-sienitos e nefelina sienitos, a apatita, rara como acessório disseminado, se associa mais frequentemente a piroxênio, ao longo de bolsões e veios (FOTOS 46 e 47).

6 CARBONATOS

Os carbonatos compõem a parte essencial dos veios de carbonatito que, em possança submilimétrica até decamétrica, cortam as rochas silicáticas do Complexo Alcalino. Ocorrem também preenchendo interstícios granulares e alterando e/ou substituindo outros minerais, tais como: nefelina, piroxênio, magnetita, feldspato, biotita e apatita em quaisquer das rochas do Complexo.

Os minerais carbonáticos identificados por difratometria de raios-X foram: calcita, dolomita, alstonita, kutnohorita, baritocalcita, siderita, ankerita e magnesita.

Calcita é o carbonato formador dos carbonatitos sódvíticos, de dominância absoluta no Complexo, mas mesmo aí se associa a menores proporções de dolomita. Ambos ocorrem geralmente em cristais eqüidimensionais, imbricados, de granulometria milimétrica. Em algumas amostras a presença de dolomita é também indicada pelo seu maior idiomorfismo (romboedros).

Alstonita e baritocalcita constituem variedades baríferas e kutnohorita, variedade manganífera, detectadas em carbonatito dolomítico do Furo 49.

Siderita, ankerita e magnesita ocorrem esporadicamente, associadas a calcita e dolomita.

7 ANFIBÓLIOS

As variedades de anfibólio observadas foram denominadas genericamente: anfibólios sódicos e sódico-cálcicos (LEAKE, 1978 "apud" HAWTHORNE, 1982).

Os anfibólios sódicos têm ocorrência volumétrica pouco significativa. São encontrados basicamente na forma de fibras ou prismas submilimétricos a milimétricos, associados a piroxênios e frequentemente substituindo-os. Resultam da alteração de piroxênios, por soluções hidrotermais, sendo encontrados comumente no contato entre piroxênio e carbonato e/ou apatita (FOTOS 48 e 49).

O conjunto de características ópticas exibido pelos anfibólios sódicos (TABELA 11) não permite situá-los em nenhum dos grupos apresentados por TRÖGER (1971), uma vez que parte delas assemelha-se às da série eckermanita-arfvedsonita, e parte às da série do glaucofânio-magnésio riebeckita. Observe-se, entretanto, que DEER et alii (1963) transcrevem análise de uma magnésio arfvedsonita (anoforita no original) com propriedades ópticas praticamente idênticas às dos anfibólios sódicos de Anitápolis. Estes minerais acham-se frequentemente zonados, exibindo bordas de coloração verde clara a incolor, com características ópticas diferentes das do cristal principal (valores maiores de $Y^{\wedge}c$ ou $Z^{\wedge}c$ (atê 45°) e menores de $2V_x$ (atê 0°); $n_x \approx 1,63$ e $n_z \approx 1,64$). Tais bordas representam provavelmente termos mais magnesianos.

Os anfibólios sódico-cálcicos ocorrem na forma de cristais fibrosos, submilimétricos, dispersos em carbonatito (FOTO 50) ou, mais raramente, em níveis carbonatizados de rochas silicáticas. Apresentam propriedades ópticas (TABELA 11) que permitem caracterizá-los, de acordo com TRÖGER (op. cit.), como richterita (ou soda-tremolita). Foram observadas, esporadicamente, sobre os prismas desses anfibólios, "capas" ou bordas de anfibólio sódico.

TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS DE ANFIBÓLIOS SÓDICOS E SÓDICO-CÁLCICOS

VARIEDADE	ANFIBÓLIO SÓDICO	ANFIBÓLIO SÓDICO-CÁLCICO
Cor	X: verde amarelado; Y: verde médio a escuro; Z: verde violáceo	incolor
n_x	1,650	1,612
n_y	*1,659	*1,622
n_z	1,660	1,627
$Z \wedge c$	-	19°
$Y \wedge c$	30°	-
2V	$25^\circ (-)$	$64^\circ (-)$
Dispersão	$r < v$ (extinção) $r > v$ (eixos ópticos)	-
Observação	plano dos eixos ópticos normal a (010)	plano dos eixo ópticos paralelo a (010); $Y=b$

(*) Valores obtidos graficamente (TRÖGER, 1971), a partir das demais determinações microscópicas.

8 OLIVINA

Cristais ovóides de olivina frescos, de granulometria submilimétrica a milimétrica, foram observados em algumas seções delgadas de carbonatito, associados a magnetita e apatita (FOTO 51) e, por vezes, nas regiões de contato entre vênulas carbonáticas e rochas piroxênicas.

Medidas de ângulos de eixos ópticos efetuadas nesses cristais revelaram $2V_z \approx 87^\circ$, caracterizando uma variedade com cerca de 92%

de molécula forsterítica (BAMBAUER, 1968 "apud" TRÖGER, 1971).

A olivina também ocorre em pseudomorfos serpentínicos, associados a magnetita, carbonato, anfibólio, argilo-mineral e apatita, constituindo rochas de composição magnetito-dunítica.

9 MINERAIS OPACOS

Os minerais opacos, identificados por difratometria de raios-X e microscopia óptica de luz refletida, incluem: magnetita, ilmenita e diversos sulfetos.

Destes, a magnetita é volumetricamente o mais importante, presente em praticamente todas as rochas do Complexo, sendo abundante na série das ultramáficas (especialmente nos magnetita dunitos), e rara nos álcali-sienitos (FIGURA 10). Ocorre de modo disseminado, na forma de cristais idiomórficos e hipidiomórficos, submilimétricos a milimétricos, por vezes associados a rara ilmenita.

Concentrações de cristais idiomórficos de magnetita, relativamente grandes (0,5 a 1,5 cm) foram observadas em magnetita dunitos (FOTO 52) e em veios de carbonatito.

Os sulfetos esporadicamente se disseminam nas rochas do Complexo. Dentre eles a pirrotita é o mais freqüente, estando presentes também: pirita, calcopirita, calcocita, covelita, esfalerita e gale-na. Observam-se, ainda, concentrações locais de sulfetos remobilizados hidrotermalmente ao longo de fraturas ou falhas.

10 PIROCLORO

Pirocloro foi identificado em raras amostras de carbonatito, sempre com teores inferiores a 1%. Ocorre em cristais octaédricos submilimétricos (da ordem de 0,15 mm), isolados ou em agregados. O exame por microsonda eletrônica efetuado em alguns cristais revelou a presença de zoneamentos composicionais; sendo Ca e Nb, em teores variáveis, alguns dos principais elementos responsáveis pelas zonas observadas.

11 TITANITA

A titanita é um mineral acessório presente em todas as séries estudadas, com exceção dos carbonatitos. Em uma das amostras estudadas (F24 - 23,60 m), a concentração de titanita atinge 31,4%, embora os teores médios não se afastem muito de 1%.

Ocorre geralmente em cristais euédricos a subédricos, submilimétricos a milimétricos, com hábito esfenóide alongado, normalmente reunidos em dois ou mais grãos. Raramente aparecem formas esqueléticas ou anédricas.

Por vezes a titanita se encontra leucoxenizada, com mais intensidade nas bordas. Associa-se em geral a piroxênio, biotita ou opacos. Pode, reciprocamente, incluir ou ser incluída por piroxênio. Fraturas ou mesmo fragmentações são esporadicamente observadas.

12 ZIRCÃO

O zircão foi detectado como acessório nos álcali-sienitos, nefelina sienitos e ultramáficas. Forma geralmente cristais submilimétricos, subédricos, com bordas corroídas, microfraturados e por vezes fragmentados.

Por vezes associa-se a minerais opacos e apatita, em cristais anédricos ou esqueletiformes.

Localmente ocorre como inclusões em cristais de feldspato potássico.

13 RUTILO

Rutilo é um mineral extremamente raro nas rochas estudadas. Foi observado em apenas uma amostra de álcali-sienito na forma de minúsculos prismas alongados associados a biotita ou carbonato. Alguns cristais acham-se parcialmente leucoxenizados.

14 QUARTZO E CALCEDÔNIA

Quartzo e calcedônia são minerais secundários raros, identificados em algumas amostras de carbonatito e álcali-sienito. Neste formam agregados substituindo feldspato potássico e piroxênio, ou preenchendo vazios intergranulares e microfraturas.

Nos carbonatitos sua ocorrência é intersticial na trama calcítica, aí associando-se a opacos e flogopita. Também, como fina película, contornam cristais de magnetita e, aparentemente, os substituem.

15 CLORITA

A clorita forma cristais submilimétricos, de ocorrência muito restrita, em alguns carbonatitos e ijolitos. Nos carbonatitos, pseudomorfosea palhetas de mica ou ocorre intersticialmente, em agregados de finíssimas lamelas, entre os cristais de calcita.

16 ZEÓLITAS

Foram identificadas as variedades analcima e natrolita.

Estão relacionadas a processos hidrotermais associados à carbonatação, ocorrendo como produto de alteração de nefelina ou ocupando espaços intergranulares.

A natrolita é o tipo mais comum, tanto em agregados fibrosos, como em grupos granoblásticos inequigranulares. Associa-se geralmente à geisekita, cancrinita e carbonato. A analcima ocorre em cristais anédricos, isolados, ou envolvendo cristais de nefelina.

As zeólitas são encontradas nos nefelina sienitos, ijolitos e ultramáficas, normalmente em quantidades acessórias.

17 ARGILO-MINERAIS

Foram identificados argilo-minerais em quase todas as amostras de carbonatito, e em raras de ultramáficas.

Formam massas de cor verde, amarela ou castanha, observando - se ao microscópio agregados de minúsculos cristais (micrométricos) esparsos, frequentemente alterando mineral micáceo (flogopita ou biotita).

A difratometria de raios-X revelou argilo-mineral predominantemente do grupo das esmectitas e, em quantidades subordinadas, dos grupos das serpentinas e da caulinita, além de tipos interestratificados (ilita-esmectita).

FIGURA 5 - DISTRIBUIÇÃO MODAL DOS FELDSPATOS ALCALINOS

FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO MODAL DA NEFELINA

FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO MODAL DOS PIROXÊNIOS

LEGENDA

- — VALOR MÍNIMO
- — VALOR MÁXIMO
- INTERVALO REPRESENTANDO MÉDIA ± DESVIO PADRÃO

FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO MODAL DAS MICAS (BIOTITA + FLOGOPITA)

FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO MODAL DA APATITA

FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO MODAL DOS OPACOS

LEGENDA

- — VALOR MÍNIMO
 ● — VALOR MÁXIMO
 —□— INTERVALO REPRESENTANDO MÉDIA ± DESVIO PADRÃO

FOTO 21 - GRANDE CRISTAL DE ORTOCLÁSIO PERTÍTICO (À ESQUERDA)
PARCIALMENTE SUBSTITUÍDO POR AGREGADO DE MICROCRISTAIS DE ANOR
TOCLÁSIO EM MELA-ÁLCALI-SIENITO. "LINHA" DE PIROXÊNIO (AMARELA
DO) ASSOCIA-SE AOS CRISTAIS DE ANORTOCLÁSIO. NICÓIS CRUZADOS.
AMOSTRA F7 - 46,50 m.

0 0.6 mm

FOTO 22 - ASPECTO DE NEFELINA CANCRINITIZADA (AMARELA, RÔSEA E BRANCA) ENVOLVENDO CRISTAIS DE APATITA (CINZA) EM APATITA URTITO. NICÔIS CRUZADOS. AMOSTRA F56 - 76,95 m.

0 0.6mm

FOTO 23 - NEFELINA GEISEKITIZADA SUBSTITUINDO CRISTAL DE ORTOCLÁSIO EM NEFELINA SIENITO. NICÔIS CRUZADOS. AMOSTRA F37 - 58,90 m.

FOTO 24 - CRISTAIS ZONADOS DE PIROXÊNIO (VERDE) EXIBINDO NÚ -
CLEOS MAIS EGIRÍNICOS QUE AS BORDAS EM APATITA IJOLITO, NICÓIS
PARALELOS. AMOSTRA F45 - 55,50 m,

FOTO 25 - IDEM. NICÓIS CRUZADOS.

FOTO 26 - CRISTAL DE PIROXÊNIO ZONADO, NÍCÔIS PARALELOS. AMOSTRA F12 - 85,40 m (ÁLCALI-SIENITO). A ÁREA EM DESTAQUE FOI SELECIONADA PARA OBTENÇÃO DE IMAGENS DE COMPOSIÇÃO E DE RAIOS-X (FOTOS 28 A 33); OS PONTOS 1 (NÚCLEO DO CRISTAL) E 2 (BORDA), PARA ANÁLISE POR DISPERSÃO DE ENERGIA (FOTO 27).

FOTO 27 - ANÁLISE POR DISPERSÃO DE ENERGIA. ESPECTROS DOS ELEMENTOS PRESENTES NOS PONTOS 1 E 2 DA FOTO ANTERIOR.

DETALHES DA AREA EM DESTAQUE NA FOTO 26

FOTO 28 - IMAGEM DE COMPOSIÇÃO

FOTO 29 - IMAGEM DE RAIOS-X - Fe (K_{α}) FOTO 30 - IMAGEM DE RAIOS-X - Na (K_{α}) FOTO 31 - IMAGEM DE RAIOS-X - Ca (K_{α}) FOTO 32 - IMAGEM DE RAIOS-X Al (K_{α}) FOTO 33 - IMAGEM DE RAIOS-X - Mg (K_{α})

FOTO 34 - OCORRÊNCIA DE BIOTITA PRIMÁRIA (EM ASSOCIAÇÃO EQUILIBRADA COM PIROXÊNIO) E SECUNDÁRIA (NO CANTO INFERIOR ESQUERDO, SUBSTITUINDO PIROXÊNIO) EM PIROXÊNIO BIOTITITO, NICÓIS PARALELOS. AMOSTRA F10 - 42,70 m.

FOTO 35 - ASPECTO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE PIROXÊNIO POR BIOTITA EM APATITA-BIOTITA PIROXENITO, NICÓIS PARALELOS. AMOSTRA F9 - 22,30 m.

FOTO 36 - CRISTAL DE FLOGOPITA ZONADO, NÍCOIS PARALELOS. AMOSTRA F36 - 81,50 m (VEIO DE APATITA). A ÁREA EM DESTAQUE FOI SELECIONADA PARA OBTENÇÃO DE IMAGENS DE COMPOSIÇÃO E DE RAIOS -X (FOTOS 38 A 41), E OS PONTOS 1, 2 E 3, PARA ANÁLISE POR DISPERSÃO DE ENERGIA (FOTO 37).

FOTO 37 - ANÁLISE POR DISPERSÃO DE ENERGIA. ESPECTROS DOS ELEMENTOS PRESENTES NOS PONTOS 1, 2 E 3 DA FOTO ANTERIOR.

DETALHES DA ÁREA EM DESTAQUE NA FOTO 36, COM UM GIRO DE 90°

FOTO 38 - IMAGEM DE COMPOSIÇÃO

FOTO 39 - IMAGEM DE RAIOS-X - Fe (K_α)

FOTO 40 - IMAGEM DE RAIOS-X - Al (K_α)

FOTO 41 - IMAGEM DE RAIOS-X - Mg (K_α)

FOTO 42 - BORDA DE REAÇÃO BIOTITA-FLOGOPÍTICA DESENVOLVIDA NO CONTATO ENTRE IJOLITO E VEIO DE CARBONATITO. AMOSTRA F4 - 59,60 m.

FOTO 43 - BORDA DE REAÇÃO BIOTITA-FLOGOPÍTICA DESENVOLVIDA NO CONTATO ENTRE MELA-ÁLCALI-SIENITO E VÊNULA DE APATITA, NICÓIS CRUZADOS. AMOSTRA F26 - 98,00 m.

FOTO 44 - CARBONATO-APATITA SUBSTITUINDO E ENCAPANDO CRISTAIS DE FLUORAPATITA, EM CONTATO COM CARBONATO. NICÔIS CRUZADOS. AMOSTRA F20 - 79,50 m (IJOLITO).

Biotita e piroxênio "poi quilíticos"

Concentração de apatita pavimen-
tosa com alguns cristais dispersos
de opacos e biotita "poi quilíticos"

Piroxênio e biotita "poi quilíticos"

Nefelina (geisekitizada) "poi quilí-
tica"

FOTO 46 - VÊNULA DE APATITA E PIROXÊNIO CORTANDO MELA-ÁLCALI -
-SIENITO, NICÓIS PARALELOS. AMOSTRA F26 - 44,90 m,

FOTO 47 - IDEM, NICÓIS CRUZADOS. NOTAR AGREGADO PAVIMENTOSO DE
ANORTOCLÁSIO MARGEANDO A VÊNULA.

FOTO 48 - TRANSFORMAÇÃO DE EGIRINA-AUGITA (PORÇÃO CENTRAL DO CRISTAL) EM ANFIBÓLIO SÓDICO NAS MARGENS, EM CONTATO COM CARBONATO, NICÓIS CRUZADOS, AMOSTRA F56 - 61,35 m (LUSITANITO) ,

FOTO 49 - TRANSFORMAÇÃO DE EGIRINA-AUGITA EM ANFIBÓLIO SÓDICO NAS MARGENS, EM CONTATO COM VEIO DE APATITA, NICÓIS CRUZADOS , AMOSTRA F19 - 41,60 m (APATITA PIROXENITO),

FOTO 50 - ACÍCULAS DE ANFIBÓLIO SÓDICO-CÁLCICO CONCENTRADAS EM APATITA SÓVITO. NICÓIS CRUZADOS. AMOSTRA F21 - 142,70 m.

