HELMUT BORN

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004651

O COMPLEXO ALCALINO DE JUQUIÁ

TESE DE DOUTORAMENTO APRESENTADA
AO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E AS-
TRONOMIA DA UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO.

1971

O COMPLEXO ALCALINO DE JUQUIÁ

<i>I - INTRODUÇÃO</i>	<i>1</i>
1) <i>Generalidades</i>	<i>1</i>
2) <i>Trabalhos Anteriores</i>	<i>3</i>
3) <i>Agradecimentos</i>	<i>5</i>
<i>II - FISIOGRAFIA</i>	<i>7</i>
1) <i>Relêvo</i>	<i>7</i>
2) <i>Clima e Drenagem</i>	<i>8</i>
3) <i>Intemperismo</i>	<i>9</i>
<i>III - GEOLOGIA</i>	<i>10</i>
1) <i>Aspectos Gerais</i>	<i>10</i>
2) <i>Rochas Encaixantes do Corpo Alcalino</i>	<i>13</i>
a) <i>Distribuição e Estruturas</i>	<i>13</i>
b) <i>Petrografia</i>	<i>20</i>
3) <i>Piroxenitos</i>	<i>22</i>
a) <i>Modo de Ocorrência e Distribuição</i>	<i>22</i>
b) <i>Mineralogia</i>	<i>24</i>
c) <i>Petrografia</i>	<i>29</i>
4) <i>Ijolitos</i>	<i>35</i>
a) <i>Modo de Ocorrência e Distribuição</i>	<i>35</i>
b) <i>Mineralogia</i>	<i>36</i>
c) <i>Petrografia</i>	<i>41</i>
5) <i>Sienitos</i>	<i>46</i>
a) <i>Modo de Ocorrência e Distribuição</i>	<i>46</i>
b) <i>Mineralogia</i>	<i>47</i>
c) <i>Petrografia</i>	<i>54</i>
6) <i>Rochas de Diques</i>	<i>62</i>
a) <i>Modo de Ocorrência e Distribuição</i>	<i>62</i>
b) <i>Mineralogia</i>	<i>63</i>
c) <i>Petrografia</i>	<i>66</i>

7) Carbonatitos	68
a) Modo de Ocorrência e Distribuição	68
b) Mineralogia	75
c) Petrografia	94
8) Fenitização	109
9) Relações de Campo	115
 IV - CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS	 120
 V - GÊNESE E IDADE DAS ROCHAS	 128
 VI - PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA	 132
1) Amostragem	133
2) Preparação das Amostras	133
3) Dosagem de Fósforo	134
4) Resultados	139
a) Dosagem Parcial do Fósforo	139
b) Dosagem Total do Fósforo	142
5) Conclusões	142
 VII - RECURSOS MINERAIS	 146
 VIII - COMPARAÇÃO COM OUTROS DISTRITOS ALCALINOS	 157
 IX - SUMÁRIO E CONCLUSÕES	 159
 X - BIBLIOGRAFIA	 162

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES

FIGURAS	p.
1 - Localização do Complexo Alcalino de Juquiã.	1
2 - Perfil topográfico, geológico, cintilométrico e magnetométrico através do corpo alcalino de Juquiã.	12
3 - Diagramas de distribuição de lineamentos foto geológicos em torno da intrusão alcalina.	18
4 - Diagramas de distribuição de lineamentos foto geológicos por quadrantes, na área próxima à intrusão alcalina.	19
5 - Distribuição dos carbonatitos no Morro do Serrote.	74
6 - Termogramas de carbonatos do carbonatito de Juquiã.	86
7 - Termogramas de carbonatos do carbonatito de Juquiã.	87
8 - Variação dos teores de Sr e Ba em carbonatitos de Juquiã.	101
9 - Índice alcali-cálcico das rochas de Juquiã.	121
10 - Comportamento geoquímico de alguns elementos nas rochas alcalinas de Juquiã.	124
11 - Comportamento geoquímico de alguns elementos nas rochas alcalinas de Juquiã.	125
12 - Diagrama triangular Fe-Alk-Mg e K-Na-Ca das rochas alcalinas de Juquiã.	126
13 - Gráfico dos resultados obtidos por dosagem geoquímica, em comparação com a análise química.	140

14 - Perfis de prospecção geoquímica no Morro do Serrote e rochas alcalinas vizinhas.	141
15 - Resultados de dosagem geoquímica total e parcial, em solos oriundos de diversas rochas da intrusão de Juquiã.	143

TABELAS

1 - Composição modal de algumas rochas <u>ultra</u> básicas da intrusão alcalina de Juquiã.	30
2 - Composição química de rochas piroxeníticas.	33
2a - Normas moleculares de duas rochas piroxe níticas de Juquiã.	34
3 - Composição modal de algumas rochas <u>ijol</u> íticas de Juquiã.	42
4 - Composição química de rochas <u>ijol</u> íticas.	44
4a - Normas moleculares de rochas <u>ijol</u> íticas de Juquiã.	45
5 - Composição modal de sienitos da intrusão alcalina de Juquiã.	58
6 - Composição química de algumas rochas <u>sie</u> níticas de Juquiã, comparadas a médias de diversas localidades.	59
6a - Normas moleculares de alguns sienitos da área de Juquiã.	60
7 - Composição modal de alguns diques de Juquiã.	67

- 8 - Medidas do índice de refração w em carbonatos provenientes do carbonatito interno. 83 e 84
- 9 - Composição química de algumas rochas carbonatíticas de Juquiã e de dolomitos do embasamento. 99
- 10 - Composição química de carbonatitos ricos em magnésio. 105
- 11 - Composição química em base catiônica de algumas rochas de Juquiã. 122
- 12 - Comparação entre resultados obtidos por dosagem geoquímica e análise química, em solos do Morro do Serrote. 137
- 13 - Repetição de dosagens geoquímicas para controle da reprodutibilidade dos resultados. 138
- 14 - Determinações, por fluorescência de raios X, de Ce, La, Y e Nb₂O₅, comparados aos teores de P₂O₅. 155

FOTOS

- 1 - O Morro do Serrote visto pelo flanco oeste... 69
- 2 - Dique de carbonatito branco cortando a rocha também carbonatítica. 73
- 3 - Bloco de composição argilosa e cõr avermelhada, englobado por fosfatos, tratando-se de um possível xenólito alterado. 73

p.

4 e 5 - Bandamento em carbonatitos de Juquiã.	97
6 e 7 - Aspectos do minério fosfático poroso.	148
8 e 9 - Feições devidas à reprecipitação de fosfatos, dando origem a camadas <u>maci</u> gas e finas de minério, intercaladas com material pulverulento e terroso.	149
10 - Amostra de fosfato com cavidades <u>rom</u> boédricas, preenchidas por material pulverulento.	149

FOTOMICROGRAFIAS

1	170
a	a
14	176

ANEXOS

- 1 - Mapa geológico do complexo alcalino de Juquiã.
- 2 - Lineamentos fotogeológicos na área do complexo alcalino de Juquiã.
- 3 - Localização das amostras citadas no texto.

I - INTRODUÇÃO

1) - Generalidades

O complexo alcalino de Juquiã constitui uma das numerosas ocorrências de rochas insaturadas e subaturadas associadas a carbonatitos do sul do Brasil. As denominações Serrote e Guaviruva, frequentemente encontradas na literatura, referem-se a diferentes locais da mesma ocorrência. Optou-se pela denominação Juquiã por ser esta a cidade mais próxima, facilitando sua localização. O termo Serrote, talvez mais conhecido, além de ser um nome muito comum na região, onde designa três ou quatro locais diferentes, refere-se apenas ao morro onde ocorre o carbonatito. O complexo se situa cerca de 50 km a nordeste da intrusão alcalina de Jacupiranga, uma das mais conhecidas do Brasil.

Embora a existência de barita e magnetita tenha atraído, inicialmente, a atenção para a área em questão, os fosfatos constituem a ocorrência mineral de maior interesse, sendo lavrados em pequena escala no Morro do Serrote. Os trabalhos existentes sôbre a geologia local são poucos e, em sua maioria, tratam apenas de aspectos econômicos. Um estudo mais detalhado mostrou que o modo de ocorrência das rochas de Juquiá, as associações petrográficas e mineralógicas características, a fenitização das encaixantes, certas feições tectônicas, bem como a presença de diques, são típicos das intrusões alcalinas dêsse tipo, localizadas em várias regiões de plataforma estável.

O complexo alcalino de Juquiá localiza-se na parte sudeste do Estado de São Paulo, no município de Registro, entre as cidades de Juquiá e Registro; dista 169 km de São Paulo pela rodovia Régis Bittencourt, BR-116 (antiga BR-2), que une São Paulo a Curitiba. Suas coordenadas aproximadas são 47° 42' longitude oeste e 24° 24' latitude sul (Figura 1).

As rochas alcalinas situam-se pouco ao sul da Serra das Onças, ocupando uma área de aproximadamente 13,5 km², na Baixada Litorânea.

À vista do interesse que as intrusões alcalinas e os recursos minerais a elas associados vêm despertando, tanto no Brasil como no exterior, pareceu justificado um estudo mais detalhado da intrusão de Juquiá. Este trabalho teve por objetivos permitir a melhor caracterização geológica do distrito e a sua comparação com localidades congêneres. Além disso, do ponto de vista econômico, essa caracterização poderá ser de utilidade prática. As conclusões sôbre a origem dos depósitos fosfáticos, obtidas do estudo mineralógico do carbonatito, do minério residual e secundário e dos solos residuais, bem como das observações de campo, poderão ser importantes na determinação das reservas e na programação da lavra.

A presença de minerais radioativos no carbonatito, já sugerida por Leonardos (1956), foi verificada por diversos meios para avaliação de sua importância.

A aplicação experimental de um método de dosagem geoquímica do fósforo contido em solos foi executada, afim de verificar sua aplicabilidade na localização de jazidas fosfáticas semelhantes, bem como na determinação aproximada de contatos do carbonatito. A área se presta para essa tentativa, pois ainda não se encontra muito afetada por trabalhos de mineração.

O estudo detalhado do carbonatito permitiu reconhecer várias características importantes para a interpretação de sua petrogênese e modo de intrusão. Foram identificados diversos minerais característicos de carbonatitos conhecidos em outros países, que ainda não haviam sido descritos em ocorrências brasileiras. Quimicamente, verificou-se que a rocha carbonatítica de Juquiã se caracteriza por elevado teor em magnésio, o que a distingue da grande maioria das demais localidades congêneres.

Para a execução do presente trabalho foram efetuados levantamentos de campo, que constaram do estudo de todos os afloramentos encontrados na área, de amostragem de solos, feita com detalhe em alguns perfis para finalidades de dosagem geoquímica de fósforo em solos, de medidas magnetométricas e cintilométricas. Durante os trabalhos foram de grande utilidade as fotografias aéreas, na escala aproximada de 1:25 000, executadas por Levantamentos Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A. em 1962, para o Instituto Agrônomo de Campinas. Baseado nessas fotografias foi feito o mapa planimétrico da região do complexo alcalino e circunvizinhanças, onde foi lançada a geologia, bem como o levantamento das fraturas e lineamentos fotogeológicos.

2) Trabalhos Anteriores

A área em estudo foi mencionada pela primeira

vez por Leonardos (1934), que noticiou uma ocorrência de barita descoberta em 1927; êsse autor se refere ainda a uma rocha por êle denominada sienito gnaís. Knecht (1934 e 1940) também se refere à ocorrência de barita no Morro do Serrote.

Em 1938, técnicos do Instituto Geográfico e Geológico notaram a existência de magnetita, realizando-se então um estudo que visava examinar a possibilidade de seu aproveitamento econômico (Knecht e Felicíssimo Jr. - 1939). Foram reconhecidas na ocasião diversas variedades de rochas alcalinas, como sienito e ijolito. Maior atenção foi dispensada ao Morro do Serrote, pois ali se localizaram as principais ocorrências de ferro. O calcário dolomítico, constituinte da maior parte do morro, seria de origem sedimentar, provavelmente da Série São Roque. A origem da magnetita estaria estreitamente ligada à intrusão ijolítica, que, por sua vez, seria um termo de diferenciação magmática do sienito, em contato com o calcário.

Camargo (1942) publicou breve nota mineralógica sobre a barita do Serrote.

Knecht (1948) fez uma série de comparações entre as ocorrências de Jacupiranga e Juquiã, inclusive mencionando a hipótese de uma correlação estratigráfica entre os calcários das duas localidades. No mesmo trabalho, noticia que Felicíssimo Jr. havia reconhecido, no Morro do Serrote, grandes reservas de fosfatos secundários (fosforito).

Guimarães e Felicíssimo Jr. (1950), em artigo sobre recursos minerais do Estado de São Paulo, referem-se a fosfatos ocorrentes no Morro do Serrote e em Guaviruva.

No local denominado Guaviruva, localizado um pouco a sudoeste do Morro do Serrote, Maciel (1952) descreve uma jazida de fosfato no contato de sienito com piroxênio, atribuindo sua origem a processos de segregação magmática. Entre as rochas locais, descreve peridotito, piro

xenito, sienito e pegmatito.

Leonardos (1956) publicou a primeira referência à existência de carbonatito em Juquiã, numa coletânea sobre os carbonatitos brasileiros.

Desde então, a localidade tem sido citada com frequência, como ocorrência alcalina com carbonatito, com base nos trabalhos acima citados.

Em recente publicação, Felicíssimo Jr. (1968), tratando de carbonatitos no Estado de São Paulo, dá alguns pormenores sobre testemunhos de carbonatito do Morro do Serrote, obtidos já na década de 40, dos quais não se tinha conhecimento, pois fazem parte de um relatório de pesquisa inédito do mesmo autor (1948).

3) - Agradecimentos

O autor deseja expressar seu reconhecimento às seguintes entidades: Conselho Nacional de Pesquisas, pelo auxílio que permitiu obter análises químicas das rochas silicatadas; Serviço do Vale do Ribeira, da Secretaria de Serviços e Obras Públicas do Estado de São Paulo, através do Convênio DAEE-USP, pelo auxílio referente aos trabalhos de campo, de laboratório, bem como algumas análises químicas em carbonatitos; Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo, pelas facilidades de acesso e consulta a todo o material disponível sobre a região de Juquiã; Socal S.A. Mineração e Intercâmbio Comercial e Industrial, por ter permitido a execução de trabalhos de campo em suas propriedades; Serana S.A. de Mineração, pelas análises químicas de carbonatitos e permissão de consulta de alguns dados adicionais.

Também ficam registrados os agradecimentos aos vários ex-alunos do Curso de Geologia da U.S.P., que cooperaram nos trabalhos de campo e de laboratório; ao

Sr. Denis William de Abreu Mendonça, pela elaboração das ilustrações; à Sra. Nair de Campos Louzada, pelo trabalho de datilografia.

O autor agradece especialmente aos colegas Dr. N. Ellert, pela colaboração na parte referente à magnetometria; Dr. J.M.V. Coutinho e Dr. C.B. Gomes, pelo auxílio e discussões referentes à petrologia; Dr. E.C. Damasceno, pelas discussões, observações e leitura do texto; bem como a todos os colegas que, de uma ou outra maneira, prestaram sua ajuda. O autor deseja, ainda, manifestar especial reconhecimento ao seu orientador, Dr. G.C. Melcher, pela dedicação, apóio e incentivo, durante tôdas as fases de preparação do trabalho.

II - FISIOGRAFIA

1) - Relêvo

A área em estudo localiza-se na extensa Baixa da Litorânea, existente na parte sudeste do Estado de São Paulo, a qual penetra até cerca de 80 km, continente adentro. Esta baixada constitui uma vasta planície sedimentar, drenada principalmente pelo rio Ribeira de Iguape e seus afluentes, estando limitada pelas escarpas do Planalto Atlântico, de relêvo acidentado e cotas geralmente superiores a 800 m.

Na Baixada Litorânea foram reconhecidos vários níveis de terraceamento marinho e seus correspondentes terraços fluviais (Silveira, 1950; Freitas, 1951; Ab'Saber, 1955). Os terraços fluviais localizam-se a 25-30 m e 50-60 m, acima do nível do rio Ribeira, havendo, além disso, depósitos fluviais das barrancas entre 2 e 5 m.

Os cursos de água da área estão próximos ao nível de base local, representado pelo rio Ribeira de Iguape. Os morros da região não ultrapassam algumas dezenas de metros, porém, às vezes, essa regularidade é quebrada por morros ou serras de maior altitude. É o caso da Serra do Itatins, com elevações acima de 1 000 m, e que forma falésias ao atingir o litoral entre as praias de Peruíbe e Una; para o interior, as elevações tornam-se cada vez mais suaves, constituindo as serras do Bananal e das Onças, desaparecendo por fim nos aluviões da baixada.

O complexo alcalino de Juquiã situa-se na baixada, pouco ao sul da Serra das Onças. Os riachos que drenam a área têm altitudes em torno de 7 m e originam-se em brejos, que ocupam grande parte das áreas baixas. Os morros apresentam altitudes entre 60 e 70 m, geralmente com suas partes altas quase niveladas. As elevações mais altas são o Morro do Serrote (211 m), Morro da Casa de Pedra e algumas outras mais próximas da serra das Onças. Os

morros de altitudes mais ou menos uniformes e cumes algo aplachados, inclusive a parte leste do Morro do Serrote, parecem estar relacionados a um antigo nível de erosão (terraço de 50-60 m, acima do nível do rio); um levantamento posterior da área causou a retomada da erosão e formação do terraço de 20-30 m, seguida de novo levantamento. Atualmente, o nível de base da região foi quase atingido, sendo comuns as várzeas e brejos com aluviões recentes, entre os morrotes que sobressaem na topografia e nos quais a erosão ainda é ativa.

2) - Clima e Drenagem

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico subtropical úmido, sem estação seca, com verões quentes. O índice pluviométrico anual é de cerca de 1 300-1 400 mm e a temperatura média anual de 21,7° C, de acordo com dados obtidos em Juquiá (Setzer, 1946). As chuvas predominam no verão (dezembro e fevereiro), enquanto a estação menos chuvosa coincide com a época mais fria do ano (junho e agosto).

A área do complexo alcalino dista aproximadamente 35 km da costa e faz parte da extensa baixada drenada pelo rio Ribeira de Iguape. Este, na cidade de Registro, está a poucos metros acima do nível do mar. Os ribeirões Biquá e Guavirua, que drenam a região do complexo, originam-se nos brejos que circundam o Morro do Serrote e apresentam uma elevação de 6-7 m. Esses ribeirões se unem e desaguam no rio Peropava, afluente da margem esquerda do rio Ribeira de Iguape, correndo sempre em aluviões.

3) - Intemperismo

Devido às condições climáticas da região o intemperismo é muito ativo. O mesmo deve ter ocorrido em épocas pretéritas, pois, ao longo da rodovia Régis Bittencourt, existem cortes com dezenas de metros de altura, nos quais muito comumente só se encontram rochas semi-alteradas, cobertas por espesso manto de intemperismo. Essa rodovia corta rochas pré-cambrianas, constituídas por xistos, gnaiss, quartzitos.

O intemperismo intenso agiu, também, sobre as rochas alcalinas, auxiliado por algumas características a elas inerentes, tais como: a ausência ou escassez de quartzo; presença de minerais como nefelina, olivina, augita, mais instáveis quimicamente; carbonatos mais facilmente solubilizados; etc.

De um modo geral, a seqüência de instabilidade das rochas alcalinas é a seguinte: peridotito - piroxenito - ijolito-sienito - (fenito) -, devendo-se considerar, também, a influência da granulação.

De relativa importância devem ter sido, ainda, as variações do nível freático da região, resultantes de vários levantamentos relativamente pequenos, mas distintos, como se deduz dos diversos níveis de terraços existentes. Isto permitiu que o intemperismo atingisse locais cada vez mais profundos, bem como sua ação continuada sobre blocos de rocha, porventura restantes no manto intemperizado.

Além disso, na maioria das exposições de rocha, torna-se difícil distinguir entre afloramentos realmente representativos das rochas subjacentes e blocos que podem estar deslocados de sua posição original, ou ainda, representar apenas porções limitadas mais resistentes das rochas originais. Por exemplo, em determinadas áreas são abundantes blocos de rochas de diques, embora estes ocupem, apenas, pequena fração de área total.

III - GEOLOGIA

1) - Aspectos Gerais

A intrusão alcalina de Juquiã está encaixada em rochas metamórficas pré-cambrianas, representadas no local predominantemente por gnaisses, além de quartzitos e mica xistos subordinados.

Nas proximidades da intrusão não ocorrem calcários ou dolomitos de origem sedimentar. Sômente pequenas lentes de rochas carbonáticas ocorrem na região, as mais próximas a cerca de 17 km a ENE.

O complexo apresenta forma irregular, com maior dimensão de 5,4 km na direção E-W e eixo menor de 4-4,5 km na direção N-S. As rochas encontradas podem ser agrupadas preliminarmente da seguinte maneira: piroxenitos e peridotitos, sienitos, ijolitos e carbonatitos, além de rochas afetadas por metassomatismo de contato, entre as alcalinas e as encaixantes. Os contatos entre os diferentes tipos de rochas não puderam ser seguidos em afloramentos, devido ao espesso manto de intemperismo, que cobre a quase totalidade da área.

Fatores que auxiliaram na delimitação das áreas ocupadas pelas diversas rochas foram os minerais residuais e a variação na coloração dos solos. Entre os minerais residuais mais comuns estão o quartzo e a magnetita, além de mica alterada, apatita e alguma titanita. Grande parte do ferro aparece sob forma de óxidos hidratados secundários. Além disso, em alguns locais onde o processo de intemperismo foi menos intenso, notam-se restos de piroxênios. A coloração dos solos é de utilidade, principalmente na delimitação das áreas ocupadas por rochas básicas e ultrabásicas, dada sua tonalidade vermelha escura devida à grande quantidade de óxidos de ferro.

Outro subsídio para a delimitação da área ocupada pelo complexo e suas diversas variedades petrográficas

foi a execução de alguns perfis magnetométricos e cintilométricos.

A magnetometria, apesar do número reduzido de medidas e do seu espaçamento bastante grande, forneceu alguns dados complementares interessantes, principalmente sobre a distribuição das rochas ultrabásicas e do carbonatito. A Figura 2 representa um perfil magnetométrico de componente vertical, associado a perfis cintilométrico, topográfico e geológico. A interpretação geológica baseia-se tanto nos dados de campo como na magnetometria (os valores da magnetometria são aproximados de mais ou menos 30 γ, pois não foi efetuada a correção diurna). A irregularidade da curva magnetométrica pode ser, em parte, devida à magnetita residual dos solos. O espaçamento das medidas, relativamente grande, só permite uma correlação aproximada com a litologia existente, uma vez que alguns dos valores obtidos, provavelmente, são erráticos.

A cintilometria, por sua vez, apenas indicou uma anomalia nas proximidades do carbonatito e será tratada com maior detalhe na parte a ele referente.

Diques de rochas alcalinas foram encontrados em diferentes pontos, com mais freqüência cortando os sienitos localizados no Morro da Casa de Pedra. Devem, no entanto, ocorrer em vários outros locais, pois seus fragmentos e blocos são abundantes em algumas áreas baixas, provavelmente ocupadas por rochas ultrabásicas. Poucos diques foram localizados cortando as rochas encaixantes, mas o pequeno número de afloramentos é fator limitante na sua detecção. Na região também existem diques de rochas lamprofíricas, de atitude desconhecida, conforme se conclui pela presença de pequenos blocos dessas rochas em alguns pontos da área.

A existência de xenólitos não foi comprovada, mas é sugerida por certas massas alteradas na frente de mineração. Sua freqüência e natureza exata somente poderiam ser verificadas em exposições maiores e menos intemperizadas. Não existem na área quaisquer evidências de vulcanismo ou rochas extrusivas.

Fig. 2 : Perfil topográfico, geológico, cintilométrico e magnetométrico através do corpo alcalino de Juquidá.

O Anexo 1 representa o mapa geológico da região, no qual todos os contatos são inferidos, com maior ou menor exatidão, em função dos dados disponíveis. No Anexo 3 estão localizadas as amostras citadas no texto, consideradas representativas da área.

A classificação petrográfica utilizada para as rochas alcalinas, excluídos, portanto, os carbonatitos e fe-nitos, é a proposta por Johannsen (1939), procurando-se evi-tar o uso de termos pouco conhecidos. As composições mo-dais das rochas são expressas em percentagens volumétricas, obtidas mediante contagem de pontos (Chayes, 1949). Na maio-ria das amostras, o número de pontos contados foi superior a 1 000.

A composição normativa e os números de Niggli foram calculados a partir das análises químicas disponí-veis, utilizando computador com a programação elaborada por Amaral (1967), com algumas modificações posteriores, in-troduzidas pelo mesmo autor.

Na apresentação das análises químicas em tabe-las, utilizou-se o hífen (-) para indicar os óxidos não do-sados. Quando se trata de citação de outros autores, usa-ram-se as abreviações ou termos por estes utilizados; assim, por exemplo, citações de Johannsen podem apresentar os i-tens traços (tr.), não detectado (nd) e ausente (none).

A granulação dos minerais é expressa segundo Williams e outros (1955), nas classes fina, média, grossa e muito grossa; utiliza-se, ainda, a denominação muito fi-na, para grãos menores do que 0,2 mm.

2) - Rochas Encaixantes do Corpo Alcalino

a) - Distribuição e Estruturas

As rochas encaixantes do complexo alcalino de Juquiã estão situadas na unidade denominada "complexo mig-matítico indiferenciado". São rochas originárias de um

antigo miogeossinclinal pré-cambriano que foi dobrado, resultando grandes dobras de orientação geral nordeste-sudoeste, havendo intrusão de granitos sintectônicos palingenéticos em núcleos de anticlinais (Melfi e outros, 1965). De maneira geral, na região sul do Estado de São Paulo, o grau de metamorfismo das rochas aumenta de noroeste para sudeste, havendo uma mudança na litologia, pois no alto Vale do Ribeira predominam filitos, calcários e quartzitos, enquanto próximo à costa, prevalecem gnaisses migmatíticos e xistos, havendo apenas localmente quartzitos e lentes de calcário. A faixa onde dominam gnaisses e granitos era anteriormente considerada mais antiga, pertencente ao arqueano; no entanto, a falta de discordância e o aumento gradual do metamorfismo, observado em muitos trechos, levaram a considerar que pelo menos grande parte dos gnaisses e migmatitos corresponde aos mesmos sedimentos que deram origem aos filitos, mas que sofreram metamorfismo mais intenso (Morais Rego, 1933; Melfi e outros, 1965; Serv. do Vale do Ribeira, 1966).

Embora já exista volumosa bibliografia sobre diversos aspectos da geologia do Grupo Açungui, encontram-se apenas referências isoladas sobre os gnaisses da faixa costeira. Não existe nenhum trabalho de caráter regional sobre a área em que se situa o complexo de Juquiã. Rochas de grau de metamorfismo semelhante foram descritas, recentemente, no Estado do Paraná por Fuck, Trein e Marini (1967), Cordani e Girardi (1967) e Girardi (1969).

Determinações radiométricas de idades das rochas do Grupo Açungui e de gnaisses migmatíticos, pelo método K/Ar, efetuadas no Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo, indicaram que a deposição dos sedimentos se deu há mais de 650 milhões de anos, porém, ainda no pré-Cambriano superior, tendo a principal fase orgênica, bem como a intrusão dos granitos, ocorrido entre 600 e 650 milhões de anos (Cordani e Bittencourt, 1967). Essa fase parece estar relacionada à tectogênese Baikaliana, de grande importância em todo o Brasil (Almeida, 1967,

p.11-19).

O complexo alcalino de Juquiã está circundado, em sua maior parte, por rochas gnáissicas. Quartzito ocorre em pequena extensão no contato noroeste de intrusão, nos flancos e na base do Morro da Casa de Pedra. Pouco afastados da intrusão, na direção norte, foram encontrados quartzo-mica xistos alterados, de distribuição restrita.

Embora não aflorem calcários imediatamente em redor do corpo alcalino, é interessante conhecer as características das rochas carbonáticas mais próximas, pertencentes ao embasamento. Na estrada Biguã-Iguape, 17 km a ENE da intrusão, a cerca de 4 km da rodovia BR-116, ocorrem 3 lentes de dolomito com espessuras em torno de 10 m, encaixadas em migmatitos de orientação próxima a E - W. Trata-se de dolomito branco, sacaróide, de granulação grossa, impuro, sendo que uma das lentes mergulha cerca de 60° para norte e outra 70° para sul.

A direção de xistosidade dos gnaisses na região da intrusão varia entre NE e E - W, com mergulhos fortes para SE ou verticais, observáveis, por exemplo, em fotografias aéreas da Serra das Onças, onde ocorrem vários "dip slopes". Medidas de xistosidade em afloramentos e rochas semi-alteradas próximas à intrusão apresentam direções bastante variáveis, entre N 20-80° E, com mergulhos de 40° SE a verticais. Verifica-se, portanto, que nas imediações do complexo alcalino ocorreram consideráveis deformações nas rochas encaixantes, embora não se tenha estabelecido nenhuma estrutura característica de intrusão forçada.

A intrusão de rochas alcalinas, segundo Almeida (1967, p. 26), parece estar relacionada a uma fase de maior atividade tectônica, caracterizada como reativação Wealdeniana, que se fez sentir com maior intensidade nas regiões costeiras e suas proximidades.

Em diversas localidades onde ocorrem chaminés de rochas alcalinas, nas encaixantes graníticas ou gnáissicas verificou-se o desenvolvimento de nítidos sistemas de

fraturas radiais e concêntricas, às vezes preenchidos por diques de rochas alcalinas. Exemplos de fenômenos tectônicos desse tipo são as províncias de Fen, Alnô, Chilwa, Spitskop, Kalkfeld, Anitápolis e outras, descritas por diversos autores.

Na região de Juquiã, entretanto, o profundo intemperismo impossibilita a localização de fraturas ou a medida da atitude de diques, no campo. Com a finalidade de verificar se ocorreram fenômenos deste tipo, foi executada a interpretação fotogeológica, em escala 1:25 000, de uma área aproximada de 20 x 13 km, em torno da intrusão alcalina. As observações feitas estão representadas no Anexo 2 (reduzido de 50%).

Nas fotografias aéreas são observáveis numerosos lineamentos fotogeológicos que podem ser classificados em dois tipos:

- 1 - Lineamentos representados essencialmente por pequenas depressões, situadas nas áreas mais elevadas. Essa feição é melhor observável nas regiões desmatadas. De uma maneira geral, elas formam grande ângulo com a orientação geral das rochas.
- 2 - Lineamentos relacionados à rede de drenagem, representados por vales retilíneos, em parte preenchidos por aluviões.

Estes dois tipos de lineamentos correspondem em sua maioria a fraturas ou diáclases e, subordinadamente, à direção dos metassedimentos.

A dificuldade de interpretação do mapa obtido reside no fato de que os fraturamentos devidos à intrusão magmática se sobrepõem às orientações anteriores dos gnaisses e dos sistemas de fraturas que estes apresentariam em consequência de deformações independentes do magmatismo.

Considerando-se apenas os lineamentos mais desenvolvidos, que em geral coincidem com as principais drenagens, observa-se que há predominância de duas direções, NE

a E e NW a W, que correspondem, respectivamente, à direção geral das camadas encaixantes e uma direção perpendicular.

A fim de verificar se nas proximidades da intrusão ocorre um padrão de fraturamento diferente do regional, fêz-se o levantamento da direção dos lineamentos em três áreas: 1- Área da intrusão; 2- Área imediatamente vizinha à intrusão, situada dentro de um raio de 5,5 km do centro da mesma; e 3- Área externa, abrangendo os lineamentos entre a periferia da área anterior e os limites do mapa (Figura 3 A, B e C).

Nota-se que a intrusão, propriamente dita, apresenta um padrão de distribuição das freqüências bem diferente das outras duas áreas, embora deva ser considerado, também, o menor número de lineamentos por área unitária. A menor freqüência de lineamentos próximos à direção E-W na parte central, com certeza é devida à ausência das direções de acamamento ou xistosidade, que aparecem nitidamente nos diagramas B e C. Por outro lado, a direção N-S ressalta, tanto dentro como fora da área alcalina, levando a crer que esse sistema de fraturas seja posterior à atividade magmática. Os picos de freqüência situados, respectivamente, a N15E e N45E são característicos do complexo intrusivo.

Não parece possível identificar na área B qualquer sistema preferencial, atribuível à proximidade do magmatismo, uma vez que o padrão de lineamentos nesta área é muito semelhante ao da área C.

Entretanto, analisando os lineamentos nos quatro quadrantes da área próxima à intrusão, pode-se reconhecer a influência desta na freqüência das direções radiais (Figura 4). Nos quadrantes SE e NW desaparece a predominância da xistosidade das encaixantes, tornando-se mais freqüentes os lineamentos voltados para as rochas alcalinas.

Não se notou qualquer associação da intrusão alcalina a fraturas ou falhas de grande extensão. O grande

Fig. 3: Diagramas da distribuição de lineamentos fotogeológicos em torno da intrusão alcalina.

Fig. 4: Diagramas de distribuição de lineamentos fotogeológicos por quadrantes na área próxima à intrusão alcalina.

desnível existente entre a Serra do Bananal e a Baixada do Ribeira, continuações naturais da Serra do Mar e da Baixada Santista, respectivamente, é de origem discutida, sendo para alguns consequência da erosão e para outros, pelo menos em parte, devido a falhamentos. Caso o desnível seja apenas erosivo, a parte atualmente exposta do complexo alcalino está pelo menos 800 metros abaixo de uma antiga superfície, da qual a Serra do Bananal é um vestígio.

Melcher (1966, p. 179) em suas considerações sobre a intrusão de Jacupiranga, situada em altitude próxima à de Juquiã, admite a possibilidade de mais de 1 500 metros de rochas terem sido removidas pela erosão, incluindo um capeamento do Grupo Açungui por sedimentos paleozóicos e mesozóicos.

