

GEOLOGIA E PETROLOGIA DOS MACIÇOS ALCALINOS
DO ITATIAIA E PASSA-QUATRO
(Sudeste do Brasil)

Evaristo Ribeiro Filho

Entregue para publicação em 4 de junho de 1964.

ÍNDICE

Abstract	9
Resumo	13
Introdução e trabalhos anteriores	15
Agradecimentos	17
Terminologia e métodos	18
Mapas e delimitação da área	19
Geologia geral	21
Rochas do embasamento cristalino	22
Biotita-gnaïsse	22
Biotita-hornblenda-gnaïsse	22
Hornblenda-gnaïsse	23
Gnaïsse granítico	24
Gnaïsse quartzítico	24
Gnaïsse migmatítico	24
Anfibolito	26
Biotita-gnaïsse alcalino	26
Sedimentos	28
Sedimentos clásticos	28
Depósito de talude	29
Rochas da intrusão alcalina	29
Nefelina-sienitos e sienitos	30
Sodalita-nefelina-sienito	32
Nefelina-microsienito	33
Hornblenda-nefelina-sienito	34
Biotita-hastingsita-sienito	34
Aegirina-sienito	36
Aegirinaugita-hornblenda-sienito	37
Biotita-nefelina-sienito pegmatóide	37
Sienito porfirítico	37
Sienito com xenólitos	37
Nefelinasienito bandeado	37
Tinguaito com pseudo-leucita	41
Pulaskitos	43
Foiaitos	46
Nefelina-sodalita-foiaito	47
Microfoiaito	47

Quartzo-sienitos	47
Quartzo-sienito glomérulo porfiróide	48
Nordmarkito porfirítico	49
Nordmarkito equigranular	49
Nordmarkito de granulação grossa	49
Nordmarkito granular miarolítico	50
Granito alcalino	51
Brechas	52
Considerações gerais	52
Descrição macroscópica	56
Microscopia das brechas	57
Classificação	58
Quartzo-microsienito relacionado a brecha	62
Milonitos	62
Diques	63
Halos pleocróicos	63
Petrogênese das rochas alcalinas do Itatiaia	67
Gênese das brechas	75
Maciço alcalino de Passa-Quatro	79
Conclusões	87
Bibliografia	89

ABSTRACT

This is the representation of the results of both geological and petrological study of the alkaline province of Itatiaia-Passa Quatro. This region is situated on the sierra Mantiqueira, around the borders of the states of Minas Gerais, Rio de Janeiro and São Paulo. This region with an area of approximately 1.300 km², according to Lamego's estimate, has already been cited as an example of one of the greatest syenitic regions. In accordance with the data from the geological map elaborated during our research, the area of the alkaline rocks is estimated to be 330 km², corresponding to less than half the extent of the alkaline massif of Poços de Caldas, Minas Gerais. The Itatiaia massif has an area of 220 km², and that of Passa Quatro 110 km². The total area is thus shared by the named regions.

Both bodies of the alkaline rocks are elliptical in outline, that of Itatiaia having its greatest axis, with 31 km in the NW-SE direction and its smallest axis, with 12 km, in the NE-SW direction. The massif of Passa Quatro has its greatest axis striking NE-SW and the smallest, NW-SE, extending 17 and 18 km respectively.

The alkaline complex of Itatiaia consists of syenites, foyaites, pulaskites, quartz-syenites, breccias and alkaline granites. The presence of these different petrographical types is due to the fact that the minerals have been distributed in variable proportions, as well as textural modification, more than mineralogical differences.

There is a gradual transition of saturated and unsaturated rocks principally on the plains where the quartz-syenites outcrop. Thus the percentage of quartz increases imperceptively

from 2% in the quartz-syenites at the contact with breccias to more than 5% in nordmarkites, and increases to a maximum of 27,5% in the alkaline granite which outcrops in the central part of the massif.

The quartz-syenites that outcrop almost in the central part of the alkaline massif, may represent the final phase of magmatic differentiation. Granophyritic texture which the quartz-syenites and the alkaline granite of Itatiaia present suggest a final crystallization in cupolas of a closed system.

The syenitic rocks are in a greatest part of the area, in contact with Pre-cambrian gnaiss striking predominantly in N-NE and dipping to the south. At the south-east the massif of Itatiaia is a poorly defined contact with the clastic sediments forming part of the Tertiary basin (?) of Resende and with more recent talus which possibly conceals the rocks of the crystalline complex.

The magmatic breccias of Itatiaia present variations in nature, form and dimensions of the fragments as well as quantitative relationship with the fragmented matrix and consequently do not display an uniform colour apart from the magmatic breccias. Monolithologic breccias of tectonic origin occur in other places.

Genetically it has been admitted that the alkaline rocks were the products of a probable differentiation of a basaltic magma. On the other hand, it is explained that tectonic environment is an undoubtful tool in these events. The possibility of assimilation of Precambrian regional rocks for the events however must also be kept in mind.

The pleochroic haloes, found around biotite crystals of some of the syenites foyaites, might have been originated from primary biotite that was in the alkaline magma.

Bauxite occurs in the Itatiaia-Passa Quatro alkaline massif. Some of the bauxite are explored as a source of raw material for the production of aluminium sulphate.

In accordance with the data obtained from age determination by the Potassium-Argon method carried on with two samples of nepheline-syenite, the intrusion of the alkaline rocks of the Itatiaia occurred in Early Tertiary (64.3 and 64.7 million years)

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados de estudo geológico-petrográfico da província alcalina Itatiaia-Passa Quatro, localizada na serra da Mantiqueira, nos limites dos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Esta região já foi mencionada como exemplo de uma das maiores ocorrências de rochas sieníticas, com área de aproximadamente 1.300 km², conforme estimativa de Lamego⁴⁶. De acordo com os dados do mapa geológico elaborado durante as nossas pesquisas a área de rochas alcalinas é estimada em 330 km², correspondendo a menos da metade da extensão do maciço alcalino de Poços de Caldas, Minas Gerais. Do total desta área, o maciço do Itatiaia compreende 220 km² e o de Passa-Quatro 110 km².

Ambos os corpos de rochas alcalinas são de contorno elíptico sendo que o do Itatiaia tem seu maior eixo, com 31 km, na direção NW-SE e o menor, com 12 km, na direção NE-SW. O maciço de Passa Quatro possui o maior eixo na direção NE-SW e o menor na direção NW-SE, respectivamente com 17 e com 8 km de extensão.

O complexo alcalino do Itatiaia é formado de sienitos, foiaítos, pulaskitos, quartzo-sienitos, brechas e granito alcalino. A existência dos diferentes tipos petrográficos é mais uma consequência da distribuição dos minerais em proporções variáveis, bem como de modificações na textura, do que das diferenças mineralógicas.

Principalmente na área do planalto, onde afloram os quartzo-sienitos, há uma transição gradual de rochas saturadas a supersaturadas. Assim é que os teores de quartzo aumentam gradativamente de 2% nos quartzo-sienitos em contacto com as brechas, a mais de 5% nos nordmarkitos, e atingem o máximo de 27,5% no granito alcalino que aflora na parte central do maciço.

Os quartzo-sienitos que afloram mais ou menos na região central do maciço alcalino, devem representar a fase final da diferenciação magmática.

A textura granofírica, frequente nos quartzo-sienitos e no granito alcalino do Itatiaia, sugere cristalização final em cúpula de sistema fechado.

O contacto das rochas sieníticas, na maior parte da área, é com gnáisses pré-cambrianos, com orientação predominante N-NE, mergulhando para o sul. A sudeste, o maciço do Itatiaia esta em contacto pouco nítido com sedimentos clásticos pertencentes à bacia terciária (?) de Resende e com talus mais recentes que possivelmente recobrem rochas do embasamento cristalino.

As brechas magmáticas do Itatiaia mostram variações quanto à natureza, forma e dimensões dos fragmentos, quanto à relação quantitativa matriz-fragmentos e conseqüentemente quanto a côr. Além das brechas magmáticas, em algumas zonas ocorrem brechas monolitológicas de origem tectônica.

Para a gênese das rochas alcalinas é admitida uma provável diferenciação a partir de magma basáltico. Por outro lado, é também ressaltada a importância do ambiente tectônico nestes eventos, bem como da possível assimilação de rochas do embasamento.

Os halos pleocróicos evidenciados em cristais de biotita de alguns dos sienitos e foiaítos do Itatiaia, possivelmente se originaram em biotitas primariamente ligadas ao magma alcalino.