FOTO 51 - CRISTAIS OVÓIDES DE OLIVINA DISPERSOS EM APATITA SÓVITO. NOTAR A ASSOCIAÇÃO DE APATITA AOS NÍVEIS RICOS EM OLIVINA. NICÓIS CRUZADOS. AMOSTRA F19 - 52,00 m.

FOTO 52 - CRISTAIS IDIOMÓRFICOS DE MAGNETITA COM MICROFRATURAS PREENCHIDAS POR CARBONATO E/OU APATITA, EM MAGNETITA DUNITO. NÍVEIS CRUZADOS, AMOSTRA F21 - 98,80 m,

CAPÍTULO 6

QUIMISMO

O quimismo no Complexo Alcalino de Anitápolis foi estudado à luz da análise estatística dos dados químicos alicerçada com informações petrográficas e mineralógicas.

Os dados químicos utilizados encontram-se nas TABELAS 12 a 16 e correspondem à média em intervalos de aproximadamente 5 m contínuos de testemunhos de sondagem. Como mencionado no Capítulo 1, a amostragem é considerada composta por abranger, eventualmente, quantidades subordinadas de diversos tipos petrográficos. Assim se explicariam teores anômalos de alguns óxidos em determinadas litologias (por exemplo: altos teores de CaO e baixos de SiO_2 , explicados por frações carbonatíticas na amostragem silicática).

1 ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS EM RELAÇÃO ÀS UNIDADES LITOLÓGICAS

1.1 Apresentação dos Resultados

A TABELA 17 e as FIGURAS 11 a 19 apresentam os parâmetros estatísticos calculados para nove óxidos de quatro unidades litológicas. Para a quinta unidade (carbonatitos) deixaram de se analisar Na_2O e MgO , por indisponibilidade de amostras.

A FIGURA 20 é o mapa de localização dos furos de sonda para os quais contam-se com dados químicos suficientes para o traçado de curvas de isoteores. AS FIGURAS 21 a 27 apresentam estas curvas para os diferentes óxidos analisados, tendo-se, para este fim, computado os teores médios em cada furo de sonda. Apesar da distribuição irregular dos furos e da grande variação das espessuras de rocha por eles atravessadas, as curvas de isoteores obtidas identificam-se razoavelmente com as zonas de predomínio das diferentes unidades litológicas do Complexo (FIGURA 20).

TABELA 12 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE AMOSTRAS PREDOMINANTEMENTE DA SÉRIE DOS ÁLCALI-SIENITOS

FURO	INTERVALO (m)	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃ *	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	BaO	Na ₂ O	HgO	TOTAL
26	15,3 - 20,0	2,55	9,17	4,57	55,70	12,40	8,81	0,00	3,83	2,85	99,88
26	20,0 - 25,0	3,38	7,10	5,54	53,80	12,60	9,33	0,00	2,91	3,18	97,84
26	25,0 - 30,0	2,21	10,40	5,07	54,90	11,30	8,53	0,00	3,94	3,78	100,13
26	30,0 - 35,0	2,52	9,78	6,03	54,30	10,70	8,01	0,00	3,99	4,64	100,17
26	45,0 - 50,0	2,29	8,25	6,50	53,90	10,60	8,17	0,00	3,83	4,71	98,25
26	50,0 - 55,0	3,59	8,25	10,20	51,40	9,07	6,90	0,00	4,04	4,78	98,23
19	73,0 - 78,0	5,45	9,95	23,70	36,00	4,71	3,49	0,00	2,86	5,97	92,13
19	78,0 - 83,0	6,53	11,00	19,10	41,30	5,99	4,42	0,00	3,02	5,90	97,26
19	83,0 - 89,4	8,37	9,86	23,30	33,00	5,23	3,32	0,00	3,05	6,20	92,33
18	12,0 - 17,0	1,10	8,36	3,98	56,30	12,70	9,49	0,00	3,32	4,15	99,40
18	17,0 - 22,0	3,47	9,24	9,30	51,80	9,93	7,34	0,00	2,97	5,11	99,16
18	22,0 - 27,0	2,87	6,38	7,00	53,80	11,60	8,78	0,00	3,24	4,18	97,85
18	27,0 - 32,0	1,35	9,65	6,94	56,00	10,10	7,74	0,00	3,83	5,17	100,78
18	32,0 - 37,0	0,63	10,10	6,49	55,60	10,20	7,84	0,00	3,99	4,91	99,76
18	37,0 - 42,0	3,60	9,90	12,70	50,40	7,83	5,87	0,00	3,61	5,50	99,41
18	42,0 - 47,0	2,15	11,40	11,60	51,50	7,45	5,73	0,00	3,99	5,44	99,26
18	47,0 - 52,0	2,46	10,10	10,60	51,60	8,47	6,46	0,00	3,61	5,24	98,54
18	52,0 - 57,0	1,90	10,60	8,95	52,90	9,12	7,21	0,00	4,10	4,91	99,69
18	57,0 - 62,0	2,19	9,15	7,76	53,30	10,40	7,97	0,00	3,83	4,31	98,91
18	62,0 - 67,0	3,80	9,24	12,90	46,60	8,46	6,61	0,00	3,50	5,50	96,61
55	21,3 - 25,0	1,54	12,50	5,24	54,20	10,30	7,55	0,15	4,26	4,31	100,05
55	25,0 - 30,0	2,00	12,70	7,11	51,80	8,90	6,54	0,16	4,53	4,58	98,32
55	30,0 - 35,0	1,93	11,10	7,26	52,20	9,13	6,78	0,14	4,48	4,64	97,66
55	35,0 - 40,0	2,55	12,70	9,54	51,50	7,51	5,62	0,13	4,42	5,50	99,47
55	40,0 - 45,0	2,15	8,50	6,91	52,60	10,40	7,95	0,20	3,72	4,58	97,01
55	45,0 - 50,0	3,03	11,00	8,95	54,20	9,45	6,44	0,13	3,99	4,97	102,16
55	50,0 - 55,0	7,63	10,70	14,60	43,90	7,24	5,40	0,29	3,61	4,71	98,08
55	55,0 - 59,6	9,33	13,00	16,80	45,90	6,47	4,49	0,19	3,83	5,17	105,18
27	25,7 - 30,0	2,47	9,22	7,57	53,90	10,20	7,46	0,00	3,88	5,21	99,84
27	30,0 - 35,0	2,78	8,76	8,88	53,00	10,20	7,29	0,00	3,77	4,78	99,46
27	35,0 - 40,0	2,98	11,80	11,90	51,00	7,42	5,31	0,00	3,83	5,17	99,41
27	40,0 - 45,0	3,71	11,30	12,90	49,50	7,35	5,38	0,00	4,04	5,57	99,75
27	45,0 - 50,0	5,80	10,60	15,50	44,60	6,51	4,99	0,00	3,94	5,24	97,18
27	50,0 - 55,0	5,86	9,91	14,80	45,10	7,68	5,48	0,00	3,40	5,18	97,41
27	55,0 - 60,0	4,49	12,20	15,90	45,60	5,70	4,16	0,00	3,99	5,64	97,68
27	60,0 - 65,0	2,70	10,70	11,70	49,80	8,15	6,26	0,00	3,88	5,17	98,36
27	65,0 - 70,0	2,07	9,98	10,20	52,10	9,21	6,98	0,00	3,67	5,04	99,25
27	70,0 - 75,0	4,75	10,70	13,90	47,40	7,39	5,55	0,00	3,61	5,44	98,74
27	75,0 - 80,0	4,91	11,40	14,10	46,10	6,65	5,12	0,00	4,21	5,31	97,80
27	80,0 - 85,0	2,50	8,72	9,19	51,20	9,72	7,56	0,00	3,69	4,78	97,36
24	22,2 - 25,0	1,21	6,63	5,97	56,40	12,30	9,19	0,00	3,34	4,24	99,28
24	25,0 - 30,0	2,51	8,86	9,68	53,40	9,55	7,12	0,00	3,72	5,17	100,01
32	40,0 - 45,0	1,49	7,87	7,84	53,10	10,50	7,78	0,14	5,56	5,17	99,45
32	45,0 - 50,0	1,25	7,96	6,59	52,20	10,90	8,22	0,13	3,61	4,71	95,57
32	50,0 - 55,0	1,37	7,95	7,04	52,90	10,90	8,00	0,15	3,67	4,71	96,76
32	55,0 - 60,0	3,13	11,10	11,60	50,20	8,07	5,66	0,10	3,88	5,44	99,18
32	60,0 - 65,0	3,43	7,22	8,86	51,10	11,20	8,73	0,14	3,40	4,38	97,96

* Ferro total calculado como Fe₂O₃

TABELA 13 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE AMOSTRAS PREDOMINANTEMENTE DA SÉRIE DOS NEFELINA SIENITOS

FURO	INTERVALO (m)	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃ *	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	BaO	Na ₂ O	MgO	TOTAL
26	75,0 - 80,0	7,15	9,49	17,70	42,20	5,41	4,15	0,00	3,50	4,58	94,18
26	80,0 - 85,0	6,86	11,20	15,40	43,70	6,81	5,16	0,00	3,40	4,50	97,11
26	85,0 - 88,6	7,12	12,50	17,30	45,20	5,69	4,16	0,00	3,69	5,21	100,87
19	38,0 - 43,0	6,83	13,40	19,30	34,80	6,33	3,03	0,00	3,61	6,63	93,93
19	53,0 - 58,0	6,75	12,00	19,40	35,80	7,11	3,61	0,00	3,64	8,65	96,96
19	58,0 - 63,0	5,27	9,50	24,40	30,20	5,33	3,34	0,00	2,80	6,57	87,41
19	63,0 - 68,0	2,99	9,88	11,80	48,40	8,74	6,35	0,00	3,34	5,84	97,34
19	68,0 - 73,0	8,62	11,10	23,10	30,90	5,84	3,35	0,00	3,34	5,90	92,15
29	51,0 - 55,0	10,10	9,60	30,00	26,70	4,09	1,75	0,01	2,80	5,70	90,75
29	60,0 - 65,0	5,97	11,40	23,00	34,70	6,40	1,34	0,01	2,59	5,90	91,31
29	65,0 - 70,0	6,44	12,20	26,40	26,20	4,56	3,00	0,13	1,94	6,04	86,91
29	85,0 - 90,0	8,72	13,00	23,80	30,40	5,37	2,25	0,15	2,94	5,84	92,47
29	90,0 - 95,0	8,31	11,50	23,90	30,10	6,20	2,58	0,10	2,91	6,23	91,83
38	40,0 - 45,0	4,14	8,17	19,50	35,60	9,43	5,17	0,42	-	-	82,43
38	45,0 - 50,0	5,24	8,60	27,20	25,80	6,38	4,61	0,29	1,35	5,37	84,84
22	40,2 - 45,0	5,46	12,60	17,60	40,10	7,48	2,40	0,00	5,45	5,97	97,06
22	45,0 - 50,0	4,90	11,30	16,20	43,40	9,14	3,19	0,00	5,69	6,04	99,86
39	50,0 - 55,0	8,08	12,60	18,70	37,40	6,64	4,46	0,17	-	-	88,05
39	55,0 - 60,0	6,46	10,10	17,10	38,40	8,12	4,52	0,28	2,91	5,54	93,43
39	60,0 - 65,0	5,64	10,60	14,60	45,10	8,86	5,49	0,21	3,29	5,04	98,83
39	65,0 - 70,0	2,92	7,86	12,10	46,10	11,00	6,70	0,33	3,13	5,24	95,38
39	70,0 - 75,0	2,95	9,82	14,00	43,00	8,94	5,60	0,33	2,97	5,37	92,98
39	75,0 - 80,0	3,86	8,01	19,90	31,00	4,97	3,14	0,48	1,78	5,70	78,84
39	80,0 - 85,0	2,43	6,66	11,50	45,90	12,30	6,82	0,49	2,98	4,52	93,60
39	85,0 - 89,0	2,94	6,65	15,10	44,70	6,80	6,65	0,28	2,64	4,51	90,27
32	70,0 - 75,0	5,13	12,50	16,70	42,10	7,24	3,27	0,10	4,31	6,17	97,60

* Ferro total calculado como Fe₂O₃.

TABELA 14 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE AMOSTRAS PREDOMINANTEMENTE DA SÉRIE DOS IJOLITOS

FURO	INTERVALO (m)	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃ *	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	BaO	Na ₂ O	MgO	TOTAL
19	43,0 - 48,0	6,19	13,00	17,10	36,80	7,13	3,62	0,00	3,80	9,45	97,09
37	30,0 - 35,0	5,70	11,10	18,00	38,90	8,19	2,25	0,27	3,61	6,50	94,52
37	35,0 - 40,0	3,44	10,40	14,20	41,40	9,28	3,04	0,35	4,80	6,30	93,21
37	40,0 - 45,0	4,15	10,30	15,50	38,40	7,28	4,07	0,15	3,72	11,67	95,24
37	50,0 - 55,0	3,80	11,60	26,50	19,20	3,25	1,70	0,53	2,05	6,63	75,26
37	55,0 - 60,0	1,93	6,83	13,30	41,20	11,40	4,77	0,57	4,80	5,37	90,17
36	85,0 - 90,0	7,66	15,20	16,00	29,80	8,08	3,53	0,22	-	-	80,49
36	90,0 - 95,0	12,30	24,10	23,10	20,30	3,20	1,73	0,10	-	-	84,83
36	95,0 - 100,0	10,70	17,20	21,50	30,20	5,64	2,25	0,12	3,16	6,34	97,19
36	100,0 - 106,0	7,02	12,20	18,80	36,20	7,39	2,17	0,10	3,99	6,50	94,37
45	50,0 - 55,0	7,35	15,60	17,60	35,80	7,21	3,41	0,16	-	-	87,13
45	55,0 - 60,0	5,41	12,10	17,90	40,00	9,48	2,27	0,25	3,88	6,50	97,79
42	21,5 - 25,0	4,12	16,80	15,90	33,50	8,00	3,71	0,26	3,78	6,57	92,64
42	25,0 - 30,0	4,25	16,40	17,10	31,10	6,80	2,98	1,04	3,02	6,50	89,19
42	30,0 - 35,0	4,93	17,40	16,00	30,20	5,50	2,68	2,41	2,75	6,63	88,50
42	35,0 - 40,0	3,10	19,60	13,50	36,80	7,24	3,50	0,32	2,70	11,54	98,30
42	40,0 - 45,0	3,72	16,70	14,90	32,90	8,13	2,95	1,22	2,91	6,50	89,93
42	45,0 - 50,0	6,25	17,90	19,40	28,80	4,88	2,24	0,73	2,32	6,63	89,15
42	50,0 - 55,0	3,85	16,40	18,00	34,60	6,06	2,74	0,31	2,48	6,63	91,07
42	55,0 - 60,0	2,89	17,10	8,70	37,80	13,70	4,12	0,76	4,48	6,23	95,78
42	60,0 - 65,0	4,44	19,40	16,30	33,80	6,94	2,27	0,75	2,91	6,23	93,04
42	65,0 - 70,0	2,94	14,90	12,40	38,10	11,70	3,33	0,56	4,26	6,10	94,29
42	70,0 - 75,0	3,12	15,10	16,80	31,00	8,74	2,79	0,47	3,24	6,04	87,30
42	75,0 - 80,0	4,64	21,40	15,80	29,90	7,93	2,66	0,43	3,45	6,17	92,38
42	85,0 - 90,0	9,80	10,50	22,30	27,00	5,81	2,87	0,40	2,48	6,63	87,79
42	90,0 - 95,0	12,70	8,86	23,10	27,90	5,81	3,51	0,89	2,10	6,63	91,50
42	95,0 - 100,0	5,30	13,90	17,10	33,10	7,57	2,83	0,90	3,53	6,47	90,70
50	10,0 - 15,0	4,18	15,20	13,30	38,80	13,40	3,13	0,29	-	-	88,30
50	15,0 - 20,0	4,39	14,90	14,00	37,00	11,40	3,47	0,61	-	-	85,77
50	20,0 - 25,0	4,19	15,00	14,00	36,10	8,89	4,09	0,51	-	-	82,78

* Ferro total calculado como Fe₂O₃.