Somente o estudo tectônico de uma grande região, compreendendo as alcalinas de Jacupiranga, Juquiã, Cananéia e Itapirapuã, poderia trazer eventuais informações de interesse sobre as condições que controlaram a localização dessas intrusões.

b) - Petrografia

Os gnaisses, que circundam a intrusão alcalina em sua maior parte, apresentam características bastante variáveis. Em parte são gnaisses fitados, com faixas centimétricas claras e escuras, encontrados ao longo da BR-116. Bem mais frequentes, no entanto, são os afloramentos onde a rocha apresenta intercalações milimétricas claras e escuras, muito irregulares e dobradas. Essas rochas podem apresentar cristais centimétricos ocasionais de feldspato. Em outros locais a rocha adquire um aspecto granitóide, sem qualquer orientação nítida dos minerais; essa variedade de encaixante é mais comum a sudoeste da intrusão, onde apresenta coloração muito clara, quase branca, sendo composta essencialmente por quartzo e feldspato, às vezes com alguma biotita.

Os minerais máficos constituintes dos gnaisses são biotita e anfibólio, concentrados nas bandas escuras.

A biotita apresenta coloração esverdeada a marrom e pleocroísmo intenso. O anfibólio é uma hornblenda comum, cuja cor varia entre verde e marrom, também bastante pleocróica. As quantidades desses minerais são muito variáveis, podendo existir apenas biotita ou predominar o anfibólio.

Os minerais leucocráticos dos gnaisses são quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio. O quartzo, de granulação média, ou fina em certas faixas, apresenta contornos denteados e freqüente extinção ondulante; pode ocorrer como pequenas inclusões nos feldspatos. O feldspato alcalino é uma microclínio-microperitita, de aspecto turvo e geminação bem nítida. Existem dois tipos de plagioclásio: um muito turvo, freqüentemente geminado segundo lei da albita, apresentando incipiente transformação em epidoto de granulação muito fina, e cuja composição mais provável é a da andesina. O outro tipo de plagioclásio é límpido, com geminação polissintética e ocorre em grãos isolados ou formando uma borda em torno do plagioclásio turvo; sua composição corresponde a oligoclásio-andesina.

Outros minerais que ocorrem no gnaiss são: albita de cor amarela, milimétrica, com borda mais ou menos desenvolvida de epidoto; raros e pequenos grãos de zircão; apatita como acessório ocasional e opacos, em quantidade muito restrita.

A composição dos gnaisses da região de Juquiã é bastante semelhante à das rochas gnáissicas descritas por Girardi (1969) na região de Morretes-Antonina, Estado do Paraná. Esse autor admitiu que o metamorfismo regional correspondeu ao fácies anfibolito.

Próximo ao contato WNW da intrusão, ocorre uma pequena faixa de anfibolito, constituído apenas por plagioclásio e hornblenda verde, muitas vezes idiomórfica.

Localmente, as rochas gnáissicas contêm elevada proporção de biotita, passando a constituir pequenas zonas melhor caracterizadas como mica-xisto. Uma dessas zonas, de limitada extensão, ocorre entre a BR-116 e a intrusão alca

lina.

Os quartzitos que afloram próximo ao Morro da Casa de Pedra são compactos e não apresentam orientação visível, sendo constituídos quase exclusivamente de quartzo.

Os dolomitos da Serra do Bananal são rochas de cor branca e acinzentada, de granulação média a grossa. Em afloramentos distinguem-se faixas mais carbonáticas, alternadas com outras ricas em silicatos. A textura é granoblástica e os constituintes principais, além de carbonatos, são diopsídio, tremolita e muscovita.

Na proximidade do contato meridional da intrusão alcalina ocorrem alguns blocos de rocha de composição diorítica. Possui granulação média, sem orientação visível. Os constituintes são: piroxênio quase incolor, de composição diopsídica ($Z:c = 38-40^{\circ}$) e parcialmente anfibolitizado, além de plagioclásio (andesina). Pequena quantidade de quartzo pode existir, sendo muito variável a proporção de biotita.

31 - Piroxenitos

a) - Modo de Ocorrência e Distribuição

Os piroxenitos ocupam, provavelmente, a maior fração da área do complexo alcalino de Juquiã, conforme se verifica no mapa geológico (Anexo 1). Sua área de distribuição é, em grande parte, inferida a partir da coloração vermelha intensa dos solos e de restos do material original, porventura existentes. Como constituem o tipo de rocha mais facilmente alterável de toda sequência alcalina presente em Juquiã, explica-se sua reduzida ocorrência em blocos ou afloramentos representativos. Parece provável que grande parte da área coberta por brejos e aluviões recentes esteja também ocupada por rochas desse tipo.

Afloramentos de piroxenitos foram localizados

em apenas três ou quatro lugares, mas, com uma única exceção (Se-95), nesses locais apenas é possível identificar o tipo litológico, rico em minerais máficos. As amostras colhidas foram encontradas geralmente nas partes baixas, próximo ao nível dos brejos, em blocos irregulares de dimensões decimétricas, soltos ou incrustados em cortes do rególito.

As rochas piroxeníticas ocupam a parte externa do complexo alcalino, sendo, por sua vez, circundadas apenas pelos fenitos, na zona de transição para os gnaisses encaixantes. No seu interior localizam-se o corpo carbonatítico, um corpo sienítico intrusivo e massas ijolíticas restritas. Em diversos pontos ocorrem, também, fragmentos de diques básicos e sieníticos, de atitude e espessura desconhecidas. Um afloramento, representado pela amostra Se-95, é cortado por diversos veios feldspáticos muito irregulares, de espessura inferior a um centímetro.

Variedades feldspáticas são encontradas em diversos locais; possivelmente fazem parte de áreas menos básicas individualizadas, à semelhança do que ocorre, por exemplo, em Palabora, onde há um anel externo de piroxenito feldspático. (Hanekom e outros, 1965.) Embora elas sejam encontradas apenas na parte periférica do complexo de Juquã, não é possível atribuí-las a uma zona externa definida, uma vez que se encontram frequentemente associadas a piroxenitos típicos. Por outro lado, na parte central da intrusão, a falta de afloramentos impossibilita um mapeamento mais detalhado.

Alguns piroxenitos contêm grande quantidade de olivina, constituindo termos de passagem para peridotitos; sua distribuição também ainda é desconhecida.

O intemperismo dos piroxenitos dá origem a solos de coloração vermelha muito intensa, ricos em grãos de magnetita e nódulos de minerais hidratados de ferro. Esses enriquecimentos superficiais chegaram a despertar o interesse de pesquisadores sobre a possível existência de jazidas

das de minério de ferro.

b) - Mineralogia

A composição mineralógica das rochas ultrabásicas é relativamente simples, caracterizando-se pela predominância de minerais máficos, que ultrapassam 50% em volume, mesmo nas variedades menos básicas; nos casos mais típicos, perfazem mais de 80% dos constituintes, conforme se pode verificar na Tabela 1 (p. 30). Os minerais escuros mais importantes são, pela ordem de abundância, clinopiroxênio, olivina, biotita e opacos, enquanto entre os minerais claros predominam os feldspatos, havendo nefelina subordinada. Apatita é o principal acessório, quase sempre presente, em pequenas quantidades. Serpentina, clorita, sericita e carbonato são produtos de alteração dos minerais essenciais, ocorrendo em quantidades variáveis; parte da magnetita pode ser proveniente da alteração de olivina.

Piroxênios

Constituem os minerais mais importantes, ocupando entre 40 e 80% em volume; augita é a variedade predominante, além de algum hiperstênio ou enstatita. A granulação varia de 0,2 a 6 mm, situando-se em geral entre 1 e 3 mm. A forma dos grãos é, também, bastante variável, desde alotriomórfica a prismática. As formas idiomórficas parcialmente desenvolvidas podem ser encontradas, com certa freqüência, nas variedades mais feldspáticas.

A cor dos piroxênios é geralmente castanha, por vezes esverdeada. Em lâminas delgadas, a coloração também é castanha a esverdeada, porém mais clara. Na maioria das amostras, o pleocroísmo é pouco pronunciado ou mesmo ausente. O piroxênio castanho esverdeado, da amostra Se-95, tem pleocroísmo mais visível, em especial no corte basal (001), quando se apresenta marrom claro purpúreo em Y e

amarelo esverdeado na sua perpendicular.

Os piroxênios comumente exibem zonamento, caracterizado pela existência de faixas ou áreas ricas em inclusões titaníferas, aciculares e orientadas. Em geral essas faixas estão situadas próximo às bordas dos grãos. Variações de coloração num mesmo cristal, sugestivas de diferenças na composição do mineral, são raras; quando ocorrem, o núcleo é mais claro do que as bordas.

Geminação simples segundo o plano {100} é comum, sendo mais rara a ocorrência de geminação polissintética, segundo {001}, em lamelas bastante largas.

Os piroxênios com muita frequência englobam grãos finos de minerais opacos, principalmente magnetita. Quando o piroxênio contém pequenas manchas de biotita, ele se torna descorado e sem inclusões aciculares em torno da mica.

Os piroxênios presentes são pouco titaníferos, o que se reflete também na ausência de coloração avermelhada, característica muito comum nessas variedades. Este fato também pode ser inferido a partir das análises químicas (Tabela 2), pois apenas a amostra Se-95 possui teor de TiO_2 mais elevado, superior a 2%.

Algumas rochas contêm certa quantidade de piroxênio ortorrômbico ligeiramente avermelhado, hiperstênio ou enstatita. Esse mineral forma uma auréola em torno de cristais de olivina, tendo-se originado a partir da mesma.

Olivina

Na maioria das amostras estudadas, existe uma proporção variável de olivina; mesmo em algumas lâminas em que está ausente, ainda é possível notar alguns agregados minerais que sugerem sua substituição. A olivina exibe cor clara e granulação média, entre 1 e 3 mm, embora grãos finos da ordem de 0,5 mm não sejam raros. A olivina, quando relativamente frequente, é alotriomórfica, for

mando como que cordões entre os piroxênios, às vezes englobando cristais arredondados d^êstes. Se, pelo contrário, ocorre em pequena quantidade, a olivina está distribuída entre os piroxênios, com forma arredondada, indicando digestão parcial. Em algumas variedades ricas em feldspatos, que envolvem a olivina, esta apresenta formas quase idiomórficas.

Os cristais de olivina quase sempre exibem evidências de alteração intempérica, que se faz notar por pequenos veios de material serpentínico, verde ou amarelado, atravessando os grãos, bem como alguma magnetita secundária fina.

Pequenas inclusões, normalmente de granulação muito fina, constituídas por magnetita e outros minerais não identificados, são comuns e podem estar dispersas ou formando pequenos cordões no mineral.

Ópticamente, verifica-se que o ângulo $2V$ é muito grande, próximo de 90° , o que indica elevada proporção da molécula forsterita.

Em algumas lâminas foi verificada a existência de um anel de piroxênio, hiperstênio ou enstatita, em tôrno da olivina, formado às suas expensas; na maioria das vezes, a olivina não mostra qualquer indício de instabilidade, além de sua forma arredondada.

Opacos

Minerais opacos estão presentes em tôdas as amostras, perfazendo, em geral, menos de 10%, embora em rochas muito alteradas possa haver magnetita secundária, devida à decomposição de olivina.

Os minerais opacos são constituídos quase exclusivamente por magnetita e, talvez, alguma ilmenita. Em uma única lâmina foram encontrados abundantes minerais opacos de c^ôr amarela, identificados como pirrotita por serem magnéticos; em outras amostras a pirrotita ocorre em

proporção muito pequena.

A granulação da magnetita varia de muito fina até 1,5 mm. Embora seja mais comum entre os minerais ferromagnesianos, quando muito fina, a magnetita constitui inclusões em outros cristais. Nas variedades mais ricas em feldspatos pode ocorrer isolada entre grãos deste mineral.

Uma feição muito comum é a presença de uma coroa de biotita em torno da magnetita. Tendência para o idiomorfismo é bastante rara entre os minerais opacos.

Biotita

Ocorre em quantidades variáveis, atingindo até 15% do volume total, sendo mais freqüente nas variedades feldspáticas. É de hábito nitidamente intergranular, apresentando granulação entre 0,1 e 2 mm. Como acima mencionado, muitas vezes está associada aos minerais opacos, envolvendo-os parcial ou totalmente.

A biotita é de cor muito escura e, ao microscópio, exibe forte pleocroísmo, variando segundo X-marrom claro amarelado, Y-vermelho escuro e Z-vermelho marrom. Parece tratar-se de uma variedade rica em ferro, como indica o pleocroísmo e a associação aos minerais opacos.

Feldspatos

Os minerais do grupo dos feldspatos estão ausentes nos piroxenitos mais típicos, ou ocorrem em quantidades muito reduzidas; nas amostras menos básicas, entretanto, passam a assumir certa importância, perfazendo até 40% do volume total.

Quando presentes em pequenas quantidades, os feldspatos preenchem os espaços intergranulares; nas rochas em que são abundantes, envolvem os outros minerais. Quando a proporção de feldspato é ainda maior, olivina e

piroxênio passam a apresentar formas quase idiomórficas, em grãos isolados e cercados por feldspatos.

A variedade presente é andesina, que exibe frequente geminção Carlsbad e polissintética, esta segundo a lei da albita e, às vezes, do periclínio. Em algumas lâminas, a andesina pode possuir bordas não geminadas, em torno de núcleo com geminação polissintética. Alguns grãos de feldspato alcalino, límpido, podem ser encontrados.

Nefelina

Em algumas rochas ultrabásicas podem ocorrer pequenas quantidades de feldspatóides, representados por nefelina, não ultrapassando alguns percento em volume. É um mineral intersticial e límpido, podendo apresentar pequenas manchas turvas, devidas a alteração incipiente.

Em uma única amostra aparece nefelina intimamente intercrescida com feldspato, constituindo cordões, ilhas ou cristais isolados.

Apatita

É um mineral ocasional, que parece se restringir às variedades feldspáticas, representado por grãos límpidos de hábito prismático e de granulação fina.

Perovskita

A perovskita ocorre como mineral ocasional de uma ou outra rocha e, mesmo onde é mais frequente, ocupa menos de 1%. Apresenta granulação fina a muito fina, em geral menor do que 0,1 mm. A perovskita está associada aos minerais opacos, podendo formar uma coroa parcial em volta deles. Em lâmina, sua cor é avermelhada, com ligeira tonalidade marrom; sua observação é mais fácil com luz convergente, pois a perovskita, além de ser fina, muitas vezes ocorre entre grãos de minerais opacos.

c) - Petrografia

As rochas aqui designadas, genêricamente, como piroxenitos englobam uma série de variedades nas quais os minerais máficos, piroxênio e olivina, predominam de maneira acentuada, mas compreendem também tipos menos básicos, contendo feldspatos. Algumas vezes são também designadas rochas ultrabásicas, mas apenas no sentido de que, em conjunto, são pobres em sílica.

Os piroxenitos são de tonalidade muito escura, geralmente sem estruturas evidentes. A suborientação de piroxênios, restrita a poucas amostras, pode ser reconhecida em fraturas frescas. Entre os minerais, apenas os piroxênios maiores podem ser identificados à vista desarmada, quando mostram faces de clivagem distintas. Nas amostras que possuem uma crosta intemperizada, os cristais de piroxênio se tornam salientes por serem um pouco mais estáveis; as variedades feldspáticas, por sua vez, podem ser reconhecidas, pois os feldspatos em alteração adquirem cor esbranquiçada. Os piroxenitos muito alterados tornam-se bastante friáveis e esverdeados, podendo exibir aspecto xistoso.

Em geral, as rochas possuem textura hipidiomórfica granular, nas quais o piroxênio e a olivina podem apresentar tendência a desenvolver formas próprias; já a biotita, feldspato e nefelina, quando presentes, são intersticiais. A ordem de cristalização dos minerais é magnetita, olivina e piroxênio mais ou menos contemporâneos, biotita, feldspato e nefelina.

A granulação dos minerais constituintes varia de fina a média, não havendo amostras de granulação exclusivamente fina. O material fino ocorre em manchas ou entre grãos maiores, sendo constituído, principalmente, por piroxênio e olivina.

A Tabela 1 mostra a composição modal de 7 amostras deste grupo, ordenadas dos termos mais básicos para

os menos básicos.

Não é possível dizer quais as variedades que predominam no campo, uma vez que, como já foi frizado, o número de amostras é pequeno em relação à área; além disso, a maioria delas foi colhida em locais onde ocorrem concentrações de blocos semi-alterados, que possivelmente representam porções mais resistentes ao intemperismo. Os dois ou três afloramentos "in situ" dessas rochas, abaixo do solo vermelho, encontram-se por demais alterados para permitir estudo ou amostragem.

	Se-95	Se-27	P-23	Se-31	Se-104	Se-75	P-18
Piroxênio	81,5	60	57	49	55,5	46	42
Olivina	-	33,5	24	19,5	-	23	3,5
Biotita	6	1,5	0,5	12	13	8	9,5
Plagioclásio	-	-	7	-	13,5	}14	}37,5
Feldsp. K	-	-	-	}14	-		
Nefelina	3	-	-		-	-	-
Opacos	8,5	2,5	9,5	2,5	16	6	5*
Apatita	tr	-	0,5	1	1	tr	0,5
Perovskita	0,5	-	-	-	-	-	-
Carbonatos	-	0,5	-	-	-	-	-
Serpentina	tr	2,5	1	1,5	1,5	3	2
Outros	-	tr	tr	-	-	-	-

(*) inclui sulfetos

Tabela 1: Composição modal de algumas rochas ultrabásicas da intrusão alcalina de Juquiã.

As amostras Se-27 e P-23 são macroscopicamente semelhantes e provenientes do mesmo local, no entanto, mostram consideráveis diferenças na composição. Pelo fato de se apresentarem pouco alteradas, apesar de provenientes de pequenos blocos e constituídas por minerais bastante susceptíveis ao intemperismo, pode-se admitir que elas sejam representativas dessa área.

As variedades pobres ou isentas de feldspatos, mas com quantidades consideráveis de olivina, como por exemplo as amostras Se-27 e P-23, constituem termos intermediários entre piroxenitos e peridotitos.

A amostra Se-95 referida na Tabela 1 é, provavelmente, a que mais se aproxima de um jacupiranguito típico, segundo definido por Johannsen (1938), pois contém 90% de augita e opacos. Entre os minerais restantes, a biotita é o mais importante, o que permite classificar a rocha como biotita jacupiranguito ou bebedourito, segundo definição do mesmo autor. O piroxênio exibe hábito prismático alongado, sendo o comprimento de 4 a 5 vezes a largura da mineral; não há orientação dos piroxênios, apesar de ocorrer paralelismo de vários cristais. Grande parte da biotita vermelha intergranular está associada aos minerais opacos, podendo também englobar pequenos grãos de piroxênio. Nessa amostra ocorre, ainda, pequena quantidade de nefelina intergranular e pouca perovskita. Em lâmina, notam-se alguns veios delgados preenchidos por carbonatos; nos contatos com esses veios o piroxênio adquire cor esverdeada.

As outras variedades possuem entre 10 e 40% de feldspatos, o que as caracteriza como gabros alcalinos. Piroxênio, com zonamento desenvolvido, e olivina apresentam certa tendência ao idiomorfismo, característica que se torna mais acentuada com aumento da quantidade de feldspatos. A biotita, também associada aos opacos, é mais freqüente do que nos piroxenitos propriamente ditos.

A amostra Se-31 contém 14% de minerais claros, sendo 3-4% de nefelina e o restante feldspato potássico. Esses dois constituintes, intersticiais e tardios, encon

tram-se intimamente associados, sendo comuns grãos de feldspato contendo grânulos de nefelina.

O feldspato predominante das amostras Se-75 e P-18 é andesina, que pode ser zonada, ao lado de quantidade muito pequena de feldspato alcalino. Além disso, essas duas amostras têm certa quantidade de ortopiroxênio, mais comum em P-18, constituindo borda de alteração de olivina.

No complexo alcalino não foram encontrados peridotitos típicos em afloramentos. Entretanto, a presença desse tipo de rocha é demonstrada por alguns blocos intensamente serpentinizados, em que são reconhecíveis numerosos restos de olivina, além de algumas manchas ricas em piroxênio. A constituição modal aproximada é a seguinte: 25% de olivina, 2,5% de piroxênio, 54% de serpentina e 18% de opacos, predominando a magnetita.

Na Tabela 2 é apresentada a composição química de dois piroxenitos de Juquiã, juntamente com médias de análises de localidades congêneres.

Verifica-se que a composição da amostra Se-95 difere um pouco dos valores médios de 21 amostras, determinados por Nockolds (1954), por possuir Al_2O_3 e MgO baixos e Fe_2O_3 e CaO mais altos. Em relação ao jacupiranguito da localidade original, a rocha de Juquiã se destaca, especialmente por teores de Fe_2O_3 e TiO_2 mais baixos e de álcalis bem mais elevados; isto é devido, principalmente, à presença de biotita e de alguma nefelina. Deve-se notar, no entanto, que os piroxenitos de Jacupiranga têm composição mineralógica variável, podendo existir quantidades substanciais de biotita e nefelina. A amostra de Jacupiranga, que Washington considerou típica daquela localidade, recebeu a denominação jacupiranguito, devido à composição diversa dos piroxenitos até então descritos.

	Se-95	Se-25	A	B	C
SiO_2	41,20	41,70	38,38	41,55	40,27
TiO_2	2,36	1,36	4,32	3,31	1,30
Al_2O_3	6,58	6,58	6,15	7,25	7,29
Fe_2O_3	7,69	5,44	11,70	6,80	4,28
FeO	7,82	9,62	8,14	7,77	9,08
MnO	0,09	0,15	0,16	0,20	0,25
MgO	11,79	19,74	11,47	13,02	24,31
CaO	17,56	11,66	18,60	16,93	7,15
Na_2O	1,76	3,68	0,78	1,38	1,06
K_2O	1,01	0,04	0,13	0,70	0,62
H_2O^+	-	-	0,54	0,50	3,67
H_2O^-	0,14	0,24	0,18	-	-
P_2O_5	0,15	0,03	0,17	0,59	0,38
CO_2	0,29	0,18	-	-	0,34
	98,44	100,42	100,72	100,00	100,00

Se-95 - Biotita piroxenito (Bebedourito) - Próximo à base do Morro do Serrote, lado norte - Juquiã.

Se-25 - Piroxenito - Parte norte do complexo alcalino - Juquiã.

A - Jacupiranguito - Jacupiranga - Washington (1901), em Johannsen (1938).

B - Alkali-piroxenito - Média de 21 análises - Nockolds (1954).

C - Alkali-peridotito - Média de 12 análises - Nockolds (1954).

Tabela 2: Composição química de rochas piroxeníticas.

A amostra Se-25 é bastante semelhante a Se-27, cuja composição modal consta da Tabela 1, sendo, no entanto, mais pobre em olivina. Sua análise química confirma tratar-se de uma variedade intermediária entre piroxenitos e peridotitos, distinguindo-se das análises apresentadas para comparação, pela pobreza em Al_2O_3 e FeO alto, mas, principalmente, pelo elevado teor em Na_2O , ao lado de K_2O muito baixo.

	Se-95	Se-25
Or		
Ab		
An	7,29	1,27
Ne	9,77	19,09
Le	4,92	0,18
Ac		
Di	<div> <div></div> <div>Wo</div> </div> 26,84	19,03
	<div> <div></div> <div>En</div> </div> 24,16	10,82
	<div> <div></div> <div>Fs</div> </div> 2,68	1,87
Cs	3,76	1,67
Ol	<div> <div></div> <div>Fo</div> </div> 7,04	24,48
	<div> <div></div> <div>Fa</div> </div> 0,78	7,43
Cc	0,76	0,44
Ap	0,32	0,06
Il	3,39	1,82
Mt	8,29	5,48

CIPW, modif. Niggli (seg. Barth, 1952)

Tabela 2a: Normas moleculares de duas rochas piroxeníticas de Juquiã.

4) - Ijolitos

a) - Modo de Ocorrência e Distribuição

Têrmos da série ijolítica, constituídos essen
cialmente por piroxênios e feldspatoides em quantidades va
riáveis, foram encontrados em quatro locais diferentes, po
rém sem ocupar lugar de importância no complexo alcalino
de Juquiã. Essas exposições são de área restrita, sendo
representadas por 3-4 blocos, cujas dimensões raramente ul
trapassam 1-1,5 m. Por êsse motivo não foi possível esta
belecer suas relações com as outras rochas alcalinas vizi
nhas. No mapa geológico (Anexo 1), os ijolitos estão indi
cados apenas nos locais em que afloram, embora possam ocu
par área mais ampla. Dois afloramentos distintos no lado
oeste da base do Morro do Serrote, estão indicados como
ocorrência única, apesar das rochas apresentarem considerá
veis diferenças na composição.

O ijolito localizado próximo ao nível do brejo,
na parte sudeste da base do Morro do Serrote, provávelmen
te, está situado entre o carbonatito e sienito ou piroxeni
to. Também neste caso sua distribuição é desconhecida, pois
limita-se a alguns matacões de até 1,5 m.

No Guaviruva, esta variedade ocorre em meio a
numerosos afloramentos de sienito e o pequeno número de blo
cos sugere distribuição restrita. Manchas ijolíticas escu
ras foram encontradas em uma rocha muito feldspatizada, que
apresenta, inclusive, grãos arredondados de nefelina, en
volvidos por feldspato. Êsse modo de ocorrência sugere
que os ijolitos tenham sido parcialmente feldspatizados,
dando origem a sienitos.

As rochas dêste grupo que afloram na base do
Morro do Serrote já haviam sido citadas por Knecht e Feli
císsimo Jr. (1939), que as descreveram como diques em con
tato com calcário dolomítico, provenientes da diferencia
ção do magma sienítico. As condições atuais de exposição,

entretanto, não permitem determinar as relações de campo com segurança.

b) - Mineralogia

Os ijolitos compõem-se essencialmente de piroxênio e feldspatoides, embora algumas variedades possuam quantidades elevadas de biotita. Titanita, opacos, carbonatos e apatita, constituem os acessórios mais comuns, sendo mais importantes os dois primeiros. Perovskita pode ocorrer em algumas amostras, como núcleos avermelhados em titanita, mas em uma rocha é o principal acessório, faltando a titanita.

Piroxênios

Ocupam entre 25 e 50% nas lâminas estudadas, embora, em peso, sua proporção aumente um pouco, devido à maior densidade em relação à nefelina. Macroscopicamente exibem cor escura, que em lâmina varia entre verde e verde claro na maioria das amostras; piroxênio de cor castanha esverdeada foi encontrado em apenas uma lâmina. Alguns piroxênios são quase incolores, mas em geral este fato se restringe ao núcleo dos cristais.

O piroxênio verde, egirina-augítico, sem dúvida, é o mais comum; alguns grãos são quase idiomórficos e o hábito prismático alongado é freqüente. Cristais idiomórficos finos de piroxênio ocorrem como pequenas inclusões em nefelina, biotita e às vezes titanita, que os envolvem poiquiliticamente. Os grânulos mais finos tendem a apresentar cantos arredondados.

A granulação é bastante variável, em sua maior parte milimétrica, da ordem de 1 a 2 mm. Também podem ser encontrados alguns grãos de piroxênio de 4 a 5 mm. Em certas lâminas, entretanto, observam-se micro-ijolitos com granulação predominante de 0,1 a 0,3 mm.

Nos piroxênios verdes o zonamento é muito fre quente, caracterizando-se pela presença de núcleos claros ou quase incolores, de composição augítica, enquanto as bordas são verdes, mais ricas na molécula egirina. O pleocroísmo, nos piroxênios verdes mais comuns, é fraco a moderado e apresenta a seguinte variação: X - verde, Y - verde claro, Z - amarelo esverdeado. Os núcleos de piroxênio quase incolor em alguns casos contêm pequenas inclusões aciculares orientadas, provavelmente de um mineral titanífero. Essas inclusões são semelhantes às aquelas encontradas nas rochas piroxeníticas.

O piroxênio augítico da amostra Se-103, no entanto, é muito diferente, tanto pelo hábito, acentadamente prismático e alongado, como pela tendência ao idiomorfismo. Além disso, esses piroxênios estão suborientados, constituindo prismas alongados de 1 a 4 mm de comprimento, enquanto a largura máxima atinge 0,7 mm nos cristais maiores. Seu pleocroísmo também é fraco, nas tonalidades X-castanho, Y-castanho avermelhado, e Z-castanho amarelado. O zonamento, quando ocorre, é inverso dos piroxênios acima descritos, pois as bordas apresentam cor castanha normal, enquanto os núcleos são de coloração verde. Localmente, ocorrem inclusões aciculares orientadas, dispersas ou constituindo manchas restritas e pouco densas.

Os piroxênios verdes de granulação maior podem englobar nefelina, titanita e apatita, além de esquilulas de biotita e minerais opacos, às vezes em grande quantidade. O piroxênio castanho, por sua vez, engloba grande número de grãos finos (até 0,1 mm) de perovskita, de opacos e poucos de nefelina.

Nas proximidades de veios sieníticos, que cortam os ijolitos, o piroxênio adquire coloração verde-garrafa, tipica de egirina; quando os piroxênios são englobados por minerais desses veios, podem ser transformados em melanita, de cor amarela e alto relêvo, encontrada apenas em casos muito raros.

Feldspatoides

São constituídos essencialmente por nefelina, que em lâmina se apresenta normalmente limpa, poucas vezes com formato quase retangular.

Sua granulação é bastante variável, pois em alguns casos a dimensão mais comum situa-se entre 1 e 3 mm, enquanto em rochas de granulação fina predominam diâmetros entre 0,2 e 0,4 mm. Mesmo nas amostras onde predomina nefelina milimétrica encontram-se manchas constituídas por grãos finos. Em um único caso a nefelina preenche espaços entre os outros minerais, ocupando apenas cerca de 15% do volume total. Nas outras variedades sua percentagem é maior, oscilando entre 30 e 60% do total.

A nefelina possui inúmeras inclusões muito finas, não identificáveis, que se distribuem em cordões alongados, ao longo de planos preferenciais ou de maneira desordenada. Essas inclusões podem ser agulhas finíssimas, parcialmente orientadas, podendo tratar-se, também, de inclusões líquidas ou gasosas.

Com bastante frequência os cristais maiores de nefelina contêm inclusões de piroxênio verde, acicular ou em pequenos grânulos. Nas poucas amostras com perovskita, a nefelina também engloba esse mineral.

Alguns sinais de alteração sempre podem ser notados na nefelina; sua intensidade varia desde incipiente, ao longo de fraturas, até formar pequenas manchas de minerais secundários. Estes são constituídos principalmente por cancrinita, que se destaca por sua cor de interferência amarela, além de calcita.

Biotita

A biotita aparece em quase todas as rochas ígneas, em proporção pequena a média; em casos excepcionais pode ser mais abundante do que a nefelina. De preferência

está associada ao piroxênio, mas pode ocorrer isolada entre os feldspatoides. A biotita pode envolver, total ou parcialmente, grãos de piroxênio, titanita e opacos.

Seu pleocroísmo é muito intenso, variando de amarelo-marrom a laranja em X, marrom a marrom-esverdeado em Y e marrom escuro em Z. Nas proximidades de veios erênticos o pleocroísmo chega a vermelho em X, marrom em Y e verde em Z, provavelmente devido a enriquecimento em ferro.

Quando muito abundante, a biotita pode formar grandes cristais poiquilíticos, com até 6-7 mm, que englo**ba**m principalmente piroxênio, mas também nefelina, opacos e perovskita.

Nas rochas mais finas, de cristalização rápida, a biotita pode ocorrer no interior de piroxênio ou envolven**do** nefelina em maior quantidade.

Titanita

A titanita é um acessório muito comum na maioria dos ijolitos, sendo que em uma amostra chega a ultrapassar 10% em volume. Comumente apresenta-se idiomórfica, com hábito navicular típico. Embora sua granulação em geral se**ja** a mesma dos outros minerais presentes, atingindo até 1 mm, algumas vezes é mais desenvolvida, chegando a envolver poiquiliticamente grãos menores de piroxênio.

A titanita tende a ocorrer associada a piroxênio, biotita e opacos, mas às vezes está isolada, cercada por nefelina. Seus cristais podem mostrar geminação polisintética.

Perovskita

A perovskita não participa da constituição normal dos ijolitos com piroxênios de composição egirina-augítica, mas em alguns casos ocorre em pequena quantidade, como núcleo de cristais de titanita.

Na amostra Se-103, entretanto, a perovskita é bastante frequente e numerosos grãos tendem ao idiomorfismo, com contornos retangulares ou quadrados. Nessa amostra, o mineral ocorre em lugar de titanita, que falta por completo. Constitui inclusão em todos os minerais, exceto os opacos, em torno dos quais pode formar uma borda mais ou menos fina. A perovskita exibe cor violeta a marrom muito escuro, tornando-se amarelada nas bordas mais finas; sua birrefringência é muito baixa. Em seu interior apresenta muitas inclusões finas não identificadas, bem como geminação polissintética ocasional.

Apatita

É um acessório bastante comum em algumas amostras, embora falte em outras. Muitas vezes ocorre na forma de grãos prismáticos ou arredondados que, em lâmina, estão isolados ou associados em pequenas manchas. Suas dimensões, em geral, não atingem 0,5 mm, embora alguns cristais prismáticos possam ter até 1 mm de comprimento.

Opacos

São minerais acessórios sempre presentes, ocorrendo dispersos e em quantidade variável; às vezes são raros, mas podem perfazer até 5% do total. São constituídos por magnetita e pirrotita. A primeira apresenta-se em grãos alotriomórficos entre os outros minerais, enquanto a pirrotita é tardia e às vezes ocupa espaços intersticiais entre os piroxênios. A granulação dos minerais opacos é fina, raramente ultrapassando 1 mm.

Carbonatos

Nos ijolitos, algumas vezes ocorrem manchas de calcita intersticial, com até 1 mm de diâmetro. A grande maioria dos carbonatos, no entanto, é muito fina, sendo produto de alteração de nefelina, na qual forma pequenas man

chas ou preenche fraturas, associando-se à canerinita.

c) - Petrografia

As rochas ijolíticas compreendem aqui toda a série urtito-ijolito-melteigito, definida por Brøgger (1921), utilizando-se essa designação para agrupar todas as variedades compostas essencialmente por piroxênio e feldspatóides. Os limites de subdivisão dessa série, de acordo com a proporção de feldspatóides, são os adotados por Johannsen (1938, p. 313), de 0-50, 50-70 e 70-100%, respectivamente, para melteigito, ijolito e urtito.