Na província alcalina Itatiaia-Passa Quatro há ocorrências de bauxito, algumas das quais já em exploração como fonte de matéria prima para a produção de sulfato de alumínio.

De acôrdo com os dados obtidos na determinação da idade, pelo método do potássio-argônio, em duas amostras de nefelina-sienito, a intrusão das rochas alcalinas do Itatiaia teria ocorrido no início do Terciário (64,2 e 64,7 milhões de anos).

INTRODUÇÃO E TRABALHOS ANTERIORES

Algumas das ocorrências de rochas alcalinas do Brasil já haviam sido descritas, antes que a atenção geral dos geólogos e petrólogos estivesse voltada para os seus problemas petrológicos, petrográficos, estruturais e genéticos. Assim é, que em 1887, Derby¹² escreve sobre as rochas alcalinas do Brasil, citando os foiaítos, sienitos e fonolitos do Itatiaia, além de mencionar o fato de que a primeira notícia sobre as rochas sieníticas do Brasil, fôra dada por Lasaulx, ao descrever uma amostra do Itatiaia, enviada por Bauer. Ainda é Derby¹³ que em 1889, num trabalho sobre os picos altos do Brasil, fala da atividade vulcânica que teria ocorrido na região do Itatiaia. Daí por diante, alguns geólogos e geomorfólogos, interessaram-se por investigar a área de rochas alcalinas do Itatiaia, sob diversos aspectos.

Em 1905, Dunsen¹⁵, num estudo sobre a flora do Itatiaia, dá um resumo da geologia regional, no qual estão citadas as cinco amostras alcalinas estudadas por Backstrom, entre as quais está o "alcali sienito quartzífero" das Agulhas Negras.

Em 1925, Oliveira⁵⁵, num estudo sobre as épocas metalogenéticas do Brasil, cita os magmas foiaíticos como relacionados ao diastrofismo herciniano.

Em 1936, Lamego⁴⁶ descreve a geologia e petrografia, além de discutir os aspectos relativos à gênese do maciço alcalino do Itatiaia. Este trabalho pioneiro tem o mérito de ser acompanhado pelo mapa geológico da enorme área, classificada então como a segunda do mundo, com 1.224 km² de rochas alcalinas.

Em 1938, Pinto⁶⁰ menciona as ocorrências de bauxito do Itatiaia.

Em 1944, 1947, 1951 e 1956, Freitas^{23 24, 25, 26}, estudando as ocorrências de rochas alcalinas do Brasil meridio-

nal, estabelece a relação das intrusões destas rochas insaturadas com fenômenos correspondentes, ligados ao tectonismo da Serra do Mar e Mantiqueira. Admite ainda para o caso especial do Itatiaia, uma origem mista, ou seja, plutônica e vulcânica.

Em 1947, Guimarães³¹ defende a tese da origem das rochas alcalinas por diferenciação de um magma básico, relacionado ao derrame basáltico que atingiu grande área do sul do Brasil. Ressalta por outro lado, a importância do ambiente tectônico

Em 1957, Pierson, Haynes e Ribeiro Filho⁵⁹, ao citarem anomalias radioativas detectadas nas rochas alcalinas do Itatiaia, recomendam um levantamento pormenorizado da área.

Em 1959, Mau e Coutinho⁵² estudaram veio carbonático com terras raras e tório, no Maciço do Itatiaia.

Todos os outros trabalhos abaixo mencionados, abordaram principalmente aspectos geomorfológicos da região do Itatiaia e das zonas circundantes.

Silveira⁶⁸, De Martone¹⁰, Rich⁶², Domingues¹⁴, Ruellan⁶³,⁶⁴ Ab'Sáber e Bernardes¹, King⁴³, e Maack⁴⁹ discutiram essencialmente os problemas concernentes à possível glaciação pleistocênica do Itatiaia, acumulando argumentos que a comprovariam.

Em 1955, Odman⁵⁴ esclarecendo que não seria possível um trabalho conclusivo, tanto pela escassez do tempo quanto pelo pequeno número de observações, salienta principalmente dois argumentos contrários à glaciação pleistocênica do Itatiaia: a origem dos panelões e caneluras por intemperismo, e a dificuldade de harmonizar-se a linha de neve perene com as altitudes máximas do Itatiaia.

Mais recentemente, Ebert¹⁷ volta ao tema abordado pelos autores que o precederam, para demonstrar as evidências da glaciação pleistocênica na parte nordeste do maciço alcalino.

Em 1961, Teixeira⁷², estudando o relêvo e padrões de drenagem do Itatiaia, menciona os fenômenos ligados à intrusão de um dique anelar de tinguaito.

Parece estranho que tenhamos escolhido para assunto da nossa tese de doutoramento, uma área como esta do Itatiaia, que já fôra motivo para algumas investigações petrográfico-geológicas e geomorfológicas. Entretanto o fizemos, primeiro, por tratar-se de uma extensa área, que apesar de estar próxima aos dois maiores centros demográficos e industriais do País, perdurava com a geologia mal conhecida. Muitos dos problemas petrográficos, petrológicos, genéticos e estruturais, bem como as relações que entre êles existem, estavam a merecer melhor estudo. Fomos levados a executar êste trabalho, também por acreditarmos que a constante e natural evolução dos conhecimentos geológicos, particularmente os referentes às rochas alcalinas, tão estudadas nos últimos anos, abre novas perspectivas e possibilidades para observações e interpretações. Corroboram com as razões já citadas, a certeza que tínhamos, de que tanto as condições materiais, como a facilidade de acesso ao local, permitiriam elaborar um mapa geológico em escala conveniente, bem como, abordar aspectos ainda não ventilados pelos geólogos que nos antecederam.

AGRADECIMENTOS

Consignamos os nossos melhores agradecimentos ao Prof. Dr. Viktor Leinz, pela valiosa orientação que deu a êste nosso trabalho.

A execução dêste trabalho foi facilitada pela eficiente colaboração dos administradores do Parque Nacional do Itatiaia, Agrônomos Antônio Garcia e Raimundo Girard Barros da Silva. Entre os vários funcionários do Parque Nacional que nos auxiliaram destacamos os Srs. Hélio Gouveia e Fernando Ribeiro.

Ao Dr. José Moacyr V Coutinho, agradecemos o auxílio prestado na solução de alguns problemas petrográficos.

Agradecemos ao Prof. Mauro Ricci por nos ter ajudado na parte de fotogrametria.

Somos gratos ao Dr. Faustino Penalva, nosso companheiro durante os trabalhos de campo e coautor do mapa geológico.

Ao Dr. Sérgio E. do Amaral somos agradecidos pela ajuda que nos prestou na revisão do texto.

À Sra. Melany Thereza Isauk, agradecemos a esmerada confecção de tôdas as lâminas petrográficas e seções polidas usadas na realização das nossas pesquisas.

TERMINOLOGIA E MÉTODOS

A classificação das rochas e os termos texturais empregados nas descrições litológicas do presente trabalho, foram baseados principalmente nos compêndios de Heinrich³⁵, Johannsen⁴¹, e Williams, Turner e Gilbert⁷⁸

Para definir a granulação foi adotado o critério de Williams et al., segundo o qual, são rochas de granulação fina aquelas que possuem a maioria dos grãos com diâmetro inferior a 1 mm; são de granulação média, quando entre 1 e 5 mm; de granulação grossa, quando entre 0,5 e 3 cm; muito grossa quando maior que 3 cm.

Ao termo que define a rocha, quando necessário, foi adicionado o nome de um ou mais minerais acidentais. Quanto maior a porcentagem do mineral acidental, tanto mais próximo estará o seu nome da palavra que define a rocha. Assim, nefelina-sodalita-foiaíta qualifica um foiaíta que contém nefelina e sodalita, porém êste último em maior porcentagem.

Para facilitar a identificação e contagem dos feldspatóides, algumas lâminas foram atacadas por ácido clorídrico concentrado e posteriormente coradas por azul de metileno diluído (Wahlstrom⁷⁷)

A composição modal das rochas foi determinada aplicando-se o **contador por pontos: "Point Counter"** (Chayer⁶, 7)

As amostras para análises químicas foram coletadas obedecendo-se a relação existente entre a granulação média da rocha, precisão da análise e quantidade de amostra (Laffite ⁴⁵).