TABELA 15 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE AMOSTRAS PREDOMINANTEMENTE DA SÉRIE DAS ULTRAMÁFICAS

FURO	INTERVALO (m)	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃ *	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O	BaO	Na ₂ O	MgO	TOTAL
35	30,0 - 35,0	7,90	35,60	19,10	21,90	2,26	1,42	0,10	1,83	6,17	96,28
35	40,0 - 45,0	7,32	20,50	16,40	29,50	4,61	3,55	0,12	2,32	12,07	96,39
35	45,0 - 50,0	7,22	21,50	14,30	28,10	5,51	4,47	0,12	2,26	12,60	96,08
35	55,0 - 60,0	9,84	14,40	19,00	30,30	5,33	4,15	0,13	1,78	12,47	97,40
35	60,0 - 65,0	6,20	13,00	16,40	35,20	5,78	4,00	0,23	2,48	12,60	95,89
35	65,0 - 70,0	7,46	14,00	15,20	29,50	7,86	5,08	0,40	1,83	11,54	91,87
48	11,0 - 15,0	2,10	19,20	18,90	35,20	3,95	1,76	1,42	1,81	11,48	95,82
48	15,0 - 20,0	2,54	17,40	18,60	20,00	1,56	0,88	5,37	1,40	11,41	79,16
48	20,0 - 25,0	6,78	18,80	21,20	20,40	2,32	1,42	3,16	1,89	6,50	82,55
48	25,0 - 30,0	7,83	18,80	18,40	25,70	3,16	2,20	1,40	2,97	11,27	91,73
48	30,0 - 35,0	6,24	19,90	15,80	31,10	4,73	3,28	0,85	2,59	12,34	96,83
48	35,0 - 40,0	6,93	16,60	18,80	21,30	3,71	2,44	2,81	2,00	11,54	86,13
48	40,0 - 45,0	4,76	20,70	14,40	27,30	4,66	3,04	2,66	-	-	74,52
48	45,0 - 50,0	8,84	16,40	18,80	24,90	4,19	2,61	3,16	2,53	11,80	92,23
48	50,0 - 55,0	5,43	20,90	17,00	28,90	3,35	2,04	2,02	2,37	11,67	93,70
48	55,0 - 60,0	4,04	20,10	18,30	16,30	1,23	0,64	3,09	2,05	11,54	77,29
48	65,0 - 70,0	8,64	18,70	20,10	15,70	1,56	1,08	3,78	2,16	6,37	78,09
48	70,0 - 75,0	7,26	17,10	21,90	19,00	3,07	1,86	1,53	2,46	6,47	80,65
43	31,0 - 36,0	2,89	23,60	15,90	27,90	4,53	2,85	0,00	2,26	12,47	92,40
36	40,0 - 45,0	14,00	13,40	30,10	24,30	2,51	1,45	0,10	2,10	5,97	93,93
36	80,0 - 85,0	15,60	31,40	25,10	13,20	1,56	1,05	0,10	1,19	6,37	95,57
45	15,0 - 20,0	9,34	15,40	19,70	33,00	6,86	3,55	0,14	-	-	86,99
45	20,0 - 25,0	10,10	16,20	18,80	30,50	6,10	4,00	0,11	-	-	85,89
45	25,0 - 30,0	10,90	16,80	18,80	27,80	6,31	4,43	0,13	-	-	85,17
45	35,0 - 40,0	11,20	14,40	21,70	30,40	4,68	3,24	0,11	2,21	11,54	99,48
45	40,0 - 45,0	8,65	15,80	18,40	32,90	6,35	3,73	0,16	2,32	6,63	94,94
46	15,8 - 20,0	7,16	15,90	13,30	29,10	8,00	5,92	0,00	1,89	13,00	94,27
46	20,0 - 25,0	8,21	19,60	14,20	26,80	7,33	5,67	0,00	1,56	12,60	95,97
47	26,0 - 32,0	3,43	24,40	15,90	35,00	4,45	2,25	0,00	-	-	85,43
44	34,0 - 39,0	4,96	19,10	17,40	34,20	5,49	2,95	0,00	2,64	11,80	97,54
44	49,0 - 54,0	8,86	23,60	18,50	26,00	4,44	3,50	0,00	2,43	11,27	98,60
44	64,0 - 69,0	8,85	19,30	17,50	26,00	5,10	4,38	0,00	2,16	11,80	95,09
44	69,0 - 74,0	9,53	24,70	19,20	22,00	4,26	3,71	0,00	1,89	11,54	96,83
44	74,0 - 79,0	9,70	20,10	25,50	23,20	2,38	2,08	0,00	1,67	11,41	96,04
44	79,0 - 85,0	5,90	34,50	10,60	24,30	6,31	4,98	0,00	2,00	12,47	101,06
53	19,0 - 25,0	7,74	19,80	13,70	31,10	7,04	4,86	0,13	2,53	12,07	98,97
53	25,0 - 30,0	4,35	17,60	16,70	38,00	4,94	2,72	16,00	3,40	12,34	100,25
53	30,0 - 35,0	3,43	30,50	16,00	24,90	6,17	2,63	0,13	3,23	6,37	93,36

* Ferro total calculado como Fe₂O₃.

TABELA 16 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE AMOSTRAS PREDOMINANTEMENTE DE CARBONATITOS

FURO	INTERVALO (m)	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃ *	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	BaO	Na ₂ O	MgO	TOTAL
29	75,0 - 80,0	4,17	3,24	53,90	1,23	0,26	0,01	0,01	0,81	3,71	67,34
29	95,0 - 100,0	5,76	4,93	44,90	10,20	1,78	0,61	0,01	1,40	4,91	75,31
38	50,0 - 55,0	2,79	10,10	34,00	12,00	0,16	0,10	0,59	1,08	5,70	66,43
38	55,0 - 60,0	6,17	8,62	40,90	13,80	2,66	1,94	0,12	1,19	4,84	80,24
38	60,0 - 65,0	5,56	4,26	51,50	4,13	0,61	0,47	0,10	-	-	66,63
36	35,7 - 40,0	5,12	2,92	55,20	2,12	0,23	0,01	0,10	-	-	65,70
20	75,0 - 75,9	2,07	6,10	32,60	18,70	2,57	0,61	0,01	1,62	6,37	70,65
16	22,2 - 27,0	3,41	4,51	47,90	8,47	1,57	0,26	0,00	-	-	66,12
16	27,0 - 35,0	3,35	15,90	41,10	11,20	1,03	0,11	0,00	-	-	72,69
36	45,0 - 50,0	5,07	7,09	50,90	2,79	0,01	0,01	0,10	-	-	65,88

* Ferro total calculado como Fe₂O₃.

TABELA 17 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO DOS ÓXIDOS NAS UNIDADES LITOLÓGICAS

	OXÍDOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃ *	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	BaO	Na ₂ O	MgO
ÁLCALI-SIENTOS	MEDIA	3,29	9,86	10,42	50,43	9,04	6,73	0,04	3,77	4,94
	DESVIO PADRÃO	1,91	1,63	4,53	4,93	2,00	1,54	0,07	0,47	0,64
	VALOR MÍNIMO	0,63	6,38	3,98	33,00	4,71	3,32	0	2,86	2,85
	VALOR MÁXIMO	9,33	13,00	23,70	56,40	12,70	9,49	0,29	5,56	6,20
	NÚMERO DE AMOSTRAS	47	47	47	47	47	47	47	47	47
NEFELINA SIENTOS	MEDIA	5,79	10,48	19,03	37,55	7,16	4,08	0,15	3,21	5,73
	DESVIO PADRÃO	2,06	1,95	4,92	7,02	1,98	1,56	0,16	0,97	0,88
	VALOR MÍNIMO	2,43	6,65	11,50	25,80	4,09	1,34	0	1,35	4,61
	VALOR MÁXIMO	10,00	13,40	30,00	48,40	12,30	6,82	0,49	5,69	8,65
	NÚMERO DE AMOSTRAS	26	26	26	26	26	26	26	24	24
IJOLITOS	MEDIA	6,51	14,87	16,96	33,57	7,86	3,01	0,52	3,34	6,94
	DESVIO PADRÃO	2,74	3,78	3,68	5,49	2,55	0,74	0,47	0,80	1,59
	VALOR MÍNIMO	1,99	6,83	8,70	19,20	3,20	1,70	0	2,05	5,37
	VALOR MÁXIMO	12,70	24,10	26,50	41,40	13,70	4,77	2,41	4,80	11,67
	NÚMERO DE AMOSTRAS	30	30	30	30	30	30	30	24	24
ULTRAMÁFICAS	MEDIA	7,43	20,11	18,09	26,86	4,58	3,06	0,87	2,19	10,59
	DESVIO PADRÃO	2,95	5,44	3,59	5,81	1,84	1,38	1,37	0,48	2,47
	VALOR MÍNIMO	2,10	13,00	10,60	13,20	1,23	0,64	0	1,19	5,97
	VALOR MÁXIMO	15,60	35,60	30,10	38,00	8,00	5,92	5,37	3,40	13,00
	NÚMERO DE AMOSTRAS	38	38	38	38	38	38	38	33	33
CARBONATITOS	MEDIA	4,97	4,43	52,79	2,58	0,28	0,13	0,08	-	-
	DESVIO PADRÃO	0,58	1,90	2,02	1,22	0,25	0,23	0,045	-	-
	VALOR MÍNIMO	4,17	2,92	50,90	1,23	0,01	0,01	0,01	-	-
	VALOR MÁXIMO	5,56	7,90	55,20	4,13	0,61	0,47	0,10	-	-
	NÚMERO DE AMOSTRAS	4	4	4	4	4	4	4	-	-

NOTA: * Ferro total calculado como Fe₂O₃

1.2 Discussão

O exame das Tabelas e Figuras mencionadas permite efetuar as seguintes considerações:

- os teores em SiO_2 evidenciam uma tendência de diminuição dos álcali-sienitos, (teor médio 50,43%), para os nefelina sienitos (37,55%), ijolitos (33,57%) e ultramáficas (26,86%). Os carbonatitos são extremamente pobres nesse óxido (teor médio 2,58%);

- K_2O apresenta um comportamento semelhante a SiO_2 , tendendo a diminuir dos álcali-sienitos (média 6,73%), para os nefelina sienitos (4,08%) e para os ijolitos e ultramáficas (3,01% e 3,06%, respectivamente). Nos carbonatitos os teores são invariavelmente baixos (média 0,13%);

- os teores em Al_2O_3 , embora apresentem variações pouco significativas, evidenciam uma tendência de diminuição dos álcali-sienitos (média 19,04%) para os nefelina sienitos e ijolitos (média 7,16% e 7,86%, respectivamente) e para as ultramáficas (4,58%). Os carbonatitos apresentam teores baixíssimos (média 0,28%);

- Fe_2O_3 (Fe total) apresenta uma tendência geral de variação inversa, em relação a SiO_2 , Al_2O_3 e K_2O , isto é, diminui a partir das ultramáficas (média 20,11%) para os ijolitos (14,87%), nefelina sienitos (10,48%) e álcali-sienitos (9,86%). Os carbonatitos podem apresentar teores de até 7,90%, sendo o valor médio 4,43%;

- a exemplo de Fe_2O_3 (Fe total), MgO é mais alto nas ultramáficas (média 10,59%), diminuindo nos ijolitos (6,94%), nefelina sienitos (5,73%) e álcali-sienitos (4,94%);

- os teores mais altos em CaO referem-se aos carbonatitos (média 52,79%) e os mais baixos, aos álcali-sienitos (média 10,42%). Os nefelina sienitos, ijolitos e ultramáficas não apresentam diferenças significativas (média entre 16,96% e 19,03%);

- Na_2O tem comportamento homogêneo nos álcali-sienitos, nefelina sienitos e ijolitos, com valores médios entre 3,34% e 3,77%. As ultramáficas apresentam os valores mais baixos

(média 2,19%);

- o conteúdo em P_2O_5 é relativamente variável nas unidades litológicas, conforme atestam os altos valores de desvio padrão. Apesar disso, verifica-se que o teor médio mais alto é observado nas ultramáficas (7,43%) e o mais baixo, nos álcali - sienitos (3,29%). Os carbonatitos apresentam valor médio 4,97%, sendo seguidos pelos ijolitos (5,51%) e nefelina sienitos (5,79%);

- BaO ocorre em teores pouco expressivos nas cinco unidades litológicas. Apresenta uma distribuição totalmente irregular, com valores elevadíssimos de desvio padrão em relação à média. Os teores mais elevados são anômalos e restritos às amostras do furo 49 (média do furo 5,82%) e circunvizinhos.

2 ANÁLISE DE DIAGRAMAS DE DISPERSÃO ENTRE ÓXIDOS

2.1 Apresentação dos Resultados

Os coeficientes de correlação linear entre pares de óxidos são apresentados na TABELA 18, na forma de uma matriz quadrada e simétrica.

TABELA 18 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS

ÓXIDOS	P_2O_5	$Fe_2O_3^*$	CaO	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	MgO
P_2O_5	1,00	0,40	0,52	-0,59	-0,58	-0,54	-0,46	0,38
$Fe_2O_3^*$	0,40	1,00	0,06	-0,49	-0,43	-0,45	-0,35	0,61
CaO	0,52	0,06	1,00	-0,83	-0,80	-0,80	-0,63	0,15
SiO_2	-0,59	-0,49	-0,83	1,00	0,84	0,87	0,78	-0,50
Al_2O_3	-0,58	-0,43	-0,80	0,84	1,00	0,83	0,70	-0,45
K_2O	-0,54	-0,45	-0,80	0,87	0,83	1,00	0,51	-0,40
Na_2O	-0,46	-0,35	-0,63	0,78	0,70	0,51	1,00	-0,45
MgO	0,38	0,61	0,15	-0,50	-0,45	-0,40	-0,45	1,00

* Ferro total calculado como Fe_2O_3

Os diagramas de dispersão para as variáveis que apresentaram os coeficientes de correlação mais significativos (superiores a 0,60, em módulo) encontram-se nas FIGURAS 28 a 37.

2.2 Discussão

As FIGURAS 28 a 31 correlacionam teores em óxidos inversamente proporcionais; e as FIGURAS 32 a 37, teores diretamente proporcionais. Assim, os teores em SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O e Na_2O são diretamente proporcionais entre si; e inversamente proporcionais quando correlacionados ao CaO . Do mesmo modo, os teores em Fe_2O_3 e MgO são diretamente proporcionais.

A freqüente interpenetração das nuvens de pontos observada nestes diagramas revela familiaridade química entre rochas da série dos álcali-sienitos, nefelina sienitos, ijolitos e ultramáficas. As variações encontradas delineiam claramente os rumos de passagem de uma série para a outra e, de maneira geral, os termos litológicos representados pelas análises correspondem à distribuição areal mapeada.

As principais observações extraídas desses diagramas são:

- os teores em SiO_2 e K_2O mostram uma nítida tendência de diminuição dos álcali-sienitos para os nefelina sienitos, ijolitos e ultramáficas. Nestas últimas, os teores em K_2O são bastante variados e, em grande parte, nivelados com os teores nos ijolitos e nefelina sienitos;
- Al_2O_3 e Na_2O apresentam tendências pouco nítidas, revelando valores mais baixos para as ultramáficas e relativamente nivelados, à altura dos álcali-sienitos, nefelina sienitos e ijolitos;
- os teores em MgO e Fe_2O_3 tendem a diminuir das ultramáficas para os ijolitos, nefelina sienitos e álcali-sienitos. Em relação às demais rochas, as ultramáficas caracterizam-se por apresentarem teores em MgO consideravelmente mais altos;
- os teores em CaO são mais elevados (e aproximadamente nivelados) nas ultramáficas, ijolitos, nefelina sienitos; e mais baixos nos álcali-sienitos;
- os carbonatitos ocupam, nos diagramas de dispersão, posições invariavelmente extremas e por vezes desarmônicas. Distinguem-se das demais rochas por teores muito mais elevados em CaO , e mais baixos nos demais óxidos.

3 RELAÇÕES ENTRE COMPOSIÇÕES QUÍMICAS E MINERALÓGICAS

3.1 Apresentação dos Resultados

Em vista da grande variação no conteúdo mineralógico observada nas rochas do Complexo ("rochas misturadas"), a avaliação das relações entre composições mineralógicas e químicas foi efetuada em amostras selecionadas com o fim especial de se obter os tipos mais representativos de cada divisão reconhecida na sistemática petrográfica. As TABELAS 19 e 20 apresentam os dados químicos e mineralógicos dessas amostras.

3.2 Discussão

Observa-se, nos álcali-sienitos (amostras F18 - 43,80 m e F27 - 35,00 m), que o aumento nos teores em SiO_2 , Al_2O_3 e K_2O acha-se diretamente relacionado ao aumento de ortoclásio modal e à consequente diminuição em piroxênio. Com relação aos teores em $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, MgO , CaO e Na_2O nota-se que os valores aumentam à medida em que aumenta o conteúdo de piroxênio e diminui o de ortoclásio.

Nos nefelina sienitos (amostras F4 - 32,70 m e F22 - 42,90 m) observa-se que a relação ortoclásio + nefelina/piroxênio explica grande parte das variações químicas. Assim, o aumento nesta relação implica no aumento dos teores em SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O e Na_2O , e na diminuição em $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, MgO e CaO .

Nos ijolitos (amostras F4 - 67,50 m e F54 - 25,00 m) observa-se que o aumento no conteúdo de piroxênio, em relação ao de nefelina, é o principal responsável pelo aumento nos teores em SiO_2 , $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, MgO e CaO , e pela diminuição, em Al_2O_3 , K_2O e Na_2O .

Nas ultramáficas (amostras F1 - 40,00 m; F2 - 78,90 m e F45 - 27,70 m), o aumento nos teores em SiO_2 , CaO e Na_2O , e a diminuição em Al_2O_3 , MgO e K_2O podem ser atribuídos ao aumento no conteúdo de piroxênio e à consequente diminuição de biotita. A presença de apatita e magnetita, freqüentemente em quantidades consideráveis nestas rochas, pode constituir fator determinante de altos valores em CaO e $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, respectivamente.