São rochas escuras, que se tornam mais claras a medida que aumenta a quantidade de feldspatóides. Podem apresentar manchas muito escuras e de dimensões restritas, que têm biotita como principal constituinte. A maioria dos ijolitos está cortada por veios feldspáticos ou sieníticos, claros e irregulares, cuja espessura varia de poucos milímetros a mais de 10 cm, às vezes com aspecto pegmatítico. As rochas não mostram qualquer orientação dos minerais. A nefelina forma manchas brancas, quando ocorre em agregados ou cristais maiores, às vezes idiomórficos. Cristais milimétricos de piroxênio são reconhecíveis a olho nu devido à sua clivagem, enquanto a biotita se caracteriza pelas palhetas facilmente destacáveis. Nos ijolitos de granulação fina nenhum desses minerais é identificável.

A maior parte das amostras apresenta textura hipidiomórfica granular, sendo piroxênio e nefelina os minerais que podem exibir idiomorfismo, além dos acessórios. Algumas variedades, no entanto, mostram textura alotriomórfica. A granulação é bastante variável, predominando os termos médios a finos; algumas vezes ocorrem grãos de piroxênio e nefelina de granulação maior. Cristais de nefelina, com faces parcialmente desenvolvidas, podem constituir associações glomeroporfiríticas. Em várias amostras, a biotita é um constituinte de importância. Alguns ijolitos possuem grânulos isolados de feldspato alcalino, não relacionados aos veios sieníticos e feldspáticos que cortam a rocha.

	Se-50*	Se-111	Se-53	Se-103*
Nefelina	61	53,5	29,5	14,5
Piroxênio	26,5	42	34,5	44
Biotita	6,5	0,5	34,5	30
Opacos	tr.	1	tr.	5
Titanita	1,5	2,5	1,5	-
Feldspato	1,5	1	-	-
Carbonatos	1	-	-	-
Apatita	0,5	-	-	2
Perovskita	-	-	tr.	4
Outros (incl. cancrinita)	1,5	-	-	-

(*) Análise química na Tabela 4.

Tabela 3: Composição modal de algumas rochas íjolíticas de Juquiã.

A composição modal de algumas amostras consta da Tabela 3. Verifica-se que Se-50 e Se-111 são verdadeiros íjólitos, enquanto Se-53 e Se-103 podem ser designadas biotita melteígitos, pela elevada proporção de biotita.

O piroxênio da maioria das rochas íjolíticas de Juquiã é egirina-augita. Constitui exceção a amostra Se-103, cujo piroxênio é de composição augítica, indicando afinidades com os piroxenitos.

As amostras Se-50 e Se-53, provenientes de locais muito próximos no mesmo afloramento, indicam que a composição pode ser muito variável. Neste caso, em menos de um me

tro, uma rocha muito rica em feldspatóides passa para outra variedade, onde os minerais máficos perfazem praticamente o dobro dos feldspatóides; destaca-se a grande quantidade de biotita com hábito poiquilítico, envolvendo os minerais de granulação fina. Se-53 pode ser denominada biotita micro-melteigito.

Como já foi mencionado, a amostra Se-103 se caracteriza pelo piroxênio augítico; ela possui, ainda, pouca nefelina, além de biotita muito frequente, ocupando os espaços entre os outros minerais. Os acessórios mais importantes são opacos, bastante frequentes, e perovskita. Os piroxênios são prismáticos e alongados e, juntamente com a biotita, apresentam-se suborientados. Esta variedade de melteigito pode representar um dique cortando as rochas ultrabásicas. Pelo tipo de piroxênio presente, ela se assemelha ao piroxenito Se-95 da Tabela 1.

A sequência de cristalização dos minerais nos ijolitos é duvidosa, pois os três principais minerais, piroxênio, biotita e feldspatóide, são em parte contemporâneos. Existem cristais maiores de piroxênio e biotita, envolvendo grânulos de nefelina.

As Tabelas 4 e 4a contêm os resultados da análise química de três amostras de Juquã, bem como suas respectivas normas, ao lado de uma análise parcial citada por Knecht e Felicíssimo Jr. (1939). Para comparação, são apresentadas as análises químicas de algumas rochas similares encontradas na literatura.

A amostra D, pelo que se depreende da citação de Knecht e Felicíssimo Jr. (1939), deve provir do mesmo afloramento que Se-50; há certa discrepância entre as duas análises, talvez devida a uma variação na proporção dos minerais constituintes. Se-50 possui um teor muito elevado em K_2O , não condizente com a composição modal, o que pode ser devido a uma maior quantidade de biotita no material analisado do que na lâmina estudada. A composição real dessa amostra deve ser mais semelhante à análise modal de Se-53,

	Se-50	Se-103	S-7	D	E	F	G	H	I
SiO ₂	43,30	38,60	41,50	41,80	40,9	43,84	42,58	41,90	40,90
TiO ₂	1,06	2,72	1,58	-	2,75	4,12	1,41	2,21	3,99
Al ₂ O ₃	13,43	10,37	17,02	16,44	16,1	12,03	18,46	12,20	13,65
Fe ₂ O ₃	3,19	5,96	5,10	} 16,10	5,06	5,33	4,01	6,41	6,67
FeO	5,57	7,90	4,01		4,55	6,30	4,19	4,32	7,14
MnO	0,09	0,09	0,03	-	0,23	nd.	0,20	0,22	-
MgO	8,69	12,93	4,72	3,91	3,82	8,59	3,22	5,45	8,35
CaO	9,55	13,46	11,26	13,68	13,5	8,88	11,38	16,60	13,28
Na ₂ O	6,59	1,94	8,13	5,49	7,13	6,37	9,55	5,10	3,06
K ₂ O	5,19	3,55	3,05	3,99	2,26	3,76	2,55	2,66	1,65
H ₂ O ⁺	-	-	-	-	-	0,32	0,55	0,87	0,50
H ₂ O ⁻	0,37	0,28	0,11	-	-	0,29	-	-	-
P ₂ O ₅	0,05	0,70	1,26	-	1,61	0,38	1,52	1,24	0,81
CO ₂	0,37	0,11	0,70	-	-	0,17	0,38	0,82	-
Total	97,45	98,61	98,47	101,41	97,91	100,38	100,00	100,00	100,00

Se-50 - Ijolito (Biotita ijolito?) - base do Morro do Serrote, lado oeste, Juquiã.

Se-103- Biotita melteigito - próximo ao brejo do ribeirão Biguã, na base noroeste do Morro do Serrote, Juquiã.

S-7 - Ijolito - Guaviruvá, Juquiã.

D - "Dique de ijolito" - base do Morro do Serrote, perto do brejo do ribeirão Biguã - Knecht e Feliciássimo Jr. (1939).

E - Biotita melteigito - Itapirapuã - Gomes (1967).

F - Mica melteigito - Navete, Caldas de Monchique, Algarve, Portugal - Lacroix (1922), citação em Johannsen (1938).

G - Ijolito - Média de 11 amostras - Nockolds (1954).

H - Melteigito - Média de 9 amostras - Nockolds (1954).

I - Melteigito com titanogaugita - Média de 3 amostras - Nockolds (1954).

Tabela 4: Composição química de rochas ijolíticas.

	Se-50	Se-103	S-7
Or	-	-	9,14
Ab	-	-	-
An	-	9,21	0,92
Ne	25,07	10,57	42,70
Le	24,04	16,97	6,74
Ac	8,17	-	-
Di	Wo	10,03	13,19
	En	8,92	12,70
	Fs	1,11	0,49
Cs	10,16	8,38	2,47
Ol	Fo	20,38	-
	Fa	2,53	-
Cc	0,92	0,28	1,73
Ap	0,10	1,48	2,57
Il	1,45	3,83	2,15
Mt	-	6,30	5,20

CIPW, modif. Niggli (seg. Barth, 1952)

Tabela 4a: Normas moleculares de rochas íjolíticas de Juquiã.

pois sua análise química se aproxima mais dos valores médios que Nockolds (1954, p. 1028) apresenta para melteigitos, do que aqueles referentes aos íjolitos. A análise química de Se-50 também é mais semelhante à composição do melteigito citado por Johannsen (1938), proveniente da área de Navete, Portugal, rico em biotita e originalmente denominado algarvito por Lacroix.

A análise química confirma que Se-103 corresponde a um tipo intermediário entre melteigito típico e piroxênio; ela se destaca das demais rochas do grupo, na região de Juquiã, pelos teores elevados de MgO e CaO e pela pobreza em SiO_2 , Al_2O_3 e, especialmente, Na_2O . O teor extremamente baixo deste último óxido é explicado pela quantidade muito reduzida de nefelina e pelo fato do piroxênio ser rico em CaO e MgO , mas praticamente desprovido de Na_2O . Esta amostra pode ser comparada aos melteigitos com titanogaugita, citados por Nockolds (1954, p. 1028).

5) - Sienitos

a) - Modo de Ocorrência e Distribuição

As rochas sieníticas na região de Juquiã, como se verifica no mapa geológico (Anexo 1), ocupam duas áreas distintas: 1 - O corpo sienítico isolado do Morro da Casa de Pedra, circundado principalmente por gnaisses, além de quartzitos na parte sul. Caracteriza-se pela ocorrência de grandes matacões, em parte identificáveis em fotografia aérea na parte desmatada do morro. Sua extensão exata não é conhecida, pois, só ocorrem blocos, talvez deslocados de sua posição original. A passagem para os gnaisses encaixantes inclui uma zona de metassomatismo de contato; na realidade sua distribuição pode ser menor do que a área indicada no mapa geológico. 2 - Sienitos circundados por rochas ultrabásicas. Eles afloram em um conjunto de morrotes arredondados e circundados por brejos. Incluem a área denominada Guaviruva, onde ocorre grande número de blocos e afloramentos. As variedades são macroscopicamente diferentes, mas sua mineralogia é bastante semelhante.

A sul e oeste desta segunda ocorrência, existem duas áreas sem afloramentos, também constituídas por morrotes arredondados. No mapa geológico foram incluídas na região ocupada por rochas ultrabásicas, mas a morfologia do

terreno sugere a eventual presença de sienitos.

b) - Mineralogia

Embora basicamente semelhante, a mineralogia será discutida em separado para cada um dos corpos, pois o hábito e a composição dos minerais é diferente.

Sienitos do Morro da Casa de Pedra

São constituídos principalmente por feldspatos potássicos e quantidades variáveis de biotita, piroxênio e feldspatóides; os acessórios importantes são: titanita, apatita, opacos e carbonatos, além de sílica em algumas variedades. A presença de anfibólio foi constatada em uma única lâmina.

Feldspatos

Os feldspatos são os minerais predominantes, chegando a perfazer mais de 80% dos constituintes. Apresentam tonalidade cinza clara, às vezes um pouco mais escura. Trata-se de ortoclásio peritítico ligeiramente turvo, com frequente geminação Carlsbad. Seus grãos apresentam hábito alongado, com 0,3 a 6 mm de largura, enquanto o comprimento varia entre menos de 1 mm e 1 cm, embora alguns indivíduos possam atingir 2 cm.

Biotita

A biotita ocorre em todas as amostras, sendo às vezes praticamente o único mineral máfico presente; sua proporção é variável, podendo atingir 15% do total. É comum estar associada a piroxênio, opacos e titanita, em especial ao primeiro; em outros casos está isolada no meio dos feldspatos.

A biotita exhibe pleocroísmo forte e sua cor, em X, varia entre marrom avermelhado e amarelo marrom.

Piroxênios

Os piroxênios são de duas gerações, mostrando hábitos distintos. A maior parte ocorre em grânulos, muito frequentemente associados a biotita; em algumas lâminas, no entanto, forma agulhas prismáticas alongadas, isoladas ou em pequenas concentrações.

O primeiro tipo, mais comum, apresenta granulação fina a média, sendo raras vezes maior que 2 mm. Embora predominem grãos alotriomórficos, alguns têm caráter prismático, tendendo ao idiomorfismo. Sua coloração é variável, em geral esverdeada. Cristais muito claros, levemente castanhos, são comuns em algumas variedades, possuindo então borda de cor verde mais intensa. O piroxênio castanho, segundo o ângulo de extinção, é augítico; suas bordas, bem como o piroxênio verde, correspondem a egirina-augita, com pleocroísmo moderado.

O piroxênio que forma agulhas pertence a uma fase posterior e está associado a outros minerais, também de granulação fina, que substituem os componentes originais da rocha. Esse piroxênio apresenta cor verde, intenso pleocroísmo e ângulo de extinção por volta de 10° , em relação a X. Trata-se de uma variedade muito rica na molécula egirina, sendo talvez egirina pura os cristais algo curvos, com ângulo de extinção menor do que 10° . As agulhas podem ter comprimento superior a 1 mm, mas sua largura é muito pequena.

Feldspatóides

Os feldspatóides ocorrem entre feldspatos ou associados a piroxênio, biotita e titanita, sendo representados por nefelina, cancrinita e sodalita.

A nefelina se apresenta em grãos de até 3-4 mm, quase sempre intersticiais; cristais idiomórficos são raros. Nas amostras possui cor rosada a branca, enquanto em lâmina é incolor e límpida, contendo pequenas inclusões e impure

zas. A nefelina pode englobar poiquiliticamente os outros minerais, exceto feldspato; por exemplo, na amostra Se-60 engloba piroxênio, anfibólio, opacos, titanita e biotita.

Nas bordas, a nefelina muitas vezes está alterada para cancrinita; essa transformação também existe, em menor escala, ao longo de fraturas do mineral. Em raras lâminas, a cancrinita é o feldspatóide dominante, no entanto, está restrita a alguns veios que cortam a rocha primitiva. Os grãos de cancrinita são finos, em geral menores do que 1 mm, límpidos e se distinguem da nefelina pela birrefringência um pouco maior.

Algumas amostras apresentam, em pequenos veios, um feldspatóide de granulação fina a ocasionalmente média, límpido e de relevo distinto em relação à nefelina e cancrinita; é provável que se trate de sodalita, pelo caráter isótopo, com índice de refração pouco menor do que 1,49. Em uma única amostra esse mineral aparenta ser um constituinte primário.

Anfibólios

Na lâmina Se-60 ocorrem frequentes cristais de anfibólio, de cor marrom a esverdeada, pleocróico (X-marrom a vermelhado a marrom claro; Y-marrom escuro; Z-esverdeado a marrom escuro). Biotita e piroxênio verde substituem esse mineral nas bordas ou quase totalmente, conservando, porém, sua antiga forma. O ângulo de extinção $Z : c$ é de 120° , tratando-se, provavelmente, de uma hornblenda comum. A substituição parcial e sua distribuição restrita sugerem que esse anfibólio seja remanescente de um gnaiss muito fenitizado, transformado em rocha de composição sienítica.

Titanita

É o mais importante dos minerais acessórios, destacando-se, macroscopicamente, por sua cor amarelada. A titanita ocorre em todas as amostras estudadas, quase sempre

com forma navicular e dimensões até um milímetro ou pouco mais, tendo sido um dos primeiros minerais a se formar. Algumas vezes exibe geminção simples.

Em várias lâminas, quando em contato com cancerinita, a titanita apresenta nas bordas um mineral opaco, produto de sua transformação. Sob forte aumento verifica-se que esse mineral opaco é formado por numerosos grânulos finos, por vêzes alongados, provável rutilo ou ilmenita. Pos-
sivelmente, a alteração da titanita liberou sílica e cál-
cio, que contribuíram para a formação da cancerinita.

Carbonatos

Alguns sienitos contêm pequena proporção de carbo-
natos, que, em geral, se concentram em delgados veios. Ex-
cepcionalmente, ocorrem também carbonatos em grãos inter-
sticiais. Na amostra Se-84, os carbonatos intersticiais es-
tão associados a cristais límpidos de albita, que se for-
mam nas bordas dos feldspatos peritíticos.

Opacos

Os minerais opacos ocorrem em pequenas quantidades, não ultrapassando 2 a 3%, mas estão sempre presentes, de
preferência associados aos minerais máficos. São consti-
tuídos por magnetita e talvez ilmenita, em grânulos finos
a médios. Pirrotita, identificável por sua côr amarela e
propriedades magnéticas, é comum; em geral é granular, em
bora às vêzes apareça associada a feldspatoides e piroxê-
no fino, formando filêtes.

Apatita

A apatita está presente em pequena quantidade; cons-
titui cristais idiomórficos e de granulação fina, dispersos
na rocha.

Zircão

Algumas lâminas, especialmente Se-84, apresentam grãos de zircão, tendendo ao idiomorfismo.

Sienitos Circundados por Rochas Ultrabásicas

Os sienitos encontrados no interior do complexo alcalino, são constituídos por feldspato, feldspatóides e piroxênio, além de biotita. Entre os acessórios, destacam-se titanita, opacos e apatita.

Feldspatos

Macroscopicamente, os feldspatos possuem coloração cinza clara a escura, se bem que possam ocorrer alguns indivíduos cor de carne, que parecem ser mais frequentes nas rochas de granulação mais grossa; indivíduos esverdeados aparecem em uma ou outra amostra.

Na maioria das variedades predominam feldspatos alongados, muitas vezes com geminação simples; os cristais são límpidos e a granulação varia de fina a grossa. Embora, em geral, apresentem granulação igual à dos outros constituintes, há algumas rochas em que ocorrem fenocristais mais desenvolvidos, até 1 cm, porém sem orientação.

O principal constituinte é feldspato potássico peritítico, de hábito alotriomórfico ou ripiforme. Nos indivíduos ripiformes é muito comum a geminação segundo Carlsbad; o carácter peritítico é evidente em várias amostras, não sendo reconhecível em outras. Geminação segundo Baveno pode ocorrer em cortes de contornos retangulares. Grãos ou manchas de albita-oligoclásto, exibindo geminação polissintética segundo a lei da albita, são raros e quase sempre restritos às bordas de cristais peritíticos maiores.

Em raras amostras, predominam feldspatos alotriomórficos, turvos e sem geminação, que podem envolver poiquiliticamente todos os outros constituintes, em especial

os mais finos. Eles apresentam lamelas de exsolução partí
ticas, em grande número, e sua granulação é muito variável,
desde 0,5 até 7 mm.

Feldspatóides

São representados por nefelina e cancrinita subor
dinada. Nas rochas com feldspato ripiforme, a nefelina o
corre entre grãos de feldspato, notando-se certa tendência
ao idiomorfismo, que se caracteriza pela presença de con
tornos retangulares. Quando a nefelina está incluída nos
feldspatos, é alotriomórfica. Em lâmina é incolor e límp
da, ou algo turva devido a alteração incipiente. Quando en
globada por outros minerais, por sua vez, pode conter grã
nulos e prismas muito finos de piroxênio verde, além de
outras inclusões, finíssimas, não identificadas. Sua gra
nulação geralmente varia entre 0,1 a 1 mm, embora possa a
tingir 2-3 mm em amostras com feldspatos mais desenvolvidos
e sem forma própria.

Nas rochas com feldspatos turvos e poiquilíticos,
a nefelina está associada ao piroxênio ou constitui aglome
rações de vários indivíduos. Quando ocorre em grãos isola
dos incluídos no feldspato é frequentemente idiomórfica,
embora seus cantos possam estar arredondados, indicando cor
rosão parcial. Também neste caso são frequentes finas in
clusões de piroxênio na nefelina.

Cancrinita é bastante comum, formando-se a partir
de nefelina. Cristais maiores de cancrinita podem ocorrer
no contato de nefelina com carbonatos tardios.

Em algumas lâminas, a nefelina se altera em um agre
gado fino, contendo carbonatos e outros minerais não iden
tificáveis, de cor marrom muito clara e turvos.

Piroxênios

A quantidade de piroxênios é variável, podendo atin
gir 20%, mas em alguns sienitos eles se tornam bastante ra

ros, sendo então a biotita o mineral máfico mais frequente.

Os piroxênios mais comuns são constituídos por egirina-augita, bastante rica na molécula egirina, como indicam a cor verde carregada e o ângulo de extinção. Em algumas amostras, os piroxênios apresentam núcleo quase incolor, mais augítico, enquanto as bordas são verdes. Os cristais em geral são alotriomórficos, embora não sejam raros indivíduos alongados com tendências prismáticas. Na maioria das vezes, sua granulação é menor do que 1 mm e apenas em uma rocha, de granulação mais grossa, ocorrem frequentes indivíduos com 2 a 3 mm. Grãos idiomórficos são finos ou muito finos, constituindo inclusões em feldspato e nefelina. Os piroxênios podem conter inclusões de biotita, mas também podem estar circundados por esse mineral.

O pleocroísmo é semelhante àquêle dos piroxênios constituintes dos ijolitos, ou seja, verde escuro em X; verde em Y e verde amarelado em Z.

Algumas rochas, que devem provir de zonas de contato com piroxenito, contêm piroxênio quase incolor, associado a plagioclásio. Tanto o piroxênio, como também a biotita e os minerais opacos existentes, neste caso, possuem bordas quelifíticas de piroxênio verde, de granulação muito fina.

Biotita

Biotita marrom, sem forma própria a quase idiomórfica, é comum nestes sienitos; ocorre em quantidade variável e algumas vezes é o mineral máfico mais abundante. Embora esteja preferencialmente associada aos piroxênios e opacos, a biotita pode se apresentar dispersa entre a nefelina e o feldspato. O pleocroísmo é intenso e, em X, a cor varia entre marrom amarelado e marrom avermelhado.

Titanita

É um acessório comum em tôdas as amostras, sendo em-

geral idiomórfica (navicular), com granulação fina a média, podendo exibir geminação. Quando em contato com carbonatos, a titanita pode ter suas bordas parcialmente alteradas para um mineral opaco, como já foi descrito acima.

Apatita

Prismas alongados ou grãos alotriomórficos de apatita são comuns como mineral acessório destes sienitos, não ultrapassando 3%. A apatita possui granulação variável, entre fina e média, e ocorre dispersa ou agrupada irregularmente.

Opacos

São acessórios comuns, representados por magnetita e sulfetos amarelos. A magnetita é de granulação fina a média e apresenta-se dispersa na rocha, muitas vezes associada a biotita, que pode formar uma coroa em sua volta. Pirrotita é o sulfeto presente, que ocorre como mineral tardio de pequenos veios que cortam a rocha.

Carbonatos

Os carbonatos aparecem como produto de alteração de nefelina, sendo então muito finos, ou como mineral intersticial, de granulação média a grossa. Neste segundo caso, é comum a formação de cancrinita entre os grãos de nefelina e carbonato; este último, muitas vezes está envolvido por cancrinita. O carbonato presente provavelmente é calcita.

c) - Petrografia

Os sienitos do Morro da Casa de Pedra são mesocráticos, sem estruturas características, frequentemente cortados por diques mais escuros. Os feldspatos apresentam distribuição irregular, cor cinza e granulação bem maior do que

os minerais máficos. As rochas se caracterizam pela granulação, que varia entre média e grossa, e pela textura hipidiomórfica granular, o que permite diferenciá-las dos sienitos do Guaviruva, em geral mais finos.

Mineralologicamente, nota-se a acentuada predominância de feldspatos, ao lado de feldspatóides em quantidade variável; por exemplo, na lâmina Se-84 êsses últimos minerais são raros, enquanto em Se-60 se tornam bem mais abundantes (Tabela 5). Essas duas amostras são consideradas representativas dos sienitos do Morro da Casa de Pedra. Outras variedades, examinadas em lâmina apresentam maior quantidade de feldspatóides do que Se-84, o que significa que esta é especialmente pobre em nefelina.

Pela classificação de Johannsen (1938), as rochas correspondem a nefelina sienito (Se-60) e pulaskito (Se-84). Na realidade, a primeira (Se-60) pode ser uma rocha muito fenitizada, pois ocorre anfibólio, em parte substituído por piroxênio e biotita, e restos de feldspato com alteração para epidoto, semelhantes aos minerais dos gnaisses; por outro lado, a alta proporção de feldspatóides não é normal em fenitos.

Os sienitos do Guaviruva e arredores, por sua vez, também são mesocráticos, mais escuros do que os tipos acima descritos. A granulação, à vista desarmada, é bastante homogênea, mas em alguns casos existem cristais centimétricos de feldspatos de cor cinza, às vezes avermelhados ou esverdeados. Êsses minerais podem exibir hábito ripiforme, porém não são orientados. As rochas são cortadas por diques de granulação fina e podem apresentar algumas partes pegmatíticas, essencialmente constituídas por feldspatos.

Ao microscópio, possuem granulação entre fina e média e sua textura, em geral, é hipidiomórfica granular. Algumas variedades mostram, em meio a uma matriz de granulação bastante regular, certa quantidade de grãos maiores, de nefelina, piroxênio e feldspato, muitas vezes tendendo ao idiomorfismo; sua textura então é porfirítica ou, mais apro

priadamente, micro-porfirítica.

Nestes sienitos destaca-se o hábito ripiforme dos feldspatos, bem diverso das rochas do Morro da Casa de Pedra. Pela composição modal constituem nefelina sienitos (Tabela 5), mas o hábito ripiforme dos seus feldspatos, segundo alguns autores, permite defini-los como possuidores de textura traquitóide, com o que passariam a ser denominados foiaitos, porfiríticos ou não. Algumas amostras apresentam granulação fina, representando, talvez, diques mais ou menos espessos, porém a falta de orientação dos minerais, bem como o modo de ocorrência, não permitem conclusões seguras.

Ao lado dos sienitos predominantes, duas outras variedades devem ser citadas; uma delas parece corresponder a ijolitos feldspatizados, nas quais os feldspatóides estão parcialmente substituídos e envolvidos por feldspatos alcalinos alotriomórficos; restam ainda algumas manchas de composição ijolítica, ou seja, grânulos de piroxênio verde e nefelina, ao lado de alguma biotita e titanita.

O segundo tipo, distinto dos sienitos propriamente ditos, está relacionado ao grupo dos piroxenitos; os piroxênios castanho claros, além da biotita e opacos, possuem uma coroa de finas agulhas de piroxênio verde, egirínico. Além disso, os feldspatos originais, representados por plagioclásios de composição andesítica, são substituídos por variedades mais ricas em potássio. Esta transformação pode atingir estádios avançados, nos quais predominam piroxênios verdes de composição egirina-augítica, que ainda podem possuir núcleos claros, ao lado de feldspato peritítico; restos de plagioclásio podem existir. Nefelina também ocorre, mas em quantidades muito pequenas. À vista de seu hábito granular, alta proporção de feldspato alcalino e escassez de nefelina, essas rochas podem ser denominadas pulaskito ou umptekito. Provavelmente, correspondem a piroxenitos ou gabros alcalinos, transformados por ação de contato com ijolitos ou sienitos posteriores.

A extensão dos fenômenos de sienitização de ijoli

tos e rochas piroxeníticas não é conhecida, mas pode ter sido de relativa importância, em relação à área total ocupada pelos sienitos.

A Tabela 5 mostra a composição modal de diversos sienitos da região. As diferenças mais importantes se referem às quantidades relativas de feldspatos, nefelina e piroxênio. A proporção de feldspatos é bastante variável, des de 30% até 85% dos constituintes. A nefelina também apresenta distribuição pouco homogênea, mas raramente é inferior a 10%; constituem exceção duas amostras onde não atinge 3%, tratando-se de variedades muito ricas em feldspatos. O piroxênio pode perfazer quase 25% dos constituintes, mas normalmente é mais subordinado.

A relação entre as quantidades de feldspatos e feldspatoides, nas rochas sieníticas de Juquiã, varia entre 98:2 e 44:56; em um único caso há mais feldspatoides do que feldspatos, tratando-se de um ijolito feldspatizado. A relação entre fêlsicos e máficos, por sua vez, varia entre 90:10 e 62:38, havendo, portanto, acentuada predominância dos minerais claros. Na região não existem representantes da classe 3 de Johannsen (1939), ou seja, dos termos equivalentes mais ricos em minerais máficos.

A amostra S-17 é diferente de todas as outras, pois seu principal mineral máfico é a biotita, havendo apenas grânulos de piroxênio verde, em quantidade muito restrita; além disso, carbonatos intersticiais perfazem 13% dos constituintes.

As variedades Se-16 e S-11 são ijolitos feldspatizados, enquanto Se-99, presumivelmente, originou-se de uma rocha piroxenítica.

Cinco amostras de sienito foram analisadas quimicamente, sendo duas delas provenientes do Morro da Casa de Pedra e as outras da área do Guaviruva; apenas em S-27 não foi verificada a composição modal, mas ela corresponde a um ijolito feldspatizado, semelhante à Se-16 e S-11 da Tabela 5. As composições químicas constam da Tabela 6.

	<i>Casa de Pedra</i>		<i>Guaviruvá</i>						
	<i>Se-60*</i>	<i>Se-84*</i>	<i>Se-39*</i>	<i>Se-11*</i>	<i>S-14</i>	<i>S-17</i>	<i>Se-99</i>	<i>Se-16</i>	<i>S-11</i>
<i>Feldspato alcalino</i>	56,5	84,5	74,5	35,5	54,5	52	73	33	29
<i>Nefelina</i>	} 22,5	2,5	11	32	22	17	1,5	28	36
<i>Cancrinita e sodalita</i>		1	2	1,5	2,5	6,5	-	0,5	0,5
<i>Piroxênio</i>	9,5	0,5	1,5	22	10,5	tr.	14,5	23	18,5
<i>Biotita</i>	4,5	8	8	3	2,5	7,5	5,5	6,5	5,5
<i>Titanita</i>	3	0,5	1	3	2	1,5	1,5	4	3
<i>Opacos</i>	1,5	1	1,5	1	3	1	2,5	4	3,5
<i>Apatita</i>	0,5	tr.	tr.	1	0,5	1,5	1	0,5	3
<i>Carbonatos</i>	tr.	1,5	tr.	tr.	1,5	13	0,5	0,5	1,5
<i>Anfibólio</i>	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Outros</i>	0,5	tr.	-	1	1	0,5	tr.	-	-
<i>Feldspatos/Feldspatoides</i>	82:18	96:4	85:15	51:49	69:31	69:31	98:2	60:40	44:56
<i>Félsicos/Máficos</i>	80:20	90:10	88:12	71:29	82:18	90:10	76:24	62:38	70:30

(*) Análises químicas na Tabela 6

Tabela 5: Composição modal de sienitos da intrusão alcalina de Juquiã.

	Se-60	Se-84	Se-39	Se-11	S-27	J	K	L	M
SiO ₂	54,90	54,30	54,60	46,50	50,70	53,50	55,38	54,05	52,49
TiO ₂	0,83	1,04	0,91	0,93	0,62	0,83	0,66	0,67	1,03
Al ₂ O ₃	20,06	19,52	18,10	18,60	18,79	20,07	21,30	21,35	18,65
Fe ₂ O ₃	1,73	1,91	2,55	4,41	2,78	3,19	2,42	2,42	4,89
FeO	3,03	3,36	3,11	2,99	2,09	2,06	2,00	2,62	2,08
MnO	0,05	0,08	0,08	0,04	0,03	0,19	0,19	0,15	0,33
MgO	0,59	0,60	0,95	1,95	1,55	1,00	0,57	0,68	0,89
CaO	2,14	2,79	3,51	6,73	4,69	2,88	1,98	2,57	2,05
Na ₂ O	6,57	6,10	6,62	7,95	7,26	7,98	8,84	7,24	10,00
K ₂ O	7,51	7,22	7,42	6,39	8,59	5,53	5,34	6,28	5,16
H ₂ O ⁺	-	-	-	-	-	1,82	0,96	1,15	1,30
H ₂ O ⁻	0,21	0,29	0,37	0,15	0,05		-		
P ₂ O ₅	0,14	0,19	0,28	0,91	0,23	0,23	0,19	0,24	0,30
CO ₂	0,73	1,21	0,44	1,06	1,39	0,35	0,17	-	-
Total	98,49	98,61	98,94	98,61	98,77	99,63	100,00	99,42	99,17
Coefficiente agpaitico	0,94	0,92	1,05	1,07	1,14	0,95*	0,95*	0,88	1,18

* O coeficiente agpaitico das médias apresentadas nas colunas J e K, não consta da citação original, mas já foi calculado por Gerasimovskii.

Se-60 - Nefelina sienito - Morro da Casa de Pedra, Juquiã.

Se-84 - Nefelina sienito - Morro da Casa de Pedra, Juquiã.

Se-39 - Nefelina sienito - Guaviruba, Juquiã.

Se-11 - Nefelina sienito - Guaviruba, Juquiã.

S-27 - Nefelina sienito (Ijolito feldspatizado) - Guaviruba, Juquiã.

J - Média de 34 amostras de nefelina sienitos - Johannsen (1938).

K - Média de 80 análises de nefelina sienitos - Nockolds (1954).

L - Composição média de 156 amostras miasquíticas - Gerasimovskii (1966).

M - Composição média de 129 amostras agpaiticas - Gerasimovskii (1966).

Tabela 6 - Composição química de algumas rochas sieníticas de Juquiã, comparadas a médias de diversas localidades.

	Se-60	Se-84	Se-39	Se-11	S-27
Or	43,69	42,20	43,22	22,73	31,34
Ab	23,59	26,59	15,49	-	-
An	3,02	4,51	-	-	-
Ne	20,70	16,56	23,21	37,26	30,08
Le	-	-	-	11,22	14,19
Ac	-	-	3,54	5,93	7,49
Di	Wo 0,80	0,16	5,05	7,04	5,02
	En 0,32	0,06	2,44	5,24	3,21
	Fs 0,47	0,09	2,61	1,80	1,81
Cs	-	-	-	0,78	-
Ol	Fo 0,96	1,18	0,11	-	0,70
	Fa 1,42	1,82	0,11	-	0,39
Cc	1,82	3,03	1,10	2,61	3,40
Ap	0,29	0,39	0,58	1,86	0,46
Il	1,14	1,43	1,25	1,26	0,84
Mt	1,78	1,97	1,30	2,27	-

CIPW, modif. Niggli (seg. Barth, 1953)

Tabela 6a - Normas moleculares de alguns sienitos da área de Juquiã

Para caracterizar os tipos litológicos genericamente denominados sienitos, foi utilizado seu índice de agpaicidade (Gerasimovskii, 1956 e 1966; Sørensen, 1966), que é a relação entre a soma dos números moleculares de Na_2O e K_2O e o número molecular de Al_2O_3 . O valor que se deve adotar para distinguir os grupos dos agpaítos e miasquitos é discutido. Alguns autores adotam índice de agpaicidade igual a 1 e outros 1,2; isto porque se verificou que algumas rochas, apesar de possuírem índices superiores a 1, apresentam

várias características que as tornam mais semelhantes a miasquitos, por exemplo, a composição mineralógica total, os minerais de titânio presentes, relação entre Na_2O e K_2O . Por essa razão, no presente trabalho, não se utiliza exclusivamente o índice de agpaicidade para distinguir entre os dois grupos, mas também a composição mineralógica, as características dos minerais de titânio presentes, a relação entre álcalis e alumina e a natureza do álcali predominante.