MAPAS E DELIMITAÇÃO DA ÁREA

A área das nossas investigações geológicas, encravada na serra da Mantiqueira, está situada próxima à Br-2, no trecho desta estrada que liga o Rio de Janeiro a São Paulo. Abrange terras dos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo, localizadas nos municípios de Resende, Itanhandu, Passa Quatro, Cruzeiro, Lavrinhas e Queluz. Como principais pontos de referência temos as cidades de Itatiaia e Engenheiro Passos, ambas no estado do Rio de Janeiro e situadas respectivamente nos trechos compreendidos entre os marcos quilométricos 155 e 168 da Br-2 (via Presidente Dutra) (Fig. 6)

As principais vias de acesso são as rodovias Br-2 e Rio-Caxambu (Br-58), e as estradas que ligam as três cidades mineiras de Itamonte, Itanhandu e Passa Quatro.

O sistema de drenagem da região, abrange rios que fazem parte da bacia do rio Paraíba, entre os quais podem ser mencionados alguns da vertente sul, como os rios do Salto, Palmital, Itatiaia, Campo Belo, e rios que pertencem à drenagem da bacia do Paraná tais como o Capivari, Verde e Aiuruoca.

Neste nosso trabalho trataremos de dois corpos distintos de rochas alcalinas, que, para facilidade de explanação, serão denominados Maciço do Itatiaia e Maciço de Passa Quatro, por estarem localizados próximos às cidades de mesmo nome. Ab'Sáber e Bernardes ¹, fazem referência ao Maciço de Passa Quatro, denominado de serra ou maciço de Queluz por Ruelan, e que constitui um bloco monolítico isolado do Maciço do Itatiaia pela garganta do Registro.

O único mapa geológico da região foi executado por Lamego⁴⁶, na escala de 1:600.000, sendo portanto inadequado para o levantamento geológico com os pormenores necessários ao nosso trabalho.

O mapa altimétrico executado em 1957, por Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S. A., por solicitação do Minis-

tério da Agricultura, abrange somente 1/3 da área total a ser coberta pelo mapa geológico. Esta área, que está situada na parte central da região pesquisada, corresponde ao território de propriedade do Parque Nacional do Itatiaia.

Para solucionar esta dificuldade de mapa base, foi então elaborado um mapa planimétrico, por extensão periférica do mapa pré-existente, de modo a cobrir toda a região de interesse. Este mapa planimétrico complementar, foi construído pelo processo de triangulação radial gráfica, aplicando-se o método de decalque ("Hand Templet Method"), através do qual se tornou possível a obtenção de pontos suplementares de controle na parte periférica, a partir de pontos de controle tirados do mapa executado pela Cruzeiro do Sul S. A. Estes pontos suplementares permitiram assim, que os pormenores das fotografias aéreas fossem transferidos corretamente, por meio de câmara clara fotogramétrica ("Aero-Sketchmaster")

Durante a elaboração do mapa geológico, as observações de campo foram inicialmente compiladas em mapa com a mesma escala das fotografias aéreas (1:25 000) Posteriormente, para facilidade de publicação, os dados assim obtidos foram transportados para um outro mapa reduzido à escala de 1:50.000. Noutro de escala 1:100.000, construído pela junção de mapas municipais, estabelecemos a relação dos corpos alcalinos do Itatiaia e de Passa Quatro.

No Itatiaia, as linhas de contacto das rochas alcalinas com o embasamento cristalino, admitidas como verificadas, não correspondem a contactos lado a lado, de rochas no estado fresco, mas sim, a zonas de contacto acompanhadas no campo e com precisão variável entre 20 e 100 metros. Isto decorre, naturalmente, do intenso intemperismo a que as rochas estão sujeitas e da densa cobertura vegetal.

As linhas de demarcação dos contactos inferidos foram estabelecidas por dedução das observações de campo e por foto-interpretação.

No caso dos sienitos, brechas e quartzo-sienitos, em que a passagem de um para outro tipo de rocha é gradual, as linhas de contacto quase sempre marcam as zonas de transição.

O mapa executado abrange uma área total de 600 km², dos quais somente 221 km² correspondem a rochas alcalinas. Os sienitos e foiaítos perfazem uma área de 190 km², os quartzosienitos 21 km², e as brechas 10 km².

Durante tôdas as fases de execução do mapa geológico, contamos com a valiosa colaboração do colega Faustino Penalva.

GEOLOGIA GERAL

Na área estudada afloram rochas metamórficas do Pré-Cambriano brasileiro, constituindo diferentes tipos de gnaisses, com xistosidade predominante entre NE e ENE, mergulhando para o sul de 20 a 80°.

Na maior parte da área estas rochas são de difícil observação, por se apresentarem com espesso manto de decomposição.

Mesmo nas zonas de contacto com as rochas sieníticas, a xistosidade regional persiste, o que de certo modo indica que se a intrusão alcalina causou deformações nas rochas do embasamento, estas não se evidenciam.

Alguns diques de rochas básicas e também de rochas alcalinas afaníticas cortam os gnaisses.

Em um afloramento somente, pudemos observar evidências de fenitização parcial do gnaisse. Entretanto, o estado de alteração das rochas não permitiu que a passagem do gnaisse a gnaisse fenitizado, fôsse melhor estudada.

São estas rochas do embasamento cristalino, que limitam os dois corpos de rochas alcalinas, que se salientam na topografia, tanto por modelarem relevos de maiores altitudes, quanto por constituírem bons afloramentos na maior parte da área em que ocorrem.

As rochas alcalinas do Itatiaia apresentam grande diversificação na granulação, na textura, no arranjo dos componentes minerais, e conseqüentemente no aspecto macroscópico. Embora formem corpos de dimensões médias, quando comparados às intrusões de rochas alcalinas de outras partes do globo terrestre, confirmam a regra estabelecida por Backlund³, quanto à variabilidade dos tipos petrográficos, pois ali ocorrem di-

ferentes tipos de rochas, como sejam: sienitos, nefelina-sienitos, sodalita-nefelina-sienitos, sodalita-sienitos, aegirina sienitos, aegirinaugita-hornblenda-sienito, hornblenda-sienito, biotita-hornblenda-sienito, biotita-sienito, sienito bandeado, quartzo-sienitos, foiaítos, brechas e granito alcalino.

As rochas sieníticas distinguem-se principalmente pela variação no conteúdo de máficos, pela desigualdade nas proporções de nefelina e pelas modificações texturais.

Na escarpa sul do maciço alcalino do Itatiaia, a leste de Engenheiro Passos, ocorrem sedimentos clásticos admitidos como pertencentes à bacia terciária de Resende, cobertos parcialmente por espesso manto de talus. Este talus é formado por seixos e blocos dos vários tipos de rochas alcalinas que existem no Itatiaia, e em menor porcentagem por seixos e blocos de gnáisses.

Os dois corpos de rochas alcalinas, o do Itatiaia e o de Passa Quatro, situados à esquerda do vale do rio Paraíba, com êle contras am por apresentarem um desnível de 2.000 metros, entre o vale e a região do planalto.

ROCHAS DO EMBASAMENTO CRISTALINO *

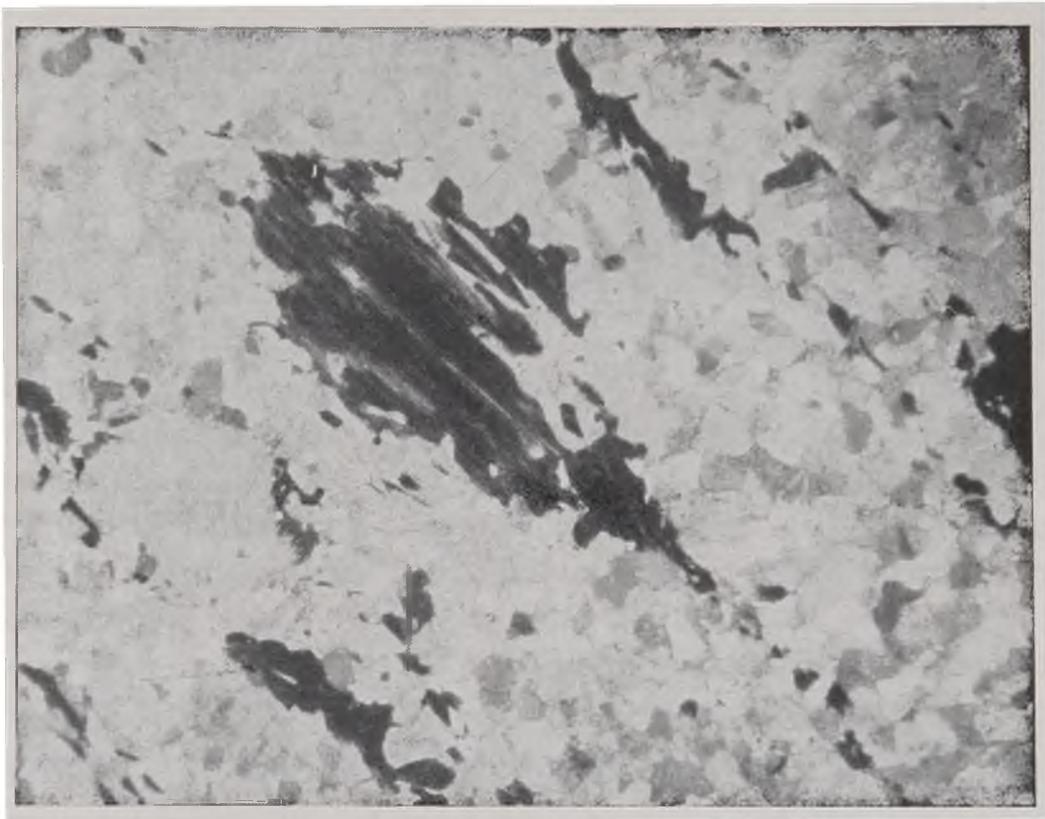
Biotita-gnaïsse. Ocorre na estrada Rio-Caxambu, e com mais freqüência na estrada para Mauá.