Finalmente, observa-se nos carbonatitos estudados (sövitos: amostras F11 - 51,50 m e F56 - 116,40 m), que os teores em CaO são os mais expressivos e relacionam-se ao conteúdo de calcita, mineral es-

sencial nessas rochas. Variações, em geral pouco significativas, nos teores de CaO são devidas à presença de minerais acessórios, como: dolomita, biotita, flogopita, apatita e opacos.

TABELA 19 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE AMOSTRAS SELECIONADAS DE GRANITO, ROCHAS ALCALI - NAS E CARBONATITO

OXÍDOS AMOSTRAS	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	P. Fogo	TOTAL
A ₂ (Leuco granito)	74,86	0,25	12,44	1,22	0,90	0,05	0,26	0,63	2,99	5,44	0,05	0,78	99,87
A ₅ (Leuco granito)	73,72	0,23	12,94	0,95	0,97	0,05	0,18	0,84	3,18	6,06	0,04	0,72	99,88
A ₁ (Alcali-sienito)	53,67	0,52	13,76	0,70	9,46	0,21	2,71	3,71	2,46	9,00	1,96	1,76	99,92
F18-43,80 m (Alcali-sienito)	61,06	0,94	16,06	0,63	1,96	0,06	0,50	2,94	1,54	12,84	0,67	0,74	99,94
F27-35,00 m (Alcali-sienito)	53,16	0,35	10,90	2,24	5,67	0,16	2,64	10,64	2,10	7,71	2,85	1,34	99,76
F4-32,70 m (Nefelina sienito)	52,95	0,64	19,17	1,74	4,07	0,10	0,81	4,49	5,08	7,56	0,42	2,74	99,77
F22-42,90 m (Malignito)	43,04	0,54	11,25	3,56	4,50	0,12	4,45	15,27	2,70	5,87	6,79	1,50	99,59
F4-67,50 m (Apatita ijolito)	43,43	1,42	11,42	2,24	10,06	0,18	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	0,13	3,42	11,65	9,69	3,10	2,72	0,97	99,61
F1-40,00 m (Apatita biotita piroxenito)	32,78	3,59	4,51	10,20	10,90	0,21	14,03	15,05	1,01	2,02	2,87	1,67	98,84
F2-78,90 m (Apatita biotita piroxenito)	34,35	2,68	4,39	12,50	11,90	0,22	10,15	15,27	0,78	2,57	3,28	0,53	98,62
F45-27,70 m (Apatita piroxênio biotitito)	29,28	1,98	7,03	7,06	6,37	0,16	12,63	17,43	0,53	4,93	8,38	3,42	99,20
F11-51,50 m (Sövito)	2,27	0,13	0,08	2,36	5,70	0,29	4,11	46,57	0,00	0,18	2,36	35,69	99,74
F56-116,40 m (Sövito)	2,04	0,28	0,55	4,26	8,91	0,24	4,01	43,22	0,00	0,42	2,64	32,95	99,52

TABELA 20 - COMPOSIÇÕES MODAIS DE AMOSTRAS SELECIONADAS DE GRANITO, ROCHAS ALCALINAS E CARBONATITO

MINERAIS AMOSTRAS	ORTOCLÁSIO	PLAGIOCLÁSIO	QUARTZO	NEFELINA	BIOTITA	PIROXÊNIO	CARBONATOS	ARFVEDSONITA	TREMOLITA-ACTINOLITA	CLORITA	FLOGOPITA	APATITA	ZIRÃO	TITANITA	FLUORITA	ALLANITA	EPÍDOTO	PREHNITA	ARGILO-MINERAIS	OPACOS
A ₂ (Leuco granito)	41,7	13,6	40,7	-	2,9	0,1	-	-	-	-	-	tr	tr	-	tr	0,1	0,4	tr	-	0,5
A ₅ (Leuco granito)	53,8	11,9	30,3	-	2,5	0,1	-	-	-	0,4	-	tr	0,1	-	-	0,3	0,6	-	-	tr
A ₁ (Alcali-sienito)	54,1	5,3	-	-	1,8	30,4	-	8,1	-	-	-	0,2	-	0,1	-	-	-	-	-	-
F18-43,80 m (Alcali-sienito)	85,5	-	-	-	-	7,7	tr	-	-	-	-	2,1	-	4,7	-	-	-	-	-	-
F27-35,00 m (Alcali-sienito)	68,3	1,2	tr	2,0	-	23,6	1,3	0,5	-	-	-	2,8	-	0,3	-	-	-	-	tr	-
F4-32,70 m (Nefelina sienito)	48,7	-	-	28,9	0,3	20,7	0,6	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	0,2
F22-42,90 m (Malignito)	38,6	0,1	-	8,5	8,3	32,3	0,3	-	-	-	-	11,7	-	-	-	-	-	-	-	0,2
F4-67,50 m (Apatita ijolito)	-	-	-	28,5	-	59,6	-	-	-	-	-	9,3	-	1,7	-	-	-	-	-	0,9
F54-25,00 m (Ijolito)	-	-	-	47,8	1,4	45,2	0,3	-	-	-	-	3,2	-	1,5	-	-	-	-	-	0,6
F1-40,00 m (Apatita biotita piroxenito)	-	-	-	-	33,0	48,0	1,0	2,3	-	-	-	5,3	-	1,2	-	-	-	-	-	9,2
F2-78,90 m (Apatita biotita piroxenito)	-	-	-	-	22,6	58,8	-	-	-	-	-	6,7	-	0,7	-	-	-	-	-	11,2
F45-27,70 m (Apatita piroxênio biotitito)	-	-	-	-	59,8	9,1	2,5	-	-	-	-	27,2	-	-	-	-	-	-	-	1,4
F11-51,50 m (Sövito)	-	-	-	-	4,2	-	72,2	-	2,4	-	-	13,7	-	-	-	-	-	-	-	7,5
F56-116,40 m (Sövito)	-	-	-	-	-	-	78,5	-	-	-	2,1	9,4	-	-	-	-	-	-	-	10,0

4 ANÁLISE FATORIAL - MODO R

4.1 Apresentação dos Resultados

Os autovalores e a porcentagem de variância obtidos são apresentados na TABELA 21. A partir destes dados selecionam-se os primeiros fatores (R_1 , R_2 e R_3) como sendo os principais, uma vez que são responsáveis por 85,66% da variância total.

As cargas dos fatores principais encontram-se na TABELA 22 e foram representadas em função das variáveis na FIGURA 38.

Os valores fatoriais foram lançados em diagramas de dispersão, obtendo-se as representações das amostras projetadas nos planos dos fatores (FIGURAS 39 a 41).

4.2 Discussão

Analisando-se as cargas mais expressivas da FIGURA 38, verifica-se que o fator R_1 é representado principalmente pela razão $[\text{CaO}]/[\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}]$. Assim, altos valores em fator R_1 significam alta porcentagem em CaO e baixa em $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$. Sob o ponto de vista de conteúdo mineralógico, o fator R_1 reflete aproximadamente as seguintes relações:

- piroxênio + apatita/ortoclásio, nos álcali sienitos;
- piroxênio + apatita/ortoclásio + nefelina, nos nefelina sienitos;
- piroxênio + apatita/nefelina, nos ijolitos;
- piroxênio + apatita/biotita, nas ultramáficas;
- calcita + apatita/minerais silicáticos, nos carbonatitos.

Do mesmo modo, o fator R_2 é representado principalmente por teores em $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$, o que, em termos mineralógicos, reflete o conteúdo em minerais máficos.

Finalmente, o fator R_3 representa principalmente teores em P_2O_5 , refletindo concentrações de apatita.

Examinando-se o diagrama do plano dos fatores R_1 e R_2 (FIGURA 39) observa-se que, dentre os valores do fator R_1 , ficam discriminados os carbonatitos e, de modo menos acentuado, as rochas ultramáficas, ambos por apresentarem invariavelmente altos teores de CaO em

relação a $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$. Em termos mineralógicos os carbonatitos destacam-se pelo alto conteúdo em calcita, e as ultramáficas por apresentarem geralmente grandes quantidades de piroxênio. Entre as ultramáficas as variações do fator R_1 se devem às diferenças no conteúdo modal entre piroxênio e biotita e, subordinadamente, à quantidade de apatita. Os álcali-sienitos destacam-se pelos teores mais altos em $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ em relação ao CaO (o que reflete um predomínio de ortoclásio sobre piroxênio), enquanto os nefelina sienitos e ijolitos, com valores menores nesta relação, não se discriminam entre si.

Em relação ao eixo do fator R_2 , o grupo de rochas ultramáficas acha-se discriminado das demais rochas por apresentar maiores teores em $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$. Tais rochas constituem-se essencialmente de piroxênio e/ou biotita. No conjunto de amostras de álcali-sienitos, nefelina sienitos e ijolitos as diferenças relativas em $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ são menos expressivas, mas percebe-se que os ijolitos tendem a apresentar os teores mais altos, tendência que deve se acentuar nos tipos máficos (melteigitos) transicionais para ultramáficas. Os carbonatitos caracterizam-se por baixos valores no fator R_2 , uma vez que, em geral, são pobres em minerais máficos e apresentam portanto baixos teores em $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$.

O exame do diagrama dos planos dos fatores R_2 e R_3 (FIGURA 40) permite constatar, no eixo do fator R_2 , que os teores em $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$, correlacionáveis ao conteúdo em minerais máficos, tendem a aumentar de acordo com a seguinte ordem: carbonatitos → álcali-sienitos + nefelina sienitos → ijolitos → ultramáficas.

No eixo do fator R_3 observa-se que os carbonatitos e os álcali-sienitos destacam-se das demais rochas por sua pobreza em P_2O_5 . Os nefelina sienitos, ijolitos e ultramáficas apresentam valores variáveis em P_2O_5 evidenciando distribuição irregular da apatita.

O diagrama do plano dos fatores R_1 e R_3 (FIGURA 41), por refletir uma combinação entre os dois diagramas anteriores, confirma as observações descritas.

TABELA 21 - AUTOVALORES E PORCENTAGENS DA VARIÂNCIA TOTAL DE CADA FATOR - ANÁLISE FATORIAL - MODO R

FATORES	AUTOVALORES	PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA TOTAL	PORCENTAGEM ACUMULADA
R_1	4,97	62,18	62,18
R_2	1,29	16,14	78,32
R_3	0,59	7,34	85,66
R_4	0,52	6,47	92,13
R_5	0,36	4,48	96,61
R_6	0,17	2,14	98,75
R_7	0,06	0,75	99,50
R_8	0,04	0,50	100,00

TABELA 22 - CARGAS DOS FATORES PRINCIPAIS (MATRIZ DOS FATORES VARIMAX) - ANÁLISE FATORIAL - MODO R

OXIDOS	F A T O R E S		
	R_1	R_2	R_3
P_2O_5	0,32	0,25	0,81
$Fe_2O_3^*$	0,01	0,85	0,32
CaO	0,90	-0,15	0,35
SiO_2	-0,85	-0,34	-0,32
Al_2O_3	-0,81	-0,27	-0,36
K_2O	-0,73	-0,22	-0,49
Na_2	-0,82	-0,36	0,57
MgO	0,26	0,86	0,48

* Ferro total calculado como Fe_2O_3

5 ANÁLISE FATORIAL - MODO Q

5.1 Apresentação dos Resultados

A TABELA 23 apresenta os autovalores e a porcentagem de variância obtidos. Foram considerados apenas os dois primeiros fatores (Q_1 e Q_2) por serem responsáveis por 97,47% da variância total.

As cargas correspondentes a cada amostra foram lançadas em gráfico, colocando-se na abcissa os valores de carga para o fator Q_1 e na ordenada, os valores para o fator Q_2 (FIGURA 42). Cabe salientar que neste gráfico o ângulo formado entre os raios correspondentes a duas amostras indica a similaridade entre ambas; e a magnitude do raio, dada pela raiz quadrada da comunalidade, se aproxima de 1 quando os fatores considerados apresentam alta porcentagem de explicação da variância.

TABELA 23 - AUTOVALORES E PORCENTAGENS DA VARIÂNCIA TOTAL DE CADA FATOR - ANÁLISE FATORIAL - MODO Q

FATORES	AUTOVALORES	PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA TOTAL	PORCENTAGEM ACUMULADA
Q_1	120,05	90,26	90,26
Q_2	9,59	7,21	97,47
Q_3	2,52	1,89	99,36
Q_4	0,33	0,25	99,61
Q_5	0,29	0,22	99,83
Q_6	0,15	0,11	99,94
Q_7	0,07	0,05	99,99
Q_8	0,01	0,01	100,00

5.2 Discussão

A FIGURA 42 informa que as amostras apresentam comunalidade próxima de 1 e se distribuem de modo a se discriminar (no sentido decrescente da relação Q_1/Q_2), em cinco grupos de rochas representando as unidades litológicas: álcali-sienitos, nefelina sienitos, ijolitos, ultramáficas e carbonatitos.

A seqüência contínua de variação química, pela qual os álcali-sienitos passam a nefelina sienitos, ijolitos e, finalmente, ultramáficas, relaciona-se ao aumento nos valores da relação $[CaO + MgO + Fe_2O_3]/[SiO_2 + Al_2O_3 + K_2O]$ o que reflete, principalmente, a diminuição em ortoclásio e/ou nefelina e o incremento em piroxênio. As presenças de apatita e biotita, freqüentemente em maiores concentrações nas rochas ultramáficas, também interferem, de modo menos expressivo, nos valores desta relação.

Os carbonatitos distinguem-se por altos valores no fator Q_1 e baixos no Q_2 . Tais rochas, de composição essencialmente calcítica, são invariavelmente ricas em CaO e pobres em $SiO_2 + Al_2O_3 + K_2O$.

Finalmente, observa-se na FIGURA 42 que a nítida discriminação dos álcali-sienitos, nefelina sienitos, ijolitos e ultramáficas, é, não obstante, gradual, com superposição das nuvens de pontos, evidenciando a familiaridade química e, possivelmente, similaridade genética, existente entre estas rochas. Além disso, a disposição dos grupos de rochas na figura obedece ao arranjo aproximadamente concêntrico das zonas mapeáveis no Complexo. Já os carbonatitos ocupam posições extremas e isoladas, com os mais baixos valores na relação Q_1/Q_2 , o que indicaria uma descontinuidade no processo que originou as demais rochas.

FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE SiO_2 FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE Al_2O_3 FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE K_2O LEGENDA

○ - VALOR MÍNIMO

● - VALOR MÁXIMO

— — INTERVALO REPRESENTANDO MÉDIA ± DESVIO PADRÃO

FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE Fe₂O₃ (Fe Total)

FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE MgO

FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE CaO

LEGENDA

- — VALOR MÍNIMO
- — VALOR MÁXIMO
- — INTERVALO REPRESENTANDO MÉDIA + DESVIO PADRÃO

FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE P_2O_5 FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE Na_2O FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE BaO LEGENDA

- — VALOR MÍNIMO
 ● — VALOR MÁXIMO
 —□— INTERVALO REPRESENTANDO MÉDIA $\pm$ DESVIO PADRÃO

FIGURA 20 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS FUROS DE SONDA COM DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES LITOLÓGICAS

FIGURA 21 - CURVAS DE ISOTEORES - PORCENTAGEM DE SiO_2

100 0 100 200 300 m

ESCALA GRÁFICA

LEGENDA

• — FURO DE SONDA

FIGURA 22 - CURVAS DE ISOTEORES - PORCENTAGEM DE Al_2O_3

FIGURA 23 - CURVAS DE ISOTEORES - PORCENTAGEM DE K_2O

100 0 100 200 300 m

ESCALA GRÁFICA

LEGENDA

• - FURO DE SONDA

FIGURA 24 - CURVAS DE ISOTEORES - PORCENTAGEM DE Fe_2O_3 (Fe Total)

FIGURA 25 - CURVAS DE ISOTORES - PORCENTAGEM DE CaO

100 0 100 200 300 m

ESCALA GRAFICA

LEGENDA

• — FURO DE SONDA

FIGURA 26 - CURVAS DE ISOTEORES - PORCENTAGEM DE P_2O_5

LEGENDA

• - FURO DE Sonda

FIGURA 27 - CURVAS DE ISOTEORES - PORCENTAGEM DE BaO

FIGURA 28 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS VALORES DE
CaO x SiO₂

%SiO₂

% Al_2O_3

FIGURA 30 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS VALORES DE
 $\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$

LEGENDA

- SÉRIE DOS ÁLCALI-SIENITOS
- SÉRIE DOS NEFELINA-SIENITOS
- SÉRIE DOS IJOLITOS
- SÉRIE DAS ULTRAMÁFICAS
- ▲ CARBONATITOS

%Na₂O

FIGURA 31 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS VALORES DE
CaO x Na₂O

LEGENDA

- SÉRIE DOS ÁLCALI-SIENITOS
- SÉRIE DOS NEFELINA-SIENITOS
- SÉRIE DOS IJOLITOS
- SÉRIE DAS ULTRAMÁFICAS
- ▲ CARBONATITOS

5

4

3

2

1

0

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

%CaO

FIGURA 32 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS VALORES DE
 $\text{SiO}_2 \times \text{Na}_2\text{O}$