Segundo Gerasimovskii (1956, 1966), que adota o valor unitário como limite entre os agpaítos e miasquitos, na maioria das ocorrências existem apenas rochas alcalinas com carácter agpaítico; o número de localidades com variedades tanto agpaíticas como miasquíticas é relativamente pequeno, sendo mais raras ainda as ocorrências com características apenas miasquíticas. Embora na literatura sejam encontradas citações do índice de agpaicidade das mais diversas rochas alcalinas, neste trabalho seu valor é calculado apenas para os sienitos, conforme preconizado por Sørensen (1960, p.322).

Em relação ao valor unitário, os coeficientes de agpaicidade indicam que os sienitos de Juquiã possuem tanto carácter miasquítico (Morro da Casa de Pedra) como agpaítico (Guaviruva), além de alguns valores próximos ao limite entre os dois grupos.

A Tabela 6 apresenta, além das análises químicas de rochas de Juquiã, a composição média, determinada por vários autores, de numerosos nefelina sienitos de outras localidades. As médias das colunas J e K se referem a sienitos em geral, sendo mais conveniente, porém, a comparação com os valores médios citados por Gerasimovskii (1966), por haver uma subdivisão baseada no índice de agpaicidade.

De um modo geral, os sienitos do Morro da Casa de Pedra distinguem-se da média dos miasquitos, principalmente, pelo alto teor em K_2O e pelos valores baixos de Na_2O , Al_2O_3 e Fe_2O_3 ; o teor de FeO é ligeiramente superior. As rochas provenientes do Guaviruva e arredores, por sua vez, apesar de possuírem índices de agpaicidade superiores à unidade, a-

presentam algumas características que as assemelham aos miasquitos. Ressalta, em primeiro lugar, a grande quantidade de K_2O presente, maior ou próxima do teor de Na_2O , o que geralmente não ocorre nos agnaitos. Essas rochas têm, também, teor de CaO elevado e Fe_2O_3 baixo, em relação aos agnaitos. Além disso, do ponto de vista mineralógico (vide Tabela 5), a presença de titanita, único mineral de titânio encontrado, além de biotita, é típica.

6) - Rochas de Diques

a) - Modo de Ocorrência e Distribuição

Em diversos locais da intrusão alcalina foram localizadas rochas hipocabissais, algumas vezes com orientação pronunciada dos constituintes mineralógicos. Os diques não ocorrem na sua posição original, mas apenas como blocos de dimensões reduzidas, ou então cortando matacões, em especial de sienitos, como no Morro da Casa de Pedra. Eles também foram localizados nas áreas ocupadas pelas ultrabásicas e, raramente, em fenitos ou gnaissas encaixantes. Em um único local foi encontrado um dique cortando piroxenito "in situ", mas ambos estão totalmente alterados, havendo apenas pequena diferença de coloração entre os materiais resultantes. Dessa maneira, não é possível verificar se eles obedecem a alguma orientação preferencial ou se sua disposição é irregular.

Diques feldspáticos mesocráticos são comuns, cortando os sienitos da área do Guavirua e do Morro da Casa de Pedra. Alguns blocos foram, também, encontrados nas áreas ocupadas por rochas ultrabásicas, sem qualquer indicação consistente sobre o modo de ocorrência original. A espessura dos diques varia de alguns centímetros a decímetros, mas, algumas vezes, ocorrem blocos com mais de meio metro de diâmetro, sem atingir o contato com a encaixante.

As rochas ultrabásicas, por sua vez, são cortadas por diques geralmente escuros e muito ricos em piroxênios; nada se pode precisar sobre sua espessura máxima, pois ocorrem apenas

em fragmentos de dimensões entre 20 e 30 centímetros. Como já foi mencionado, alguns diques claros também foram encontrados nessas áreas.

No mapa geológico (Anexo 1) estão indicados os pontos nos quais as rochas de diques foram encontradas.

A distribuição dos diques nas rochas fenitizadas e encaixantes, em torno de complexos alcalinos, tem sido estudada em numerosas ocorrências; geralmente, eles constituem sistemas definidos, radiais ou concêntricos em relação à intrusão. Algumas localidades apresentam grande número de diques, prestando-se a estudos detalhados, como é o caso de Alnö (v. Eckermann, 1928, 1948, 1961, 1966) e Tundulu (Garrison, 1959 e 1966). Sua frequência parece estar relacionada ao nível de exposição da estrutura alcalina, diminuindo em profundidade.

A associação petrológica observada em Juquiã é indicativa de um nível profundo da estrutura magmática. No campo, apenas dois pequenos diques foram localizados nas encaixantes, embora provavelmente outros existam, não podendo ser mapeados devido ao intenso intemperismo.

b) - Mineralogia

Em função da composição mineralógica, as rochas podem ser divididas em três grupos principais: 1) de composição sienítica; 2) rochas melanocráticas de composição semelhante aos piroxenitos; 3) algumas variedades que não se encaixam nos tipos anteriores.

1) - Os diques sieníticos são compostos, essencialmente, por feldspato alcalino, piroxênio verde, feldspatoides e biotita.

Os feldspatos alcalinos, possuem hábito ripiforme e geminação segundo Carlsbad na maioria dos indivíduos. Em numerosas amostras os feldspatos ripiformes são orientados. Algumas variedades apresentam frequentes fenocristais de feldspato, também geminados segundo Carlsbad e, por vezes,

segundo Baveno. Esses fenocristais podem ser pertíticos e, mais raramente, zonados; de maneira geral, estas características se restringem às bordas dos cristais.

Os piroxênios são de cor verde bastante intensa, embora possam possuir núcleo quase incolor. O hábito prismático alongado é comum, especialmente quando há orientação dos minerais; os prismas podem obedecer a essa orientação, mas em alguns casos sua disposição é irregular. A granulação, em geral, acompanha a dos feldspatos, variando de muito fina a fina. Em algumas amostras, ocorrem fenocristais com relativa abundância, atingindo até dois milímetros de comprimento. Em casos raros, esses minerais mostram hábito acicular muito fino, estando caoticamente dispostos. Nos piroxênios verdes, o pleocroísmo é muito intenso; verde escuro ou garrafa em X, amarelo esverdeado em Z e verde em Y. Pelos ângulos de extinção, apresentam composição de egirina-augita, mas os minerais aciculares de algumas rochas são de composição egirínica. Os núcleos incolores, de alguns cristais, são augíticos. Entre os diques estudados, apenas um não possui piroxênio em sua composição. A quantidade desse mineral, no entanto, é muito variável, conforme se verifica na Tabela 7.

Os feldspatoides são representados por nefelina limpa, às vezes quase idiomórfica. Cancrinita ocorre em pequena quantidade na maioria das amostras, originando-se pela alteração de nefelina. Em alguns diques, existem finos veios posteriores, muito ricos em cancrinita e pobres em carbonatos. Certas rochas porfiríticas contêm fenocristais de nefelina, que tendem ao idiomorfismo, podendo incluir grande número de agulhas finas de piroxênio, concentradas de preferência nas bordas dos grãos.

2) - Os diques piroxeníticos, na maioria dos casos, são porfiríticos. A massa fundamental, de granulação fina a muito fina, é constituída essencialmente por piroxênio e feldspato, com quantidades variáveis de biotita e minerais opacos. Os fenocristais, por sua vez, são constituídos por piroxênio e olivina, mais raramente por piroxênio e felds

pato. Em geral estes fenocrístais são idiomórficos, podendo exibir zonamento pronunciado.

A olivina ocorre apenas como fenocrístais, alguns dos quais são zonados na periferia. Este mineral pode mostrar forte corrosão nas bordas, o que dá origem a concentrações de opacos; em outros casos, a olivina está totalmente alterada em opacos e ortopiroxênio. Nas proximidades dos cristais de olivina há maior concentração de biotita, que se desenvolve, de preferência, em torno de minerais opacos. Às vezes, ocorrem cristais de biotita bastante desenvolvidos.

Os fenocrístais de piroxênio mostram nítido zonamento, caracterizado por variações de composição ou pela presença de faixas concêntricas, muito ricas em inclusões aciculares orientadas. As bordas desses fenocrístais sempre apresentam a mesma composição de piroxênio da massa fundamental, onde inclusões aciculares também são frequentes. No interior dos fenocrístais podem existir pequenas placas de biotita e grãos de minerais opacos ou feldspato, em torno dos quais, as inclusões aciculares estão ausentes. O piroxênio fino da massa fundamental muitas vezes também mostra carácter prismático pronunciado. Na maioria das amostras, o mineral é augítico, levemente acastanhado; em alguns casos exibe pleocroísmo muito fraco, amarelado ou arroxeado.

O feldspato, representado por plagioclásio, ocorre na massa fundamental, como principal constituinte ao lado de piroxênio, ou na forma de fenocrístais, faltando então a olivina. Os fenocrístais são idiomórficos e zonados; mostram geminação Carlsbad e polissintética, segundo lei da albita, mas também do periclínio. A composição é variável devido ao zonamento, mas geralmente corresponde a andesina. Os feldspatos da massa fundamental, na maioria das lâminas, apresentam hábito ripiforme.

A massa fundamental das rochas melancráticas possui grande quantidade de opacos e proporção variável de biotita. Em algumas lâminas nota-se a concentração de opa

cos ao longo das bordas de fenocristais de piroxênio.

3) - O terceiro grupo de diques, inclui duas amostras. A primeira (Se-74), é composta de piroxênio augítico, esverdeado claro e zonado, nefelina, biotita e opacos. A outra é composta por plagioclásio, biotita, piroxênio castanho, frequentes grãos de sulfetos e quartzo, não apresentando, portanto, associação mineralógica alcalina típica.

c) - Petrografia

Os diques na área do complexo alcalino são principalmente tinguaítos, em sua maior parte intrusivos nos nefelina sienitos do Morro da Casa de Pedra e Guaviruva, além de rochas lamprofíricas, cortando as ultrabásicas. Além disso, há duas amostras que não se enquadram nesses dois grupos principais, um micromelteigito e uma rocha de composição diabásica, cuja relação com as alcalinas é duvidosa.

Macroscopicamente, os diques sieníticos são mesocráticos e de granulação fina a muito fina. Algumas variedades do Morro da Casa de Pedra mostram manchas escuras bem definidas, mas restritas, compostas de biotita, podendo apresentar núcleo de piroxênio. À vista desarmada, apenas algumas amostras possuem nítida orientação dos minerais; em lâmina, no entanto, os feldspatos ripiformes muitas vezes são orientados, caracterizando uma textura traquitóide. Raras variedades exibem textura tinguaítica, devida à presença de piroxênios aciculares com orientação caótica. Grande parte das rochas sieníticas do Morro da Casa de Pedra possui textura porfirítica; já na área do Guaviruva são geralmente hipidiomórficas granulares.

Os diques melanocráticos são caracterizados pela textura porfirítica, quase sempre presente; ela pode ser verificada inclusive em amostras de mão, em especial nas superfícies semi-alteradas.

A Tabela 7 mostra a composição modal de três tinguaítos, um micromelteigito e duas rochas escuras inclui

das no grupo dos lamprôfiros. A amostra Se-26 pode ser denominada camptonito, por sua filiação alcalina, enquanto Se-35 é considerada um espessartito, apesar do plagioclásio estar no limite andesina-labradorita e de sua provável filiação alcalina.

Os únicos diques alcalinos encontrados no em basamento apresentam composições diferentes: um é sienítico, portador de nefelina, localizado cêrca de 1 km a noroeste da intrusão. O outro, proveniente de um bloco encontrado próximo ao contato entre sienitos e gnaisses, no Morro da Casa de Pedra, possivelmente cortando êstes, corresponde a um tinguaito. Caracteriza-se pela presença de cristais milimétricos de cancrinita posterior, envolvendo e substituindo feldspatos.

	Se-45	Se-47	Se-61	Se-74	Se-26	Se-35
Feldspato	} 75	65	50	-	18,5	54,5
Nefelina		} 28,5	20	21	-	-
Cancrinita	tr.		3	-	-	-
Piroxênio	23,5	1	4	58,5	42	28
Opacos	tr.	3,5	3	9	14,5	4
Biotita	1	} 2	10	11	8,5	12,5
Titanita	tr.		2	-	-	-
Carbonatos	-		7,5	-	-	-
Apatita	-		0,5	-	-	-
Olivina	-	-	-	-	16,5	1
Outros	-	-	0,5	-	-	-

Tabela 7: Composição modal de alguns diques de Juquiã.

Um terceiro dique, de espessura decimétrica, corta o gnaiss nas proximidades da intrusão, mas não apresenta nenhum mineral que confirme sua filiação alcalina, pois contém inclusive certa quantidade de quartzo. É possível que esta rocha tenha caráter diabásico.

Os lamprófiros e tinguaítos são considerados correspondentes às últimas manifestações da intrusão das rochas ultrabásicas e sieníticas, respectivamente.

7) - Carbonatitos

a) - Modo de Ocorrência e Distribuição

Os carbonatitos ocupam considerável área do Morro do Serrote. Esta elevação possui 211 m de altura e uma área aproximada de 2 km², situando-se próximo ao limite oeste da intrusão alcalina. A morfologia do Morro do Serrote é característica; em planta seu contorno é quase circular, com pequena proeminência na parte sudeste, encontrando-se cercado por brejos. Possui forma aproximadamente cônica, em que ressalta uma estrutura circular a meia altura, muito nítida na parte norte (Foto 1), que separa a parte central de outra mais externa. Na porção mais elevada o morro é constituído apenas por carbonatitos, não sendo possível de limitar os contatos com exatidão. Entre as rochas limítrofes, parecem predominar os piroxenitos, ocorrendo também variedades ijolíticas. É possível, mesmo, que estas tenham distribuição muito mais ampla do que se poderia inferir pelo limitado número de exposições.

O estudo dos minerais resistentes dos solos do Morro do Serrote mostrou que na parte central há predominância de magnetita, óxidos secundários de ferro e barita, além de óxidos de manganês. Na parte externa, por sua vez, a barita é muito menos freqüente e praticamente desaparece, com exceção da porção próxima à jazida de fosfatos; na parte externa, os minerais mais importantes são: quartzo, quase inexistente na parte interior, magnetita e óxidos de ferro, além

Foto 1 : O Morro do Serrote visto pelo flanco oeste, notando-se à esquerda, a meia altura, parte de uma feição anelar, provável contato do carbonatito interno e externo. Em primeiro plano, baixada aluvial possivelmente com rochas piroxeníticas subjacentes.

de mica alterada, comum em alguns locais, e, às vezes, apatita. Os teores em P_2O_5 desses solos não são correlacionáveis à feição morfológica circular acima referida. Situam-se entre 1 e 5% de P_2O_5 até 10 metros de profundidade, exceto na parte sul onde está localizada a jazida de fosfatos; nesta área os teores são mais elevados, especialmente em profundidades superiores a 12 metros. Este comportamento será analisado em detalhe no capítulo referente às possibilidades econômicas da área. A dosagem geoquímica parcial do fósforo contido em solos foi efetuada em uma série de amostras, em perfis radiais ao cume do morro, mas apenas a parte superior do morro apresentou valores altos, não coincidindo, entretanto, com a área interna à feição circular (vide Cap. V).

Um perfil cintilométrico, efetuado através de toda a estrutura (Figura 2, p. 12), cortou o Morro do Serrote na direção NW-SE. A cintilometria apresentou valores superiores ao "back-ground" de 1,5 a 2 vezes, na parte externa à estrutura anelar, em especial no flanco sudeste, enquanto do lado noroeste os valores são mais baixos. Na parte interna à estrutura, o contraste é acentuado, entre 5 a 10 vezes, provavelmente, refletindo diferenças litológicas entre as duas partes do morro.

Nas exposições, a superfície do carbonatito em geral evidencia os efeitos da dissolução, formando-se pequenas caneluras. Os minerais mais resistentes, principalmente magnetita, destacam-se nessas superfícies. Em alguns afloramentos, observa-se uma estrutura bandada, devida à presença de pequenas camadas escuras na rocha clara. Veios de barita de pequena espessura também podem ser encontrados.

Na frente de trabalho, onde estão sendo extraídos fosfatos, não ocorre carbonatito fresco, embora nesse local tenha sido aberta uma galeria de pesquisa com 30 metros de comprimento, dirigida para o centro do morro.

Duas sondagens efetuadas na parte interna à feição anelar atingiram o carbonatito. A primeira, dirigida para o centro do morro e inclinada de 60° , após atravessar 27

metros de solo. A segunda sondagem, vertical, alcançou carbonatito após perfurar 43 metros de solo. Os testemunhos obtidos apresentam algumas partes bastante intemperizadas, alternadas com outras frescas; esse fato pode ser devido a fraturas ou diaclases no carbonatito, ao longo das quais o intemperismo foi mais intenso. A rocha mais fresca assemelha-se às amostras da superfície quanto à cor e granulação, mas apresenta manchas milimétricas de sulfetos não oxidados. Nas amostras de superfície estes minerais normalmente estão envolvidos por uma camada oxidada e, além disso, parte dos carbonatos mais ricos em ferro se apresenta alterada, dando origem a óxidos secundários.

Felício Jr. (1968) cita três sondagens efetuadas, pelo Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, na área de ocorrência de fosfatos. Uma dessas sondagens, inclinada de 45° em direção ao centro do Morro do Serrote, executada em 1948, atingiu carbonatito a cerca de 36 metros de profundidade. Os minerais acessórios presentes, bem como a granulação da rocha, conforme foi verificado em lâminas delgadas colocadas à disposição pelo I.G.G., diferem dos encontrados nas amostras de superfície e nas sondagens da parte interna do morro.

Embora o número de observações seja muito limitado, é muito provável que no morro do Serrote ocorram dois tipos distintos de carbonatito; o primeiro ocupa a parte central mais elevada, enquanto o outro se situa na parte periférica da área de ocorrência das rochas carbonáticas. Possivelmente, a existência de duas massas carbonáticas distintas corresponde a duas fases separadas de intrusão. O contato entre essas duas massas carbonáticas não pode ser determinado no campo. Entretanto, a descontinuidade morfológica circular, acima referida, possivelmente corresponde ao limite entre variedades de carbonatito de diferente resistência ao intemperismo. Outro fato, no entanto, pode ser considerado indicativo da existência de uma rocha não carbonática no flanco norte do morro, pois um poço de pesquisa apresenta uma argila muito fina, diferente da existente no

solo que capeia o carbonatito. Em vários locais, principalmente no flanco norte, ocorrem ainda solos ricos em mica alterada. A existência de corpos e diques carbonatíticos irregulares associados com outras rochas alcalinas é conhecida em diversas ocorrências similares. Esta possibilidade também deve ser levada em consideração no caso do Morro do Serrote, em especial na sua parte norte.

Devido à exigüidade de afloramentos e pequeno número de sondagens, pouco se pode dizer sobre a estrutura dos carbonatitos e as relações entre os dois tipos localizados. A existência de diques carbonatíticos dispostos segundo sistemas definidos, cortando os próprios carbonatitos, bem como as outras rochas alcalinas, somente pode ser sugerida em face à sua ocorrência comum em localidades congêneres. Em Juquiã, uma indicação nesse sentido é dada pela existência de delgados veios carbonáticos de textura e tonalidade diferentes das suas encaixantes carbonatíticas. Em um único caso encontrou-se um pequeno dique de carbonatito branco, com bandas ricas em magnetita, cortando a rocha de granulação fina (Foto 2.).

Também não são conhecidas evidências concretas sobre a presença de xenólitos nos carbonatitos, comuns em quase todas as rochas deste tipo. A única indicação, sobre a possível existência desses corpos, consiste em blocos localizados nos fosfatos da jazida na base do Morro do Serrote. Esses blocos totalmente alterados, de dimensões centimétricas a quase meio metro de diâmetro e cor avermelhada, encontram-se na massa de fosfatos, que apresenta coloração e textura muito diferentes. Se os fosfatos se originaram a partir de rochas carbonatíticas, esses blocos podem representar xenólitos decompostos, conservados na massa de fosfatos (Foto 3.).

Na área ocupada por carbonatitos (Figura 5), notam-se algumas fraturas ou lineamentos, reconhecidos pelo exame de fotografias aéreas, que se localizam no anel externo, sugerindo a existência de um sistema radial de fraturas, devido à intrusão do corpo carbonatítico central. O conta

*Foto 2 : Dique de carbonatito cortando
a rocha também carbonatítica (x 1,2).*

*Foto 3 : Bloco de composição argilosa
e cor avermelhada, englobado nos fos-
fatos, tratando-se de um possível xe-
nólito alterado.*

to externo do corpo central aparentemente possui forma cônica, com seus flancos mergulhando para fora, de maneira que, em profundidade, seu diâmetro pode ser bem maior do que aquele observado em superfície (cêrca de $0,5 \text{ km}^2$).

A feição linear, que separa o Morro do Serrote da pequena saliência em sua parte sudeste, pode estar relacionada a um dique ou falha, pois uma galeria de pesquisa, próxima à frente de mineração (Figura 5), localizou uma zona, de 1 a 2 metros de espessura, constituída de material talcoso com grânulos calcíticos.

Pelos dados apresentados, verifica-se que a área indicada no Anexo 1 e Figura 5 como carbonatito externo é apenas inferida, a partir da rocha carbonatítica localizada em uma única sondagem e com auxílio dos minerais residuais dos solos.

Admitindo que todo o Morro do Serrote seja constituído por carbonatito, esta rocha ocupa cêrca de 15% da área total da intrusão, possuindo forma bastante regular. Do ponto de vista morfológico, ele seria semelhante aos carbonatitos de Jacupiranga, Palabora, Sukulu e Spitskop, entre outros, mas diferente das massas constituídas por numerosos corpos irregulares, semi-circulares, diques ou "cone-sheets", como em Bukusu, Tweerivier, Glenover e outros. Em relação à área total da intrusão, a percentagem ocupada pelos carbonatitos em Juquiã parece ser maior do que em Jacupiranga, embora o corpo carbonatítico em si seja bastante modesto, comparado às maiores ocorrências conhecidas (Sukulu, Bukusu, Capuiã).

b) - Mineralogia

Os carbonatitos encontrados na intrusão alcalina de Juquiã apresentam uma composição mineralógica relativamente simples, havendo entretanto diferenças características entre as rochas da parte externa e interna.

Carbonatito externo

Os dados sobre esse carbonatito, atravessado por uma única sondagem, foram obtidos a partir de 14 seções delgadas, cedidas para estudo pelo I.G.G. de São Paulo. Essas lâminas já haviam sido descritas em 1948, por Plínio de Lima; correspondem ao intervalo entre 36 e 82 metros de profundidade, abaixo do capeamento de minério fosfático.

O estudo das lâminas delgadas indica uma composição bastante uniforme, nesta perfuração. Os carbonatos perfazem de 50% em volume, nas rochas excepcionalmente ricas em apatita, até quase 100%. A descrição das amostras, efetuada por Plínio de Lima, contém uma única referência a testes de coloração, por meio de nitrato de prata e cromato de potássio, indicando baixa proporção de calcita. As análises químicas (Felicíssimo Jr., 1968), confirmam a predominância de carbonatos dolomíticos, com possibilidade de ocorrer calcita, em pequena quantidade.

A granulação da rocha varia entre 0,5 e 2 mm, embora também haja algumas manchas de granulação exclusivamente fina.

Os grãos de carbonato são equidimensionais, podendo ser denteados ou indicar certa tendência ao idiomorfismo. Mostram clivagem nítida e geminação ocasional. Os carbonatos são límpidos, mas em algumas lâminas existem grãos maiores turvos, principalmente nas bordas, sugerindo zonamento.

Os minerais acessórios mais comuns são mica, magnetita, apatita, pirocloro e barita. Minerais amarelados e esverdeados de alteração (clorita ?) ocorrem de maneira esparsa. Mica alaranjada e magnetita são os acessórios de distribuição mais regular.

Mica

A variedade presente é flogopita, com granu

lação muito fina a média. Ela é comum em algumas lâminas e rara em outras, mas perfaz, apenas, alguns percento em volume. Quando mais abundante, ocorre isolada ou em pequenas manchas associadas a carbonatos, apatita e opacos. A forma dos grãos tende ao idiomorfismo, principalmente nos indivíduos isolados.

A mica exhibe pleocroísmo alaranjado a vermelho, mais forte na direção perpendicular à clivagem, e extinção inclinada de 2 a 40° em relação aos traços de clivagem. As secções transversais apresentam clivagem perpendicular ao maior alongamento. Em uma única lâmina, alguns grãos possuem núcleo cujo pleocroísmo é mais intenso na direção paralela aos traços de clivagem, enquanto nas bordas ele é semelhante ao primeiro caso.

Os cristais de mica podem mostrar zonamento, caracterizado pela presença de um material escuro, não identificado, nas partes centrais ou por variações na intensidade do pleocroísmo.

Opacos

Minerais opacos, em pequenas quantidades, existem em quase todas as lâminas, entre os carbonatos ou englobados por eles. Sua granulação varia de muito fina a fina, poucas vezes atingindo 0,3 mm. Em algumas amostras, ricas em veios carbonáticos posteriores, os opacos ocorrem em manchas milimétricas e com maior frequência, associados a mica, carbonatos, apatita e óxidos de ferro.

Os minerais opacos são magnetita e óxidos de ferro secundários; em grande parte parecem estar associados a veios constituídos por carbonatos turvos e de granulação fina, semelhantes ao carbonatito interno.

Em geral, a granulação da magnetita é fina, com frequentes grãos idiomórficos. Muitos cristais apresentam alteração parcial, que ao microscópio se caracteriza pela existência de bordas com cor avermelhada.

Em algumas amostras, cortadas por veios de carbonatos finos e turvos, há minerais opacos não identificados, em manchas milimétricas e de contornos regulares, sugerindo substituição de um mineral preexistente.

Apatita

A apatita ocorre com hábito prismático, em cristais alongados de até 4 mm de comprimento e 0,4 mm de largura, ou então prismas curtos da ordem de 0,1 ~ 0,2 mm. Estes últimos formam aglomerações de 2 a 3 mm, notando-se tendência ao idiomorfismo nos diversos grãos.

Muitas vezes a apatita apresenta bordas com cor de interferência mais alta, devido à formação de carbonato-apatita (dahlita), conforme já havia sido descrito por Plínio de Lima.

A apatita não está disseminada, mas sempre em aglomerações ou filêtes, sendo posterior aos carbonatos da rocha, inclusive aqueles de veios posteriores.

Os prismas alongados normalmente estão associados a grãos finos, formando manchas orientadas, contínuas ou interrompidas, às vezes com aspecto de veio. Nestas manchas, a apatita quase não contém inclusões e os prismas alongados podem possuir partição paralela ao plano basal. Quando a apatita está associada à magnetita, seus grãos envolvem e, por vezes, mostram inclusões deste mineral.

A apatita também ocorre em manchas não orientadas, em grãos mais ou menos equidimensionais, transformados em dahlita nas bordas ou inteiramente substituídos por esse mineral; os grãos são ricos em inclusões finas, não identificadas, e minúsculos espaços vazios de forma arredondada. Entre os grãos de apatita e dahlita, são encontrados frequentes cristais idiomórficos de mica avermelhada.

Barita

A barita não é propriamente um acessório do

carbonatito, mas aparece, em uma única lâmina, associada a veio carbonatítico posterior, de granulação fina. Forma cristais largos e alongados, que estão envolvidos por material carbonático de veio ou se localizam nas bordas deste.

Pirocloro

Pequenos cristais idiomórficos de pirocloro foram localizados nas lâminas do carbonatito externo, sendo semelhantes ao mineral encontrado no carbonatito interno, onde é mais freqüente.

Zircão

Os resíduos insolúveis de algumas amostras de solo do carbonatito externo apresentam raros cristais finos a médios de zircão, com dois hábitos distintos. Constitui prismas alongados e com cantos arredondados, cor rosa claro a escuro e granulação fina; no outro caso, forma bipirâmides tetragonais perfeitas, com zona prismática curta, sendo incolor e de granulação até 2 mm. Este mineral parece ser derivado do carbonatito mais antigo, devido ao local onde foi encontrado.

Carbonatito interno

Dispõe-se de uma boa variedade de amostras deste tipo de carbonatito, o que permitiu a separação e estudo dos minerais constituintes.

Também neste caso, os carbonatos perfazem a maior parte da rocha, embora os minerais acessórios sejam mais freqüentes do que no tipo de rocha anteriormente descrito. Os minerais acessórios apresentam distribuição bastante homogênea em todas as amostras, se bem que a barita tenda a ocorrer em manchas, por ser um mineral tardio, enquanto a magnetita pode se concentrar em faixas orientadas lembrando um tipo de textura fluidal. Os principais minerais acessórios são, pela ordem de freqüência aproximada:

magnetita, barita, ilmenita, pirita, monazita, ancylita, pirocloro, quartzo, goethita, galena.

Monazita e goethita formam pequenos agregados que preenchem cavidades da rocha, tanto em amostras da superfície como de sondagem; estão associadas a carbonatos romboédricos idiomórficos, de uma fase tardia. Barita, estroncianita (?), norsethita, ancylita e quartzo também se associam a esses carbonatos tardios.

Carbonatos

Como já foi citado são os constituintes mais importantes da rocha; em geral apresentam-se em grãos alotriomórficos e denteados, cuja granulação varia de fina a muito fina. Poucas amostras possuem grãos ocasionais de dimensões maiores do que 0,5 mm.

De um modo geral, há dois tipos predominantes de carbonatos quanto à granulação: um muito fino, com grãos até 0,1 mm de diâmetro, e aspecto turvo; o outro constituído por grãos de 0,1 a 0,3 mm de diâmetro, cor branca e aspecto límpido. Esses dois tipos de carbonatos ocorrem em agregados de muitos grãos, que em conjunto podem ou não formar bandas orientadas; em outros casos, o material mais fino envolve ou penetra entre os grãos mais grossos. Esses carbonatos constituem, portanto, duas gerações distintas. Raras vezes foi notada uma terceira geração, de carbonato fino e turvo, substituindo as duas anteriores. Algumas amostras apresentam, ainda, um outro tipo de material carbonático, que, mesmo em lâmina, possui coloração marrom intensa. Ele é constituído por grãos finos, quase límpidos e impregnações finíssimas de óxidos de ferro; trata-se de provável material ankerítico alterado. A alteração de ankerita e siderita, relativamente instáveis, é descrita em várias ocorrências carbonáticas. Apesar dos termos ankeríticos e sideríticos serem considerados, em geral, os últimos a se formar nas rochas carbonáticas, em Juquiã esta relação não pôde ser estabelecida nas poucas amostras em que ocorrem.

Os carbonatos maiores do que 0,3 mm são posteriores aos acima citados e, em geral, estão associados a minerais tardios, como por exemplo, barita. Seus grãos possuem contornos regulares, podendo ser idiomórficos.

Macroscopicamente, os tipos de carbonatos descritos se diferenciam por sua coloração, pois os de granulação maior são quase brancos, enquanto os mais finos e turvos mostram diversas tonalidades de marrom; o material ankerítico apresenta cor marrom muito carregada, às vezes avermelhada.

Com a finalidade de determinar a composição dos carbonatos, bem como a sequência de formação das diversas gerações, foram feitos vários tipos de ensaios, como medidas do índice de refração, análises termo-diferenciais, difração de raios X e técnicas de coloração ("staining"). Medidas de índices de refração e análises termo-diferenciais foram efetuadas em diversas frações carbonáticas, principalmente na granulação 60-100 mesh (0,250-0,149 mm), obtidas por separação magnética ("Frantz Isodynamic Separator"). Verificou-se que os carbonatos marrons possuem susceptibilidade magnética maior do que os quase brancos.

Em 29 frações provenientes de 15 amostras de rocha, os carbonatos mais comuns foram concentrados manualmente, efetuando-se a seguir medidas do índice de refração w . Essa técnica foi aplicada por Verwoerd (1966) em vários carbonatitos sul-africanos, deduzindo-se sua composição aproximada do gráfico citado por Winchell (1951, p.115). A precisão das medidas no material de Juquiã é de $\pm 0,003$ para os valores abaixo de 1,70 e de $\pm 0,005$ para os índices mais altos. Em um total de 41 medidas (Tabela 8) verificou-se que os carbonatos de cor marrom, em sua maioria, apresentam índices mais altos e são mais ricos em ferro (parankerita e ankerita) do que aqueles de cor branca, essencialmente constituídos por magnésio-dolomita. Índices w abaixo de 1,679 são raros, não tendo sido determinados valores mais baixos do que 1,675; isto confirma que a calcita, se existir, é muito rara nas amostras estudadas. As

frações magnéticas quase sempre contêm mais de um tipo de carbonato, pois, na granulação utilizada, são comuns os intercrescimentos entre diversos minerais. Além disso, as frações correspondem a um certo intervalo de susceptibilidade magnética, não se obtendo a separação de minerais puros, mas apenas dos termos carbonáticos predominantes. As frações separadas a amperagens maiores do que 1,0, praticamente só contêm magnésio-dolomita, enquanto as outras são constituídas por ankerita ou parankerita, além de magnésio-dolomita em quantidades menores.

Os carbonatos com ferro podem conter certa quantidade de manganês substituindo o ferro em suas posições. Este fato se reflete na presença de 1% a 2% MnO em duas amostras do carbonatito, mas esse elemento deve estar presente também em outros minerais, além da ankerita.