São rochas de granulação média a grossa, textura granoblástica e xistosidade nítida, onde faixas de biotita sobressaem. Em várias amostras o ortoclásio é o feldspato mais freqüente, enquanto o plagioclásio um mineral subordinado. Amostras há, em que a porcentagem de plagioclásio aumenta, sem contudo chegar a igualar-se à porcentagem de ortoclásio. Os cristais de biotita são lamelares e alongados, imprimindo à rocha nítida xistosidade.

Biotita-hornblenda-gnaïsse. Ocorre em vários afloramentos da estrada para Mauá. E' uma rocha escura de granulação média, textura granoblástica, com a xistosidade bem marcada

* Ver mapa dos afloramentos (Fig. 6)

pelas faixas claras e escuras que se alternam. Os cristais de ortoclásio e quartzo são equigranulares. A albita forma cristais sub-idiomorfos maiores, porém existe em menor porcentagem que o ortoclásio. A hornblenda é o máfico mais abundante. Está presente tanto em cristais alongados segundo a xistosidade, como em cristais maiores não orientados. Os cristais de biotita são lamelares e bem orientados (fotomicrog. 1).



Fotomicrografia 1 — Estrutura orientada em biotita-hornblenda-gnaisse. x 25. Nicol a 60°.

Hornblenda-gnaisse. Ocorre nas fazendas Dois Irmãos e Valparaíso, próximo ao contacto sudoeste do maciço alcalino. É uma rocha clara, de granulação média, textura granoblástica e com a xistosidade proeminente graças às faixas regulares de hornblenda. Contém principalmente albita, ortoclásio perítico, quartzo, hornblenda e pequena porcentagem de biotita. Neste hornblenda-gnaisse são comuns bandas escuras formadas por concentração de biotita. Nestas bandas há também cristais de diopsídio, isolados ou inclusos na biotita.

Gnaisse granítico. Aflora em vários cortes da estrada do Registro para as Agulhas Negras, e no trecho da estrada Rio-Caxambu compreendido entre Registro e a Capelinha. É uma rocha clara, de granulação média e de textura equigranular. Os componentes mineralógicos principais são feldspato e quartzo. Subordinadamente existe biotita, hornblenda, granada e ilmenita.

Gnaisse quartzítico. Ocorre no caminho de Mauá para as Agulhas Negras, próximo ao contacto com as alcalinas. É uma rocha semelhante ao gnaisse-granítico, com maior porcentagem de quartzo.

Gnaisse migmatítico. Aflora numa pedreira próxima ao km 12 da rodovia Rio-Caxambu, no município de Queluz. Este afloramento está localizado perto da zona de contacto com o corpo alcalino de Passa Quatro. Esta rocha se caracteriza pela estrutura gnáissica predominante e pela abundância de estruturas semelhantes a dobras ptigmáticas. Ao longo do afloramento aparecem áreas de rocha clara, de textura granular e rica em granada, cujas dimensões dos cristais variam de milímetros até 10 cm. Há também faixas claras pegmatóides, quartzo-feldspáticas, que exibem textura gráfica e grandes cristais centimétricos de biotita.

A rocha gnáissica apresenta estrutura fitada, constituída por faixas escuras, ricas em biotita, que se alternam irregularmente com faixas claras de estrutura granular-gnáissica.

Na análise microscópica desta rocha preferimos distinguir duas partes. Estudo da rocha escura de estrutura gnáissica e estudo da rocha clara, de textura granular e rica em granada.

A rocha escura contém ortoclásio e plagioclásio (andesina) idioblásticos ou sub-idioblásticos, biotita, quartzo, granada e minerais opacos.

A rocha clara é rica em quartzo e granada, embora contenha subordinadamente ortoclásio, plagioclásio, biotita e minerais opacos (Fotos 1 e 2)

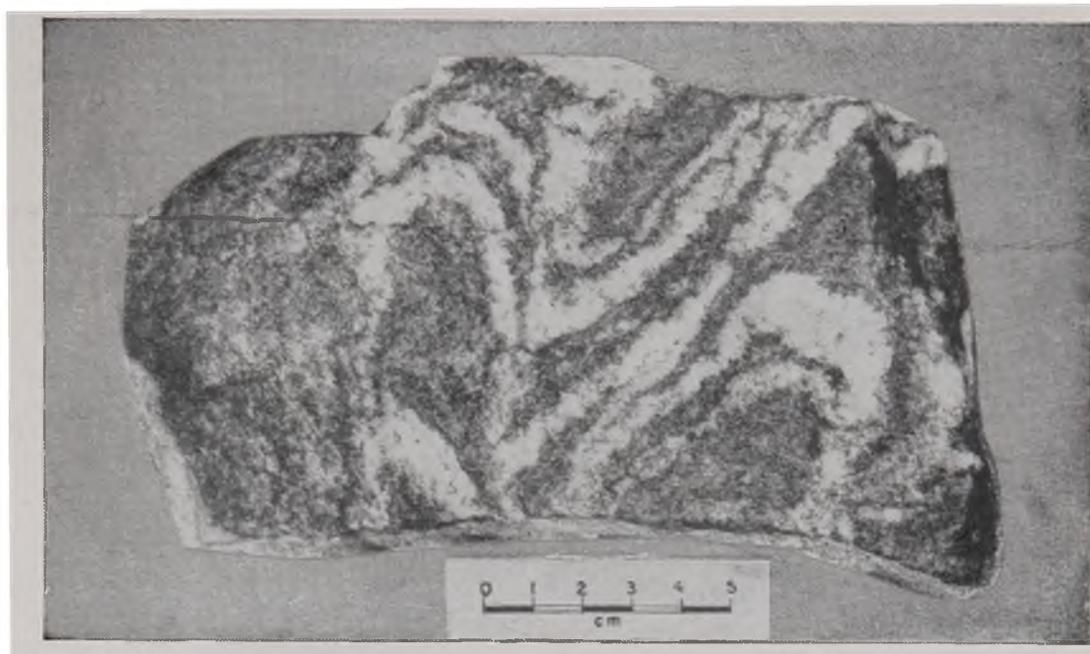


Foto 1 — Gnaiss migmatítico. Pedreira do km 12 da estrada Rio-Caxambu.