LEGENDA

- SÉRIE DOS ÁLCALI-SIENITOS
- SÉRIE DOS NEFELINA-SIENITOS
- ◻ SÉRIE DOS IJOLITOS
- SÉRIE DAS ULTRAMÁFICAS
- ▲ CARBONATITOS

FIGURA 33 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS VALORES DE
 $\text{SiO}_2 \times \text{K}_2\text{O}$

FIGURA 34 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS VALORES DE
 $\text{SiO}_2 \times \text{Al}_2\text{O}_3$

% Al_2O_3

12

10

8

6

4

2

0

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

% SiO_2

LEGENDA

- SÉRIE DOS ÁLCALI-SIENITOS
- SÉRIE DOS NEFELINA-SIENITOS
- SÉRIE DOS IJOLITOS
- SÉRIE DAS ULTRAMÁFICAS
- ▲ CARBONATITOS

% K₂O

FIGURA 35 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS VALORES DE
 $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{K}_2\text{O}$

LEGENDA

- SÉRIE DOS ÁLCALI-SIENITOS
- SÉRIE DOS NEFELINA-SIENITOS
- SÉRIE DOS IJOLITOS
- SÉRIE DAS ULTRAMÁFICAS
- ▲ CARBONATITOS

FIGURA 36 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS VALORES DE
 $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Na}_2\text{O}$

FIGURA 37 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS VALORES DE
 Fe_2O_3 (Fe Total) x MgO

FIGURA 38 - REPRESENTAÇÃO DAS CARGAS DOS FATORES PRINCIPAIS
ANÁLISE FATORIAL - MODO R

* Fe TOTAL

FIGURA 39 - DIAGRAMA DO PLANO DOS FATORES R_1 e R_2
ANÁLISE FATORIAL - MODO R

FIGURA 40 - DIAGRAMA DO PLANO DOS FATORES R_2 e R_3
ANÁLISE FATORIAL - MODO R

FIGURA 41. - DIAGRAMA DO PLANO DOS FATORES R_1 e R_3
(ANÁLISE FATORIAL - MODO R)

FIGURA 42-REPRESENTAÇÃO DAS CARGAS FATORIAIS DAS AMOSTRAS-ANÁLISE FATORIAL MODO Q

CAPÍTULO 7

COMPARAÇÃO COM OUTROS COMPLEXOS MÁFICO - ULTRAMÁFICOS ALCALINOS

O Complexo Alcalino de Anitápolis é correlacionável a outros complexos importantes, tais como: Palabora (África do Sul), Fen (Noruega), Alnö (Suécia), Iron Hill (USA), Magnet Cove (USA) e alguns da Península de Kola (URSS) como os de Ozernaya Varaka e Vuori-Yarvi. No Brasil, complexos petrograficamente semelhantes ao de Anitápolis, constituídos de fenitos, sienitos, rochas da série ijolítica, rochas ultramáficas (dunitos, peridotitos, piroxenitos, glimeritos) e carbonatitos, são conhecidos em Jacupiranga, Juquiã, Ipanema, Tapira, Araxá, Salitre, Serra Negra, Catalão e Itapirapuã.

As características mais importantes desses complexos encontram-se resumidas no QUADRO 2 de modo a permitir uma visualização comparativa com o de Anitápolis. A escolha dos complexos que servem à comparação foi baseada em critérios de semelhança, no todo ou em parte, quanto aos tipos de mineralização, petrografia e estrutura.

Examinando-se o QUADRO 2 verificam-se várias semelhanças petrográficas, estruturais e de mineralização, inexistindo, todavia, com plena identidade. Além disso, as comparações não descem a detalhes, já que nem todos os complexos são suficientemente conhecidos e, certamente, não sofreram erosão ao mesmo nível.

Apesar destas restrições, vale registrar, dentre os complexos brasileiros, a semelhança da mineralização apatítica entre Anitápolis, Araxá e Catalão I. Nos três casos os teores de apatita são mais elevados nas rochas carbonatizadas do que nos próprios carbonatitos, com as zonas mais ricas formando massas de dimensões até métricas; não constituem faixas de grande continuidade, mas se distribuem por áreas de extensão apreciável. Nos três casos os carbonatitos são predominantemente soviéticos, relativamente pobres em fosfato e ocorrem na forma de veios e venulações nas rochas básico-ultrabásicas. Mineralizações de magnetita, barita, Nb e terras raras, que apresentem possibilidades de aproveitamento em Araxá e Catalão I, ocorrem também em Anitápolis, se bem que em teores menos elevados.

Apatita economicamente aproveitável ocorre também nos Complexos

de Jacupiranga e Juquiã, mas a rocha hospedeira forma "plugs" de carbonatito calcítico e dolomito-ankerítico, respectivamente.

Os Complexos de Fen e Alnð apresentam características petrográficas e estruturais claramente diversas das de Anitãpolis. Vale, en tretanto, registrar a similaridade do metassomatismo alcalino entre Alnð e Anitãpolis. Em ambos verifica-se a gradação completa da rocha encaixante fenitizada para fenitos quartzo sieníticos, sieníticos alal calinos e, por fim, nefelina sieníticos.

Os Complexos de Ozernaya Varaka e Vuori-Yarvi (da Península de Kola - URSS) apresentam analogias petrográficas com o de Anitãpolis. A estrutura geral é comum aos três complexos, ocorrendo rochas piroxeníticas no centro; rochas da série ijolito-urtito e híbridas diversas nas zonas intermediárias; e fenitos e sienitos metassomáticos ou reomórficos, nas bordas. À semelhança de Anitãpolis, os carbonatitos de Kola são sdvíticos, e consistem de veios e venulações cortando espe cialmente piroxenitos e rochas ultramáficas afins.

O Complexo de Palabora não apresenta uma auréola extensa de fenitos, e os carbonatitos ocorrem na forma de "plugs" bem desenvolvidos. Contudo, a mineralização apatítica é comparável à de Anitãpolis; escassa nos carbonatitos e abundante nas rochas ultramáficas (essencialmente piroxenitos). Sulfetação associada aos estágios hidrotermais finais ocorrem tanto em Palabora como em Anitãpolis. No primeiro caso ocorre um corpo de carbonatito estéril circundado por foskoritos, ambos introduzidos por um "plug" ramificado de carbonatito mine ralizado em cobre. Em Anitãpolis, sulfetos de Pb, Zn e Cu constitu em anomalias geoquímicas, não atingindo viabilidade de exploração.

O Complexo de Usaki, como o de Anitãpolis, é intrusivo em granit óides afetados por metassomatismo alcalino, com gradação completa de fenitos quartzo-feldspáticos até fenitos ijolíticos. Ao contrário de Anitãpolis, predominam no núcleo, ijolitos e urtitos magmáticos, portadores de xenólitos de piroxenitos. Um nível de erosão mais profundo explicaria os aspectos de piroxenitos "in situ" no Complexo de Anitãpolis e de deslocação em Usaki.

O Complexo de Wasaki é essencialmente carbonatítico, mas vale registrar o caráter metassomático associado a esta litologia. As brechas e aglomerados desse complexo, ricos em ortoclásio, atestam a

presença de potássio no magma carbonatítico. Em Anitápolis as venulações carbonáticas são responsáveis pelo metassomatismo potássico que levou à formação de bandas biotíticas nos contatos com rochas silicáticas e, possivelmente, propiciou a biotitização parcial dos piroxênios nas ultramáficas.

O Complexo de Iron Hill assemelha-se ao de Anitápolis por apresentar uma auréola de fenitos no contato com as rochas encaixantes (especialmente graníticas), pela presença de piroxenitos, ijolitos e nefelina sienitos, e pela grande quantidade de veios carbonatíticos cortando as rochas silicáticas. No entanto, a ausência de zoneamentos entre as rochas alcalinas, a presença de um corpo carbonatítico e a abundância de uncomphgritos e rochas magnetito - perovskíticas constituem características distintas do Complexo de Iron Hill em relação ao de Anitápolis.

QUADRO 2 - SINOPSE DAS CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS COMPLEXOS MÁFICO - ULTRAMÁFICOS ALCALINOS

COMPLEXO REFERÊNCIA	IDADE (m.a.)	LITOLOGIAS	CARACTERÍSTICAS GERAIS
ANITÁPOLIS Santa Catarina - Brasil	129	Álcali-sienitos, mela-álcali-sienitos, nefelina sienitos, malignitos, shonkinitos, urtitos, ijolitos, melteigitos, piroxenitos, biotita piroxenitos, biotititos, magnetita dunitos e veios de carbonatito geralmente sóvítico. Mineralização apatítica associada principalmente às rochas máficas e ultramáficas. Sulfetos de Fe, Cu, Pb e Zn ocorrem esporadicamente.	Complexo situado em depressão morfológica circular de 15 km ² . Compreende um corpo arredondado de 6 km ² , circundado por granitos pré-cambrianos. As rochas alcalinas ocorrem em quatro faixas concêntricas organizadas, da borda para o centro, em: zona álcali-sienítica, zona nefelina sienítica, zona ijolítica e zona ultramáfica; todas cortadas por veios de carbonatito. Intenso metassomatismo afetou as rochas do Complexo e os granitos encaixantes, com desenvolvimento de estruturas minerais de substituição e formação de fenitos.
IPANEMA São Paulo - Brasil APS & BORN (1975)	123	Glimeritos biotíticos, fenitos, veios de carbonatito sóvítico e de egrina + hastingsita + apatita e diques de shonkinito. Mineralizações de apatita e magnetita.	Intrusão de 13 km ² que soergueu o embasamento cristalino e sedimentos do Grupo Tubarão. Consiste em um núcleo de rocha glimerítica rodeado por fenitos e sienitos, sendo o metassomatismo decrescente lateralmente. Nos glimeritos ocorrem veios e venulações portadoras de egrina-augita, hastingsita e apatita; e carbonatito isento de apatita. Nos fenitos ocorrem veios de mica, apatita e magnetita.
ITAPIRAPUÁ São Paulo - Brasil GOMES & DUTRA (1970)	103	Nefelina sienitos, melteigitos, malignitos, pulaskitos, tinguaitos e carbonatitos. Mineralização de magnetita.	Maciço irregular de 4 km ² , alongado para NW, encaixado em granitos que se apresentam parcialmente fenitizados. Dominam os nefelina sienitos, nos quais ocorrem brechas magmáticas tardias e segregações de magnetita. Carbonatitos sóvíticos, ricos em ortoclásio, cortam os sienitos na forma de veios irregulares na parte central do maciço.
JACUPIRANGA São Paulo - Brasil MELCHER (1966)	130	Peridotitos, piroxenitos, ijolitos, jacupiranguitos, carbonatitos, nefelina sienitos, fenitos e diques de essexito, ijolito, monchiquito e tinguaito. O carbonatito é sóvítico com os acessórios: dolomita, apatita, magnetita, forsterita, clinohumita, flogopita, pirita, pirrotita, galena, ilmenita, espinelio, pirocloro, badeleita, barita e perowskita. Mineralização apatítica associada aos carbonatitos.	Complexo oval de 65 km ² , encaixado em xistos e granodioritos pré-cambrianos do Grupo Açungui. Na parte norte do núcleo peridotítico ocorrem piroxenitos, ijolitos e jacupiranguitos. Na parte sul, um corpo de jacupiranguito diferenciou-se parcialmente para ijolitos. Um corpo carbonatítico central é formado por dois "plugs" justapostos, de composição notavelmente homogênea, mineralizados a apatita. Nas bordas ocorrem fenitos e nefelina sienitos resultantes da remobilização reomórfica dos primeiros.
JUQUIÁ São Paulo - Brasil BORN (1971)	127	Peridotitos, piroxenitos, álcali-gabros, jacupiranguitos, ijolitos, melteigitos, nefelina sienitos, pulaskitos e carbonatitos. Mineralizações de apatita, barita, magnetita e pirocloro.	Complexo irregular de aproximadamente 14 km ² , intrusivo em gnaisses pré-cambrianos, parcialmente fenitizados, próximo ao contato com as rochas alcalinas. O complexo tem estrutura zonada, dominando os piroxenitos com gradações para peridotitos e variedades feldspáticas; estes foram intrudidos por sienitos e, no centro, por carbonatitos dolomito-ankeríticos de duas fases distintas.

continua

continuação

COMPLEXO REFERENCIA	IDADE (m.a.)	LITOLOGIAS	CARACTERÍSTICAS GERAIS
SALITRE Minas Gerais - Brasil SOUZA FILHO (1974)	81	Egirina sienitos, foiaitos, jacupiranguitos e rochas híbridas, carbonatitos, traquitos e diques de tinguaito. Associados ocorrem carbonato, apatita, perowskita, magnetita e minerais de Nb, Th, U e terras raras.	Complexo grosseiramente oval, de 65 km ² , com estrutura fortemente dômica, intrusivo em metapelitos pré-cambrianos. Pre dominam rochas sieníticas alcalinas. Uma pequena exposição de rocha apatítica (80% apatita) formou-se, aparentemente, por substituição de carbonatito. Imediatamente a NW ocorre pequena intrusão de 6,5 km ² constituída predominantemente por rochas jacupiranguíticas.
SERRA NEGRA Minas Gerais - Brasil SOUZA FILHO (1974)	82	Dunitos e piroxenitos, peridotitos, jacupiranguitos, shonkinitos e carbonatitos. Mineralizações de pirocloro, Th e U.	Maciço ultrabásico alcalino circular de 90 km ² , com estrutura dômica, em metassedimentos pré-cambrianos (Grupo Bambuí). Predominam as rochas ultrabásicas. Rochas alcalinas aparecem apenas nas porções periféricas, tratando-se de jacupiranguitos e shonkinitos.
TAPIRA Minas Gerais - Brasil SOBRINHO (1974)	70	Rochas ultrabásicas variadas, especialmente da série piroxenito-jacupiranguito com apatita essencial, sienitos alcalinos, fonólitos, rochas piroclásticas e carbonatitos dolomíticos. Mineralizações de apatita, perowskita, pirocloro, anatásio, vermiculita, magnetita, Nb, Ti, Th, U e terras raras.	Complexo ultrabásico alcalino de 35 km ² , encaixado em quartzitos e xistos pré-cambrianos (Grupo Canastra). É cortado por intrusões, apófises e diques de sienitos alcalinos. O carbonatito pode ser de origem magmática ou metassomática. Por segregação do magma ultrabásico (jacupiranguítico) formaram-se agregados de magnetita e perowskita com alto teor de urânio.
ARAXÁ Minas Gerais - Brasil ULBRICH & GOMES (1981)	91	Piroxenitos, jacupiranguitos, malignitos, limburgitos, foiaitos, tinguaitos e carbonatitos (sövitos). Mineralizações de apatita, pirocloro, titano - magnetita, barita, Nb, Th, U, Ti e terras raras.	Complexo circular com diâmetro de aproximadamente 6 km, intrusivo em quartzitos e filitos do Grupo Araxá, que se apresentam em estrutura dômica. Devido ao espesso manto de intemperismo pouco se sabe acerca das relações espaciais entre as litologias. Os piroxenitos, peridotitos e glimeritos são cortados por veios de carbonatito e mostram carbonatização.
CATALÃO I Goiás - Brasil CARVALHO (1974)	83	Glimeritos, peridotitos serpentinizados, piroxenitos, sienitos e carbonatitos sövíticos. Mineralizações de pirocloro, anatásio, magnetita, apatita, barita, vermiculita, Nb, P, Ti, Fe e terras raras.	Complexo circular de 27 km ² , intrusivo em xistos pré-cambrianos do Grupo Araxá, os quais estão parcialmente fenitizados. Predominam as rochas ultrabásicas, sendo os sienitos alcalinos subordinados. O complexo é cortado por veios de sövito e em profundidade parece ocorrer um "plug" carbonatítico capeado por silixitos.
FEN Noruega BARTH & RAMBERG (1966)	565	Rochas da série ijolito-melteigito-urtito, kimberlitos, tinguaitos, lampröfiro, carbonatitos (sövito, rauhaugito, rödberg e hollaito) e fenitos. Mineralizações de hematita e pirocloro.	Complexo subcircular de aproximadamente 8 km ² , intrusivo em gnaisses arqueanos, fenitizados próximo aos contatos. Na parte SW ocorrem rochas da série ijolito-melteigito-urtito, rochas ultramáficas (vibetoito). A maior parte do complexo consiste em corpos carbonatíticos de três tipos: sövito (calcita), rauhaugito (ankerita) e rödberg (hematita + carbonato). Ocorre ainda pequena exposição de hollaito (piroxênio carbonatito) e inúmeros "pipes" de kimberlitos xenolíticos.