Comparando os índices de refração medidos nas diversas frações, verifica-se que, de um modo geral, há grande predominância de magnésio-dolomita, seguindo a ankerita e, por fim, a parankerita. Estes dois últimos minerais são mais comuns em amostras cuja análise química revela elevado teor de ferro (Tabela 9); em apenas dois casos o teor alto desse elemento é devido à presença de magnetita em quantidades acima da média (C-15 e SS-1-9).

Com a finalidade de auxiliar na determinação dos vários tipos de carbonatos do carbonatito interno de Juquiã, foram executadas diversas análises termo-diferenciais em frações de diferentes susceptibilidades magnéticas, provenientes de várias amostras. Também neste caso se utilizou, em geral, a fração 60-100 mesh, separando-se manualmente os sulfetos existentes e triturando o material em almofariz de ágata.

O equipamento de análise termo-diferencial utilizado foi construído no Departamento de Mineralogia, baseado em diversas descrições da literatura, especialmente Kerr e Kulp (1948). Devido a uma série de características próprias do aparelho, como taxa de aquecimento de 10°C/min.,

Amostra	Fração Magnética	Coloração	Índice w	Composição	Observações
C-1	0,2-0,5 A	Marrom	1,717 $\pm$ 0,005	Ankerita	
	0,8-1,0 A	Branco	1,681 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	subordinado
			1,691 $\pm$ 0,003	Parankerita	
C-4	0,5-0,9 A	Avermelhado	1,714 $\pm$ 0,005	Ankerita	
			1,724 $\pm$ 0,005	Ankerita	subordinado
			1,683 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	subordinado
	0,9-1,2 A	Branco	1,684 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
C-5	0,2-0,5 A	Marrom claro	1,725 $\pm$ 0,005	Ankerita	subordinado
			1,700 $\pm$ 0,003	Parankerita	
		Marrom escuro	1,723 $\pm$ 0,005	Ankerita	
	0,8-1,3 A	Branco	1,687 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
C-7	0,2-0,7 A	Marrom claro	1,719 $\pm$ 0,005	Ankerita	
			1,719 $\pm$ 0,005	Ankerita	
			1,690 $\pm$ 0,003	Parankerita	subordinado
			1,698 $\pm$ 0,003	Parankerita	subordinado
	0,7-1,2 A	Branco	1,684 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
	1,2-1,6 A	Branco	1,684 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
C-8	0,5-0,7 A	Avermelhado	1,730 $\pm$ 0,005	Ankerita	
			1,720 $\pm$ 0,005	Ankerita	
		Marrom	1,692 $\pm$ 0,003	Parankerita	
	1,0-1,6 A	Branco	1,678 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
C-9	0,2-0,9 A	Marrom escuro	1,727 $\pm$ 0,005	Ankerita	
			1,695 $\pm$ 0,003	Parankerita	
	0,9-1,5 A	Branco	1,687 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	

continua

Amostra	Fração Magnética	Coloração	Índice n	Composição	Observações
C-11	0,2-1,0 A	Marrom	1,725 $\pm$ 0,005	Ankerita	
		Branco	1,681 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
C-12	0,3-0,5 A	Marrom	1,692 $\pm$ 0,003	Parankerita	
			1,723 $\pm$ 0,005	Ankerita	
	0,5-0,8 A	Branco	1,687 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
			1,711 $\pm$ 0,005	Ankerita	subordinado
C-14	0,6-1,65 A	Branco	1,680 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
C-15	0,7-0,9 A	Branco	1,686 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
SS-1-3	0,3-0,7 A	Branco	1,684 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
			1,720 $\pm$ 0,005	Ankerita	
	0,7-1,4 A	Branco	1,680 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
			1,705 $\pm$ 0,005	Parankerita	
SS-1-6	0,3-1,0 A	Marrom escuro	1,686 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	com óxido de Fe
	1,0-1,2 A	Marrom claro	1,684 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
SS-1-9	0,6-1,2 A	Branco	1,681 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
SS-1-12	0,9-1,4 A	Branco	1,680 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	
SS-2-2	0,9-1,4 A	Branco	1,680 $\pm$ 0,003	Magnésio-dolomita	

Tabela 8: Medidas do índice de refração n em carbonatos provenientes do carbonatito interno.

com controle manual, o desenvolvimento dos picos endo- ou exotérmicos se processa a temperaturas diferentes das citadas por esses autores. Além disso, a falta de um registro automático e de termogramas de carbonatos puros impede qualquer tentativa de interpretação quantitativa com esse aparelho. Algumas análises foram feitas com receptáculo do material aberto e outras com receptáculo fechado; a temperatura de formação dos picos e seu desenvolvimento é mais ou menos constante para cada série de análises. Quando se trabalha com receptáculo fechado, obtêm-se picos menores e a temperatura mais baixa, pois, de certo modo, isto equivale a operar em atmosfera de CO_2 , proveniente da decomposição dos carbonatos.

Básicamente, foram obtidos dois tipos de curvas de análise termo-diferencial, característicos para dolomita e ankerita (Figuras 6 e 7); a intensidade do primeiro pico da ankerita deve ser consequência da quantidade variável deste mineral, em mistura com dolomita. Como as leituras da diferença de potencial foram efetuadas de minuto em minuto, a deflexão nas curvas nem sempre corresponde ao valor máximo.

A maioria das curvas mostra apenas dois picos endotérmicos, nas temperaturas 715-725° e 895-905° C com receptáculo fechado e 705-725° e 845-875° C com recipiente aberto. Esses máximos correspondem aos dois picos endotérmicos da dolomita, embora Kulp e outros (1951) e Wolf e outros (1967) indiquem temperaturas mais altas. As quatro amostras restantes apresentam 3 picos endotérmicos, a 645°, 705-720° e 895-905° C, respectivamente, com receptáculo fechado, e 625-645°, 735-740° e 810-820° C, com receptáculo aberto. Esses picos correspondem àqueles da ankerita, embora os trabalhos consultados assinalem temperaturas mais altas. As discrepâncias, em parte, são devidas à diferente taxa de aquecimento utilizada, mas também podem ser consequência da granulação do material analisado.

As análises termo-diferenciais, em combinação com os índices de refração n dos carbonatos, levam a con

RECEPTÁCULO FECHADO

Figura 6: Termogramas de carbonatos do carbonatito de Juquid.

RECEPTÁCULO ABERTO

Figura 7: Termogramas de carbonatos do carbonatito de Juquiá.

cluir que os têrmos ankeríticos estão concentrados nas frações de maior susceptibilidade magnética, que, em geral, pos suem côr mais escura do que a magnésio-dolomita, entre mar rom claro e marrom escuro. Uma única amostra de alta sus ceptibilidade (SS-1-6) não apresentou termograma típico de ankerita, tratando-se possivelmente de ankerita ou sideri ta decomposta em dolomita e óxidos de ferro, conforme já havia sido indicado pelo índice de refração. Nenhuma anã lise assinalou a presença de magnesita pura, embora as anã lises efetuadas com receptáculo fechado sugiram um possí vel pico, muito reduzido, a cêrca de 510° C. Se existir magnesita pura, sua quantidade deve ser mínima. Os peque nos picos a 940° C, nas anã lises efetuadas com receptáculo aberto, são devidos a uma irregularidade da curva do "back-ground" e não à presença de calcita como se poderia supor.

Na maioria das amostras de carbonatito foram efetuados testes de coloração. Os resultados revelaram-se extremamente insatisfatórios, pois não permitiram a identi ficção conclusiva dos tipos de carbonatos presentes, mas apenas ressaltaram algumas áreas por colorações diferentes. O procedimento seguido nos testes de coloração foi o indi cado por Warne (1962) e, em parte, Wolf e outros (1967). Um dos fatores que pode ter causado o insucesso dos testes é a granulação dos minerais carbonáticos, geralmente menor do que 0,4 mm. Além disto, muitos carbonatos possuem côr original marrom ou avermelhada, mascarando qualquer colora ção adquirida. Por isso, não foi possível reconhecer zo nas ricas em ankerita, identificada por outros métodos, ou siderita; além do mais, os testes com alizarina a frio, sem pre resultaram negativos.

Por esses motivos, o uso de testes de colora ção se restringiu à acentuação de certos caracteres textu rais, pois em várias rochas o tratamento com alizarina e NaOH-30%, ou com ferricianeto de potássio, provocou colora ção intensa de algumas zonas. Por exemplo, o uso de aliza rina e NaOH-30% permitiu reconhecer, pela forte tonalidade púrpura, a existência de carbonatos, que em lâmina delgada

são turvos e escuros, envolvendo manchas de outro tipo de carbonatos, não coloridos. O teste com ferricianeto de potássio, por sua vez, indica que a maior parte dos carbonatos brancos contém pequena quantidade de ferro, pois rapidamente adquirem coloração azulada, existindo algumas manchas que não mudam de cor. Warne (1962) ressalta que a intensidade da coloração azul não é constante, nem indica variação na quantidade de ferro presente. Algumas manchas de cor marrom, ricas em ferro segundo medidas de índice de refração, não adquirem cor azul, presumivelmente devido à oxidação do Fe^{+2} para Fe^{+3} .

Excetuando os carbonatos portadores de bário e estrôncio, pode-se dizer, com base nos testes efetuados, que a dolomita pura predomina, seguida por ankerita e, por último, parankerita. Se existir calcita, ela ocorre em quantidade e granulação tão reduzidas, que não adquire importância, nem mesmo como acessório. A presença de carbonatos magnesianos puros não foi reconhecida nos testes efetuados.

Magnetita

A magnetita é o mineral acessório mais comum e em algumas amostras perfaz quase 5% do volume, correspondendo a cerca de 9% em peso. Ela está associada a ilmenita e, possivelmente, maghemita e martita, mostrando, às vezes, alteração nas bordas dos grãos. Sua granulação é variável, desde muito fina até 0,5 mm, embora possa atingir 1 mm em alguns indivíduos isolados. A magnetita se apresenta disseminada na rocha, ou então em agregados, que podem se dispor em faixas orientadas, sugerindo textura fluidal. Muitas vezes a magnetita forma octaedros perfeitos ou com faces parcialmente desenvolvidas.

Ilmenita

A ilmenita ocorre em associação com magnetita,

na forma de lamelas de exsolução finíssimas e orientadas, que, em secção polida, podem atingir quase 10% da área ocupada pela magnetita. A concentração dessas lamelas é variável, pois praticamente faltam em alguns grãos, enquanto são bastante comuns em outros. As lamelas de ilmenita podem ser identificadas por meio de ataque ácido a quente, restando uma estrutura de finíssimas placas orientadas, principalmente em grãos maiores de magnetita do solo residual.

A ilmenita também constitui placas mais grossas em algumas amostras de carbonatito, mas em especial, nos solos de alteração, podendo ser separada por processos magnéticos e ataque ácido. O material assim obtido muitas vêzes se apresenta como um conjunto de placas superpostas, de côr preta, mas que adquire côr marrom por um possível processo metamórfico. Esse tipo de alteração pode ser observado ao longo de pequenas fraturas nas placas de ilmenita. A difração de raios X indica que o material marrom é um provável títanato de ferro (Valarelli, comunicação verbal).

Sulfetos

Nas amostras de carbonatito da superfície, os sulfetos estão em grande parte alterados. Nas amostras de sondagem, entretanto, apresentam pouca alteração, formando manchas irregulares ou finos veios de até 1 cm de comprimento, cujo principal constituinte é a pirita. Pirrotita e calcopirita podem ocorrer em quantidade muito subordinada, pois existem raros grãos de sulfetos magnéticos ou com ligeira iridescência.

Os resíduos não magnéticos, obtidos no separador Frantz, com frequência contêm cristais cúbicos de galena em quantidades muito pequenas.

Em algumas amostras, principalmente de sondagem, os sulfetos são bastante comuns; na massa total da rocha carbonatítica, no entanto, participam em proporção muito pequena, inferior a 0,5%.

Barita

A barita é um acessório comum, sendo posterior aos minerais que constituem a maior parte da rocha; ocorre em concentrações, associada a carbonatos de granulação maior e às vezes idiomórficos, que preenchem veios e vazios na rocha. Pode apresentar forma quase idiomórfica e granulação de até alguns milímetros. Os grãos são translúcidos a transparentes, de cor branca ou então amarelada; em lâmina, a clivagem é bem reconhecível.

Quartzo

Este mineral não se destaca pela abundância, embora seja comum no resíduo insolúvel ou não magnético de várias amostras do carbonatito. Em lâmina delgada, foi encontrado em casos raros, sendo nitidamente posterior aos carbonatos.

O quartzo, responsável pela maior parte da sílica encontrada nas análises químicas, é mais comum nas amostras de superfície do que em sondagem, podendo ter-se depositado a partir de soluções percolantes superficiais. Algumas amostras, cujos resíduos não magnéticos contêm pouco ou nenhum quartzo, apresentam teor relativamente alto de SiO_2 na análise química, o que poderia indicar a presença de minerais silicáticos.

Monazita

Monazita é encontrada com certa frequência, em aglomerações de minúsculos cristais de cor verde clara a amarelada; preenche pequenas cavidades ou se distribui nas suas bordas, tanto em amostras superficiais como de sondagem. A monazita comumente está associada a óxidos de ferro avermelhados e barita, sendo também um mineral tardio.

As aglomerações de monazita são constituídas por prismas finíssimos de distribuição radial, dificilmente

individualizados ao microscópio, mesmo com grandes aumentos.

Em uma pequena quantidade de monazita concentrada, efetuou-se medida de radioatividade, não se verificando qualquer anomalia, o que indica a ausência de quantidades notáveis de urânio ou tório.

A identificação do mineral foi efetuada por meio de difração de raios X, obtendo-se suas raías mais características.

Goethita

O mineral é encontrado como prismas muito finos, dispostos radialmente nas bordas de cavidades e ao longo de fendas, sendo, portanto, posterior. Comumente está associada a monazita e carbonatos límpidos, apresentando cor marrom escura. Em lâmina delgada o mineral parece ser opaco, revelando-se translúcido quando examinado em lascas muito finas. Sua identificação definitiva só foi possível por intermédio da difração de raios X.

Pirocloro

O pirocloro constitui acessório comum em algumas lâminas, embora seja raro em outras; sua granulação pode atingir 0,15 mm, mas em geral é bastante menor. Em secção delgada, apresenta relevo muito alto e frequente secção losangular, o que indica idiomorfismo; entre nêcois cruzados aparece quase extinto. O pirocloro ocorre disperso ou em pequenas aglomerações, geralmente entre grãos de carbonatos. Mineral semelhante foi encontrado no carbonatito externo (vide p. 79).

Os cristais de pirocloro, isolados por moagem e separação magnética, com muita frequência são idiomórficos, constituindo octaedros perfeitos. Estes cristais são incolores a cor de mel, mas outras vezes possuem aspecto esbranquiçado, pouco translúcido. O pirocloro do Morro do Serrote é semelhante àquele descrito em Nkombwa (Gittins, 1966a, p. 492) e Kangankunde (Garson, 1966, p. 64).

Este mineral também foi localizado nos solos do Morro do Serrote, resultantes da decomposição dos dois tipos de carbonatito. Nesses solos o pirocloro é encontrado em cristais quebrados, mas também em grãos idiomórficos, de cor branca a esverdeada, bastante friáveis; pode ser localizado mesmo nos resíduos insolúveis em HCl concentrado, quando o ataque não é muito prolongado. O pirocloro dos solos não foi estudado por meio da difração de raios X, mas é possível que esteja parcialmente transformado em pandaita, variedade portadora de bário; esta alteração do pirocloro é comum em algumas localidades congêneres, sujeitas a intemperismo intenso. Os cristais de pirocloro encontrados nos solos, em parte são maiores que na rocha fresca, podendo atingir cerca de 0,6 mm.

Ancylita

Muitas amostras de carbonatito, à vista desarmada ou à lupa, apresentam alguns grãos de um mineral de cor rosa-avermelhada. Em lâmina, verifica-se que possui hábito alotriomórfico a idiomórfico e que está associado a minerais tardios; frequentemente está pouco alterado, adquirindo então um aspecto turvo, que pode mascarar a cor de interferência, quando observado a nicóis cruzados. A ancylita ocorre em quantidade reduzida, mas algumas vezes é mais frequente, podendo formar pequenas manchas de cristais intercrescidos.

Uma pequena quantidade desse material pode ser separada e analisada por difração de raios X, obtendo-se as raia típicas da ancylita, $Sr_3(Ce, La...)_4(CO_3)_7(OH)_4 \cdot 3H_2O$.

Estroncianita, Norsethita

Possivelmente existe estroncianita associada aos minerais tardios, constituindo parte dos carbonatos limpidos, de granulação um pouco maior que a normal. Alguns desses grãos, encontrados no resíduo não magnético e com densidade maior do que 3,27, são biaxiais negativos, com ângulo

2V muito pequeno. Em observação rápida, podem ser confundidos com dolomita, que apresenta índices parecidos e algumas vezes é biaxial. Uma pequena quantidade desse material foi separada e analisada por difração de raios X, obtendo-se as raías de um mineral identificado como provável norsethita ($\text{BaMg}(\text{CO}_3)_2$), havendo, entretanto, raías que indiquem também a presença de estroncianita.

c) - Petrografia

De um modo geral, as rochas carbonatíticas podem ser subdivididas em dois grupos principais, calcíticas e dolomíticas, respectivamente sôvitos e beforsitos, segundo proposição de Verwoerd (1966), independentemente do modo de ocorrência. Esta será a orientação seguida neste trabalho, tanto pela simplicidade, como por não ser possível afirmar se algumas rochas ocorrem em diques. Essa nomenclatura deriva da originalmente proposta por Brögger (1921) e modificada por v. Eckermann (1928 e 1948), que havia dado os nomes sôvito e rauhaugito aos carbonatitos calcíticos e dolomíticos, denominando alvikitos e beforsitos as rochas de dique correspondentes. O nome dos minerais acessórios mais importantes pode ser anteposto, quando conveniente, por exemplo mica-sôvito e apatita-beforsito, ainda segundo Verwoerd (1966).

Carbonatito externo

Este carbonatito foi encontrado apenas na sondagem efetuada na base do Morro do Serrote, pelo Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo. Apresenta textura sacaróide e granulação geralmente média, entre 0,5 e 2 mm. Os minerais acessórios são bastante raros, predominando mica e magnetita; a apatita ocorre apenas em algumas lâminas, formando concentrações alongadas e orientadas, com certo paralelismo dos grãos, ou em manchas irregulares. Nas poucas amostras em que está presente, a apatita é um acessório frequente e importante.

Nas lâminas estudadas, os carbonatos não apresentam orientação, com exceção da amostra proveniente de 82 m de profundidade, em que se nota nítido alongamento dos cristais maiores; o alinhamento desses grãos, no entanto, pode ter sido causado pela injeção de carbonatos finos, que substituem os constituintes originais. Estes carbonatos finos e de aspecto turvo, semelhantes àqueles encontrados no carbonatito interno, também foram notados a profundidades menores, onde formam veios, em geral de espessura muito reduzida, penetrando nos minerais primitivos e impregnando a rocha em redor com magnetita fina.

O carbonatito externo, a julgar pelos dados disponíveis, é de caráter beforstítico. A falta de amostras manuseáveis não permitiu obter detalhes sobre a distribuição dos diversos minerais carbonáticos, além da citação de que testes de coloração, com nitrato de prata e cromato de potássio, indicam manchas calcíticas pequenas e esparsas, conforme descrição efetuada por Lima, em 1948.

Dados de análises químicas de 25 amostras entre as profundidades de 42 e 67 metros, na sondagem do I.G.G. (Felicíssimo Jr., 1968), indicam a seguinte composição:

CaO	31	a	34	%	BaO	0,2 a 1,0%
MgO	10	a	15	%	MnO	0,2 a 0,7%
P ₂ O ₅	0,1	a	4	%	SiO ₂	0,2 a 3,2%
Fe ₂ O ₃	0,0	a	2,4	%	SO ₃	0,1 a 3,0%
Al ₂ O ₃	0,2	a	1,5	%	F	0,2 a 1,0%

Estes dados indicam que os carbonatos de Ca e Mg constituem mais do que 75% dos componentes da rocha, predominando a dolomita; também existiria, ainda, certa quantidade de calcita. Para os minerais acessórios encontrados em lâmina, os dados químicos indicam desde traços até 9% de apatita; até 1,5% de barita e 1-2% de opacos.

Carbonatito interno

O carbonatito interno possui características variáveis de cor e textura, nas amostras provenientes de duas sondagens e de uma área de afloramento, restrita ao cume do Morro do Serrote. Os carbonatitos apresentam textura sacaróide e granulação fina; os componentes de granulação média são raros, sendo constituídos principalmente por opacos, barita e, às vezes, carbonatos tardios. A maioria dos carbonatos, como já foi citado, tem granulação da ordem de 0,2 mm ou menos.

As rochas apresentam dois tipos de bandamento. Uma variedade é caracterizada pela presença de zonas ricas em minerais opacos, em carbonatito contendo poucos acessórios escuros. Este bandamento sugere a existência de uma textura fluidal ou planar, descrita em vários ou tros corpos carbonatíticos. O outro tipo, nítido em algu mas amostras e apenas indicado em outras, é caracterizado pela presença de faixas irregulares de material carbonático com coloração distinta (Fotos 4 e 5).

O estudo de cortes e de seções delgadas in dica que o carbonatito não é uniforme, tendo ocorrido fa ses sucessivas de introdução de carbonatos. Mais comum é uma matriz de composição beforsítica, de cor clara e for mado por grãos límpidos, com frequentes minerais opacos. Nessa primeira fase parece ter sido injetada uma segunda geração de carbonatos marrom claros, mais ricos em ferro, contendo pequena quantidade de minerais opacos. Este ma terial ocorre em manchas, às vezes alongadas, ou então pe netra por entre grãos ou pequenas manchas dos carbonatos preexistentes (C-8 e C-12). Em raras amostras, há evi dência de uma terceira fase, formada por carbonatos de cor clara, injetada nas duas variedades anteriores. Outro constituinte bem distinto são os carbonatos de composição ankerítica, de cor marrom escura ou avermelhada, que ocor rem em manchas irregularmente distribuídas (C-4 e C-5), po dendo também caracterizar bandamento muito nítido (C-9).

Foto 4 (x 1,3)

Foto 5 (x 1,2)

*Fotos 4 e 5 : Bandamento em carbonati-
tos de Juquiã.*

Nas lâminas verifica-se que a ankerita está parcial ou totalmente transformada em dolomita e óxido de ferro; este último, parece ter sofrido ligeira migração, passando a impregnar os minerais em redor.

As relações de idade entre os carbonatos escuros e as outras variedades acima referidas não puderam ser determinadas com segurança. De maneira geral, em localidades congêneres, os carbonatos mais ricos em ferro - ankeríticos e sideríticos - são considerados posteriores às fases calcítica e dolomítica, sendo frequente sua ocorrência em diques (Verwoerd, 1966, p.131-132 e p.176; Gittins, 1966b, p. 380).

Em Juquiã, a última geração de carbonatos se caracteriza por minerais límpidos e de granulação bastante grossa, por vezes em grãos idiomórficos, formando veios com espessura de poucos milímetros. Barita, ancyllita, norsethita, quartzo e talvez estroncianita estão associados a esses veios. A monaxita e os agregados de goethita, que ocorrem em vesículas ou fendas parcialmente preenchidas, também estão relacionados a esta geração.

Uma das sondagens (SS-1) atravessou uma zona de carbonatito mais rico em pirocloro, onde este mineral se apresenta com certa frequência e em grãos mais desenvolvidos, facilmente identificáveis em lâmina. Nessa mesma sondagem, uma amostra do carbonatito possui aspecto brechóide, pois material de granulação fina envolve pequenas manchas angulosas também carbonatíticas.

Foram obtidas análises químicas de 15 amostras de carbonatito e de dois dolomitos silicosos do embasamento, afim de estabelecer as principais variações existentes. Entre as amostras de carbonatito analisadas, 10 são provenientes da superfície e as outras 5 de sondagens (Tabela 9). Infelizmente, verificou-se que a precisão das dosagens, em especial as de Ca e Mg, deixa muito a desejar, tendo-se obtido uma discrepância de até 30% no teor de Ca, em relação a algumas dosagens mais precisas posteriores. De uma maneira geral, no entanto, as novas dosagens confirmam os altos teo

	SUPERFÍCIE										SONDAGEM					DOLOMITO ENCAIXANTE	
	C-1	C-4	C-5	C-7	C-8	C-9	C-11	C-12	C-14	C-15	SS-1-3	SS-1-6	SS-1-9	SS-1-12	SS-2-2	D-1	D-2
P.F.	42,1	40,0	39,4	42,2	40,3	41,7	41,4	41,2	40,0	39,4	43,9	42,7	42,2	44,1	43,9	28,4	24,7
SiO ₂	0,4	1,3	2,0	4,9	3,6	0,2	1,5	0,6	2,6	1,5	0,2	0,1	0,1	tr	0,2	15,2	18,3
Fe ₂ O ₃	7,1	10,4	9,2	2,9	4,1	6,8	5,8	6,8	5,9	10,4	6,2	5,4	7,2	4,6	3,4	0,8	2,4
TiO ₂	0,2	0,1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
CaO	22	22	22	22	19,9	22,5	13,0	21	24,8	25	17	28	25	27	27	31	29
MgO	22	20	20	23	21,4	20,3	26,0	23	17,8	19	28	19	20	21	21	22	20
BaO	2,8	1,6	-	6,1	4,0	-	-	-	5,7	4,7	1,4	-	-	4,0	8,5	-	<0,1
SrO	2,1	3,9*	-	2,1	4,2*	-	-	-	2,4	2,6	0,7	-	-	1,4	1,0	-	<0,1
P ₂ O ₅	0,6	0,4	0,6	0,7	0,7	0,5	0,4	0,5	0,8	0,4	0,2	2,8	1,9	0,2	0,4	tr	0,1
MnO	-	-	-	-	-	1,3	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO/CaO	1	0,9	0,9	1	1,1	0,9	2,0	1,1	0,7	0,8	1,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7

Observações: Os dados relativos a CaO e MgO são aproximados, pois incluem parte do BaO e SrO, exceto nas amostras C-8, C-9, C-11 e C-14. As análises exatas dessas 4 amostras apresentaram as seguintes variações, em relação aos dados aproximados determinados anteriormente:

	C-8	C-9	C-11	C-14
CaO	-2,5	+0,7	-3,5	+1,0
MgO	+1,0	-3,5	-3,0	-2,7

* - As dosagens de BaO e SrO foram efetuadas posteriormente, por via úmida convencional, exceto o Sr das amostras C-4 e C-8, dosados por diluição isotópica.

Tabela 9 - Composição química de algumas rochas carbonatíticas de Juquiá e de dolomitos do embasamento.

res de MgO e relação MgO/CaO elevada.

Essas análises, consideradas imprecisas, indicam valores muito altos de Al_2O_3 , entre 1,3 e 9,2%, o que é impossível em rochas carbonatíticas como as de Juquiã. Concluiu-se que os valores atribuídos a Al_2O_3 foram obtidos por diferença, a partir do total de sesquióxidos determinado (menos TiO_2 , P_2O_5 e Fe_2O_3). A maior parte dessa percentagem de Al_2O_3 na realidade deve ser SrO e BaO, que mais tarde foram dosados em separado. Os dados obtidos para esses dois óxidos permitiram determinar a relação Sr/Ba (Figura 8), que coloca o carbonatito de Juquiã no grupo rico em estrôncio (Verwoerd, 1966, entre p. 184-185), pois os teores, em geral, são superiores a 1%. Também a concentração de bário é considerada alta.

Os dolomitos silicosos do embasamento se distinguem dos carbonatitos, pela maior quantidade de sílica, menor perda ao fogo e menor quantidade de ferro. Essas diferenças refletem a menor proporção de carbonatos e a elevada quantidade de silicatos, destacando-se mica, tremolita e diopsídio, além da presença de quartzo.

Nos carbonatitos, é de se notar que os valores de MgO, apesar de pouco precisos na maior parte das análises, são muito elevados, chegando a superar o CaO em mais de 10%. Recalculando os valores de CaO e MgO para dolomita, verifica-se que quase sempre há excesso de MgO. Este fato, notadamente em C-11 e SS-1-3, poderia ser explicado pela existência de um mineral rico em magnésia, como por exemplo, magnesita, huntita ou brucita; a ocorrência de carbonatito contendo breunneita (magnesita ferrosa), como em Nkombwa (Deans, 1966, p.403), constitui uma outra possibilidade. Em lâmina, não foi encontrada brucita, humita ou clinohumita, que poderiam explicar, em parte, o excesso de MgO; além disso, os dois últimos minerais causariam um aumento na quantidade de sílica, em especial nas duas amostras mais ricas em magnésia. Heinrich (1966, p. 171) se refere à magnesita como o mais raro dos carbonatos romboédricos de carbonatito, afirmando que sua existência foi citada, mas não comprovada, no carbonatito de Mbeya.

Fig. 8: Variação dos teores de Sr e Ba em carbonatitos de Juquila.

A elevada perda ao fogo, quase exclusivamente devida a CO_2 dos carbonatos, pois a quantidade de água contida nas rochas é muito baixa, indica que o excesso de magnésio deve estar também sob forma de carbonato. A possibilidade de existência de huntita é apenas sugerida, pois, sendo o resultado da alteração de dolomita ou magnesita, poderia explicar o alto teor em magnésio, devido à relação de 3:1 entre MgCO_3 e CaCO_3 . Segundo Alderman (1959, cf. cit. Wolf e outros, 1967), este mineral talvez apresente distribuição maior do que normalmente se supõe. Como magnesita e breunnerita já foram mencionados em carbonatitos, podem ser considerados a alternativa mais simples, apesar de não terem sido identificados em Juquiã.

Na bibliografia especializada são raras as referências a carbonatitos muito ricos em magnésio, pois, mesmo nos beforsitos típicos, a relação MgO/CaO não costuma ser muito alta. Entre as localidades que apresentam valôres altos podemos citar Mwambuto, Nachomba (Bailey, 1966, p. 145) e Kangankunde (Garson, 1966, p. 65).

MgO/CaO		MgO/CaO		MgO/CaO
	0,39		0,66	0,76
Mwambuto	0,56	Nachomba	Kangankunde	0,62
	0,78		0,46	0,59

Uma exceção ocorre em Lueshe, onde as rochas magnesianas apresentam sempre mais que 30%, até um máximo de 90%, da molécula MgCO_3 (Meyer e Bêthune, 1960, p. 307). Entretanto, êsses autores também não identificaram o mineral magnesiano.

Em Juquiã, a relação MgO/CaO varia entre 0,2 e 0,5 no carbonatito externo (valôres máximo e mínimo possíveis segundo dados de Felicíssimo Jr. - vide p.95 ; nas amostras do carbonatito interno, no entanto, essa relação é muito mais elevada, pois varia entre 0,7 e 2,0, sendo superior a 1 em vários casos. Uma análise química parcial, citada por Knecht e Felicíssimo Jr. (1939, p. 21), indica

uma relação de 0,6 entre os dois óxidos.

O principal acessório do carbonatito interno é, sem dúvida, a magnetita, que não ultrapassa 5% em volume da rocha, equivalendo a cerca de 9% em peso, em casos extremos. Além disso, parte do ferro indicado pelas análises químicas está contido em ankerita e em óxidos de ferro secundários. Verifica-se que os carbonatitos são muito pobres em sílica, portanto também em silicatos, e que seu teor aumenta nas amostras de superfície, em relação às provenientes de sondagens. Possivelmente, isto é devido a uma silicificação supérgena, portanto, independente da composição primária das rochas carbonatíticas.

Algumas rochas apresentam elevado número de pequenas cavidades visíveis a olho nu. Às vezes encontra-se monazita verde em pequenos tufo, também visíveis à vista desarmada, preenchendo esses espaços. Este modo de ocorrência da monazita confirma a sua formação em estágio tardio da gênese do carbonatito.

A presença de minerais de terras raras em carbonatitos, de preferência beforstíticos e ankeríticos, em quantidades economicamente exploráveis, foi verificada em diversas localidades, como Kangankunde, Nkombwa Hill, Wigu Hill, entre as principais (Deans, 1966, p. 402 e seguintes). As rochas dessas localidades apresentam semelhanças com o carbonatito do Morro do Serrote, em especial com respeito à sua composição química e mineralógica. Essas semelhanças, entretanto, parecem ser mais acentuadas em relação aos diques de carbonatito ankerítico e beforstítico de Kangankunde (Garson, 1966), que possuem uma série de características similares à rocha de Juquiã, exceto a presença de apatita em grande quantidade e a associação dos diques a rochas carbonatíticas feldspáticas, frequentes na localidade africana. O carbonatito interno de Juquiã, a julgar pelos dados constantes da Tabela 14 (vide p.155), apresenta, entre os elementos de terras raras, Ce e La em proporção bastante superior a Y.

Minerais de bário e estrôncio, principalmente

barita e norsethita, foram identificados em carbonatitos da parte interna. A barita constitui um mineral tardio, associado a carbonatos de cálcio e magnésio, límpidos e de granulção maior que a média dos grãos da rocha, quartzo ocasional e monaxita; outras vezes, no entanto, a barita ocorre em veios finos quase monominerálicos. Estroncianita, provavelmente, também está associada aos minerais tardios. Esses minerais de Ba e Sr aparecem em proporção variável, mas segundo as análises químicas, podem atingir quase 10% em algumas amostras. Em relação à barita, verificou-se que ocorre em quase todos os resíduos não magnéticos e insolúveis de carbonatito, mas em quantidades reduzidas. Isto indica que boa parte dos minerais de Ba e Sr podem constituir carbonatos facilmente solúveis. Teores altos de BaO em algumas amostras (Tabela 9) indicam que podem existir concentrações mais ricas em barita e talvez outros minerais desse elemento, como witherita e norsethita, no corpo carbonatítico interno. Parte dos átomos de Sr e Ba deve estar, ainda, em posições de Ca e Mg no retículo cristalino dos carbonatos mais comuns.

A densidade das rochas varia entre 2,82 e 3,17, em 9 amostras do carbonatito interno. O valor médio é 2,96, baixando para 2,93 quando se exclui um valor muito alto de uma única amostra, enriquecida em minerais de estrôncio e outros de peso específico elevado. A presença de minerais acessórios em quantidades modestas é indicada pelas densidades bastante uniformes da maioria das rochas, próximas à densidade da dolomita e ankerita. Na amostra de densidade mais elevada (C-12), o resíduo não magnético ocorre em maior quantidade e é rico em um mineral identificado como norsethita ($d = 3,84$), mas é provável que também exista certa proporção de estroncianita.