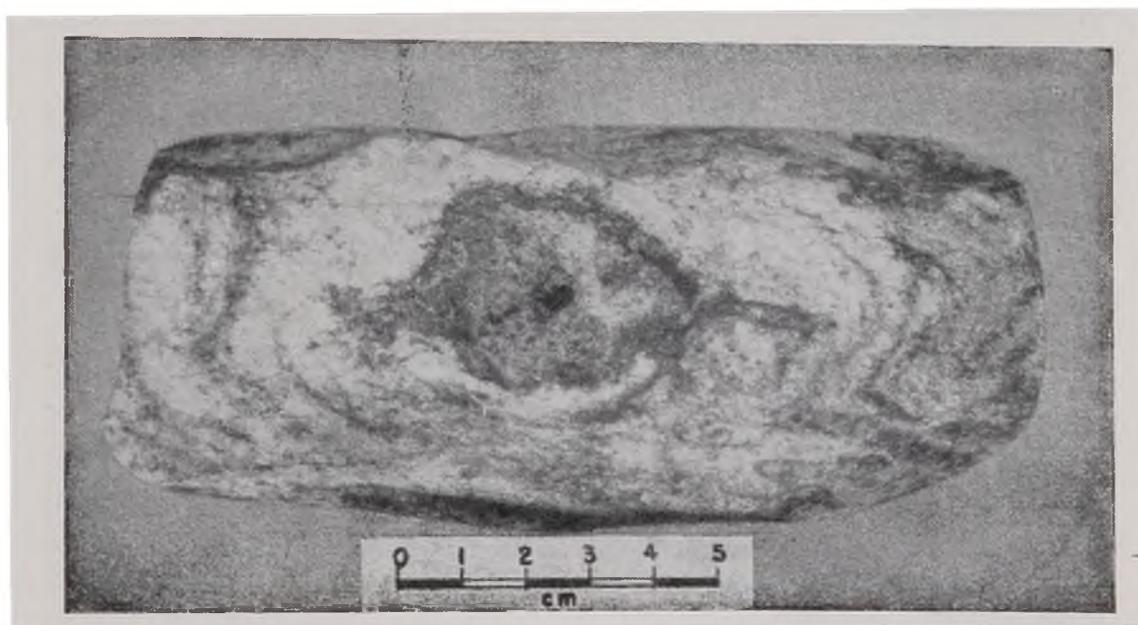


Foto 2 — Gnaiss migmatítico com cristal de granada. Pedreira do km 12 da estrada Rio-Caxambu.

Anfibolito. Ocorre próximo à margem esquerda do ribeirão Bonito e a sudeste dos Três Picos, em contacto com biotita-gnaiss. É uma rocha escura, de granulação fina e textura granoblástica. A atitude de sua xistosidade, E-W mergulhando para sul, coincide com a das encaixantes comuns, os gnaisses. Os minerais constituintes desta rocha são grandes cristais ou agregados de hornblenda, quartzo, andesina e biotita. Alguns veios claros, compostos de quartzo e feldspato, cortam o anfibolito.

Biotita-gnaiss alcalino. Aflora próximo à zona de contacto do embasamento cristalino hornblenda gnáissico, com as rochas sieníticas, a oeste do rio Carrapato, afluente do rio Paraíba e na região da fazenda Dois Irmãos.

Trata-se de uma rocha leucocrática em que listras claras e escuras se alternam regularmente, infundindo-lhe gnaissificação proeminente.

A textura é granoblástica, a estrutura gnáissica e a granulação variável de fina a média conforme a listra que se considere. Nas listras claras, constituídas principalmente de albita e ortoclásio a granulação é fina. Nas listras escuras compostas principalmente de biotita e hornblenda a granulação varia de fina a média.

Na composição mineralógica encontramos albita e ortoclásio (90,2%), quartzo (1,6%), biotita (3,8%), hornblenda (1,4%), minerais opacos, zirconita, titanita e fluorita (3,0%)

Há zonas em que o biotita-gnaiss contém faixas xistosas formadas de cristais alongados de biotita e augita.

A análise química bem como a composição mineralógica desta rocha poderiam sugerir sua formação a partir de gnaiss posteriormente fenitizado pelo magma alcalino. Entretanto as relações de campo e a análise petrográfica não fornecem elementos seguros quanto à possibilidade de gênese por processo metassomático (Fotos 3 e 4)

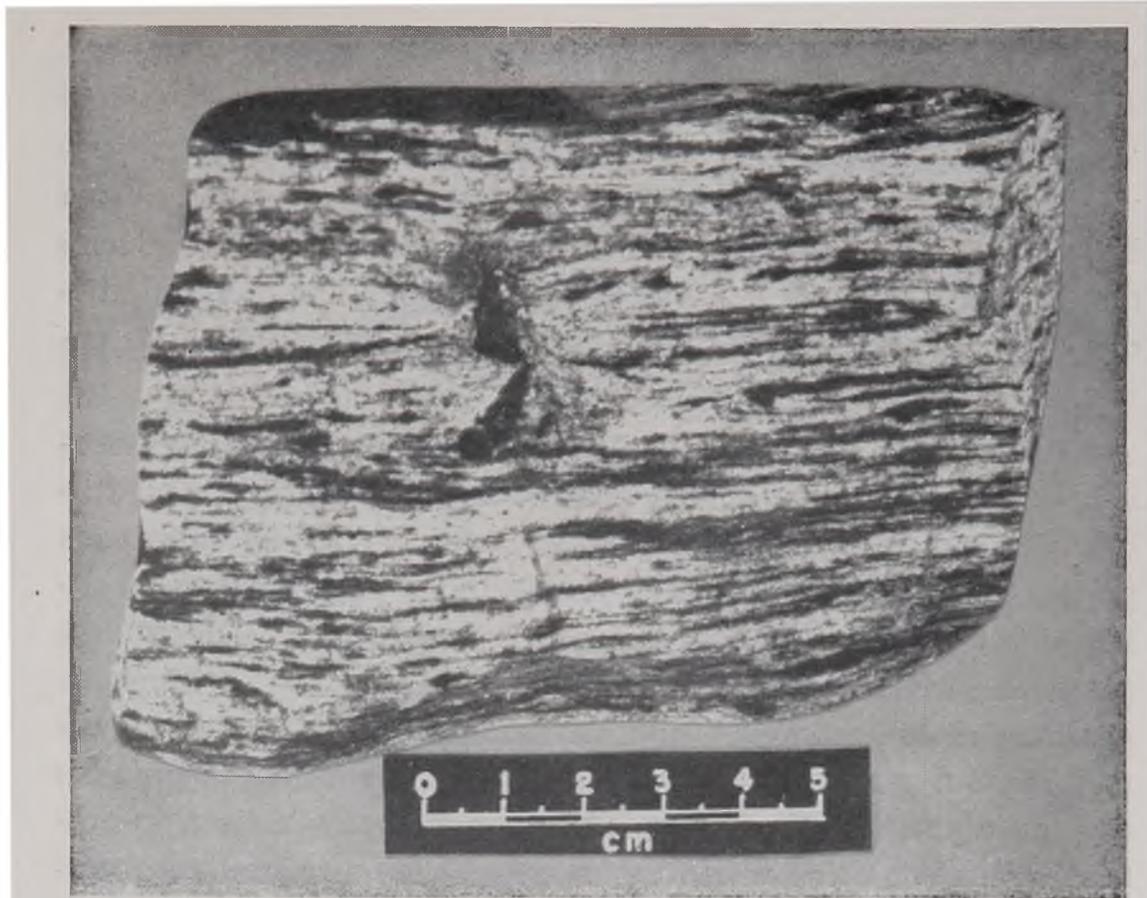


Foto 3 — Biotita-gnaisse alcalino. Fazenda Dois Irmãos.