continua

continuação

COMPLEXO REFERENCIA	IDADE (m.a.)	LITOLOGIAS	CARACTERÍSTICAS GERAIS
ALNO Suécia ECKERMANN (1966)	550	Carbonatitos (sövitos), fenitos sieníticos diversos, juvitos, ijolitos, foiaitos, melteigitos, malignitos, jacupiranguitos, kimberlitos e beforsitos.	Complexo de aproximadamente 4 km de diâmetro, intrusivo em migmatitos pré-cambrianos. Consiste em um núcleo de carbonatito sövítico circundado por zonas concêntricas de fenitos e nefelina sienitos, gradando para fenitos sieníticos e quartzo sieníticos; e migmatitos fraturados. Nesta última zona ocorrem corpos de rochas ultrabásicas alcalinas em arcos incompletos e diques de beforsito, melilitito, kimberlito, foiaito e tinguaito.
OZERNAYA VARAKA Kola - URSS GITTINS (1966)	350	Piroxenitos, pegmatitos ultrabásicos, ijolitos, melteigitos, nefelina sienitos, cancrinita sienitos, urtitos, carbonatitos (sövitos) e fenitos.	Complexo circular de 1 km de diâmetro, intrusivo em gnaisses arqueanos fenitizados numa auréola de 10 - 600 m. Na parte central dominam piroxenitos alcalinos em porções pegmatíticas contendo principalmente anfibólio. Em torno destes há um anel incompleto de ijolitos e pequenos corpos de melteigito. Nos ijolitos ocorrem pequenos corpos de urtito que gradam para nefelina sienitos. Carbonatitos ocorrem como veios e diques de espessura inferior a 1,5 m.
VUORI-YARVI Kola - URSS GITTINS (1966)	350	Piroxenitos, ijolitos, melteigitos, jacupiranguitos, malignitos, rochas com apatita + olivina e com apatita + olivina + calcita, e carbonatitos sövíticos com pouca dolomita.	Complexo anelar de forma elíptica, de aproximadamente 20 km ² , intrusivo em gnaisses arqueanos fenitizados. Consiste de uma massa central de piroxenitos rodeada por um anel completo de ijolitos, melteigitos, jacupiranguitos e malignitos. Nos piroxenitos ocorrem lentes e corpos de rocha constituídos por apatita e olivina, podendo haver calcita. Ocorrem também veios, diques ou corpos irregulares de carbonatito no anel; desenvolvendo-se tremolita e flogopita nos contatos com os piroxenitos.
PALABORA África do Sul PALABORA MINING COMPANY (1976)	>2060	Piroxenitos (em parte feldspáticos), pegmatitos ultrabásicos, sienitos, fenitos, carbonatitos e foskoritos. Mineralizações de apatita, magnetita titanífera, vermiculita e sulfetos de cobre.	Complexo de forma alongada irregular, de aproximadamente 16 km ² , intrusivo em gnaisses arqueanos. Formado por várias fases intrusivas, iniciando-se com um corpo de piroxenito (feldspatizado nas bordas com a encaixante). Posteriormente introduziram-se vários "plugs" de sienito, seguidos de uma fase intrusiva-metassomática, na qual foram-se pegmatitos ultrabásicos e fenitos. Nesta fase, originou-se também, um "plug" central de carbonatito bandado, circundado por foskoritos. Em uma última fase ocorreu a injeção forçada de um carbonatito discordante.
USAKI Kenia LE BAS (1977)	10 a 18	Fenitos, ijolitos, urtitos, melteigitos, piroxenitos e apatita piroxenitos.	Complexo oval de aproximadamente 6 km ² , intrusivo em granitóides fenitizados. Estes apresentam gradação completa de fenito quartzo-feldspático para fenito ijolítico e equivalentes reomórficos. O núcleo da intrusão consiste em ijolitos e microijolitos com diápiros de urtitos, em parte portadores de wollastonita. Xenólitos de piroxenito e melteigito ocorrem nas litologias magmáticas e constituem testemunhos de evento magmático inicial, piroxenítico.

continua

continuação

COMPLEXO REFERÊNCIA	IDADE (m.a.)	LITOLOGIAS	CARACTERÍSTICAS GERAIS
WASAKI Kenia LE BAS (1977)	10 a 18	Fenitos e carbonatitos.	Complexo circular de aproximadamente 30 km ² , intrusivo em embasamento granodiorítico. Constitui-se basicamente de carbonatitos sôvíticos, em parte enriquecidos em óxidos de ferro, de várias fases intrusivas. Ocorrem ainda brechas e aglomerados carbonáticos por vezes ricos em ortoclásio. As rochas encaixantes apresentam-se fortemente fenitizadas devido a metassomatismo potássico.
MAGNET COVE USA HYNDMAN (1972)	-	Ijolitos, carbonatitos, traquitos, fonólitos, nefelina sienitos, jacupiranguitos e lamprôfids.	Complexo anelar com diâmetro de aproximadamente 3 km, intrusivo em sedimentos paleozóicos. Consiste em um núcleo ijolítico com carbonatitos, circundado por um anel intermediário de fonólitos e traquitos, e um anel externo de nefelina sienitos. Perifericamente ocorrem dois pequenos corpos de jacupiranguito. A gênese proposta para o complexo explica as diferentes litologias como resultado de cristalização fracionada de magma fonolítico rico em máficos.
IRON HILL USA HEINRICH (1966)	525 a 583	Piroxenitos, carbonatitos (dolomíticos e/ou calcíticos), uncomphgritos, ijolitos, nefelina sienitos e fenitos. Mineralizações de magnetita, perowskita, Nb, Th e terras raras.	Complexo grosseiramente oval de aproximadamente 30 km ² , intrusivo em granitos, xistos, gnaisses e anfibolitos pré-cambrianos. Predominam piroxenitos (comumente associados a rochas magnetito-perowskíticas) e carbonatitos (um corpo ocupando cerca de 20% da área total do complexo e também em vênulas irregulares). Uncomphgritos e ijolitos constituem corpos irregulares no interior dos piroxenitos. No contato entre o corpo alcalino e as rochas encaixantes (especialmente as graníticas) desenvolvem-se faixas de fenitos, com até 500 m de espessura.

CAPÍTULO 8

EVOLUÇÃO PETROGÊNÉTICA

Muito pouco se pode afirmar sobre a petrogênese e sucessões intrusiva e/ou metassomática vigentes no Complexo de Anitápolis. As in formações de campo pouco ou nada esclarecem, dada a quase total ausência de afloramentos "in situ".

Uma seqüência de cristas em disposição anelar, morfologicamente muito nítida, interrompendo estruturas lineares N-S e NE-SW (FIGURAS 3 e 4) permite supor que o Complexo de Anitápolis se instalou em zona de intersecção de fraturas (geoclases?) antigas, desenvolvendo, em época cretácea, vulcão(ões) e outras manifestações extrusivas, agora totalmente erodidas. Incidentalmente deve-se ressaltar o contro le estrutural exercido na localização intrusiva pelo falhamento N-S paralelo à borda leste da Bacia do Paraná. Ignora-se a existência de "rifts" associados ao magmatismo alcalino sul-brasileiro, tal como a acontece no leste africano. Identicamente não se pode dizer que tais manifestações se relacionem às perturbações tectônicas ao nível das junções cráton - faixas orogenéticas marginais pré-cambrianas; as idades muito mais jovens das alcalinas são incompatíveis com a idéia. Parece mais cabível assumir que o Complexo de Anitápolis se incorpore a uma cadeia de intrusões alcalinas mesozóicas tectonicamente relacionadas às bordas da Bacia do Paraná e independentes de qualquer estruturação pré-cambriana.

ALMEIDA (1983) afirma ser impossível por ora relacionar-se claramente as rochas alcalinas da "Província Santa Catarina" (onde se inclui o Complexo de Anitápolis) com a tectônica regional. Ressalta, contudo, a possibilidade de que o magma alcalino tenha ascendido através de fraturas profundas, desenvolvidas ou reativadas durante os movimentos verticais opostos ocorridos entre o Arco de Ponta Grossa e o Sinclinal de Torres, durante o Mesozóico.

Não se conta também com dados para fazer interpretações sobre a profundidade de alimentação magmática (crosta inferior?, manto superior?), nem mesmo sobre a natureza do magma primário. As conclusões petrogenéticas a que se pode chegar são produto apenas de raras in-

formações de campo e de dados pertinentes extraídos de análises petrográficas e químicas realizadas em testemunhos de perfurações pouco profundas.

A estrutura anelar com sua porção interior rebaixada e a ocorrência, no campo, de numerosos blocos de tinguaito a sua volta, são as evidências disponíveis para se propor a existência eventual de dique(s) anelar(es) ou "cone sheets" cicatrizando as fraturas de um bloco em subsidência. Estas estruturas vulcânicas subsuperficiais e raros outros dados, como, por exemplo, a forma de ocorrência dos carbonatitos, preferencialmente em vênulas difundidas por todo o corpo alcalino, atestam a pequena profundidade da intrusão. Em outras palavras, a erosão pós-cretácea tendo varrido tufos, lavas e rochas superficiais, escavou não mais que o topo da estruturação subvulcânica, possivelmente correspondendo ao nível da coluna plutônica superior de GARSON (1966).

A análise dos testemunhos permite ainda inferir que as rochas do corpo alcalino variam textural e composicionalmente mesmo em pequenas distâncias, tornando a delimitação das unidades mapeáveis uma questão de interpretação estatística dos dados de sondagem (ANEXOS A a D). Esta extrema heterogeneidade estrutural é característica das "rochas de mistura" ("mixed rocks" de HEINRICH, 1966). KING & SUTHERLAND (1960) sugerem, para explicar a origem dessas estruturas em vários complexos africanos, os seguintes eventos:

- a) uma primeira fase de melteigito-piroxenito é invadida por ijolito, formando com a rocha hospedeira, massas venuladas, xenólitos e "schlierens" desligados;
- b) sucedem-se venulações discordantes variando a granularidade de média a pegmatítica e chegando a composição até urtitos;
- c) desenvolvimento de fases pegmatíticas com estrutura de pente ("comb structure") pronunciada e imprimindo ao conjunto um bandamento em larga escala.

Este mesmo tipo de estruturação é observado em Anitápolis, devendo-se entretanto salientar que também nefelina sienitos e álcali-sienitos se envolveram no processo de mistura.

A conclusão tirada por KING & SUTHERLAND (op. cit.), parcialmente aplicável a Anitápolis, é a de que piroxenitos (e melteigitos) for-

mam a fase magmática mais antiga, sendo os ijolitos a urtitos seus produtos de diferenciação, injetados posteriormente. Para Anitápolis, razões de ordem textural adiante analisadas introduzem um elemento de complicação no esquema magmático; o metassomatismo (femitização) e reomorfismo (remobilização) parecem adquirir grande importância, especialmente na geração das frações ijolíticas. Ainda baseando-se na estruturação dos testemunhos de sondagem, os carbonatitos seriam os últimos líquidos magmáticos injetados no conjunto, embora aqui a microscopia lhes atribua papel metassomatizante de algum destaque.

1 OS BIOTITA PIROXENITOS E ROCHAS AFINS

A geração de magma alcalino, especialmente o máfico, em complexos carbonatíticos, tem sido objeto de especulações extremamente variadas, expostas na literatura petrológica dos últimos trinta anos.

HYNDMAN (1972) sumariza as hipóteses observando que:

- magma máfico alcalino pode se formar por fusão parcial do peridotito mantélico, sob altíssimas pressões (JOHNSON, 1966); a cristalização fracionada enriqueceria o magma de voláteis para formar kimberlito ou carbonatito (OHARA, 1965);
- rochas alcalinas máficas se formariam por reação de magma carbonatítico primário com rochas crustais envolventes (ECKERMANN, 1966; DAWSON, 1966 e outros);
- rochas alcalinas máficas poderiam originar-se da dessilicação de material da crosta inferior ou manto superior, atravessados por fluxo persistente de vapor aquoso, localizado acima de uma célula de convexão ascendente (CURRIE, 1970).

LE BAS recentemente (1977) erigiu um modelo petrogenético pelo qual um magma ultramáfico alcalino rico em voláteis se derivaria de regiões mais profundas (100 - 200 km) por mínimas porcentagens (< 1%) de fusão parcial do manto pirolítico contendo 0,1% de H₂O. Sua ascensão pela crosta até a superfície pode ser rápida, moderada ou lenta, ocasionando, por diferentes processos, a formação de variados produtos, desde kimberlitos até lavas nefeliníticas e carbonatíticas. Peridotitos e piroxenitos encontrados a pequena profundidade se expli-

cariam por processos sucessivos de lenta ascensão daquele magma primário, retenção de voláteis, fracionamento de minerais máficos e álcalis, imiscibilidade líquida; conseqüente formação de fusão silicática (complementar de fluidos silicático-carbonáticos) e renovado fracionamento de piroxênio e olivina.

Por outro lado não se pode descartar o papel da diferenciação magmática por difusão, considerada por diversos autores muito importante na formação de máficas e ultramáficas alcalinas. TOMKEIEFF (1961), por exemplo, em trabalho de síntese sobre os complexos alcalinos da Península de Kola e da Sibéria, admite migração iônica em magmas, conduzindo a uma diferenciação por difusão no próprio magma. Assim, para o Complexo de Gremiakha-Virmes, o autor admite a existência de um magma piroxenítico enriquecido em álcalis. Um magma nestas condições, com composição próxima de melteigito, por ação combinada de cristalização e difusão diferenciadas, poderia produzir uma fase fundida ijolítica e uma cumulativa correspondente a jacupiranguito. Deste modo, TOMKEIEFF (op. cit.) considerou um magma máfico, rico em álcalis, voláteis e fluidos, quimicamente muito ativo, transportando grande quantidade de agentes metassomatizantes. Tal magma profundo, ao ascender, introduzindo-se em rocha regional granítica, transformava-se primeiramente em fenito e depois, gradualmente, em fenito mais nefelinizado, o qual em determinada fase mobilizar-se-ia ou formaria um híbrido entre granito e ijolito. A mobilização de líquido em estágio final de fenitização (reomorfismo) é uma idéia já defendida desde 1948 por ECKERMANN, para o Complexo de Alnö.

Diversos fatores têm sido considerados como condicionadores da difusão em magmas. BILIBIN (1940) "apud" TOMKEIEFF (op. cit.) considera que, durante o resfriamento das partes marginais da câmara magmática, ocorre uma difusão de moléculas em direção à periferia e que os elementos de baixo potencial iônico (como por exemplo os álcalis e os voláteis) sendo mais móveis, devem acumular-se na fase fundida do magma. KHITAROV (1958) "apud" TOMKEIEFF (op. cit.), destaca a importância da água, além dos voláteis, durante o processo de diferenciação. TOMKEIEFF (op. cit.) salienta que não se pode afirmar que a mobilidade esteja condicionada ao tamanho dos íons ou, como admite SZADECKY-KARDOSS (1954, 1960) "apud" TOMKEIEFF (op. cit.), à densidade relativa dos íons envolvidos.

No caso do Complexo Alcalino de Anitápolis, o magma piroxenítico poderia ter sua origem ligada a processo semelhante ao apresentado por TOMKEIEFF, ou seja: diferenciação magmática por difusão e cristalização de magma melteigítico.

Todas as séries litológicas de Anitápolis exibem teores de K_2O mais altos que a média mundial para complexos ijolítico-carbonatíticos, teores estes elevados desde o primeiro estágio petrogenético até agora suposto ígneo (cristalização de biotita piroxenitos). A presença de quantidades consideráveis de biotita primária em íntima e equilibrada associação com piroxênios nos ultramafitos de Anitápolis (FOTO 17) requer a admissão de condições petrogenéticas peculiares e exclusivas. Propõe-se aqui que:

- a) um magma máfico alcalino profundo, gerado por qualquer dos mecanismos sugeridos anteriormente, teria incorporado teores anômalos de potássio na crosta inferior ou mesmo no manto;
- b) assim composto, um magma melteigítico potássico ascenderia através da crosta onde, em câmara magmática, cristalizaria cumulativamente os ultramafitos, deixando um resíduo fundido ijolítico ainda relativamente potássico.

O mecanismo de incorporação precoce de potássio é ainda especulativo, mas WONES (1979) argumenta que magmas ricos em potássio podem ser produzidos a partir de magmas basálticos, por fusão parcial ou assimilação de porções de um manto ou crosta potássica. Acrescenta ainda, aquele autor, que a fusão parcial de um piroxenito biotítico ou a assimilação de biotita por um magma basáltico requerem zonas ricas em biotita, na crosta inferior ou manto. Zonas biotíticas em tais locais poderiam ter sido criadas por metassomatismo potássico ou acumulações máficas na base de colunas graníticas. Assim, tanto o metassomatismo profundo como os eventos de fusão precoce podem explicar concentrações de K_2O na área fonte (manto superior).

No presente trabalho considera-se que, por qualquer dos mecanismos acima, gerou-se, em profundidade, um magma de composição biotita-piroxenítica, o qual, injetado em níveis superiores, teria produzido os termos ultramáficos (piroxenitos, biotititos e, preferencialmente, biotita piroxenitos).

Além dos biotititos ígneos acima mencionados, algumas outras particularizações biotíticas de granulação extremamente grosseira

(centimétrica) associadas a zonas de fraturas (falhas?) são sugestivas de metassomatismo tardio ou, ao menos, recristalização de biotitas por ação de fluidos metassomáticos.

Ao microscópio observa-se corriqueiramente biotita, tanto em associação equilibrada com piroxênio (FOTO 17), como substituindo-o ao longo de clivagens ou porções periféricas (FOTO 35). Este último caso evidencia um processo de substituição (biotitização) possivelmente explicado por ação deutérica ou pelos mecanismos descritos por GITTINS et alii (1975), onde a ação metassomatizante causadora de flogopitização em piroxenitos é atribuída a fluidos ricos em álcalis, provenientes do magma carbonatítico.