Os solos resultantes da decomposição dos carbonatitos, notadamente na parte superior do Morro do Serrote, apresentam óxidos de manganês, em geral associados com óxidos de ferro e magnetita; constituem blocos de dimensões variáveis, que em alguns locais recobrem a superfície. Em grande

	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	1,06	1,87	2,13	1,3	5,24	1,7	5,67
TiO_2	tr	nil	nil	tr	-	-	0,50
Al_2O_3	tr	0,20	0,24	-	2,58	0,8	1,77
Fe_2O_3	3,52	2,80	6,97	6,4	13,92	1,7	3,88
FeO	3,07	10,40	-	-	-	-	3,71
MnO	0,13	5,00	2,62	1,5*	-	0,5	0,78
MgO	42,68	14,47	15,12	21,4	20,1	12,5	6,10
CaO	1,21	19,26	24,69	22,5	18,1	32,5	37,06
BaO	-	0,10	0,27	4,3*	-	0,6	0,45
SrO	-	2,48	3,95	2,3*	-	-	0,89
P_2O_5	0,51	0,80	1,49	0,7	-	2,0	1,73
CO_2	48,02	38,36	38,19	41,6	36,4	-	32,16

- 1 - "Rauhaugito" com 90% da molécula magnesita, Lueshe, Kivu, Rep. Congo - de Bêthune (1958?), cf. cit. Matos Alves (1968).
- 2 - Carbonatito pardo claro (G-462), North Knoll - Kangankunde - Garson (1966).
- 3 - Carbonatito bandado ankerítico e siderítico (G-427), parte norte do complexo central - Kangankunde - idem.
- 4 - Composição média de 15 amostras do carbonatito interno de Juquiã (*9 amostras no caso de BaO e SrO; 2 no caso de MnO).
- 5 - Calcário, Morro do Serrote - Knecht e Felicíssimo Jr. (1939).
- 6 - Valores médios de 25 análises de carbonatito da sondagem nº 1, efetuada pelo I.G.G. no Morro do Serrote - Felicíssimo Jr. (1968).
- 7 - Abundância típica reduzida para 100; reprodução parcial dos dados - Gold (1966).

Tabela 10: Composição química de carbonatitos ricos em magnésio

parte, estes óxidos devem ser originários de carbonatos com ferro e manganês, especialmente ankerita manganífera. Duas amostras do carbonatito de Juquiã apresentaram 1 e 1,3% de Mn na análise química.

A quantidade de fosfatos presente nos carbonatitos da parte interna é reduzida, quase sempre inferior a 1% de P_2O_5 , parte do qual está na forma de monazita. Grãos de apatita acessória não foram encontrados, embora devam o correr, possivelmente com granulação muito fina.

A Tabela 10 mostra a composição química de alguns carbonatitos ricos em magnésio, que não parecem ser comuns pelo pequeno número de citações existentes; também é dada a composição média de 15 amostras do carbonatito interno de Juquiã, bem como os valores de 25 análises de amostras do carbonatito externo, provenientes da sondagem efetuada pelo I.G.G. Esses dados são comparados à abundância típica dos óxidos, em carbonatitos provenientes de 55 localidades, calculada por Gold (1966). O próprio autor ressalta que o número de análises químicas disponíveis, parciais ou totais, é muito restrito; além de abranger apenas uma parte das localidades com carbonatitos conhecidas, superior a 150, há grande predominância de dados relativos ao Sudeste da África, seguido pela Escandinávia.

Verifica-se que os carbonatitos da parte interna possuem teores muito elevados de MgO , superados somente por uma análise de Lueshe, sendo muito superiores aos valores a pontados por Gold. Além disso, a quantidade de minerais acessórios em Juquiã parece ser muito inferior ao normal, conforme é indicado pela elevada perda ao fogo e pela pequena quantidade de sílica. Em muitas localidades com carbonatitos, parte da sílica está contida em minerais silicáticos, não identificados na área em estudo. O carbonatito externo, apesar de diferir bastante do interno, principalmente pelo teor mais baixo em magnésia, também diverge dos valores apresentados por Gold, por apresentar MgO equivalente ao dôbro da média, além de ferro e sílica muito baixos.

O significado dos valores apresentados na compo

sição típica de Gold é interessante, mas também discutível, porque eles não são realmente representativos de todos os carbonatitos. Embora os dados químicos referentes aos carbonatitos brasileiros sejam raros e quase sempre incompletos, é de interesse estabelecer uma comparação com valores que representam a média de numerosas análises, ao invés de fazer comparações com análises isoladas. No atual grau de conhecimento dos carbonatitos, entretanto, talvez fôsse conveniente tentar separar esses valores médios em dois grupos, ricos e pobres em magnésia, conforme uma subdivisão freqüente das rochas carbonatíticas. Esta subdivisão simples, mas ao que parece característica, permitiria uma comparação entre rochas de composição mais semelhante, bem como uma tentativa de estabelecer as jazidas minerais mais comumente associadas a um determinado tipo de rocha. Como exemplo, pode-se citar a maior freqüência aparente de jazidas de fosfatos associadas a rochas calcíticas, bem como a ocorrência de minerais de terras raras em associação a rochas em geral magnesianas. Com o aumento constante do número de dados sobre carbonatitos, além da descoberta de novas ocorrências, torna-se cada vez mais difícil a comparação entre as diversas localidades.

Em relação às outras ocorrências de carbonatito no Brasil, pouco estudadas em detalhe e com escassos dados químicos disponíveis, pode-se dizer que os carbonatitos de Juquiã apresentam o maior enriquecimento em magnésio, além de pobreza em minerais acessórios. Isto é válido especialmente para o carbonatito interno, onde silicatos e apatita são quase inexistentes. A presença de freqüentes minerais de terras raras e barita, por sua vez, é a característica mais notável.

A monazita e o pirocloro de Juquiã quase não são radioativos, o que impede o estudo de sua distribuição por meio de medidas radiométricas. Embora a anomalia cintilométrica diferencie o Morro do Serrote das áreas restantes, as amostras individuais de carbonatito, de solo e um concentrado de monazita não apresentam anomalias radioativas perceptíveis ou mensuráveis. Foi efetuada a medida da radioatividade de vá

rias dezenas de amostras de solo, oriundas de diversos lo
cais e profundidades, assim como das frações resultantes
de separação magnética, obtendo-se, no entanto, resultados
próximos ao "back-ground", com anomalias máximas de 0,5 e,
muito raramente, 1 vez superiores ao nível de fundo.

Quatro amostras de solo do Morro do Serrote fo
ram analisadas por radiometria nos laboratórios da Comissão
Nacional de Energia Nuclear, verificando-se valores muito
baixos (0,001 a 0,015% equiv. U_3O_8). A análise química da
amostra com a maior anomalia radiométrica indicou apenas
0,001% U_3O_8 .

A radioatividade muito baixa, em amostras de
rochas e nos minerais, principalmente monazita e pirocloro,
não constitui exceção, pois já foi verificada em numerosas
ocorrências congêneres; verificou-se que, apesar das massas
carbonatíticas serem radioativas, as quantidades de urânio
e tório presentes são reduzidas, com predominância do segun
do (Deans, 1966, p. 406-407). Uma pequena quantidade de
concentrado de pirocloro de Juquiã também não apresentou ra
dioatividade anômala, tratando-se, portanto, de uma varieda
de pobre em tório.

Como já foi mencionado, entre as localidades
com carbonatitos no Brasil, as rochas de Juquiã são, até ago
ra, as mais magnesianas; no entanto, ainda existem diversas
ocorrências muito mal conhecidas, em parte devido à cobertu
ra por solos espessos, como pela falta total de afloramentos.
Já se dispõe de análises químicas, além de outros dados con
cretos, sobre os carbonatitos de Jacupiranga, Itapirapuã e,
em parte, Ipanema e Catalão. Em Jacupiranga os teores em
magnésio são muito baixos nos dois tipos de carbonatito co
nhecidos, diferenciáveis justamente pelo teor em MgO ; este
se situa em torno de 1,2%, em média, no carbonatito mais an
tigo, em contraste aos 2,5% do corpo norte, mais recente
(Melcher, 1965 e 1966a, p. 176-179). Em Itapirapuã o carbo
natito ocorre na forma de veios, dispondo-se de algumas aná
lises modais e de dosagem de elementos traço; a calcita é o
único mineral carbonático citado, não existindo referência

ao teor de MgO (Gomes, 1967, p. 77-81). Com respeito ao carbonatito encontrado em Ipanema, Felicíssimo Jr. (1968, p. 108-109) cita que análises químicas parciais, a diversas profundidades de uma mesma sondagem, indicam as seguintes variações para alguns óxidos:

P_2O_5	0,15 a	1,8%
Fe_2O_3	0,84 a	9,0%
CaO	31,5 a	53,5%
MgO	0,06 a	1,2%

Esse mesmo autor também menciona composição essencialmente calcítica de duas lâminas delgadas do carbonatito, com pequenas quantidades de quartzo, barita, opacos e apatita. O carbonatito de Catalão, segundo descrição preliminar (informações verbais), apresenta dolomita como constituinte mineralógico importante, ao lado de pouca calcita; não há, ainda, dados sobre a relação CaO/MgO .

8) - Fenitização

A intrusão das rochas alcalinas e carbonatito provoca certas transformações na composição química e mineralógica das encaixantes, ocorrendo fenômenos metassomáticos que, em conjunto, são denominados fenitização. No caso de Juquã, as modificações puderam ser estudadas apenas em relação aos gnaisses, que afloram em maior extensão em torno da intrusão.

A intensidade da fenitização na região parece ter sido reduzida e apresenta distribuição irregular, pois rochas situadas próximo ao contato praticamente não foram afetadas, enquanto outras mais afastadas mostram fenitização mais intensa. Nos contatos sul e nordeste entre as intrusivas e as encaixantes, a existência de fenômenos deste tipo não pôde ser verificada por falta total de afloramentos.

A fenitização pode ser melhor compreendida e interpretada pela comparação de análises químicas, que refletem

as modificações ocorridas nas rochas; análises de minerais isolados permitem, ainda, reconhecer os fenômenos de adição ou perda de elementos nos diversos estádios de fenitização, sobretudo em feldspatos, piroxênios e anfibólios. Um conhecimento adequado das rochas encaixantes originais também é necessário, pois elas não apresentam composição constante.

Em Juquiã, a falta de análises químicas, tanto de encaixantes como de fenitos, não permite estabelecer variações quantitativas provocadas pelo metassomatismo de contato. Devido ao pequeno número de afloramentos, irregularmente distribuídos, não se pode precisar a seqüência dos fenômenos, nem estabelecer um perfil que reflète o aumento gradual da intensidade de fenitização, a partir de modificações mineralógicas. O mapa geológico (Anexo 1) indica apenas os locais de coleta das amostras que apresentam indícios de fenitização.

Atualmente, se considera fenitização qualquer modificação ocorrida nas rochas encaixantes de complexos alcalinos, devido a metassomatismo de contato; compreende desde simples fraturamento dos grãos até substituição total dos minerais, podendo, inclusive, dar origem a outros tipos de rocha. As novas variedades petrográficas assim formadas podem sofrer remobilização total ou parcial. A orientação seguida pelos pesquisadores atuais é, portanto, bem diversa da originalmente proposta por Brögger (1921); esse autor reservou o termo fenito apenas para rochas alcalinas sieníticas, originadas pela ação metassomática de fluidos, derivados de uma fonte alcalina magmática, sobre rochas de composição aproximadamente granítica. Muitos autores consideram, inclusive, que várias, se não todas, as alcalinas leuco e mesocráticas, se originam por fenitização das encaixantes. Outros pesquisadores, por sua vez, atribuem a origem metassomática a apenas alguns tipos definidos; nesse grupo estão incluídos v. Eckermann (1966), King e Sutherland (1966) e Johnson (1966), para os quais as rochas sieníticas são de origem metassomática, podendo ter sido remobilizadas.

Com base em análises químicas de numerosas a.

mostras, foram efetuados estudos sobre a fenitização, em especial de gnaisses e granitos, em diversas ocorrências de rochas alcalinas e carbonatitos. As conclusões obtidas encontram-se condensadas no trabalho de Verwoerd (1966), sendo as modificações químicas e mineralógicas analisadas em maior detalhe por McKie (1966).

As variações na composição química consistem em adição de alguns elementos e retirada de outros. A intensidade destes fenômenos depende da distância da intrusão e da composição dos fluidos fenitizantes, que agem de preferência ao longo de fraturas e juntas das rochas e dos minerais. Na fenitização ocorre, tipicamente, um enriquecimento em álcalis, seguindo-se em importância o Ca, havendo, por outro lado, uma perda variável de SiO_2 . Outros elementos, como o Mg, Fe e Al, podem ser adicionados ou retirados, conforme as circunstâncias peculiares de cada intrusão. O aumento na quantidade de álcalis pode significar um enriquecimento em Na e K ou apenas um desses elementos, sendo conhecidos casos onde ocorre perda de K (Spitzkop - Strauss e Truter, 1951 e McKie, 1966).

Pelas evidências mineralógicas encontradas, pode-se concluir que a fenitização, em Juquiá, comportou-se de um modo distinto, em comparação com os fenômenos mais típicos citados na literatura, pois verificou-se que a formação de minerais enriquecidos em Na é muito restrita. A ocorrência de anfibólio sódico, com seu marcante pleocroísmo azulado, por exemplo, reconhecidamente um dos minerais mais característicos da fenitização, mesmo em estádios iniciais, está restrita a duas amostras. Em uma delas, o mineral foi encontrado com certa abundância, numa lâmina delgada que mostra o contato entre o sienito do Morro da Cada de Pedra e o gnaissse encaixante; o anfibólio sódico é encontrado numa área muito estreita, formando-se a partir de minerais máficos preexistentes. No segundo caso, o anfibólio sódico é encontrado em pequenas manchas muito irregulares, possivelmente formadas a partir de anfibólio preexistente; essas manchas ocorrem de maneira esparsa, numa rocha composta por

quartzo e feldspato, além de alguma de biotita, não afetada pela fenitização. Pela sua raridade, o fenômeno não pode ser considerado comum em Juquiã, pois falta em numerosas outras amostras de locais muito próximos ao contato com a intrusão.

Por outro lado, a formação de piroxênio sódico de cor verde, seja egirina ou egirina-augita, é muito rara nas amostras estudadas. Em outras localidades, este mineral costuma ser comum e é considerado bastante representativo de fenitização; forma-se nas fases iniciais, ao longo de fraturas ou fendas de rochas e minerais, enquanto nos estádios mais avançados, passa a ser um constituinte importante da rocha. Em Juquiã, formou-se um piroxênio augítico quase incolor, que pode ser esverdeado, em rochas intensamente afetadas pela fenitização. Em um único caso foi encontrado piroxênio verde escuro, ao lado de alguma melanita, na parte central de um veio pouco espesso, em cujas bordas existe o piroxênio incolor, acima referido.

A existência de feldspato potássico, constituindo uma geração mais nova, é comum nas rochas próximas ao contato com a intrusão. Esse mineral, no entanto, faz parte da composição do gnaiss não afetado e poderia ter-se formado por processos independentes da fenitização; por este motivo, não pode ser considerado um mineral característico do metasomatismo alcalino, a não ser quando ocorre ao lado de outros indícios mais conclusivos.

Conclui-se que, em Juquiã, os fluidos fenitizantes foram bastante pobres em Na, mas que a adição de K deve ter sido de certa importância.

Diversas características petrográficas, verificadas em amostras das proximidades da intrusão, isoladamente não constituem aspectos típicos e conclusivos de fenitização, pois podem se originar por outros processos, por exemplo, metamorfismo. Entretanto, sua localização em amostras de áreas marginais do complexo, sua ocorrência em faixas bem delimitadas do gnaiss e, principalmente, o desaparecimento ou

redução na quantidade de quartzo das rochas, sugerem que são devidos à fenitização, apesar da falta de evidências diretas e indubitáveis, como seria a presença de minerais ricos em Na, em grande quantidade.

Entre estas características podemos citar o aparecimento de grãos de quartzo muito fraturado e de feldspatos turvos, no gnaíse. Além disso, algumas lâminas a apresentam veios irregulares cortando o gnaíse, constituído quase somente por quartzo e feldspato, com rara biotita e anfibólio. Esses veios possuem minerais de granulação finíssima, entre os quais biotita marrom clara a esverdeada, grânulos arredondados de espinélio de cor verde intensa, minerais opacos, além de minerais leucocráticos. Estes são, principalmente, quartzo e feldspato albitico, que muitas vezes constituem uma borda de grãos límpidos, nos contatos com o gnaíse normal. A presença de espinélio, em parte como grãos idiomórficos, indica alta temperatura, não condiante com as condições de formação de albita, além de ser um mineral que não pode coexistir com quartzo. Se estes veios se formaram por alteração, devido a metamorfismo de contato com a intrusão alcalina, o espinélio seria indicativo de alta temperatura, o que não costuma ocorrer nos fenômenos de fenitização. Esse espinélio é rico em Al e Mg e, ao que parece, realmente houve adição desses elementos em Juquiã.

Na borda sudoeste da intrusão, o gnaíse apresenta algumas faixas muito irregulares, nas quais quartzo e grandes cristais de feldspato, de aspecto turvo, são substituídos por plagioclásio fino, de contorno regular; este, por sua vez, pode ser substituído por feldspato potássico. A estes minerais associa-se grande quantidade de grãos de piroxênio fino quase incolor, que podem formar aglomerações, e anfibólio verde comum. Biotita, de cor marrom e de granulação mais pronunciada, ocorre entre os outros minerais e muitas vezes possui núcleo constituído por opacos. As relações entre os três minerais máficos são obscuras, pois muitas vezes o piroxênio parece se formar a partir do anfi

bólio, enquanto em outros casos sugere o contrário. Em algumas amostras, o anfibólio torna-se raro, havendo grande quantidade de opacos e biotita, ao lado de piroxênio quase incolor. Se estas faixas representam zonas de fenitização do gnaiss, as possíveis perdas e adições de elementos são incertas. Caso correspondam a faixas anfibolíticas fenitizadas, apenas se pode dizer que houve perda de sílica. Se, entretanto, a rocha era um gnaiss normal, constituído essencialmente por quartzo e feldspato, a formação dos minerais máficos implicaria em adição, ao menos parcial, de Ca, Mg, Fe e talvez Al. Entre os alcalis, a adição de Na parece ser bastante modesta, sendo o K mais importante.

Outras rochas que podem estar relacionadas à fenitização são representadas por três amostras bastante semelhantes, de uma área próxima ao contato sul da intrusão com as encaixantes. A amostra mais afastada da intrusão apresenta plagioclásio, raros grãos de quartzo, pouco piroxênio de composição augítica e algum anfibólio comum verde. A amostra mais próxima ao complexo contém feldspato potássico em lugar do plagioclásio, pouca nefelina, grande quantidade de piroxênio augítico castanho, contendo inclusões aciculares orientadas, além de algum piroxênio e anfibólio avermelhado. Biotita também sempre está presente, sendo comum e abundante. De uma maneira genérica, estas rochas podem ser classificadas entre monzonito e shonkinito, apresentando passagem de um tipo ao outro. Variedades com esta composição não poderiam ser diretamente relacionadas aos gnaisses, no entanto, podem constituir rochas que sofreram fenitização intensa e, talvez, alguma remobilização, pois possuem certas características microscópicas que lembram rochas plutônicas. Por outro lado, algumas indicações sugerem que estas rochas poderiam ser consideradas híbridas entre ultrabásicas e as encaixantes, originadas pela assimilação de parte da encaixante gnáissica por material intrusivo. Mais uma vez, faltam minerais mais típicos da fenitização, por exemplo, ricos em Na, mas parece haver um aumento gradual de alcalinidade. A possibilidade da sua derivação de um material ultrabásico parece viável, apesar de não se conhecerem exemplos seme

lhantes na literatura; êsse fenômeno, além disso, não poderia ser incluído na fenitização, propriamente dita.

Vários autores (v. Eckermann, 1961, 1966; McKie, 1966, p. 261) consideram a fenitização relacionada apenas ao magma carbonatítico, por sua vez originado de um magma alcalino silicático. Através do estudo dos diques alcalinos de Alnô, v. Eckermann (1961) concluiu que o material carbonatítico constitui uma capa no topo da coluna magmática, sendo responsável pela capacidade de ascensão da mesma. Pela ação exercida sobre as rochas encaixantes do teto, esta capa se tornaria cada vez mais calcítica em direção à superfície. Inicialmente, êsse autor supôs que a intensidade da fenitização lateral estivesse condicionada à presença da fase calcítica; a sua falta implicaria, portanto, em pequena extensão lateral do fenômeno. Mais tarde, porém, v. Eckermann (1966) passou a considerar a intensidade do metassomatismo função do intervalo do tempo, durante o qual o material carbonatítico exerce sua ação sobre as rochas encaixantes. Esta ação seria mais prolongada, e de maior efeito lateral, durante certas pausas na ascensão da coluna magmática. A perda de gases, para rochas encaixantes mais permeáveis, seria uma possível explicação para a diminuição na capacidade de abrir caminho para a superfície.

À vista dessa hipótese, algumas considerações podem ser feitas sobre o material carbonatítico de Juquiá, essencialmente beforsitico e contendo quantidades inusitadas de MgO. Sua composição dolomítica e a pobreza em minerais acessórios, como biotita e piroxênio, coadunam-se com uma zona de fenitização restrita. Possivelmente, teria o corrido solidificação rápida do material carbonatítico, devida a uma queda de pressão.

9) - Relações de campo

O intemperismo intenso na região tem sido citado como o principal responsável pelo pequeno número de

afloramentos, impedindo uma amostragem completa das diversas rochas, bem como a determinação de sua distribuição no complexo alcalino. As poucas amostras de cada tipo de rocha, por sua vez, não permitem estabelecer com certeza as diferenciações existentes dentro do mesmo grupo ou as relações com as rochas vizinhas. Por este motivo, as conclusões e relações discutidas a seguir, quanto ao modo e sequência de colocação das rochas, se baseiam no estudo de secções delgadas, isoladas ou em conjuntos interrelacionados, às vezes provenientes de locais afastados entre si. Também se levou em consideração a sequência estabelecida em outras localidades similares, visando encontrar pontos de apóio que facilitassem interpretações plausíveis.

As rochas ultrabásicas (piroxenito e peridotito) e básicas associadas (gabros alcalinos) parecem constituir o grupo inicial e de maior distribuição geográfica e, ao que tudo indica, ocupam a parte externa do complexo; posteriormente elas foram cortadas pelos outros tipos de rocha, com exceção dos sienitos do Morro da Casa de Pedra. Não foi possível verificar se os peridotitos e gabros alcalinos constituem zonas definidas ou se eles são apenas diferenciações locais nos piroxenitos. Os diques de composição piroxenítica (lamprófiros) cortam as rochas acima referidas, constituindo os termos finais da série máfica.

As rochas do grupo dos ijolitos são posteriores às ultrabásicas, cortando estas. Elas foram encontradas em algumas zonas restritas e isoladas, mas é possível que ocupem áreas maiores, especialmente nas proximidades do carbonatito. Algumas dessas rochas devem ser diques, como sugere a constituição de algumas amostras (Se-103 e Se-74).

À semelhança do que ocorre em localidades congêneres, a diferenciação deve ter-se processado de piroxenitos para ijolitos, com gradual enriquecimento em nefelina. Dessa maneira, ocorre um aumento na quantidade de álcalis, especialmente de Na, com diminuição de Ca e Mg; fato também confirmado pela presença de egirina-augita ou egirina.

nos ijolitos, enquanto nos piroxenitos predomina augita. A existência de piroxênios com núcleo augítico e bordas de egirina-augita, nos ijolitos, também é indicativa dessa sequência.

Os sienitos da área do Guaviruva e arredores, por sua vez, cortam as ultrabásicas e ijolitos, sendo portanto posteriores. Esta relação é corroborada pela presença de egirina-augita em amostras com características de gabro alcalino, na forma de agulhas em torno de piroxênio augítico, além da ocorrência de feldspatização de ijolitos em alguns locais. Entretanto, não foi possível verificar exatamente a extensão desse fenômeno de feldspatização.

As rochas sieníticas do Morro da Casa de Pedra constituem um corpo isolado, circundado pelo embasamento. Entretanto, pode-se admitir que sejam contemporâneas às outras variedades sieníticas de Juquiã, pois apresentam composição bastante semelhante. A única diferença mais notável reside no índice de agpaicidade mais baixo dos sienitos do Morro da Casa de Pedra.

As últimas manifestações da intrusão de rochas sieníticas são constituídas pelos diques de composição similar, representados por nefelina-sienitos e tinguaítos. Esses diques em geral cortam os sienitos, mas alguns foram também localizados na área ocupada por rochas ultrabásicas e, muito raramente, nas encaixantes.

A fase carbonatítica em geral é considerada a última da sequência intrusiva, com base nas observações efetuadas em várias ocorrências semelhantes, inclusive pela presença de diques carbonatíticos cortando as outras variedades de rochas. Esta é também a sucessão admitida para os carbonatitos de Juquiã.

Após a consolidação do carbonatito externo, menos magnésiano, ocorreu a formação do corpo interno; em fases posteriores se formaram numerosos veios de barita e carbonatos tardios. Junto com eles devem ter-se formado os minerais de estrôncio, bem como alguns de terras raras, como a monazita.

ta e a ancyllita. Deve-se admitir como muito provável a existência de diques carbonatíticos cortando as outras rochas do complexo, fato comprovado na maioria das ocorrências congêneras. A existência de pequenos veios com composição equivalente ao carbonatito interno, cortando o carbonatito externo, foi verificada em algumas lâminas delgadas e suporta a sequência de eventos acima indicada.

As rochas carbonatíticas de Juquiã formam um corpo definido, de contorno arredondado ou oval, não se conhecendo em seu interior qualquer outro tipo de rocha. Não se sabe, no entanto, se cada um dos carbonatitos constitui uma massa uniforme ou vários diques irregulares associados. Modos de ocorrência muito diversos são citados nas descrições dos corpos carbonatíticos africanos; no Malawi (Garson, 1966) e Uganda oriental (King e Sutherland, 1966), por exemplo, afloram massas carbonatíticas com dimensões e contornos muito variados.

De um modo geral, o complexo alcalino de Juquiã se encaixa em um esquema de distribuição anelar e concêntrica dos seus constituintes; ijolitos e sienitos cortam irregularmente uma massa principal constituída por rochas ultrabásicas, no interior da qual se encontram também os carbonatitos, próximo à sua borda oeste. A associação de rochas indica que a parte atualmente exposta deve representar um nível profundo de um conduto vulcânico. Pela classificação preliminar dos complexos alcalinos, proposta por Verwoerd (1966), a ocorrência de Juquiã se enquadra na classe das associações subvulcânicas alcalinas, com peridotito, piroxenito, ijolito, sienito e carbonatito. Entretanto, parece discutível a propriedade do termo subvulcânico, a representantes de um nível de erosão profundo.

Em comparação com os maiores corpos carbonatíticos conhecidos (Tweerivier, Sukulu, Bukusu, entre outros), a área do carbonatito do Morro do Serrote é muito modesta.

O caráter magnesiano pronunciado dos carbonatitos, em especial o interno, além do alto conteúdo de Sr e

Ba, poderiam ser tomados como indício de que a estrutura está exposta em um nível relativo mais profundo do que Jacupiranga, onde o carbonatito é marcadamente calcítico. Esta sugestão baseia-se em analogia com outras localidades, por exemplo, Aln8, onde v. Eckermann (1948 e 1966) constatou a existência de dois focos magmáticos distintos, situando-se o calcítico a profundidade menor que o segundo, dolomítico. Além disso, experiências de laboratório (Wyllie, 1966, p. 351) demonstraram que a dolomita se forma a pressões maiores do que a calcita, sendo por isso razoável supor-se maior estabilidade e concentração de carbonatos magnesianos a profundidades maiores dos condutos carbonatíticos. Entretanto, não parece lícito aplicar as regras acima universalmente. É provável que, além do nível de erosão, a composição primária dos fluidos carbonatíticos seja responsável, pelo menos em parte, pela constituição final dos representantes atualmente expostos nas diferentes localidades.

IV - CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS

Do ponto de vista geoquímico, verifica-se que as rochas da área de Juquiã pertencem à série alcalina de Peacock (1931), segundo o índice alcali-cálcico, que é de 42,5 (Figura 9). Segundo a classificação desse autor, localidades com índice alcali-cálcico inferior a 51 pertencem à série alcalina. Almeida (1961) utiliza, ainda, uma classe em separado para índices inferiores a 46; segundo essa orientação Juquiã pertence à série hiperalcalina. O valor obtido nesta localidade é dos mais baixos entre os determinados em áreas similares do Brasil; Gomes (1967, p. 92) obteve valor pouco superior para as rochas de Itapirapuã (43,5), inferior aos índices de Fernando de Noronha, Trindade e São Sebastião. Em relação à ocorrência alcalina com carbonatito mais próxima, Jacupiranga, nada se pode dizer, devido à falta de dados químicos referentes a essa localidade.

Para facilidade de comparação com a área de Itapirapuã, onde foi realizado um dos estudos mais desenvolvidos do ponto de vista petrológico e petroquímico, dentre as ocorrências alcalinas com carbonatito do Brasil, será seguido o mesmo procedimento utilizado por Gomes (1967), para indicar o comportamento químico dos principais elementos. Esse autor utilizou diagramas de variação, construídos segundo Nockolds e Allen (1953), com o índice fêlsico de Simpson (1954) como base de projeção. Este índice é definido pela relação:

$$F = \frac{(Na_2O + K_2O) \times 100}{Na_2O + K_2O + CaO}$$

As análises químicas (Tabelas 2, 4 e 6), relativas aos piroxenitos, ijolitos e sienitos, tiveram seus valores recalculados para 100%, em base catiônica, excluindo H_2O (Tabela 11). Esses dados permitiram traçar os dia

Figura 9 : Índice alcali-cálcico das rochas de Juquid.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Se-95	Se-25	Se-50	Se-103	S-7	Se-60	Se-84	Se-39	Se-11	S-27
Si ⁺⁺⁺⁺	19,53	19,41	20,81	18,30	19,72	25,95	25,83	25,77	22,04	23,90
Al ⁺⁺⁺	3,54	3,47	7,35	5,56	9,18	11,01	10,47	9,69	9,97	10,03
Ti ⁺⁺⁺⁺	1,43	0,82	0,65	1,66	0,97	0,51	0,63	0,55	0,57	0,37
Fe ⁺⁺⁺	5,48	3,81	2,30	4,25	3,63	1,23	1,36	1,81	3,14	1,97
Fe ⁺⁺	6,19	7,47	4,46	6,24	3,17	2,40	2,66	2,46	2,37	1,64
Mg ⁺⁺	7,20	11,78	5,37	7,89	2,88	0,36	0,37	0,58	1,19	0,94
Ca ⁺⁺	12,72	8,33	7,02	9,76	8,18	1,56	2,02	2,54	4,89	3,39
Na ⁺	1,33	2,73	5,04	1,46	6,15	4,96	4,61	5,00	5,99	5,45
K ⁺	0,85	0,03	4,43	2,99	2,57	6,36	6,10	6,25	5,38	7,21
O ⁻⁻	41,48	41,96	42,38	41,45	42,77	45,28	45,45	45,05	43,72	44,57
F	13,6	24,2	55,2	29,0	49,8	86,8	82,7	80,0	68,1	77,2

Observações: O⁻⁻ é a diferença entre 100% e a soma de todos os cations, incluindo Mn, P e C, não constantes da tabela.

Tabela 11 - Composição química em base catiônica de algumas rochas de Juquiã recalculadas para 100%, excluindo H₂O (Vide Tabelas 2, 4 e 6).

gramas de variação constantes das Figuras 10 e 11.

O comportamento das curvas é semelhante para os elementos Si, O e Al, seguido pelo grupo Fe, Ca e Mg e, por fim, Na e K. O primeiro grupo apresenta aumento dos teores, das rochas ultrabásicas em direção aos sienitos, enquanto o segundo grupo se caracteriza por decréscimo acentuado nessa seqüência. A quantidade de álcalis também aumenta no mesmo sentido, mas as curvas têm comportamento mais irregular.

A relação Si: O varia de um valor máximo 1:2,3 até um mínimo de 1:1,75, no sentido das rochas máficas para as fêlsicas; isto reflete aumento no conteúdo de Si, na parte final da curva.

As curvas de Fe total e Mg mostram um comportamento semelhante, refletindo um decréscimo acentuado e uniforme dos teores, das rochas máficas em direção às fêlsicas. No caso do Mg, o teor varia de quase 12% a menos de 0,5%.

O Ca também sofre um forte decréscimo, no mesmo sentido que os elementos anteriores, mas a curva representativa é mais irregular.

A quantidade total de álcalis apresenta aumento, mais pronunciado no caso do K; o Na, inclusive, mostra decréscimo na parte final da curva, dos ijolitos para os sienitos. Isto se explica pela diminuição da quantidade de nefelina e egirina-augita, com correspondente aumento de feldspato potássico. A quantidade total de álcalis varia entre o mínimo de 2,2% até o máximo de 12,6%.

Conforme se pode verificar no diagrama triangular Fe-Alk-Mg (Figura 12), em comparação com os dados de Gomes (1967, p. 96, fig. 20), do ponto de vista geoquímico, as rochas fêlsicas de Juquiã têm comportamento similar às aquelas de Itapirapuã. Na localidade em estudo existem, ainda, variedades máficas desenvolvidas, totalmente ausentes em Itapirapuã, o que resulta em teores de ferro e magnésio muito superiores em algumas rochas de Juquiã. O maior número de análises

Figura 10: Comportamento geoquímico de alguns elementos nas rochas alcalinas de Juquid.

Figura 11: Comportamento geoquímico de alguns elementos nas rochas alcalinas de Juquid.