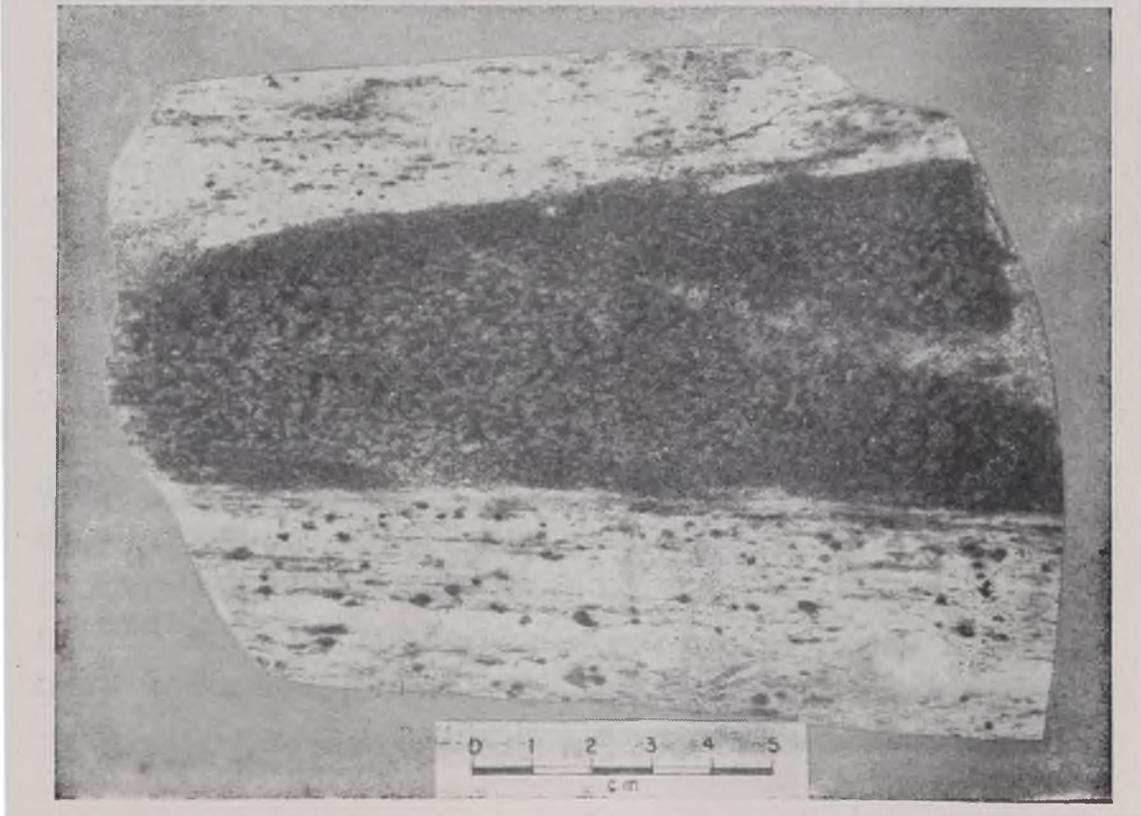


Foto 4 — Biotita-gnaisse alcalino com faixa escura rica em biotita e augita. Fazenda Dois Irmãos.

SEDIMENTOS

Em parte da escarpa sul do maciço alcalino, desde as proximidades de Engenheiro Passos a oeste, até a estrada para Mauá, a leste, o contacto das rochas alcalinas com o embasamento cristalino está coberto por sedimentos clásticos admitidos como pertencentes à bacia terciária de Resende, bem como por espessos depósitos de talus.

Sedimentos clásticos. As camadas avermelhadas, amareladas, ou ainda esverdeadas destes sedimentos são constituídas de argilitos, siltitos, arenitos e arenitos conglomeráticos pouco consolidados. Existe a possibilidade das rochas alcalinas do Itatiaia terem contribuído para a formação destes sedimentos. Neste caso, deveríamos encontrar entre os minerais pesados, alguns daqueles que são comuns somente nas alcalinas, como é o caso da titanita. A análise dos minerais pesados revelou a presença de minerais componentes das rochas do embasamento tais como ilmenita, zircão, granada, turmalina e monazita. Entretanto, não encontramos, como seria de se supor, a titanita, mineral pesado, freqüentemente e às vêzes abundantemente observado nos sienitos, nefelina-sienitos e foiaítos do Itatiaia.

A ausência de titanita nestes sedimentos poderia ser explicada das seguintes maneiras:

1.º A contribuição das rochas sieníticas para a formação dos sedimentos seria muito pequena, quando comparada com a grande quantidade de clásticos provenientes do gnaiss regional. Neste caso, a titanita, por estar muito diluída entre os outros minerais pesados mais comuns, raramente seria encontrada.

Convém salientar, entretanto, que esta diluição é pouco provável diante da estabilidade da titanita (Milner¹²), e da proximidade das rochas alcalinas da bacia sedimentar.

2.º A deposição dos sedimentos efetuou-se em época em que a erosão, transporte e deposição, eram ativos sobre o teto gnáissico que recobria as rochas alcalinas.

Preferindo esta segunda explicação, cremos que os freqüentes blocos de rochas alcalinas que aparecem como que afundados nos sedimentos terciários, podem ser originados por fenômenos posteriores à deposição dos sedimentos, mas contemporâneos à deposição do talus.

Depósito de talude. E' constituído de blocos dos vários tipos de rochas alcalinas que ocorrem no Itatiaia e em Passa Quatro, com dimensões variáveis de centímetros a alguns metros. Há blocos enormes que superam a 100 metros cúbicos. Os matações de gnaisses são menores e menos freqüentes. Tanto os blocos de rochas alcalinas como os de gnaisses, estão total ou parcialmente imersos em matriz mais fina que varia de argilosa a conglomerática. São comuns os blocos de rochas alcalinas que exibem decomposição esferoidal. Muitas vêzes os seixos ou pequenos blocos das rochas alcalinas apresentam uma capa de bauxitização, ainda que internamente persista um núcleo de rocha mais fresca. Lugares há, em que êstes seixos e blocos de alcalinas alteradas, constituem verdadeiros depósitos de bauxito, alguns dos quais já em exploração.

As linhas de contacto do depósito de talus com as rochas alcalinas, bem como com os sedimentos da bacia terciária, não podem ser traçadas com precisão, porque não há contacto nítido entre estas rochas.

ROCHAS DA INTRUSÃO ALCALINA

Aproximadamente metade da área de ocorrência das rochas alcalinas está compreendida em terras que pertencem ao Parque Nacional do Itatiaia, subordinado ao Ministério da Agricultura.

A intrusão alcalina do Itatiaia é de conformação externa aproximadamente elíptica, com eixo maior na direção NW-SE. O limite NW está no estado de Minas Gerais, no local denominado Capelinha, e a SE está no estado do Rio de Janeiro próximo à cidade de Itatiaia.

Da área total de 221 km², 190 km² correspondem a sienitos e foiaítos; 10 km² a brechas e 21 km² a quartzo-sienitos.

Tal como acontece em outras regiões do mundo onde ocorrem rochas alcalinas, as rochas do Itatiaia apresentam variações quanto ao jazimento, à textura, à granulação, à cor, e quanto à composição mineralógica. Dêste fato decorrem os diferentes aspectos das rochas, reconhecíveis mesmo macroscopicamente. As diferenças texturais e de coloração nem sempre correspondem a variações proporcionais na composição mineralógica.

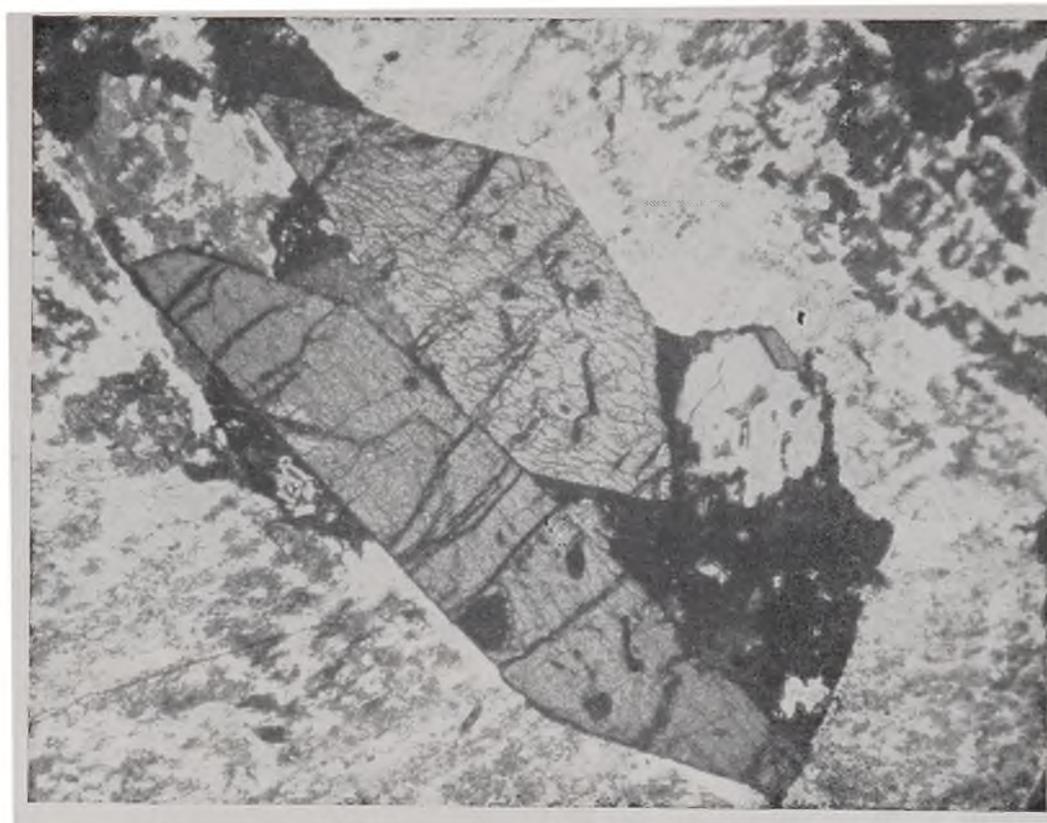
No mapa geológico serão diferenciados somente quatro tipos de rochas alcalinas, ou sejam, os sienitos e foiaítos, quartzosienitos, granito alcalino e brechas magmáticas. Este critério adotado na execução do mapa, nem de longe expressa as variações que existem em cada um destes tipos de rochas, que pela irregularidade com que se sucedem ou se alternam, são de delimitação impraticável. Entretanto, no correr da descrição petrográfica, situaremos os locais em que ocorrem as diferentes rochas e anexaremos ao trabalho um mapa das ocorrências. Os locais em que afloram rochas com concentração de nefelina, titanita, quartzo e xenólitos serão marcados no mapa geológico.