O estudo microscópico pode não ser conclusivo, mas depreende-se que a biotitização foi um processo volumetricamente pouco significante nas ultramáficas de Anitápolis.

Além das feições texturais homogêneas (FOTO 17), com inexpressivas evidências de metassomatismo, os biotita piroxenitos apresentam ainda uma outra particularidade que poderá confirmar sua origem ígnenea. Tais rochas se intercalam em determinados testemunhos com rochas provisoriamente classificadas, como magnetita dunitos hidrotermalizados (FOTO 18). Nestas condições, os corpos duniticos poderão eventualmente ser interpretados como xenólitos incorporados ao magma ascendente biotita-piroxenítico.

2 AS ROCHAS METASSOMÁTICAS

A distribuição aproximadamente concêntrica das diferentes unidades litológicas, com os termos máficos ocorrendo preferencialmente nas partes centrais, topograficamente baixas, e os fêlsicos nas bordas, mais elevadas, não constitui argumento para se concluir sobre a origem (ígneia ou metassomática) do Complexo.

No entanto, conforme discutido no item anterior, a natureza ígnenea dos biotita-piroxenitos parece incontestável. Para as demais rochas silicáticas dispõe-se de informações estruturais e texturais, abaixo arroladas, indicativas de origem, pelo menos parcialmente metassomática:

- a) presença nos álcali-sienitos, nefelina sienitos e, em menor proporção, nos ijolitos, de ortoclásio "granítico" reliquiar, o

qual acha-se parcialmente substituído por anortoclásio metassomático (FOTO 21);

b) distribuição irregular dos minerais, resultando em intensa heterogeneidade textural e grande variação química em uma mesma amostra. Tal fato é observado principalmente em álcali-sienitos, nefelina sienitos e ijolitos. Nos primeiros, ocorre egiríniza-ção a partir de fraturas (linhas piroxênicas) (FOTOS 53 e 54). Em nefelina sienitos, a nefelina se distribui frequentemente ao longo de linhas ou em manchas. Por efeito desta variação, um álcali-sienito pode passar para nefelina sienito no espaço de alguns centímetros. Muitos ijolitos com distribuição mineral irregular constituem-se de manchas urtíticas em matriz de composição biotita-piroxenítica (FOTO 55);

c) presença generalizada de estruturas de substituição mineral. Os feldspatos e piroxênios, principalmente, apresentam-se parcial ou totalmente corroídos e substituídos; os primeiros por anortoclásio (FOTO 21), nefelina (FOTO 23) ou piroxênio (FOTOS 53 e 54) e os últimos por nefelina (FOTOS 13 e 14) ou biotita (FOTO 35).

Assumindo-se uma origem predominantemente metassomática para as rochas das zonas mais externas (séries dos álcali-sienitos, dos nefelina sienitos e dos ijolitos), pode-se compará-las com as zonas de fenitização de Aln $\bar{\theta}$ (ECKERMANN, 1948) e admitir as seguintes transformações:

a) piroxênio substitui máficos, plagioclásio e quartzo de granitos encaixantes, produzindo álcali-sienitos;

b) nefelina substitui feldspatos alcalinos dos álcali-sienitos, produzindo nefelina sienitos e ijolitos.

Em vista do baixo teor de Fe, Mg, Ca e Na da rocha granítica circundante (TABELA 19) incorporados nas pequenas quantidades modais de biotita e plagioclásio albítico (TABELA 20), é necessário supor-se a introdução metassomática de grandes quantidades daqueles cátions, a ponto de justificar a elevada média de piroxênio (em torno de 25%) dos álcali-sienitos (TABELA 3). O granito teria se transformado metassomáticamente em álcali-sienito através da supressão de quartzo, biotita e plagioclásio, com formação de piroxênio egirínico

(FOTOS 3 e 10). Uma conseqüente remobilização parcial da sílica para zonas mais externas do Complexo estaria indicada pela ocorrência de veios silicosos nos álcali-sienitos e rochas graníticas periféricas (FOTOS 56 e 57).

Ainda em álcali-sienitos, formam-se vênulas máficas e girínicas, total ou quase totalmente isentas de minerais félsicos. Note-se que tais concentrações, produto da ação metassomática de soluções alcali nas sobre encaixantes graníticas, obviamente não se relacionam com os biotita-piroxenitos primários da região nordeste do Complexo.

Após o consumo total da sílica livre, as soluções continuariam a agir sobre os feldspatos alcalinos, formando, às expensas destes, nefelina, resultando daí os nefelina sienitos e mesmo os ijolitos.

Alternativamente, as rochas da série dos ijolitos poderiam se originar da ação de soluções metassomáticas sobre rochas de composição piroxenítica. Este processo terminando em fusão das litologias mais intensamente metassomatizadas foi proposto por BORODIN & PAVLENKO (1974).

De qualquer modo, parte das rochas ijolíticas representaria produtos de metassomatismo incrementado, tanto sobre rochas encaixantes, como sobre piroxenitos pré-existentes. Por outro lado, deve-se admitir que ijolitos e nefelina sienitos de texturas homogêneas, de aparência magmática (FOTOS 12, 15 e 16) encontrados irregularmente mesclados às demais rochas são produto de refusão e remobilização reomórfica ativada nos estágios finais de fenitização, a exemplo do ocorrido em Alnö (ECKERMANN, 1948).

O estudo do quimismo das rochas alcalinas, apresentado no Capítulo 6, evidenciou uma nítida familiaridade química e, portanto, íntimas relações genéticas, entre as séries dos álcali-sienitos, dos nefelina sienitos e dos ijolitos. As tendências químicas observadas expressam as trocas iônicas, presumivelmente ocorridas no processo metassomático, e refletem a passagem regular dos álcali-sienitos para os nefelina sienitos e ijolitos, coincidente com o zoneamento litológico do Complexo.

Examinando-se as análises químicas de amostras selecionadas de granito e rochas alcalinas comuns no Complexo de Anitápolis (TABELA 19 e FIGURA 43), e considerando-se os dados dos granitos como referência das rochas encaixantes; e os dos biotita piroxenitos, como referência das rochas intrusivas, pode-se tecer as seguintes considerações:

a) na seqüência: álcali-sienito → nefelina sienito → ijolito observa-se tendências de enriquecimento relativo em Na, Ca, Mg, Fe (Fe^{2+} e Fe^{3+}) e Ti, e de empobrecimento relativo em K e Si. O Al não mostra variações significativas;

b) em relação às rochas da seqüência acima, os biotita piroxenitos diferenciam-se por serem mais pobres em Na, Al e Si; mais ricos em Ca, Mg, Ti, P e Fe (Fe^{2+} e Fe^{3+}); e apresentarem maiores valores na relação $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$;

c) os biotita piroxenitos tendem a ser mais ricos em K do que os ijolitos, embora mais pobres do que os nefelina sienitos e álcali-sienitos.

Estas observações, embora representem a composição de poucas amostras selecionadas, estão de acordo com as conclusões obtidas a partir da análise estatística dos dados químicos de 151 amostras com postas (Capítulo 6). A única exceção refere-se ao Na, onde os valores médios das amostras selecionadas mostram uma tendência de enriquecimento a partir da série dos álcali-sienitos para a dos nefelina sienitos e dos ijolitos. Esta tendência não foi confirmada na análise estatística, onde os teores de Na, para as três séries de rochas, acham-se em grande parte nivelados. Apesar dessas diferenças, provavelmente relacionadas à amostragem, é incontestável, em ambos os casos, a importância do Na na formação dessas rochas.

As considerações arroladas acima, aliadas à caracterização microscópica dos piroxênios nos biotita piroxenitos (ricos em molécula augítica) e nos ijolitos, nefelina sienitos e álcali-sienitos (ricos em molécula egirínica) (Capítulo 5), permitem concluir que o biotita piroxenito incorporou quantidades proporcionalmente maiores de Ca, Mg, Fe (especialmente Fe^{2+}), K, Ti e P (em relação, principalmente, a Na, Al e Si). O diagrama de dispersão dos valores de Fe_2O_3 (Fe total) X MgO (FIGURA 37) ilustra a nítida discriminação das rochas ultramáficas, consideravelmente mais ricas em MgO (e, ligeiramente, em Fe_2O_3), que as rochas das demais séries. O fato se explica tanto pela maior quantidade de piroxênio e biotita, como pela composição mais magnesiânica do piroxênio das ultramáficas.

Deve-se ainda novamente ressaltar o anômalo enriquecimento em K das ultramáficas, como evidência de incorporação daquele elemento nos estágios iniciais da evolução magmática do Complexo.

Como resultado da fixação de K (especialmente na biotita dos biotita piroxenitos), as soluções metassomáticas subsequentes enriqueceram-se em Na, Al e Si e, após o contato e reação com as encaixantes graníticas, provocaram a cristalização de piroxênio mais sódico, nefelina e pequenas proporções de anfibólio sódico. Dentro da sequência alcalina, partindo da zona ijolítica, e em direção à borda do Complexo, observam-se os seguintes rumos químicos:

- constância ou diminuição gradativa nos teores de Na (relacionada à redução no conteúdo de nefelina e/ou piroxênio);
- diminuição gradativa nos teores em Ca, Fe e Mg (redução de piroxênio);
- aumento gradativo nos teores em Si e K (aumento de ortoclásio);
- constância ou leve queda no teor em Al (relacionada à diminuição de nefelina e piroxênio e ao aumento de ortoclásio).

Comparando-se os dados químicos das rochas graníticas encaixantes com os dos álcali-sienitos, observa-se que os últimos apresentam teores maiores de Ca, Mg, Fe e K, e menores de Si e Na. Este fato relaciona-se à notável presença de piroxênio, à maior quantidade de ortoclásio e à inexpressiva presença de quartzo, plagioclásio e biotita, observados nos álcali-sienitos em relação aos granitos.

3 OS CARBONATITOS

O comportamento químico incongruente (sempre ocupando posições extremas e isoladas) exibido pelos carbonatitos em relação às rochas alcalinas silicáticas (Capítulo 6) indicou uma descontinuidade no processo petrogenético do Complexo. Os carbonatitos ocorrem na forma de veios, com espessuras desde submilimétricas até decamétricas, cortando todas as rochas silicáticas, especialmente as ultramáficas e os ijolitos. Essa forma de ocorrência tem sido considerada evidência da natureza magmática do material carbonatítico, o qual, em razão da finíssima espessura (< 1 mm) de alguns veios, parece ter tido consistência bastante tênue e fluida. Os autores mais recentes supõem ainda, que os carbonatitos se formaram nos estágios finais de diferenciação do magma alcalino (LE BAS, 1977, 1981).

Em Anitápolis a infiltração carbonatítica provocou, no contato com as rochas silicáticas encaixantes, o desenvolvimento de bordas de reação, de espessura milimétrica a centimétrica, com neoformação de biotita e/ou flogopita (FOTO 42). De acordo com GITTINS et alii (1975), o desenvolvimento dessas bordas deve-se à ação fenitizante de soluções carbonáticas ricas em álcalis potássicos.

Concomitantemente, no interior das rochas alcalinas envolventes observa-se intensa atividade hidrotermal, resultando em transformações de biotita em flogopita; de nefelina em agregados de cancrinita, geiseckita, zeólitas e sericita; e de piroxênio em anfibólio sódico e biotita e/ou flogopita.

Os carbonatitos dolomíticos, enriquecidos em Ba, que ocorrem quase que exclusivamente no Furo 49, parecem ter sofrido intenso fraturamento, e percolação por soluções hidrotermais. Neste local, carbonatos (essencialmente calcita) se recrystalizaram em dolomita, baritocalcita, alstonita e kutnohorita, presumivelmente utilizando o Mg remobilizado dos minerais silicáticos e o Ba introduzido pelas soluções hidrotermais. Os minerais máficos se transformaram em argilo-minerais essencialmente esmectíticos.

4 SUMÁRIO E SEQUÊNCIA DOS EVENTOS PETROLÓGICOS

Na ausência de dados de campo elucidativos, a interpretação petrológica, a nível de microscópio é, por natureza, individual, subjetiva e válida, enquanto novas evidências não a contradigam. Do mesmo modo, o estudo do quimismo baseado exclusivamente em resultados de análises de elementos maiores, em um número reduzido de amostras, constitui fator limitante ponderável. Por isso, neste trabalho, esboça-se um modelo petrogenético para o Complexo Alcalino de Anitápolis, erigido sobre os dados geológicos, petrográficos, mineralógicos e químicos disponíveis, em apoio e referência para trabalhos genéticos futuros.

O modelo proposto compreende os seguintes processos:

- a) falhamento, fraturamento e brechação das rochas graníticas;
- b) introdução de magma de composição ultramáfica alcalina (biotita piroxenítica), na parte central do Complexo. Durante a ascensão desse magma, xenólitos de magnetita dunito foram, presu-

mivelmente, trazidos à superfície;

c) metassomatismo durante e após a intrusão. Fraturas nas rochas graníticas e ultramáficas foram percoladas por soluções alcalinas que fenitizaram as primeiras e afetaram as últimas. As principais reações ocorridas neste processo compreendem:

- 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 (piroxenização) gradativa do granito nas zonas mais externas, por introdução de Ca, Mg, Fe, K e Na, e remoção de Si. Esta reação é evidenciada pela transformação de biotita e plagioclásio em piroxênio e, principalmente, pela dissolução da sílica livre e conseqüente eliminação do quartzo; os espaços assim criados são ocupados por piroxênios, gerando-se alcali-sienitos feníticos. Acompanhando a piroxenização, ocorreu recristalização parcial ou total do ortoclásio para termos mais sódicos (anortoclásio).

A piroxenização acima referida, de caráter sódico (com formação de $Eg_{80-90\%}$), é característica do metassomatismo das rochas mais externas, próximas ao granito, devendo-se contudo acrescentar que ela se torna gradualmente mais cálcio-magnésiana (com formação de até $Eg_{10\%}$), e volumetricamente mais expressiva à medida que se caminha em direção ao centro ultramáfico do maciço;

- nefelinização dos feldspatos com introdução de Na e Al e, possivelmente, remoção de Si. Este processo pode ser radical, produzindo ijolitos, ou parcial, produzindo rochas da série dos nefelina sienitos;

- nefelinização dos piroxênios das rochas ultramáficas intrusivas e daquelas já afetadas pela ação metassomática anterior, por introdução de mais Na, além de K e Al, e remoção de Ca, Mg e Fe e, possivelmente, algum Si;

- reomorfismo, conseqüente da intensificação dos processos metassomáticos, gerando líquidos que, localmente reinjetados cristalizam-se como ijolitos e nefelina sienitos de texturas magmáticas;

d) nos estágios finais da atividade magmático-metassomática, o-

correu injeção de material carbonatítico em zonas fraturadas, principalmente na parte central do Complexo. Os carbonatitos de vem pertencer a fases tardias na evolução do Complexo e poderiam resultar, como sugere LE BAS (1977), da cristalização de fluidos ricos em voláteis, separados, por imiscibilidade líquida, das fusões máficas silicáticas. A formação dos carbonatitos foi acompanhada de atividade hidrotermal sobre as rochas silicáticas encaixantes, responsável por fenômenos de uralitização, biotitização, flogopitização, cancrinitização, zeolitização, etc..

5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE DA APATITA

Nas rochas da série das ultramáficas a apatita pode ocorrer tanto sob a forma de prismas minúsculos ($< 0,1$ mm) inclusos nos cristais de piroxênio e biotita, como, preferencialmente, na forma de cristais mais desenvolvidos (até milimétricos) ocupando espaços intersticiais ou ainda, novamente, em inclusões "poiquilíticas" naqueles máficos (FOTO 58). Estas relações texturais sugerem a existência de magma ultrabásico rico em P, com a formação de apatita durante to do o tempo de cristalização magmática, acentuadamente nas fases tardi-magmáticas.

A ocorrência de concentrações localizadas, milimétricas a centimétricas, de apatita pavimentosa associada a de textura "poiquilítica" (FOTO 45), permite supor, em fase magmática tardia, a separação de duas frações líquidas imiscíveis, uma fosfática e uma silicática (MELENTIEV & OL'SHANSKY, 1952 "apud" KOGARKO et alii, 1974). Esta característica textural da apatita também pode ser interpretada como resultante do crescimento poiquiloblástico de minerais em agregados pré-existentes de apatita.

Nas rochas metassomáticas, a apatita encontra-se preferencialmente em veios e bolsões (FOTOS 46 e 47), geralmente associada a piroxênio, sendo pouco abundantes os cristais dispersos. Também nessas rochas observam-se minúsculos prismas de apatita inclusos em minerais silicáticos, especialmente piroxênio. Em cristais de piroxênio zonados observa-se, às vezes, uma concentração preferencial dessas inclusões nas zonas menos egráficas (FOTO 59). Estes fatos sugerem

que os fluidos metassomáticos que provocaram a piroxenização (especialmente a mais cálcio-magnésiana), eram ricos em P e foram responsáveis pela cristalização de apatita nestas rochas.

Admite-se para os sôvitos de Anitápolis, uma mineralização apatítica restrita e volumetricamente pouco expressiva. A apatita, encontrada em algumas seções delgadas dessas rochas, deveria ser atribuída à cristalização de resíduos fosfáticos juntamente com máficos, durante a consolidação do líquido carbonatítico. Alternativamente, estes minerais poderiam ser interpretados como xenocristais arrancados das encaixantes máficas pela intrusão carbonatítica.