Fig.12 : Diagrama triangular Fe-Alk-Mg(•) e K-Na-Ca(Δ) das rochas alcalinas de Juquía.

ses no campo intermediário deve-se ao fato de que representantes da série ijolítica são mais comuns neste complexo. Observando o índice fêlsico de Simpson, verifica-se que, em Itapirapua, ele sempre é superior a 40 (Gomes, 1967, p. 97), enquanto as variedades ultrabásicas de Juquiã apresentam valores muito menores, com um mínimo pouco superior a 10 (Tabela 11). Isto é consequência dos teores muito baixos de Na e K, o mesmo acontecendo com relação ao Al.

Possivelmente, Juquiã apresente comportamento mais semelhante a Jacupiranga (Melcher, 1954, 1965, 1966a), onde também existem termos máficos frequentes, e talvez Anitapolis; neste caso, a similaridade seria com as rochas ijolíticas, uma vez que os piroxenitos são muito restritos (Melcher e Coutinho, 1966). Entretanto, a falta de análises químicas nessas localidades impede qualquer comparação mais detalhada.

V - GÊNESE E IDADE DAS ROCHAS

Juquiã constitui uma ocorrência típica de rochas alcalinas associadas a carbonatitos, apresentado uma série de características comuns a numerosas localidades similares do Brasil e de outras partes do mundo. A falta de elementos de campo, petrográficos, geoquímicos e isotópicos não permite uma contribuição original e significativa para a solução dos problemas genéticos relacionados a rochas alcalinas e carbonatitos, em geral. Entretanto, justifica-se a análise dos dados disponíveis, para verificar em que medida eles se coadunam com as diversas hipóteses encontradas na literatura.

Os numerosos trabalhos existentes tratam dos mais variados aspectos genéticos, referentes às ocorrências de rochas alcalinas. Em princípio, deve-se distinguir quatro problemas fundamentais, quando se discute a sequência e modo de formação dessas associações petrográficas:

a) o primeiro diz respeito à interpretação das relações de campo das rochas subsaturadas e silicatadas, bem como seu interrelacionamento, afim de verificar até que ponto a diferenciação magmática pode ser considerada responsável pela origem dos diversos tipos petrográficos.

b) um outro aspecto se refere ao fenômeno da fenitização, comprovado em numerosas ocorrências alcalinas, e de sua extensão, na tentativa de estabelecer a importância que as reações de metassomatismo e de assimilação de rochas encaixantes, pelo magma alcalino, podem ter na formação de novas variedades litológicas.

c) segue o problema da formação das massas carbonatíticas, envolvendo sua origem e modo de colocação.

d) por fim, a mais difícil, é a questão do material fundamental, ou seja, do magma parental que originou todos estes complicados processos e seus produtos.

Além disso, devem ser considerados os aspectos geotectônicos e estruturais, que são relacionados aos processos de formação dos complexos alcalinos.

As numerosas ocorrências alcalinas com carbonatitos, já estudadas, forneceram um número de dados extremamente grande, referentes às relações de campo entre as diversas variedades litológicas, às características petrográficas e petrológicas, bem como análises químicas, inclusive constituição isotópica e distribuição dos elementos maiores e menores. Apesar de todos os dados disponíveis, até agora não foi possível chegar a uma interpretação única e segura sobre a origem dos complexos alcalinos. Como exemplo da complexidade do assunto pode-se citar a teoria de Daly-Shand, que admitia a reação de magmas com rochas carbonáticas. Mais tarde, outra teoria passou a sugerir exatamente o oposto, ou seja, assimilação e reação de rochas encaixantes com fluidos carbonáticos, para a formação das rochas alcalinas silicatadas.

Em relação à ocorrência alcalina de Juquiã, poucas considerações se pode fazer. Com respeito à diferenciação magmática, praticamente não há elementos. O comportamento dos principais elementos no diagrama triangular Fe-Alk-Mg e K-Na-Ca (Figura 12) indica uma queda pronunciada nos teores de Fe e Mg, em direção aos termos máficos. No entanto, a rocha carbonatítica da localidade é muito rica em Mg com respeito ao Ca, o que seria um comportamento anormal numa sequência de diferenciação pura e simples. Os indícios de reações entre o magma original e as rochas encaixantes são poucos e nada indica que elas tenham se dado em maior escala; este comportamento, entretanto, também é comum em algumas outras localidades.

Quanto à origem magmática dos carbonatitos parece não haver dúvidas. A composição química e mineralógica, os elementos maiores e menores e a posição do corpo carbonatítico no complexo demonstram uma origem semelhante àquela dos carbonatitos melhor estudados. Duas determinações da relação Sr^{87}/Sr^{86} indicaram um valor médio de 0,7055 (Kawashita, comunicação verbal) em Juquiã, concordante com os valores encontrados em carbonatitos (Powell e outros, 1966).

Sobre o magma parental das rochas alcalinas de Juquiã, nada se pode dizer.

Duas amostras de rochas pertencentes ao complexo de Juquiã foram datadas pelo método potássio-argônio, conforme técnica descrita por Amaral e outros (1966). Um nefelina sienito apresenta idade de 141,5 milhões de anos para rocha total; enquanto isso, a biotita de um sienito mostra 126,9 m.a. e o feldspato da mesma rocha 159,0 m.a. (Amaral e outros, 1967). Uma idade média em torno de 127 milhões de anos foi preferida pelos autores, correspondendo ao Cretáceo inferior, na escala de tempo geológico.

Como foi verificado em diversas localidades, entre as quais Poços de Caldas e Jacupiranga, a intrusão das rochas pode se dar em diversas etapas, durante um tempo geológico bastante prolongado. O mesmo pode ter ocorrido em relação a Juquiã, o que talvez explicasse a idade mais elevada, aparentemente anômala, obtida para o feldspato alcalino (Amaral e outros, 1967, p. 134).

Pela idade em torno de 127 milhões de anos, Juquiã pode ser incluída no grupo de ocorrências alcalinas que compreende Jacupiranga, Ipanema, Itanhaem, etc., que apresentam idades entre 122 e 133 m.a. Outro grupo bem mais recente, cujas idades situam-se entre 52 e 82 m.a. (Amaral e outros, 1967), inclui a maior parte dos complexos alcalinos de Minas Gerais e Rio de Janeiro, além das alcalinas do litoral norte de São Paulo. Hasui e Cordani (1968) estudaram as rochas alcalinas do oeste mineiro e sul de Goiás, obtendo a confirmação de idades em torno de 80 m.a., para a maior parte das ocorrências, além de algumas de 70 m.a. (Tapira e Morro das Broas) e 90 m.a. (Araxá). Cordani e Hasui (1968) confirmaram também uma idade intermediária na região de Itapirapuã e Tunas, por volta de 110 m.a., já identificada na primeira localidade por Gomes e Cordani (1965). Com relação à idade das rochas basálticas do sul do Brasil, situada entre 119 e 147 m.a. (Amaral e outros, 1966), verifica-se uma boa concordância com o grupo de alca

linas mais antigas. O mesmo não acontece em relação às mais jovens, impedindo qualquer consideração mais consistente, na tentativa de relacionar tôdas as rochas alcalinas à atividade de basáltica.

VI - PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA

Em diversas localidades de rochas alcalinas e carbonatitos tem sido noticiada a existência de quantidades apreciáveis de fosfatos, principalmente apatita. Esses fosfatos podem ocorrer em concentrações nas rochas alcalinas silicatadas, disseminados nos carbonatitos ou em enriquecimentos nos solos residuais destes. Em algumas ocorrências africanas essas concentrações possuem significado econômico.

No Brasil, este tipo de depósitos possui importância especial, uma vez que ainda não são conhecidas jazidas de fosfatos sedimentares de grandes dimensões. Atualmente o único depósito explorado em escala apreciável, para a produção de fosfatos com características adequadas à fabricação de fertilizantes superfosfáticos, é o de Jacupiranga. Também em Araxá ocorrem jazidas de fosfatos associados a rochas alcalinas e carbonatitos. Dessa maneira, é óbvia a importância potencial da região de Juquiã, como fonte de matéria prima fosfática.

Por outro lado, nas condições de intemperismo prevalecentes, jazidas desse tipo dificilmente são identificadas no campo. Por esses motivos, julgou-se oportuno verificar a aplicabilidade dos métodos de prospecção geoquímica na localidade de Juquiã. Com este objetivo, foram colhidas 380 amostras de solos em perfis de prospecção geoquímica com 8 km de extensão, cobrindo áreas consideradas representativas. O teor de fósforo das amostras colhidas foi determinado pelos métodos comumente utilizados em prospecção geoquímica.

Subsidiariamente, considerou-se ainda a possibilidade de delimitar contatos entre diferentes tipos de rochas, encobertos pelo manto de intemperismo, pela variação dos teores de fósforo nos solos derivados dessas rochas.

1) - Amostragem

As amostras foram colhidas ao longo de perfis radiais ao centro do Morro do Serrote, quando localizados nas encostas dêste, além de alguns outros atravessando áreas possivelmente ocupadas por diversos tipos de rochas (sienito e piroxenito, principalmente).

A amostragem foi efetuada em picadas ou caminhos já existentes, tomando-se precauções para evitar a possibilidade de contaminação por material proveniente de outros locais. O intervalo para a tomada de amostras no Morro do Serrote foi de 20 metros, com correção aproximada para a topografia. Nos outros perfis o intervalo de amostragem foi de 20 ou 40 metros; o primeiro para verificar possíveis variações numa área supostamente ocupada pela mesma rocha, o segundo para tentar localizar alguns contatos entre rochas alcalinas, fenitos e encaixantes.

A amostragem foi feita por meio de um trado manual, com rosca de 3/4 de polegada, recolhendo-se material da superfície até 90 centímetros de profundidade, exceto a parte superficial rica em material orgânico. Nos locais onde não se pôde atingir a profundidade máxima desejada, devido à presença de magnetita, sílex ou seixos, amostrou-se o máximo possível, procurando recolher a mesma quantidade de material.

2) - Preparação das amostras

As amostras foram secas em estufa, por uma hora a 100° C, e depois moídas em almofariz de porcelana, sem destruir os grãos maiores de magnetita. Desta maneira foi desagregada e moída apenas a parte argilosa e os grãos mais finos do solo. Teoricamente, a retirada de grãos grossos não fosfáticos falseia o teor médio da amostra. Entretanto, como na grande maioria das amostras a proporção de fragmentos maiores é pequena, na prática esse procedimento é mais conveniente e não introduz erros significativos para fins

de prospecção geoquímica.

As amostras assim preparadas, peneiradas a sêco, apresentam até 35% de material abaixo de 0,074 mm, havendo porém algumas amostras com maior proporção de grãos gros-sos. A maior parte do material fica retida acima de 0,105 mm; isto dá a impressão de que a granulação é irregular e bastante grossa. Uma simples lavagem da fração maior que 0,105 mm, no entanto, mostra que na realidade se trata principalmente de partículas argilosas agregadas; após lavagem na peneira, apenas com leve fricção, a fração abaixo de 0,074 mm, em geral, ultrapassa 70% dos constituintes da amostra. Este fato também foi notado na lavagem de amostras do solo, para estudo dos minerais residuais. Notou-se que a fração abaixo de 0,074 mm, sem moagem alguma do material, só é inferior a 50% em algumas poucas amostras, contendo barita e magnetita abundante. Concluiu-se que, para fins de dosagens geoquímicas, não havia necessidade de moagem muito fina das amostras e que mesmo os agregados de maior granulação poderiam ser incluídos em amostras suficientemente homogêneas e representativas.

3) - Dosagem de fósforo

O método empregado para a dosagem do fósforo contido nos solos foi o utilizado pelo United States Geological Survey (Ward e outros, 1963), com algumas modificações. O mêtodo é colorimétrico e envolve a formação de um complexo amarelo, pela reação de uma solução de vanadato-molibdato com uma solução contendo fósforo.

A solubilização do fósforo contido nas amostras de solo foi efetuada de duas maneiras diversas; a primeira constou sõmente de ataque ácido a quente e subsequente determinação do fósforo solubilizado; trata-se de uma dosagem par-cial. No segundo caso, efetuou-se a fusão da amostra com fluxo (KHSO_4) e posterior ataque ácido; trata-se de solubilização total do fósforo.

A utilização do método de prospecção geoquímica, com dosagem parcial do fósforo contido, visava tentar delimi-

tar a área rica em fosfatos no Morro do Serrote, bem como de tectar variações no conteúdo de fósforo dos solos, em função do tipo de rocha subjacente. A quantidade de amostra atacada foi de aproximadamente 0,1 grama. O ataque ácido foi feito com HNO_3 -4M a quente, aquecendo-se duas vezes até a fervura, em tubo de ensaio. A solução obtida, após esfriamento e diluição até 10ml com água destilada ou demineralizada, apresenta-se muito turva devido à presença de argila em suspensão, clareando após centrifugação ou repouso de aproximadamente 6 horas.

Utilizou-se a comparação visual ou colorímetro para medir a intensidade da coloração amarela obtida para determinada amostra. A comparação foi feita com padrões que contêm quantidades conhecidas de fósforo.

Segundo Ward e outros (1963), as soluções-padrão permanecem estáveis por um período de cerca de duas semanas. Na prática, verificou-se um empalidecimento das soluções em prazo muito inferior, razão pela qual se preferiu preparar padrões de dois em dois dias. De qualquer maneira, é mais prático o uso de um colorímetro, ajustado para 430 milimicrons de comprimento de onda, para efetuar a medida das intensidades de coloração. Após a elaboração de uma curva de calibração, os padrões se tornam desnecessários, com exceção de testes em branco a intervalos regulares.

Os primeiros resultados obtidos por dosagem geoquímica parcial foram confrontados com análises químicas das mesmas amostras, obtendo-se uma correspondência nas anomalias, se bem que a dosagem geoquímica apresente maior contraste em relação ao "background". Verificou-se que amostras com teor baixo de P_2O_5 (<1%) se comportam de maneira semelhante, isto é, a dosagem não é sensível para baixos teores. Através de uma série de dosagens repetidas, verificou-se também a reprodutibilidade dos resultados, que se comportam de maneira satisfatória, considerando o método utilizado.

Note-se que os resultados obtidos por simples comparação visual com uma escala de padrões, técnica utilizada para quase todas as análises sem fusão, variam de um obser

vador para outro; um outro fator de incerteza deve-se ao fato de cada padrão corresponder ao dôbro do teor do anterior. Por exemplo, tomando 2ml da solução a dosar e obtendo uma coloração intermediária entre os padrões correspondentes a 30 e 60 μ g P, sem interpolações, as opções são 1500 ou 3000 ppm de fôsforo, respectivamente; com interpolação, conforme o observador os resultados podem ser 1750, 2000 ou 2250 ppm, podendo-se incorrer em erro considerável. Por este motivo, em análises repetidas ocorrem variações importantes.

Nas análises efetuadas após fusão prévia, na presença de sulfato ácido de sódio ou potássio, e posterior ataque ácido, solubilizou-se praticamente todo o fôsforo contido na amostra inclusive na magnetita. Neste procedimento, a intensidade da coloração do complexo foi estimada a partir da medida da absorbância, com colorímetro ajustado em 430 m μ de comprimento de onda. As leituras foram comparadas a uma curva de calibração, feita a partir de padrões conhecidos, obtendo-se os valores em ppm de P.

Uma das possíveis fontes de erro do método utilizado é a falta de estabilidade da coloração das soluções, que normalmente se torna mais intensa no decorrer do tempo, até atingir um máximo, empalidecendo em seguida. Para eliminar a influência desse fator, as leituras passaram a ser efetuadas 30 minutos após a obtenção do complexo. A variação de coloração foi pequena entre 30 minutos e 2 horas após formação do complexo, podendo-se efetuar as leituras sem grandes discrepâncias. A reprodutibilidade dos resultados obtidos também foi verificada neste caso, revelando-se satisfatória para as finalidades previstas.

A Tabela 12 apresenta o resultado de diversas dosagens, com e sem fusão, bem como a comparação com resultados de análises químicas. Os resultados obtidos em dosagens sucessivas constam da Tabela 13, para demonstrar a reprodutibilidade do método.

Os resultados obtidos com fusão são bastante próximos dos fornecidos por análise química convencional, até

Amostra	Dosagem geoquímica		Análise química
	parcial	total	
1	140	6.000	4.400
2	125	-	4.800
3	100	5.800	5.100
4	70	-	5.300
5	100	5.300	6.200
6	1.900	-	7.700
7	1.900	-	8.600
8	2.200	9.600	8.600
9	2.100	12.600	9.000
10	2.300	11.400	9.400
11	330	36.600	14.800
12	5.500	68.000	35.000
13	4.750	78.000	47.200
14	1.800	102.500	61.000
15	258.000	120.000	131.000

Tabela 12: Comparação entre resultados obtidos^o por do sagem geoquímica e análise química, em so los do Morro do Serrote, em ppm de fósforo.

Amostra	Dosagem Geoquímica (ppm P)			
	Parcial (média)		Total (média)	
1	100			
	120	140	6.100	
	200		5.900	6.000
3	80			
	80	125	5.600	
	150		5.900	5.800
5	150			
	80	100	5.200	
	60		5.400	5.300
8	2.000			
	2.000	2.200	9.200	
	2.500		10.000	9.600
9	2.000			
	1.830	2.100	12.100	
	2.500		13.100	12.600
10	2.400			
	2.000	2.300	10.350	
	2.500		12.500	11.400
11	500			
	300	330	46.000	
	200		31.250	36.600
14	2.500			
	1.500	1.800	32.500	
	1.500		107.000	
15	250.000			
	266.000	258.000	98.000	102.500
	258.000		98.000	
			78.000	
			98.000	120.000
			185.000	

Tabela 13: Repetição de dosagens geoquímicas para controle da reprodutibilidade dos resultados.

cêrca de 10.000 ppm P. Acima dêsse valor a dosagem geoquímica passa a indicar teores muito mais elevados, aproximando-se do dôbro da análise química.

A dosagem sem fusão apenas indica valores anômalos em amostras contendo quantidades bastante elevadas de fôsforo; praticamente não se notam anomalias abaixo de 5000 ppm de P contido, mas em amostras mais ricas o contraste se torna evidente. Como uma das finalidades da aplicação do método, sem fusão prévia, era localizar minério superficial em locais desconhecidos, a precisão seria suficiente, inclusive para detectar minério fosfático pobre, com apenas poucos por cento de P_2O_5 . Este método também não indica o fôsforo contido em outros minerais, por exemplo magnetita, ou em formas pouco solúveis, como monazita. Esta pode ser uma das razões pelas quais algumas amostras, como as de nº 11 e 14, apresentam resultados consistentemente baixos, quando analisadas por dosagem parcial. Na amostra 14, no entanto, é difícil supor que 6,1% de P estejam contidos em minerais pouco solúveis. Nota-se, também, o valor excessivamente alto encontrado na amostra nº 15, na dosagem sem fusão, atingindo o dôbro do valor real em três análises sucessivas; o motivo dêste comportamento é desconhecido, mas talvez seja devido à interferência de algum outro elemento.

A Figura 13 apresenta os mesmos dados da Tabela 12 sob forma de gráfico, para melhor visualização dos valores absolutos obtidos por cada um dos métodos de dosagem geoquímica.

4) - Resultados

a) - Dosagem parcial do fôsforo.

A análise de 380 amostras indicou anomalias apreciáveis apenas em certa porção do Morro do Serrote, na área do carbonatito interno (Figura 14). Excluindo a parte superior da elevação, as amostras apresentaram teores muito semelhantes, em geral inferiores a 200 ppm de fôsforo; alguns

Figura 13 : Gráfico dos resultados obtidos por dosagem geoquímica, em comparação com a análise química. (Vide Tabela 12)

Fig. 14: Perfis de prospecção geoquímica no Morro do Serrote e rochas alcalinas vizinhas.

teores erráticos mais altos foram encontrados em amostras isoladas. O conjunto de amostras da parte superior do morro, provenientes de vários perfis radiais, indicam anomalias cujo contraste máximo é de 10 vezes, em relação à área externa.

Este comportamento mostra que apenas na parte correspondente ao carbonatito interno, sem respeitar seus limites exatos, ocorrem solos contendo maior proporção de fosfatos relativamente solúveis, próximos à superfície. Também não foram reconhecidas áreas com teores elevados de P_2O_5 , próximo à superfície, nas rochas alcalinas circunvizinhas. Além disso, verificou-se que não é possível delimitar os diversos tipos de rochas alcalinas presentes no complexo, em função do teor de fósforo dos solos, talvez com exceção dos gnaisses regionais; estes apresentam solos de alteração extremamente pobres em fósforo (Figura 15).

b) - Dosagem total do fósforo.

Os resultados das dosagens efetuadas com fusão ácida da amostra, antes do ataque com ácido nítrico, são quase sempre superiores àqueles obtidos apenas com ataque ácido; na maioria das vezes são, também, mais altos do que o resultado da análise química. Embora o número de dosagens segundo este método seja reduzido, pois visava essencialmente um controle do método anterior, pode-se verificar que ele também não permite distinguir a área ocupada pelas diferentes rochas alcalinas, a não ser o carbonatito. Tanto a área do carbonatito interno como do externo podem ser distinguidas, pois apresentam teores mais elevados de fósforo, conforme se nota na Figura 15.

b) - Conclusões.

A aplicação experimental da prospecção geoquímica para fósforo, em solos da área do complexo alcalino de Juquiá, deu resultados considerados positivos, permitindo as seguintes conclusões gerais:

Fig. 15: Resultados de dosagem geoquímica total e parcial, em solos oriundos de diversas rochas da intrusão alcalina de Juquid.

- a - O processo é aplicável para a localização de teores anômalos de fósforo em solos, tanto com solubilização total como parcial dos fosfatos.
- b - Com solubilização total do fósforo contido, por meio de fusão ácida, pode-se localizar áreas com anomalias de pequeno contraste; as dosagens têm precisão semi-quantitativa.
- c - A solubilização parcial do fósforo, obtida apenas por ataque ácido, só permite delimitar áreas com mais de 3-4% P_2O_5 , de preferência na forma de fosfatos fácilmente solúveis; os resultados não devem ser considerados semi-quantitativos, mas apenas como qualitativos; a não ser em casos especiais, o método indica uma parcela reduzida do fósforo contido na amostra, em geral inferior a 20% do total; entretanto, qualquer concentração de interesse econômico seria localizada por esse processo.
- d - Os solos resultantes da decomposição de gnaisses encaixantes podem ser distinguidos por dosagem geoquímica, pois apresentam teores em fósforo muito mais baixos do que a área ocupada pelo complexo alcalino. Já os gnaisses fenitizados são mais ricos em fósforo, com conteúdos semelhantes às rochas alcalinas.
- e - Os solos que capeiam os carbonatitos possuem teores variáveis de fósforo, em geral bem mais altos do que as rochas alcalinas; na área correspondente ao carbonatito externo contêm aproximadamente o dôbro e na parte correspondente ao corpo interno podem apresentar contrastes de 5 a 10 vêzes, segundo determinações feitas por dosagem geoquímica total.
- f - A jazida de fosfato do Morro do Serrote não pode ser localizada, ou aproximadamente delimitada, por prospecção geoquímica superficial, pois encontra-se recoberta por camada bastante espessa (2-8 m) de solos pobres em fôsforo.
- g - O material aluvial, dos brejos que circundam o Morro do Serrote, não apresenta enriquecimento em fosfatos na sua parte superficial, nas amostras analisadas.

VII - RECURSOS MINERAIS

Atualmente é conhecida uma grande variedade de minerais de interesse econômico associada a rochas alcalinas e carbonatitos. Deans (1966) apresenta um resumo das principais jazidas conhecidas no mundo, relacionadas a esses tipos de rochas, bem como suas características mais notáveis. Melcher (1966b) também relaciona as mais importantes jazidas que podem ser localizadas nessas associações.

Os principais elementos e matérias primas encontrados nesse tipo de localidades, cerca de 15, são os seguintes: Fe, Ni, Nb (Ta), V, Terras Raras, Zr, P, Sr, Ba, Cu, CaCO_3 , Vermiculita, Argilas, Fluorita, além das possibilidades relativas a U, Th e Mo. A natureza e importância de cada uma dessas matérias primas minerais depende do tipo de rochas alcalinas e de carbonatito, de sua extensão, das relações de campo entre as diversas variedades e, como fator muito importante, da evolução fisiográfica de cada ocorrência. Evidentemente, em cada caso incidem ainda muitos processos mineralogênéticos, cuja natureza exata, em parte, ainda é desconhecida.

Escapa aos objetivos deste trabalho fazer um resumo ou análise completa de todos os recursos minerais associados a complexos alcalinos em geral. Entretanto, a ocorrência de Juquiã apresenta uma série de semelhanças flagrantes com outras localidades congêneres, onde existem depósitos minerais importantes. Além disso, em Juquiã já foram encontrados diversos minerais de possível interesse econômico, quais sejam: fosfatos, barita, magnetita, pirocloro, monazita, minerais de estrôncio e terras raras, devendo considerar-se, ainda, a presença da massa carbonática em si, como recurso mineral em potencial. Por esses motivos, justifica-se descrever cada um desses minerais e examinar as suas possibilidades econômicas.

A primeira notícia sobre uma ocorrência mineral de possível interesse econômico, em Juquiã, se refere à descoberta de barita, ocorrida em 1927 e reportada por Leonardos (1934). Nos levantamentos dos recursos minerais do Estado de

São Paulo, Knecht (1934 e 1940) também menciona a ocorrência de barita em Juquiã. Em 1939, Knecht e Feliciíssimo Jr. publicaram trabalho sobre a possibilidade de aproveitamento econômico da magnetita do Morro do Serrote, que, no entanto, nunca chegou a ser explorada. As primeiras referências sobre fosfatos na área do complexo alcalino de Juquiã são de Knecht (1948) e Guimarães e Feliciíssimo Jr. (1950). Nas áreas denominadas Guaviruva e Cágado, Maciel (1952) admitiu grandes reservas de fosfatos no contato de sienitos com piroxenito, que, infelizmente, não foram confirmadas.

A única matéria prima mineral que até hoje foi alvo de alguma pesquisa e lavra em escala modesta são os fosfatos do Morro do Serrote. Nenhum dos outros tipos de possíveis minérios foi objeto de um estudo realmente conclusivo.

Esses fosfatos constituem a única reserva comprovada de interesse econômico da área, estando concentrados no flanco sul do Morro do Serrote, próximo à sua base. Nesse local encontra-se um corte irregular a céu aberto, trabalhado de maneira primitiva e intermitente; apresenta cerca de 40 metros de altura máxima e 300 metros de extensão total. Em sua maior parte o minério é constituído por carbonato apatita, principalmente na forma de dahlita.¹ Parte do material apresenta hábito criptocristalino, recebendo a designação genérica de colofana. Feliciíssimo Jr. (1968) cita ainda a presença de staffelita e francolita, pelo fato de ter sido revelado certo teor de fluor, por análise química.

De uma maneira geral, os fosfatos se apresentam de duas maneiras distintas. Parte do material é compacto e cimentado, com aspecto maciço; o restante constitui um agregado muito poroso, no qual existem finas lamelas interligadas e muito irregulares, formando um grande número de cavidades, preenchidas por material escuro e pulverulento. Nos dois tipos de fosfato podem ocorrer cavidades irregulares, em cujas paredes se depositaram crostas de fosfato com granulação muito fina, formando estruturas coliformes ou crescimentos semelhantes a pequenas estalactites; em outros casos, as paredes estão

recobertas por cristais bem desenvolvidos. A coloração dos fosfatos é muito variável, desde branco ou amarelado até marrom escuro, devido à presença de óxidos de ferro. Os cristais límpidos que revestem algumas cavidades, muitas vezes são incolores e transparentes.

Localmente, se encontram manchas argilosas avermelhadas nos fosfatos; ao que parece, constituem blocos alterados de um outro tipo de material, possíveis xenólitos (Foto 3, p. 73) do carbonatito conservados na massa de fosfatos.

Os fosfatos de aspecto poroso não apresentam bandamento ou qualquer tipo de orientação dos seus constituintes; já o material compacto apresenta nítidas características de reprecipitação, com um bandamento vertical ou muito inclinado, em direção ao centro do morro. Em detalhe, essa feição ainda apresenta irregularidades menores, inclusive com aspecto de dobras (Fotos 6 a 9).

Algumas amostras apresentam, no meio dos fosfatos cimentados, cavidades romboédricas preenchidas por material fosfático escuro e pulverulento. A sua forma sugere que se tratava de cristais de carbonatos, calcita ou dolomita, que foram lixiviados, conservando-se o molde (Foto 10).

Como já foi mencionado, o minério é cortado por veios de barita, semelhantes aos encontrados também no carbonatito. No interior desses veios, às vezes, ocorrem cavidades cujas paredes estão revestidas por cristais bem desenvolvidos de barita. O modo de ocorrência dos veios demonstra serem posteriores à formação dos fosfatos. A quantidade de barita no minério é muito variável, sendo abundante em alguns locais e rara em outros. Os fosfatos contêm, ainda, quantidades variáveis de magnetita; ela ocorre em grãos isolados e finos no material terroso ou englobada por material secundário com granulação fina a milimétrica, podendo apresentar formas idiomórficas. Outro mineral quase sempre presente no material fosfático é mica semi-alterada, que se expande quando aquecida, tratando-se de uma variedade de vermiculita; ela em geral é de granulação fina, mas ocasionalmente forma placas

*Fotos 6 e 7 : Aspectos do minério fosfático
poroso.*

Fotos 8 e 9 : Feições devi
das à reprecipitação de fos
fatos, dando origem a cama
das maciças e finas de miné
rio, intercaladas com mate
rial pulverulento e terroso.

Foto 10 : Amostra de fosfa
to com cavidades romboédri
cas, preenchidas por mate
rial pulverulento ($\times 0,7$).

alongadas de 5 cm ou mais de comprimento.

A ocorrência de grande quantidade de fosfatos reprecipitados indica que a área esteve exposta, durante longo período, a intensos processos intempêricos, que causaram dissolução dos fosfatos e subsequente reprecipitação, em condições favoráveis e a maior profundidade. Estes fenômenos devem estar relacionados à evolução fisiográfica da região, também responsável pelos níveis de terraços existentes.

Do ponto de vista da composição e textura, os fosfatos do Morro do Serrote diferem dos existentes em Jacupiranga, no Morro da Mina. Nesse local, os fosfatos que capeavam o carbonatito eram de origem essencialmente residual, apresentando alguma cimentação; seu principal constituinte era apatita microcristalina e cristalina, podendo as dimensões dos indivíduos ultrapassar 1 cm. Estas diferenças indicam também uma ação mais prolongada e intensa dos processos intempêricos em Juquiã.

Quanto à sua origem, os fosfatos do Morro do Serrote não podem ser definitivamente classificados. Em primeiro lugar, deve-se considerar que o carbonatito interno apresenta teores muito baixos de P_2O_5 , devendo ter sido reduzida, ou mesmo inexistente, a sua contribuição na formação de minério secundário. Já o carbonatito externo, comprovado apenas na área subjacente ao depósito, apresenta apatita e dahllita subordinada; ele pode ser responsável pela formação da jazida, a partir de processos intempêricos, acumulação residual e talvez eluvial dos fosfatos, combinados com solubilização e reprecipitação dos mesmos. No entanto, deve-se considerar a posição do corpo de minério, na base do morro com carbonatito, próximo ao contato com rochas piroxeníticas ou ijolíticas. A ocorrência de piroxenitos nessa área é apenas suposta, por causa da existência de uma baixada e de rochas deste tipo na base norte do morro. Ijolitos, por sua vez, ocupam uma área restrita, pouco a leste da jazida. A posição do corpo de minério leva a considerar a possibilidade da existência de uma zona marginal de carbonatito enriquecido em apatita, ou então de piroxenito ou ijolito com muita apatita. Zonas com rochas

ricas em fosfatos são conhecidas em diversas ocorrências con gêneres. Como exemplo, pode-se citar piroxenito com apatita em Palabora e Dorowa ou carbonatito enriquecido em apatita em Tundulu.

Sem dúvida, os processos intempéricos foram im portantes da formação do depósito, ocorrendo posterior repre cipitação e enriquecimento; em consequência, há locais em que o minério contém até 30% de P_2O_5 .

A rocha carbonatítica do Morro do Serrote encon tra-se capeada por uma camada de solo, que geralmente atinge uma espessura superior a 20 metros, com exceção da parte su perior do morro, onde a rocha aflora em alguns locais. As poucas sondagens efetuadas atingiram rocha fresca, intercala da com algumas zonas de alteração, sempre a mais de 25 me tros de profundidade. Na maioria das vezes, o solo apresen ta teores baixos em fósforo, menores que 5% P_2O_5 , podendo ser considerado estéril até profundidades que, conforme o local, variam de 5 até mais de 15 metros, inclusive sôbre o minério fosfático. Na área correspondente à jazida, abaixo dêste ca peamento estéril, em geral se encontra uma certa espessura de minério pobre, cujo teor varia entre 5 e 10% de P_2O_5 . Dentro dessa massa com teores intermediários, ou abaixo dela, locali za-se o minério com teor superior a 10% de pentóxido de fósforo. A espessura da camada rica varia de 1 até mais de 10 metros, comportando-se de maneira irregular. Uma galeria ho rizontal aberta no minério atravessou mais de 30 metros de material com teor superior a 15%, sem atingir rocha fresca ou minério pobre.

A jazida de fosfato do Morro do Serrote, incluín do o minério pobre, pelos dados disponíveis restringe-se aos flancos sul e sudoeste da elevação, de sua meia altura para baixo. O minério rico é mais freqüente próximo à área atual mente em exploração, mas foi encontrado com espessuras restrí tas em alguns outros pontos.

Alguns poços abertos na parte norte e leste do morro encontraram minério pobre, sem indicação de continuida de. Deve ser observado que, mesmo considerando as concentra-

ções fosfáticas como resíduo insolúvel de carbonatitos, não é possível correlacionar diretamente a ocorrência de fosfatos com a distribuição dos carbonatitos. Isto porque podem ocorrer carbonatitos pobres em fosfato, ou não haver condições favoráveis para a acumulação residual.