NEFELINA-SIENITOS E SIENITOS

Ocorrem nas imediações da sede do Parque Nacional do Itatiaia, na estrada do P. N. I.* para a estação da TV Tupi, nas proximidades do barraco de Mauá e às margens do rio Prêto e do rio Itatiaia. São rochas de cor clara a cinza, de granulação variável de fina a grossa e de textura granular ou granular-traquitóide. Os cristais de micropertita são sub-idiomorfos a idiomorfos. Os cristais de albita são raros. A nefelina existe em porcentagens variáveis, chegando até a 40,6% da rocha, sob a forma de cristais sub-idiomorfos. Nas rochas em processo de alteração, a limpidez dos cristais de nefelina contrasta com o aspecto embaciado dos feldspatos. Os minerais máficos mais comuns são aegirinaugita e biotita. Hornblenda é menos frequente. Os minerais acessórios são principalmente titanita, apatita e magnetita. O zircão é raro. Em alguns afloramentos,

* P.N.I. — Parque Nacional do Itatiaia.

os cristais idiomorfos e bem desenvolvidos de titanita, que atingem mais de 0,5 cm, ressaltam pela abundância. Há também afloramentos onde a sodalita é bastante proeminente, para que preferíssemos a classificação da rocha como nefelina-sodalita-sienito (fotomicrog. 2).



Fotomicrografia 2 — Cristais de titanita e de micropertita em nefelina-sienito. x 25. Nicóis+.

Há cortes da estrada da sede do P. N. I. para a TV Tupi, em que o nefelina-sienito se apresenta com zonas pegmatóides, com grandes cristais de ortoclásio, nefelina e biotita (Foto 5).

Em algumas lâminas evidencia-se a textura poiquilítica onde os cristais xenomorfos de hornblenda contêm inclusões de titanita, apatita, zircão e de biotita. São mais raras as inclusões de titanita, apatita e zircão na biotita. Entretanto, há lâminas que mostram inclusões de zirconita ou de apatita, na biotita, formando halos pleocróicos.

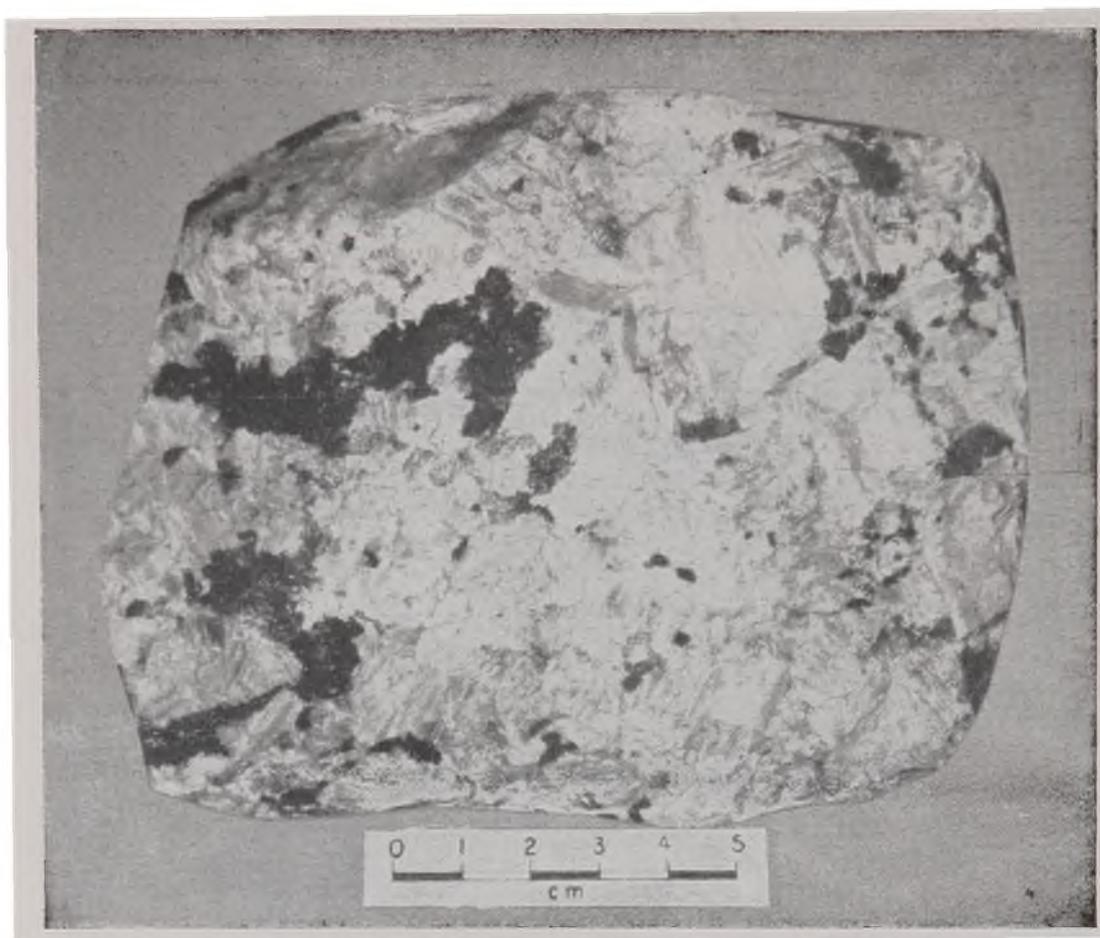


Foto 5 — Biotita-nefelina-sienito pegmatóide. Estrada do P.N.I para a TV-Tupi.

Em algumas lâminas os minerais máficos apresentam a associação diopsídio-hornblenda, em outras hornblenda-augita, e às vezes somente arfvedsonita-biotita.

São comuns os cristais de aegirinaugita que exibem uma parte central verde clara, rodeada por uma orla de verde mais intenso, com pleocroísmo mais acentuado (fotomicrog. 3).

Sodalita-nefelina-sienito. Aflora em alguns cortes da estrada entre o abrigo Macieiras, localizado a 14 km da sede do P. N. I., e a estação da TV Tupi. Aparece como manchas dentro do nefelina-sienito e dos foiaítos, sem contactos definidos. É uma rocha de granulação grossa, leucocrática e de textura granular a traquitóide. Seus constituintes mineralógicos são micropertita sob a forma de cristais sub-idiomorfos, ou em ri-



Fotomicrografia 3 — Cristal de aegirinaugita com borda de aegirina. x 63. Nicóis +.

pas idiomórficas, nefelina e minerais do grupo da sodalita. Biotita muscovita e plagioclásio são raros. Os minerais acessórios, também raros, são a titanita, apatita e magnetita.

Nefelina-microsienito. Ocorre à altura do km 10 da estrada que liga a sede do P.N.I. à estação da TV Tupi, onde constitui um dique que corta o nefelina-sienito. Ocorre também formando manchas dentro dos sienitos e foiaítos. É uma rocha de coloração cinza, granulação fina a muito fina e de textura hipidiomórfica granular. Há faixas em que os cristais alongados de biotita estão orientados. Na sua composição mineralógica observamos micropertita, nefelina, ripas de aegirina, hornblenda e biotita. São raros os cristais idiomorfos de oligoclásio. Os minerais acessórios são titanita, magnetita, pirita e apatita.

Este mesmo tipo de rocha aflora também em algumas zonas das rochas que formam a estrutura anelar no limite nordeste do maciço alcalino. Ali os sienitos e nefelina-sienitos, predominantemente de granulação grossa ou média, apresentam partes em que a granulação passa a fina, sem que haja possibilidade de se delinear estas transições, tal a frequência e irregularidade com que se verificam. O estudo microscópico destas rochas, revelou a existência de textura hipidiomórfica granular e da seguinte composição mineralógica: micropertita, nefelina, biotita, hornblenda, titanita, magnetita e apatita. As variedades locais diferem principalmente quanto à maior ou menor porcentagem de nefelina e titanita. Há afloramentos, como é o caso da Pedra do Leão, em que o nefelina-microsienito passa a microsienito, por ausência completa de nefelina.