De qualquer modo, a escassez de fósforo no fluido sôvítico é petrograficamente evidenciada pela ausência de apatita na maioria das vênulas carbonáticas (FOTO 60), bem como nas paredes carbonatizadas das rochas encaixantes. O que se observa claramente em alguns locais é simplesmente a carbonatação de apatita pré-existente, isto é, formação de carbonato-apatita às expensas de fluorapatita primária (FOTO 44).

LEGENDA

- (A) Granito
- e (B) Série dos Álcoti-sienitos
- e (C) Série dos Nefelina sienitos
- e (D) Série dos Ijolitas
- e (E) Série dos Ultramáficas
- ▲ Carbonatitos

N.B.

-Símbolos representam valores obtidos para amostras compostas de aproximadamente 5m de testemunho de sondagem.

-Letras representam médias de valores obtidos para amostras selecionadas.

FIGURA-43 GRÁFICOS DE VARIAÇÃO DOS ÓXIDOS SEGUNDO TEOR DE SiO_2 .

FOTO 53 - EGIRINIZAÇÃO A PARTIR DE FRATURAS EM MELA-ÁLCALI-SIENITO, NICÓIS PARALELOS. AMOSTRA F26 - 44,90 m.

FOTO 54 - IDEM, NICÓIS CRUZADOS. NOTAR RECRISTALIZAÇÃO PARCIAL DE ORTOCLÁSIO EM AGREGADO PAVIMENTOSO DE ANORTOCLÁSIO.

FOTO 55 - BIOTITA PIROXENITO (VERDE ESCURO) COM "MANCHAS" URTÍ-
TICAS (PARDO CLARAS).

FOTO 56 - VEIO SILICOSO CORTANDO LUSITANITO. NICÓIS CRUZADOS ,
AMOSTRA F7 - 93,40 m.

FOTO 57 - VEIOS SILICOSOS CORTANDO GRANITO PERIFÉRICO AO CORPO ALCALINO.

FOTO 58 - APATITA EM CRISTAIS PRISMÁTICOS MINÚSCULOS ($<0,1$ mm) INCLUSOS EM BIOTITA; EM CRISTAIS MAIORES OCUPANDO ESPAÇOS INTERSTICIAIS E, TAMBÉM, EM INCLUSÕES NA BIOTITA, NICÔIS PARALELOS. AMOSTRA F48 - 36,50 m (APATITA BIOTITITO).

0 5 mm

FOTO 59 - MICROCRISTAIS DE APATITA INCLUÍDOS PREFERENCIALMENTE NAS ZONAS MENOS EGIRÍNICAS DE CRISTAIS DE PIROXÊNIO, NICÓIS PARALELOS, AMOSTRA F27 - 33,20 m (ÁLCALI-SIENITO).

0 5 mm

FOTO 60 - VÊNULA CARBONÁTICA ISENTA DE APATITA ATRAVESSANDO APATITA MELA-ÁLCALI-SIENITO E EXIBINDO MARGENS DE GRANULACÃO MAIS FINA, NICÓIS CRUZADOS, AMOSTRA F27 - 72,80 m.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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):139-158, set.
- ALMEIDA, F.F.M. de.; HASUI, Y.; NEVES, B.B. de B.; FUCK, R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO de GEOLOGIA do NORDESTE, Campina Grande, 1977. Atas...Campina Grande. p.363-391. (Versão em inglês em Earth Sci. Rev. 17:1-29, 1981).
- ALONSO, M.T. 1977. Vegetação. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO de GEOLOGIA e ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil, região sul. Rio de Janeiro, SEGRAF. v.5, p.81-110.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. 1967. Pottassium-argon ages of alkaline rocks from Southern Brazil. Geoch. Cosmoch., Acta, 31:117-142.
- APS, V. & BORN, H. 1975. Pesquisa de minério fosfático de Ipanema. Geologia e Metalurgia, (37):24-34.
- BARTH, T.F.W. & RAMBERG, I.B. 1966. The Fen circular complex. In: TUTTLE, O.F. & GITTINS, J. ed. Carbonatites. London, Interscience. p.225-257.
- BASEI, M.A. 1984. O cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. (Relatório FAPESP).
- BASEI, M.A. & CORDANI, U.G. 1984. Evolução geológica do cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. Resumos, breves comunicações... Rio de Janeiro, SBG. p.184.
- 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 Jupia. São Paulo. (Tese. Instituto de Geociências - USP).
- BORODIN, L.S. & PAVLENKO, A.S. 1974. The role of metassomatic processes in the formation of alkaline rocks. In: SORENSEN, H. ed. The alkaline rocks. New York, John Wiley. p.515-534.
- BURNHAN, C.W. 1966. Crystallographic lattice constant least-square refinement program. s.L. Geophysical Laboratory.

- CAMPOS NETO, M.C. 1984. Observações estruturais e estratigráficas no cinturão Dom Feliciano, Santa Catarina. (Relatório FAPESP).
- CARRARO, C.C.; ISSLER, R.S.; FORMOSO, M.L.L. 1977. Mapeamento do distrito alcalino de altos do rio Pinheiros, município de Anitápolis, Santa Catarina. Porto Alegre, UFRGS. (Publ. Esp., 16).
- CARVALHO, W.T. 1974. Aspectos geológicos e petrográficos do complexo ultramáfico-alcalino de Catalão I, GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. Anais... Porto Alegre, SBG. v.5, p.107-123.
- CURRIE, K.L. 1970. An hypothesis on the origin of alkaline rocks suggested by the tectonic setting of the Monteregian Hills. Can. Mineral., 10:411-420.
- DAVIS, J.C. 1973. Statistics and data analysis in geology. New York, John Wiley. p.473-550.
- DAWSON, J.B. 1966. Oldoinyo Lengai; an active volcano with sodium carbonatite lava flows. In: TUTTLE, O.F. & GITTINS, J. ed. Carbonatites. New York, Interscience. p.155-168.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 1962. Rock-forming minerals. London, Longmans. v.5 Non silicates.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 1963. Rock-forming minerals. London, Longmans. v.2 Chain silicates.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 1978. Rock-forming minerals. 2.ed. London, Longmans. v.2A Single - Chain silicates.
- ECKERMAN, H.V. 1948. The alkaline district of Alnö Island. Sveriges Geol. Undersok., Ser. Ca.,(36).
- ECKERMAN, H.V. 1966. Progress of research on the Alnö carbonatite. In: TUTTLE, V.F. & GITTINS, J. ed. Carbonatites. London, Interscience. p.3-31.
- FRAGOSO CESAR, A.R.S. 1980. O cráton do rio de La Plata e o cinturão Dom Feliciano no estudo Uruguaio-Sul-Riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG. v.5, p.2879-2892.
- FRAGOSO CESAR, A.R.; WERNICK, E.; SOLIANI Jr, E. 1982. Associações petrotectônicas do cinturão Dom Feliciano (Sudeste da Plataforma

- Sul-Americana). In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. Anais... Salvador, SBG. v.1, p.1-12.
- GARSON, M.S. 1966. Carbonatites of Malawi. In: TUTTLE, O.F. & GITTINS, J. ed. Carbonatites. New York, Interscience. p.33-71.
- GITTINS, J. 1966. Summaries and bibliographies of carbonatite complexes. In: TUTTLE, O.F. & GITTINS, J. ed. Carbonatites. London, Interscience. p.417-541.
- * GITTINS, J.; ALLEEN, C.R.; COOPER, A.F. 1975. Phlogopitization of pyroxenite; its bearing on the composition of carbonatite magmas. Geol. Mag., 112(5):503-507.
- GOMES, C.B. & DUTRA, C.V. 1970. Some geochemical features of the alkaline rocks of Itapirapuã, São Paulo, Brazil. An. Acad. Bras. Ciênc., 42(3):521-534.
- HAWTHORNE, F.C. 1982. Crystal chemistry of the amphiboles. In: VEBLEN, R.D. ed. Amphiboles and other hydrous pyriboles-mineralogy. Washington, Mineralogical Society of America. v.9A, p.1-102.
- HEINRICH, E. Wm. 1965. Microscopic identification of minerals. New York, McGraw Hill. 414p.
- HEINRICH, E. Wm. 1966. The geology of carbonatites. New York, Rand Mac Nally. 555p.
- HERZ, N. 1977. Timing of spreading in the South Atlantic: information from Brazilian alkalic rocks. Geol. Soc. Am. Bull., (88):101-112.
- HYNDMAN, D.W. 1972. Petrology of the igneous and metamorphic rocks. New York, McGraw Hill. 531p.
- HUBBARD, C.R. & SMITH, D.K. 1977. Experimental and calculated standards for quantitative analysis by powder diffraction; advances in X-ray analysis. s.L., s.c.p., v.20, p.27-39.
- HUTCHISON, C.H. 1974. Laboratory handbook of petrographic techniques. New York, John Wiley. 527p.
- INSTITUTO BRASILEIRO de GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA-IBGE. 1976. Carta topográfica de Anitápolis, 1:50 000. Rio de Janeiro.
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS do ESTADO de SÃO PAULO-IPT. 1979. Estudo petrológico do complexo alcalino de Anitápolis, SC. São Paulo. (IPT. Relatório 11 945).

- ISSLER, R.S. 1982. Evento geodinâmico brasileiro - fechamento de oceano e colisão continental dos crâtons Rio de La Plata e Dom Feliciano; granitos a duas micas e ofiolitos. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. Anais... Salvador, SBG. v.1, p.24-38.
- ISSLER, R.S. 1983. Evolução crustal da faixa arco-fossa Tijuca e faixa magmática Pedras Grandes - crâton Dom Feliciano. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO de GEOLOGIA, 1, Porto Alegre, 1983. Atas... Porto Alegre, CNPq. p.19-31.
- JOHNSON, A.L. 1966. The Shawa and Dorowa carbonatite complexes. Rhodesia. New York, Interscience. p.205-224.
- JOINT COMMITTEE ON POWDER DIFFRACTION STANDARDS. 1974. Select powder diffraction data for minerals, data book. Swarthmore.
- JOST, H. & HARTMANN, L.A. 1984. Província Mantiqueira; setor meridional. In: ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. (coord). O pré - cambriano do Brasil. São Paulo, Edgard Blücher. p.345-368.
- JUNG, J. & BROUSSE, R. 1959. Classification modale des roches éruptives. Paris, Masson. 122p.
- KAUL, P.F.T. 1977. Projeto Anitápolis. Porto Alegre, CPRM/DNPM. (inédito).
- KEER, P.F. 1959. Optical mineralogy. 3. ed. New York, McGraw Hill. 442p.
- KING, B.C. & SUTHERLAND, D.C. 1960. Alkaline rocks of Eastern and Southern Africa, part II. Petrology. Sci. Prog., 48:504-524.
- KOGARKO, L.N.; RYABCHIKOV, I.D.; SORENSEN, H. 1974. Liquid fractionation. In: SORENSEN, H. ed. The alkaline rocks. London, John Wiley. p.488-500.
- LE BAS, M.J. 1977. Nephelinite volcanism. London, John Wiley. 347p.
- LE BAS, M.J. 1981. Carbonatite magmas. Mineralogical Magazine, 44:133-140, jun.
- LEONARDOS, O.H. 1956. Carbonatitos com apatita e pirocloro. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. 30p. (Avulso, 80).
- Mc CONNELL, D. 1973. Apatite; its crystal chemistry, mineralogy ,

- utilization, and geologic and biologic occurrences. New York , Springer-Verlag. 111p.
- MELCHER, G.C. 1966. The carbonatites of Jacupiranga, São Paulo, Brazil. In: TUTTLE, O.F. & GITTINS, J. ed. Carbonatites. London, Interscience. p.169-181.
- 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):59-93.
- 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. p.3-27. (Bol. 21).
- MORAES, M.C. & RODRIGUES, E.P. 1978. Exemplo de aplicação de coloração seletiva de feldspatos potássicos e cálcicos como técnica auxiliar no estudo de rochas. Cerâmica, 24(97):32-35.
- NIEMER, E. 1977. Clima. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO de GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil; região Sul. Rio de Janeiro, SERGRAF. v.5, p.35-79.
- OHARA, M.J. 1965. Primary magmas and the origin of basalts. Scot. J. Geol., 1(1):19-40.
- PALABORA MINING COMPANY. 1976. The geology and economic deposits of copper, iron and vermiculite in the Palabora igneous complex. A Brief Review Economic Geology., (71):177-192.
- RIMSKAYA-KORSAKOVA, O.M. & SOKOLOVA, E.P. 1964. Iron magnesium micas with reversed absorption. Zap. Vses. Min. Obshch.- Mem. All - Union Min. Soc., 93:441-423.
- ROUBALT, M. 1982. Determination des minéraux des roches au microscope polarisant. 3.ed. Paris, Éditions Lamarre-Poinat. 382p.
- SILVA, L.C. 1983. O complexo metamórfico Brusque e a sequência vulcano-sedimentar rio Itajaí-Mirim (SC); uma revisão. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO de GEOLOGIA, 1, Porto Alegre, 1983. Atas...Porto Alegre. p.253.
- SOBRINHO, E.G. 1974. Prospecção de urânio na chaminé alcalina de Tapira, MG. Rio de Janeiro, CNEN. (Bol. 10).
- SOUZA FILHO, J.G.C. 1974. Prospecção de urânio nas chaminés alcali -

- nas de Serra Negra e Salitre, MG. Rio de Janeiro, CNEN (Bol., 9).
- SUBCOMMISSION ON THE SYSTEMATICS OF IGNEOUS ROCKS-IUGS. 1973. Classification and nomenclature of plutonic rocks. Geotimes, (18):26-30.
- SUBCOMMISSION ON THE SYSTEMATICS OF IGNEOUS ROCKS-IUGS. 1978. Classification and nomenclature of volcanic rocks. Lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks. N. Ib. Miner. Abh., Stuttgart, 134 (1):1-14, dec.
- TOMKEIEFF, S.I. 1961. Alkalic ultrabasic rocks and carbonatites in the U.S.S.R. International Geology Review, 3:739-758.
- TRÖGER, W.E. 1971. Optische bestimmung der gesteinsbildenden minerale. Stuttgart, E. Schweizerbart'she. Teil 1 - Bestimmungstabellen, 188p.
- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. 1981. Alkaline rocks from continental Brazil, Earth Science Reviews, (17):135-154.
- VERGARA, V.D. 1977. Pesquisa de fosfato em Anitãpolis; fase preliminar. Porto Alegre, ILM/CPRM. (inédito).
- VERGARA, V.D. 1979. Pesquisa de fosfato em Anitãpolis; relatório final. Porto Alegre, ILM. (inédito).
- VERGARA, V.D. 1980. Pesquisa geológica desenvolvida no complexo alcalino de Anitãpolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais...Camboriú, SBG. v.4, p.2502-2517.
- YAMAMOTO, J.K. 1980. Análise de hiper superfície de tendência aplicada aos parâmetros químicos do complexo alcalino de Anitãpolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais...Camboriú, SBG. v.2, p.1258-1271.
- YAMAMOTO, J.K.; GOULART, E.P.; HASUI, Y. 1980. Análise estatística dos dados químicos do complexo alcalino de Anitãpolis, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais...Camboriú, SBG. v.2, p.1272-1283.
- WINCHELL, A.N. & WINCHELL, H. 1951. Elements of optical mineralogy; part 2; descriptions of minerals. 4. ed. New York, John Wiley. 551p.
- WONES, D.R. 1979. The fractional resorption of complex minerals and the formation of strongly femic alkaline rocks. In: YODER, H.S.

ed. The evolution of the igneous rocks. New Jersey, Princeton University. p.413-422.

ZIESEMER, L.; KAHN, H. 1980. O minério residual da jazida de Anitãpolis, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG. v.4, p.2376-2390.

ANEXOS

- ANEXO A Distribuição dos furos de sonda com as litologias dos tes
temunhos, em bloco-diagrama - Complexo Alcalino de Anitã-
polis
- ANEXO B Quantificação dos tipos petrográficos em furos de sonda
- ANEXO C Mapa geológico - Complexo Alcalino de Anitãpolis
- ANEXO D Interpretação em bloco-diagrama das relações entre litolo
gias - Complexo Alcalino de Anitãpolis

LEGENDA

- SÉRIE DOS ÁLCALI-SIENITOS - álcali-sienitos, meta álcali-sienitos, lusitanitos
- SÉRIE DOS NEFELINA SIENITOS - nefelina sienitos, malignitos, shonkinitos
- SÉRIE DOS IJOLITOS - urtitos, ijolitos, melteigitos
- SÉRIE DAS ULTRAMÁFICAS - biotita piroxenitos, piroxenitos, biotititos, magnetita dunitos
- CARBONATITOS

21 Furo de sondagem

OBS.: o círculo representa 100% de rocha perfurada
seus diâmetros são proporcionais às profundidades dos furos

0 100 200 300m
ESCALA 1:5000

ANEXO D — INTERPRETAÇÃO EM BLOCO-DIAGRAMA DAS RELAÇÕES ENTRE LITOLOGIAS — COMPLEXO ALCALINO DE ANITÁPOLIS (SC)