Os dados disponíveis sobre as reservas econômicas de material fosfático do Morro do Serrote se referem apenas à parte sul, onde existe uma reserva indicada em torno de 2 milhões de toneladas com teor acima de 15% P_2O_5 , mais cerca de 1 milhão de toneladas acima de 10% P_2O_5 . A lavra deste material exige a retirada do capeamento de solo, com teores abaixo de 5% de P_2O_5 , bem como do minério pobre (5-10% P_2O_5), cuja espessura é apreciável.

Não há indicação sobre a profundidade máxima dos fosfatos de alto teor, pois a recuperação nas sondagens foi muito baixa; mesmo assim, seu aproveitamento está limitado à base do Morro do Serrote, onde se formaram brejos, muito próximos do nível de base da região. Os aluviões presentes em frente à jazida foram examinados para verificar a possibilidade de existência de fosfatos, obtendo-se resultados negativos.

Maciel (1952) se refere à ocorrência de jazidas de apatita na área do Guaviruva e Cágado, ao sul do Morro do Serrote; localiza-as no contato de sienitos e piroxenitos, com forma de ferradura e cerca de 50 metros de espessura máxima. Algumas dezenas de furos de trado executados posteriormente no local, no entanto, apenas indicaram algumas concentrações muito restritas de apatita; a maioria das amostras apresenta teores muito baixos de P_2O_5 , abaixo de 3%.

Em local próximo, também na área indicada por Maciel (1952), foi encontrado um afloramento do material descrito como minério. Trata-se de uma concentração de apatita, com hábito ovóide ou prismático, contendo certa quantidade de magnetita, cimentada por fosfatos secundários ou limonita. O tipo de material sugere que se trata de concentrações muito restritas de apatita residual, provenientes da decomposição de sienitos; em condições propícias a apatita pode se acumu-

lar, sendo posteriormente cimentada. A extensão lateral e vertical da ocorrência, considerando a origem acima, deve ser muito limitada. Além disso, a situação topográfica do local, muito próximo ao nível de base, é desfavorável.

Outra matéria prima mineral, muitas vezes as sociada a carbonatitos, é o pirocloro. Nos solos que reco- brem o Morro do Serrote encontra-se esse mineral, em parte semi-alterado, proveniente de carbonatito dissolvido. Na pró- pria rocha carbonática foram identificados grãos comumente idiomórficos de pirocloro. Também em uma sondagem foi encon- trada uma zona mais rica nesse mineral; a análise química de uma amostra de testemunho revelou 0,09% Nb_2O_5 . Nos solos re- residuais o mineral também foi identificado, possuindo granula ção variável, às vezes milimétrica. Para obter uma primeira idêia dos teores dos solos, foram analisadas quatro amostras compostas provenientes de poços e furos de trado. Uma amos- tra do flanco norte do morro apresentou resultado negativo. Outra, correspondente ao solo de alteração do carbonatito in- terno, de um poço situado cêrca de 20 metros abaixo do cume do Morro do Serrote, indicou um teor de 0,12% Nb_2O_5 , em mate rial representativo até 13 m de profundidade. As duas outras amostras provêm da área ocupada pelo carbonatito externo; uma delas, colhida próximo à jazida de fosfato, apresenta 0,28% Nb_2O_5 , no material colhido entre 0 e 18 m de profundida- de; a outra, proveniente do flanco oeste, com material repre- sentativo até 21 m de profundidade, indicou 0,4% Nb_2O_5 . Nesta última amostra pode haver certa influência do carbonatito in- terno, pois o poço localiza-se próximo ao contato de dois cpr- pos.

A existência de minerais de nióbio poderá, even- tualmente, tornar-se de interesse econômico. Na hipótese do aproveitamento conjunto dos fosfatos e do nióbio, poderá tor- nar-se economicamente exequível lavar material com baixo teor de P_2O_5 .

Outra possibilidade, embora ainda muito remota, seria a recuperação concomitante dos minerais de Ba, Sr, ou mesmo dos elementos de terras raras. Neste grupo identificou-

-se cério, presente na monazita e ancyllita do carbonatito, lan
tânio e muito pouco ítrio.

A distribuição semi-quantitativa desses elemen
tos foi obtida pela análise, por fluorescência de raios-X, de
algumas amostras de carbonatito e de solos, provenientes de
diversas partes do Morro do Serrote, excluindo a parte norte
(Tabela 14). Deve-se observar, entretanto, que os teores indi
cados desses elementos têm apenas caráter qualitativo ou se-
mi-quantitativo. Sua determinação foi feita por comparação
com amostras analisadas por outros métodos, porém não se dis-
punha de padrões exatos e não foram considerados possíveis e
feitos de matriz ou outras interferências inerentes ao método.

Analizando, por exemplo, os resultados referen-
tes à amostra 2, nota-se que eles não representam a média de
2a, 2b e 2c, conforme seria de esperar em uma amostra compos
ta. Este comportamento pode ser devido à granulação irregular
e falta de homogeneidade da amostra, mas o efeito de matriz de
ve também ter certa influência. Amostras de locais diferentes
podem apresentar grandes diferenças de matriz, o que torna im-
precisa uma comparação direta do número de contagens obtidas.
Isto pode ser exemplificado pela discrepância no número de con
tagens obtidas para Ce e La nas amostras A e B, provenientes
de outra localidade, que possuem teores iguais, conforme análi
se espectroquímica.

Verifica-se que a maioria das amostras, com exce-
ção daquelas com mais de 15% P_2O_5 , apresenta distribuição mais
ou menos constante dos diversos elementos. As contagens indi
cam conteúdo alto de Ce e La e baixos valores de Y, tanto na
rocha carbonatítica, como nos solos. De um modo geral, verifi
cou-se que o carbonatito e os solos apresentam conteúdo em Ce
da ordem de 0,1 a 1%; várias amostras de solo aproximam-se de
1%, podendo inclusive ultrapassar este valor. O La, por sua
vez, predomina em quantidades entre 0,1 e 0,5%, mas valores in
feriores a 0,1% não são raros. O Y indica valores mais baixos,
de 0,1 a 0,01%, aproximando-se mais deste último, sendo por
vêzes ainda menor. Uma única amostra apresentou número de con
tagens elevado, equivalente a 0,1-1% de Y.

AMOSTRA		Fluorescência de raios X				%P ₂ O ₅
		Número de contagens				
		Ce	La	Y	Nb ₂ O ₅	
Carbonatito moído (-150 mesh)	C ₁	2 900	1 800	---		
	C ₂	3 700	2 300	200		
	C ₃	1 500	500	---		
	C ₄	3 200	1 600	1 000		
	C ₅	2 100	2 000	100		
Material de solo moído sem controle de granulção	1 1m	8 100	6 000	2 200		6,3
	2 (1-21m)	2 300	1 300	4 400	9 000 (0,4%)	8
	2a (1-5m)	7 000	5 800	1 700	7 900	3,7
	2b (5-15m)	2 700	1 800	2 700	11 600	7,2
	2c (15-21m)	2 000	800	11 900	11 000	12,5
	3a (0-9m)	4 100	2 700	2 100	7 600	1,9
	3b (9-15m)	2 400	1 200	3 600	15 800	8,5
	4a (1-10m)	1 100	500	500	2 300	2,8
	4b (10-20m)	600	200	400	800	3,4
	5a (0-9m)	5 600	3 700	1 000	6 000	2,4
	5b (9-12m)	7 000	4 900	2 000	8 000	
	5c (12-18m)	6 200	4 400	2 100	10 200	5
	6a (0-8m)	5 900	4 500	900	3 100	3
	6b (10-17m)	5 300	3 600	3 500	8 800	5
	G ₁ (21-22m)	1 200	800	800	---	20
	G ₂ (28-29m)	400	200	500	500	15
A		11 200 (1,6 %)	6 200 (0,7 %)	4 600 (0,048 %)		
B		9 100 (1,6 %)	4 300 (0,7 %)	1 400 (0,025 %)		

Obs.- Os dados entre parêntesis referem-se a análises quantitativas efetuadas nas mesmas amostras.

Tabela 14 : Determinações, por fluorescência de raios X, de Ce, La, Y e Nb₂O₅, comparados aos teores de P₂O₅.

Nas mesmas amostras efetuou-se a medida das contagens para Nb_2O_5 , verificando-se, por comparação com solos analisados por via úmida, que a maioria delas contém entre 0,1 e 1% de pentóxido, situando-se a média dos valores em tórno de 0,3-0,5%; também neste caso os resultados são aproximados.

A distribuição dos elementos acima citados, ao que tudo indica, não tem qualquer relação direta com a quantidade de P_2O_5 presente nos solos.

O aproveitamento da própria rocha carbonatítica, como matéria prima para a fabricação de cimento ou cal, no caso de Juquiã, não apresenta possibilidades favoráveis devido ao conteúdo extremamente elevado em óxido de magnésio.

VIII - COMPARAÇÃO COM OUTROS DISTRITOS ALCALINOS

Entre as ocorrências conhecidas no Brasil, o complexo alcalino de Juquiã se assemelha, quanto à forma e associação de rochas, às rochas de Jacupiranga, talvez Ipanema e, em parte, a Itapirapuã (SP) e Anitápolis (SC). Com relação às estruturas de Catalão (GO), Serra Negra, Araxá, Salitre e Tapira (MG), nas quais também se conhece carbonatito, a semelhança é sugestiva, embora uma conclusão seja prematura, por falta de estudos detalhados ou de afloramentos suficientes.

A área de Juquiã, no entanto, é totalmente diversa das ocorrências de Lajes (SC), Poços de Caldas (MG), São Sebastião e Cananéia (SP), ou Itatiaia (RJ e MG), onde não existem rochas carbonatíticas, ijolitos e piroxenitos.

Grande parte das diferenças entre as várias ocorrências pode ser explicada considerando diversos níveis de erosão de um conduto vulcânico ideal e completo, desde a parte profunda, essencialmente plutônica, até o edifício vulcânico. O primeiro grupo de localidades, no qual se inclui Juquiã, representa partes profundas desse conduto; o segundo abrange as porções superiores, tendo em Poços de Caldas seu representante extremo, com conservação parcial da estrutura vulcânica.

No primeiro grupo ainda poderia ser considerada uma subdivisão em função do desenvolvimento dos carbonatitos. Localidades onde essas rochas ocorrem apenas como diques ou em pequenas massas irregulares, seriam consideradas representativas de condições hipoabissais, correspondendo, portanto, a um nível mais alto do que aquele em que se formam massas carbonatíticas maiores. Evidentemente, essa caracterização só tem significado muito genérico, uma vez que diques carbonatíticos podem se formar em diferentes profundidades. Admitindo, entretanto, a validade desse esquema, Juquiã e Jacupiranga representam seções bastante profundas, aquele possivelmente mais baixo que este. Além disso,

as diferenças entre estas duas localidades podem ainda ter outros motivos, inclusive relacionados ao próprio material original. Já Itapirapuã, onde apenas ocorrem alguns diques carbonatíticos pouco espessos, e Anitápolis, onde o corpo carbonatítico é muito pequeno, seriam representantes do grupo hipoabissal.

Os numerosos complexos alcalinos com carbonatitos, em especial na África, apresentam os mais diversos modos de ocorrência e particularidades. Pela associação petrológica global, sua distribuição e forma do complexo, Juquiã se assemelha a Palabora, que é justamente considerado um representante de nível profundo (Hanekom e outros, 1965; Verwoerd, 1966; Gittins, 1966a, p. 443-445). Juquiã, no entanto, também apresenta algumas semelhanças com outras ocorrências.

Na localidade em questão, se os carbonatitos realmente ocupam todo o Morro do Serrote, eles correspondem a cerca de 15% da área total do complexo, proporção comparável a muitas outras localidades congêneres. Por outro lado, a sua área de 2 km² pode ser considerada média, em relação aos corpos carbonatíticos em geral.

Quanto à composição mineralógica, os carbonatitos apresentam uma grande variedade de minerais, nas mais diversas proporções, tornando insegura uma comparação entre as diferentes localidades. Nas rochas do Morro do Serrote destaca-se a quantidade de minerais de estrôncio e bário, além da pobreza em apatita e silicatos.

Do ponto de vista químico, as comparações são difíceis, pois, embora carbonatitos dolomíticos sejam comuns, as referências a valores extremamente altos de MgO, como no caso do carbonatito interno, são muito raras e, na maioria das vezes, relativas a diques de pequena espessura e distribuição restrita. Esta é uma peculiaridade que distingue Juquiã da maioria dos carbonatitos.

IX - SUMÁRIO E CONCLUSÕES

- 1 - As rochas que ocorrem na região de Juquiã, constituem um exemplo típico de associação de rochas alcalinas (sienitos, ijolitos, piroxenitos e peridotitos) com carbonatitos.
- 2 - As rochas encaixantes do complexo alcalino são constituídas por gnaisses, com quartzitos e micaxistos subordinados.
- 3 - As rochas encaixantes, nas proximidades da intrusão, encontram-se modificadas por processos metassomáticos pouco intensos, caracterizados por perda de alguns elementos e adição de outros; neste fenômeno, Si, Al, Na e K são os principais elementos envolvidos, sem entretanto evidenciar-se uma tendência única e nítida.
- 4 - Não há qualquer evidência de vulcanismo associado ao complexo alcalino de Juquiã.
- 5 - O número de diques alcalinos, cortando as rochas do complexo e suas encaixantes, é extremamente reduzido; não há qualquer indicação de que eles constituam sistemas definidos e orientados, como ocorre em alguns complexos alcalinos com grande número de diques radiais e concêntricos.
- 6 - A associação petrográfica, o modo de ocorrência das rochas, o pequeno número de diques e a falta de evidências de vulcanismo indicam que a parte atualmente exposta da estrutura corresponde a um nível profundo de um conduto vulcânico.
- 7 - Piroxenitos parecem constituir a maior parte da área da intrusão, podendo estar associados a peridotitos; seguem em importância os sienitos e ijolitos, entre as rochas silicatadas.
- 8 - Os sienitos apresentam, em parte, características típicas de rochas intrusivas, mas em vários outros casos correspondem a ijolitos feldspatizados e piroxenitos enriquecidos em álcalis.

- 9 - Os sienitos do Morro da Casa de Pedra constituem pequena bossa, isolada do corpo alcalino principal.
- 10 - Peridotitos e piroxenitos, ijolitos, sienitos e carbonatitos constituem a provável seqüência de formação das rochas.
- 11 - Os carbonatitos constituem uma única massa arredondada, situada no interior do complexo alcalino próximo à sua borda oeste, encaixada em rochas ultrabásicas e, subordinadamente, em contato com ijolito.
- 12 - Foram identificados dois tipos principais de carbonatito: um mais recente, constituindo a parte central do Morro do Serrote, com granulação fina; outro, mais antigo, de granulação mais grossa, constituindo a parte externa do morro, com possível forma anelar em torno do mais recente.
- 13 - As rochas carbonatíticas do Morro do Serrote são beforíticas, principalmente as da parte central, onde os teores de MgO são muito elevados, superando em várias amostras a quantidade de CaO . Dolomita e ankerita são os carbonatos predominantes, enquanto que calcita parece ocorrer em quantidade reduzida no carbonatito externo.
- 14 - No carbonatito interno, magnetita e barita constituem os principais acessórios, além de pirocloro, minerais de estrôncio e de terras raras (monazita e ancylita). Apatita está quase ausente. No carbonatito externo predominam magnetita, mica, apatita e dahlita, esta possivelmente secundária, entre os acessórios; barita é bem mais rara. Minerais de estrôncio, pelo que indicam as análises químicas, são menos abundantes.
- 15 - Os teores de Ba e Sr no carbonatito interno são elevados, em comparação aos outros carbonatitos brasileiros.
- 16 - Fosfatos, em grande parte secundários e reprecipitados, constituem a única reserva econômica comprovada da área; eles se concentram no flanco sul e, subordinadamente, sudoeste do Morro do Serrote. Esses minerais em parte são

residuais, mas podem também derivar de uma concentração primária na zona de contato entre carbonatito com piroxenito ou ijolito.

- 17 - A distribuição do nióbio, terras raras, estrôncio e bário, nos solos residuais que capeiam o carbonatito, merece ser verificada do ponto de vista econômico; êsses elementos poderiam constituir reserva ao lado dos fosfatos ou serem subprodutos em potencial, o que poderia tornar interessante o minério fosfático de baixo teor.
- 18 - As reservas indicadas de fosfatos são avaliadas em mais de 2 milhões de toneladas com teor acima de 15% P_2O_5 e mais de um milhão de toneladas com teor de 10 a 15% de P_2O_5 ; exclui-se a parte constituída por material contendo 5-10% P_2O_5 .
- 19 - A composição mineralógica das rochas carbonáticas, seu modo de ocorrência, a presença de feições semelhantes à textura fluidal e sua associação petrológica são similares àqueles encontrados em carbonatitos de numerosas ocorrências alcalinas em todo o mundo e para os quais se admite origem intrusiva.

X - BIBLIOGRAFIA

- AB'SABER, A. - 1955 - Contribuição à geomorfologia do litoral paulista - Rev. Bras. Geogr., Vol. 17, p. 3-48.
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1961 - Geologia e petrologia da ilha da Trindade - Div. Geol. Mineralogia, Monografia XVIII.
- 1967 - Origem e evolução da plataforma brasileira - Bol. Div. Geol. Mineralogia, nº 241.
- AMARAL, G. - 1967 - Programa para cálculos petroquímicos (norma e valores de Niggli) em computador - Ar. XXI Congr. Bras. Geologia, Curitiba, p. 113-118.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. e REYNOLDS, J.H. - 1967 - Potassium-argon ages of alkaline rocks of southern Brazil - Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 31, p. 117-149.
- AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. e REYNOLDS, J.H. - 1966 - Potassium-argon ages of basaltic rocks from southern Brazil - Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 30, p. 159-189.
- BATLEY, D.K. - 1966 - Carbonatite volcanoes and shallow intrusions in Zambia - em Carbonatites - O.F. Tuttle e J. Gittins (editores) - Interscience Publishers - London, p. 127-154.
- BARTH, T.F.W. - 1952 - Theoretical petrology - John Wiley and Sons, Inc. - New York.
- BRÜGGER, W.C. - 1921 - Die Eruptivgesteine des Kristianigebietes. IV. Das Fengebiet in Telemark, Norwegen - Vidensk. Selsk. Skrifter I. Math. Nat. Kl. (1920), nº 9.

- CAMARGO, W.G.R. de - 1942 - Nota sobre a baritina de Serrote, São Paulo - Bol.F.F.C.L., Univ. São Paulo, nº 30, Mineralogia nº 5, p. 25-27.
- CHAYES, F. - 1949 - A simple point counter for thin section analysis - Am.Mineralogist, Vol. 34, nº 1 e 2, p. 1-11.
- CORDANI, U.G. e BITTENCOURT, I. - 1967 - Determinações de idades potássio-argônio em rochas do Grupo Açungui - An. XXI Congr. Bras.Geologia, Curitiba, p. 218-233.
- CORDANI, U.G. e GIRARDI, V.A.V. - 1967 - Geologia da fôlha de Morretes - Bol.Univ.Fed.Paraná, Geologia nº 26.
- CORDANI, U.G. e HASUI, Y. - 1968 - Idades K-Ar de rochas alcalinas do primeiro planalto do Estado do Paraná - An. XXII Congr. Bras.Geologia, Belo Horizonte, p. 149-153.
- DEANS, T. - 1966 - Economic mineralogy of african carbonatites - em Carbonatites - O.F. Tuttle e J. Gittins (editôres) - Interscience Publishers - London, p. 385-413.
- ECKERMAN, H. von - 1928 - Dikes belonging to the Alnå formation in the cuttings of the East Coast Railway - Geol. Fören. Förh., Vol. 50, p. 381-412.
- 1948 - The alkaline district of Alnå Island - Sverig. Geol. Undersök., Ser. Ca, nº 36.
- 1961 - The petrogenesis of the Alnå alkaline rocks - Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala, Vol. XI, p. 25-36.
- 1966 - Progress of research on the Alnå carbonatite - em Carbonatites - O.F. Tuttle e J. Gittins (editôres) - Interscience Publishers - London, p. 3-31.
- FELICISSIMO JR., J. - 1968 - Carbonatitos do Estado de São Paulo - An. Acad. Brasil. Ciênc., Vol. 40, p. 93-115.

- FREITAS, R.O. de - 1951 - *Ensaio sôbre a tectônica moderna do Brasil* - Bol.F.F.C.L., Univ.São Paulo,nº 130, Geologia nº 6, p. 27-44.
- FUCK, R.A.; TREIN, E. e MARINI, O.J. - 1967 - *Geologia e petrografia dos migmatitos do Paraná - Geologia do pré-devoniano e intrusivas subsequentes da porção oriental do Estado do Paraná* - Bol. Paranaense de Geociências, nº 23 a 25, p. 5-41.
- GARSON, M.S. - 1959 - *Stress pattern of carbonatitic and alkaline dykes at Tundulu ring structure, southern Nyasaland* - Proc. XXth Int. Geol. Congr., Mexico, Ass.Afr.Geol.Surv. Vol., p. 309-323.
- 1966 - *Carbonatites in Malawi* - em Carbonatites - O.F. Tuttle e J.Gittins (editôres) - Interscience Publishers - London, p. 33-71.
- GERASIMOVSKII, V.I. - 1956 - *Geochemistry and mineralogy of nepheline syenite intrusions* - Geochemistry, nº 5, p. 494-510.
- 1966 - *Geochemical features of agpaitic nepheline-syenites* - em Chemistry of the Earth's crust, Vol. 1 - A.P.Vinogradov (editor) - Jerusalem, p. 104-108. (Tradução do original em russo - Moscou 1963.)
- GIRARDI, V.A.V. - 1969 - *Petrologia das rochas metamórficas da região de Morretes* - Antonina, Pr. - Tese de doutoramento - inédito.
- GITTINS, J. - 1966a - *Summaries and bibliographies of carbonatite complexes* - em Carbonatites - O.F. Tuttle e J.Gittins (editôres) - Interscience Publishers - London, p. 415-541.

GITTINS, J. - 1966b - Russian views on the origin of carbonatite complexes - em Carbonatites - O.F. Tuttle e J.Gittins (editôres) - Interscience Publishers - London, p. 379-382.

GOLD, D.P. - 1966 - The average and typical chemical composition of carbonatites - Miner.Soc.India, IMA Volume, p. 83-91.

GOMES, C.B. - 1967 - Petrologia do maciço alcalino de Itapirapuã, S.P. - Tese de doutoramento - inédito.

GOMES C.B. e CORDANI, U.G. - 1965 - Geocronologia do maciço alcalino de Itapirapuã - An.Acad.Brasil.Ciênc., Vol. 37, nº 3-4, p. 497-501.

GUIMARÃES, J.E.P. e FELICÍSSIMO JR., J. - 1950 - Apanhado sobre os recursos minerais do Estado de São Paulo - Rev.Inst.Geogr.Geol., Vol. VIII, nº 2, p. 146-147.

HANEKOM, H.J.; van STADEN, C.M. v.H.; SMIT, P.J. e PIKE, D.R. - 1965 - The geology of the Palabora igneous complex - Geol.Surv.South Africa, Mem. 54.

HASUI, Y. e CORDANI, U.G. - 1968 - Idades potássio-argônio de rochas eruptivas mesozóicas do oeste mineiro e sul de Goiás - An. XXII Congr.Bras.Geologia, Belo Horizonte, p. 139-143.

X HEINRICH, E.Wm. - 1966 - The geology of carbonatites - Rand McNally & Co. - Chicago.

JOHANNSEN, A. - 1939 e 1938 - A descriptive petrography of the igneous rocks, Vol. I (2a. edição) e IV - University of Chicago Press - Chicago.

JOHNSON, R.L. - 1966 - The Shawa and Dorowa carbonatite complexes, Rhodesia - em Carbonatites - O.F.Tuttle e J.Gittins (editôres) - Interscience Publishers - London, p. 205-224.

KERR, P.F. e KULP, J.L. - 1948 - Multiple differential thermal analysis - *Am.Mineralogist*, Vol. 33, nº 7-8, p.387-419.

KING, B.C. e SUTHERLAND, D.S. - 1966 - The carbonatite complexes of eastern Uganda - em *Carbonatites* - O.F.Tuttle e J. Gittins (editôres) - Interscience Publishers - London, p. 73-126.

X KNECHT, T. - 1934 - Os minerais e minérios do Estado de São Paulo - *Boletim de Agricultura*, nº único, p. 84-85.

1940 - Os minérios não metálicos do Estado de São Paulo - *Bol.Inst.Geogr.Geol.*, nº 27, p. 32-34.

1948 - Novas ocorrências minerais nos municípios do extremo sudoeste paulista - *Min.Met.*, Vol. 13, nº 73, p. 23-26.

X KNECHT, T. e FELICÍSSIMO JR., J. - 1939 - Jazida de magnetita do Morro do Serrote - *Bol.Inst.Geogr.Geol.*, nº 23.

KULP, J.L.; KENT, P. e KERR, P.F. - 1951 - Thermal study of the Ca-Mg-Fe carbonate minerals - *Am.Mineralogist*, Vol. 36, nº 9-10, p. 643-670.

X LEONARDOS, O.H. - 1934 - Bário - *Serv.Fom.Prod.Min.*, Avulso nº 2, p. 17-19.

1956 - Carbonatitos com apatita e pirocloro - *Div.Fom.Prod.Mineral*, Avulso nº 80, p. 16-17.

LIMA, P. de - inédito - Descrição das lâminas petrográficas do *Inst.Geogr. Geol. de São Paulo*.

MACIEL, P. - 1952 - Nota sobre uma nova jazida de apatita no sul do Estado de São Paulo - *Bol.Soc.Bras.Geol.*, Vol. 1, nº 1, p. 3-14.

- MATOS ALVES, C.A. - 1968 - Estudo geológico e petrológico do maciço alcalino-carbonatítico do Quicuco (Angola) - Lisboa.
- McKIE, D. - 1966 - Fenitization - em Carbonatites - O.F. Tuttle e J. Gittins (editores) - Interscience Publishers - London, p. 261-294.
- MELCHER, G.C. - 1954 - Nota sobre o distrito alcalino de Jacupiranga, Estado de São Paulo - Div. Geol. Min., Notas Prelim. nº 84.
- 1965 - O carbonatito de Jacupiranga - Bol. F.F. C.L., Univ. São Paulo, nº 282, Geologia nº 21.
- 1966a - The carbonatites of Jacupiranga, São Paulo, Brazil - em Carbonatites - O.F. Tuttle e J. Gittins (editores) - Interscience Publishers - London, p. 169-181.
- 1966b - Mineralizações associadas aos sienitos nefelínicos e carbonatitos - Sedegeo, Vol. Especial, CAEG, Porto Alegre, p. 11-36.
- MELCHER, G.C. e COUTINHO, J.M.V. - 1966 - Rochas alcalinas e carbonatito de Anitápolis, Estado de Santa Catarina - Bol. Soc. Bras. Geol., Vol. 15, nº 1, p. 59-93.
- MELFI, A.J.; BITTENCOURT, I. e CORDANI, U.G. - 1965 - Reconhecimento fotogeológico de parte do Grupo Açungui - Bragantia, Vol. 24, nº 34, p. 447-474.
- MEYER, A. e BÉTHUNE, P. de - 1960 - The Lueshe carbonatite (Kivu, Belgian Congo) - Proc. XXI Int. Geol. Congr., Norden, Part XIII, p. 304-309.
- MORAES RÊGO, L.F. de - 1933 - Contribuição ao conhecimento das formações pré-devonianas de São Paulo - Inst. Astron. Geogr. de São Paulo.

- NOCKOLDS, S.R. - 1954 - Average composition of some igneous rocks - *Bull. Geol.Soc.Amer.*, Vol. 65, nº 10, p. 1007-1032.
- NOCKOLDS, S.R. e ALLEN, R. - 1953 - The geochemistry of some igneous rock series. Part I - *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 4, nº 3, p. 105-142.
- PEACOCK, M.A. - 1931 - Classification of igneous rock series - *Jour. Geol.*, Vol. 39, nº 1, p. 54-67.
- POWELL, J.L.; HURLEY, P.M. e FAIRBAIRN, H.W. - 1966 - The strontium isotopic composition and origin of carbonatites - em *Carbonatites* - O.F.Tuttle e J. Gittins (editôres) - Interscience Publishers - London, p. 365-378.
- SERV.VALE RIBEIRA - Secret.Serv.Obras Publ. - DAEE - Brasconsult - 1966 - Plano de desenvolvimento do Vale do Ribeira e litoral sul, Vol. III.
- SETZER, J. - 1946 - Contribuição para o estudo do clima do Estado de São Paulo - *Bol. DER*, Vol. IX-XI.
- SILVEIRA, J.D. da - 1950 - Baixadas litorâneas quentes e úmidas - Tese de concurso à Cadeira de Geografia Física da F.F.C.L. da Univ. São Paulo.
- SIMPSON, E.S.W. - 1954 - On the graphical representation of differentiation trends of igneous rocks - *Geol.Mag.*, Vol. 91, nº 3, p. 238-244.
- SØRENSEN, H. - 1960 - On the agpaitic rocks - *Proc. XXI Int. Geol. Congr.*, Norden, Part XIII, p. 319-327.
- STRAUSS, C.A. e TRUTER, F.C. - 1951 - The alkali complex at Spitzkop, Sekukuniland, Eastern Transvaal - *Geol. Soc. S.Africa Trans.*, Vol. 53 (1950), p. 81-130.

- VERWOERD, W.J. - 1966 - South african carbonatites and their probable mode of origin - Ann. Univ. Stellenbosch, Vol. 41, ser. A, nº 2.
- WARD, F.N.; LAKIN, H.W.; CANNEY, F.C. e outros - 1963 - Analytical methods used in geochemical exploration by the U.S. Geological Survey - U.S. Geol. Surv. Bull., nº 1152, p. 66-68.
- WARNE, S. St.J. - 1962 - A quick field or laboratory staining scheme for the differentiation of the major carbonate minerals - Jour. Sedimentary Petrology, Vol. 32, nº 1, p. 29-38.
- WILLIAMS, H.; TURNER, F.J. e GILBERT, C.M. - 1955 - Petrography: an introduction to the study of rocks in thin section - W.H. Freeman and Company - San Francisco.
- WINCHELL, A.N. e WINCHELL, H. - 1951 - Elements of optical mineralogy (4a. edição) - John Wiley and Sons, Inc. - New York.
- WOLF, K.H.; EASTON, A.J. e WARNE, S. - 1967 - Techniques of examining and analysing carbonate skeletons, minerals and rocks - em Carbonate rocks - G.V. Chilingar; H.J. Bissel e R.W. Fairbridge (editôres) - Developments in sedimentology, Vol. 9 B - Elsevier - Amsterdam p. 253-341.
- WYLLIE, P.J. - 1966 - Experimental studies of carbonatite problems: The origin and differentiation of carbonatite magmas - em Carbonatites - O.F. Tuttle e J. Gittins (editôres) - Interscience Publishers - London, p. 311-352.

Fotomicrografia 1 : Melanita (centro), associada com biotita, próximo ao contato de um veio de composição sienítica com ijolito. A melanita formou-se a partir de egirina-augita preexistente. À direita, nefelina circundada por feldspato potássico (p. 37). Aumento 27 vezes.

Fotomicrografia 2 : Anfibólio sódico com borda de egirina-augita, no contato entre gnaisse e sienito no Morro da Casa de Pedra (p. 40 e 111). Aumento : 69 vezes.

Fotomicrografia 3 : Cristais idiomórficos de anfibólio, total ou parcialmente substituídos por egirina-augita e biotita, em sienito do Morro da Casa de Pedra. O cristal maior ainda apresenta núcleo inalterado (p.49). Aumento : 27 vezes (com condensador).

Fotomicrografia 4 : Formação de mineral opaco nas bordas de titanita em contato com cancrinita (p.50). Aumento : 27 vezes (com condensador).

Fotomicrografias 5 e 6 : Piroxênio augítico e biotita com bordas de egirina-augita, de hábito acicular. Estádio inicial da alcalinização de rochas piroxeníticas ricas em plagioclásio (minerais claros) (p. 56). Aumento : 27 vezes.

Fotomicrografia 7 : Sienito originado por feldspatização de ijolito. Egirina-augita (cinza escuro) e nefelina (turva) estão circundadas por feldspato potássico, ópticamente contínuo. Os cristais de nefelina podem apresentar hábito idiomórfico e muitos deles são arredondados, especialmente nos cantos (p. 56). Aumento : 27 vezes (com condensador.

Fotomicrografia 8 : Dique piroxenítico (camptonito) com fenocristais idiomórficos de piroxênio e olivina (p. 64). Aumento : 27 vezes.

Fotomicrografia 9 : Fenocristal zonado de piroxênio, em dique piroxenítico. O zonamento é devido à presença de numerosas inclusões aciculares, orientadas em diversas direções. Este tipo de zonamento também ocorre nas rochas piroxeníticas (p. 25 e 65). Aumento : 27 vezes.

Fotomicrografia 10 : Carbonatito interno com duas gerações de carbonatos. Os carbonatos de cor escura, mais finos, são posteriores (p. 80 e 96). Aumento : 27 vezes.

Fotomicrografia 11 : Ancyrita (cinza escuro) com bordas semi-alteradas e barita (branco, à esquerda) no carbonatito interno (p. 93). Aumento : 27 vezes.

Fotomicrografia 12 : Cristais de pirocloro, tendendo ao idiomorfismo, no carbonatito interno. Os carbonatos são de duas gerações (cinza claro e cinza escuro) (p. 92). Aumento : 27 vezes.

Fotomicrografia 13 : Contato entre fenito (direita) e gnaiss (esquerda). O fenito é composto por plagioclásio (branco), piroxênio (cinza escuro, fino), magnetita (preto), cristais maiores de biotita (cinza) e alguns restos de quartzo (p. 113). Aumento : 27 vezes.

Fotomicrografia 14 : Plagioclásio (cinza escuro, geminação polissintética) e piroxênio (cinza, alto relevo, à direita) substituindo quartzo, em gnaiss fenitizado. Pouco feldspato alcalino (cinza médio, canto inferior direito). Nos dois tipos de feldspato, há alguns restos de quartzo (branco, embaixo) (p. 113). Aumento : 69 vezes, polarizadores cruzados.

Anexo 1: Mapa geológico do Complexo Alcalino de Juquidá