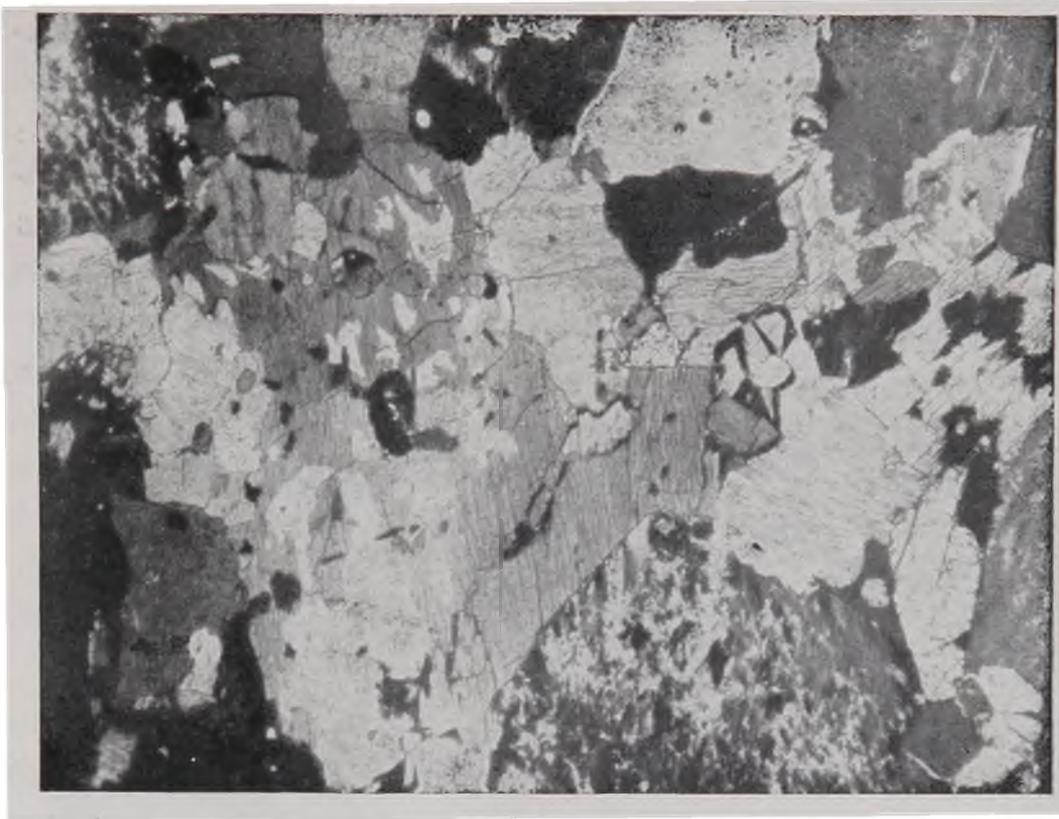
Hornblenda-nefelina-sienito. Esta rocha constitui manchas dentro do nefelina-sienito, à altura do km 5 da estrada da sede do P.N.I. para a TV Tupi. É uma rocha cinza, com zonas de concentração de minerais escuros, de granulação grossa e de textura granular-poiquilitica.

A porção clara da rocha é constituída de micropertita, nefelina, hornblenda, biotita, e tem como minerais acessórios a titanita, apatita, magnetita, zircão e fluorita. São raros os cristais de plagioclásio.

As partes escuras apresentam-se sob a forma de agregados cristalinos "schlieren", cujas dimensões variam de 1 a 5 cm. Estes agregados, formados principalmente de hornblenda e biotita, muitas vezes evidenciam estrutura orientada. Os grandes cristais de hornblenda, com textura poiquilitica, contém inclusões de biotita, de aegirinaugita e dos minerais acessórios (fotomicrog. 4)

Há alguns cristais de hornblenda que estão parcialmente transformados nas bordas, em hastingsita. São mais raros os cristais de hornblenda, com bordas azuladas de arfvedsonita.

Biotita-hastingsita-sienito. Aflora à altura do km. 7 da estrada de sede do P.N.I. para a estação da TV Tupi. Está re-



Fotomicrografia 4 — Cristais de micropertita e de hornblenda com inclusões de augita. Sodalita-nefelina-sienito. x 25. Nicóis +.

lacionada aos nefelina-sienitos da região, ao lado dos quais aparece constituindo manchas irregularmente distribuídas. É uma rocha clara, de granulação média, textura granular-traquíticoide, que exhibe uma estrutura fitada, originada por faixas escuras com concentração de biotita e hastingsita.

A orientação das ripas ou dos cristais alongados de biotita, hastingsita e titanita, salienta a textura granular-traquíticoide das faixas escuras.

Os constituintes minerais desta rocha são: micropertita, nefelina, hornblenda, hastingsita e biotita. A titanita é o acessório mais abundante. Subordinadamente aparecem a apatita, zirconita e magnetita.

Os cristais de hastingsita, na maioria são idiomorfos, apresentam-se com coloração verde azulada, e às vezes, estão geminados segundo o plano 100.

Aegirina-sienito. Ocorre nos cortes da estrada do P.N.I. para a TV Tupi, à altura do km 12 e a 1500m de altitude. Constitui pequenas manchas irregulares não orientadas, dentro dos nefelina-sienitos. É uma rocha leucocrática, ainda que macroscopicamente dê idéia de rocha escura. Apresenta granulação grossa, textura granular-traquitóide e zonas mais escuras por enriquecimento em ripas aciculares de aegirina (fotomicrog. 5). Na composição mineralógica observamos microp-



Fotomicrografia 5 — Ripas de aegirinaugita em sienito. x 12.
Nicóis II.

tita xenomorfa, albita, biotita, aegirina e os minerais acessórios titanita, magnetita, apatita e zircão. Os cristais de albita são geralmente idiomorfos. Os cristais de biotita estão na maioria transformados em aegirina. São comuns os grandes cristais de aegirina que contêm pequenas inclusões de biotita, com contorno irregular semelhante à bordas de corrosão.

Alguns cristais de biotita com inclusões de zircão, exibem halos pleocróicos.

Aegirinaugita-hornblenda-sienito. Esta rocha forma manchas irregularmente distribuídas, dentro do hornblenda-nefelina-sienito já descrito, que aflora a altura do km 5 da estrada P.N.I.-TV Tupi.

É uma rocha cinza escura, de granulação fina e de textura hipidiomórfica granular orientada. Os minerais que a compõem são micropertita, hornblenda, aegirinaugita, titanita, apatita, magnetita e zircão. São raros os cristais de albita, hastingsita e de arfvedsonita.

Os cristais de hornblenda, comumente contêm inclusões de aegirinaugita, titanita e de magnetita.

Biotita-nefelina-sienito pegmatóide. Constitui manchas dentro dos sienitos. Os melhores afloramentos desta rocha podem ser observados nos cortes da estrada P.N.I.-TV Tupi. É uma rocha clara, com grandes cristais de pertita e de biotita. Os cristais de pertita atingem 5cm, e alguns cristais de biotita ultrapassam 1 cm. Há locais em que a nefelina é tão abundante quanto a pertita, mas sempre de menores dimensões. Além de pertita, biotita e nefelina, a rocha contém hornblenda, titanita e apatita.

Sienito porfirítico. Aflora à altura do km 12 da estrada Registro-Agulhas Negras. É uma pequena ocorrência dentro da área das brechas. É uma rocha cinza, de textura porfirítica. Os fenocristais de anortoclásio são alongados, mas com dimensões inferiores a 1 cm. Além de anortoclásio a rocha contém raros cristais alongados de biotita, com inclusões de apatita. Na matriz muito fina, somente a apatita pode ser identificada. Os cristais de anortoclásio exibem bordas irregulares, causadas por corrosão magmática.

Sienito com xenólitos. Esta rocha aflora numa pequena cachoeira de um afluente do rio Capivari, à altura do km 36.5 da estrada Rio-Caxambu. Aflora também na região de Vargem Grande.

O sienito é uma rocha clara, de granulação média a fina, com textura hipidiomórfica granular. Os constituintes minerais são micropertita, sob a forma de cristais xenomorfos ou ripas idiomorfas, biotita, hornblenda e diopsídio. Os minerais acessórios são titanita, apatita e magnetita.

Os xenólitos são de biotita-gnaïsse, com dimensões variáveis de poucos centímetros a 50 cm (foto 6).



Foto 6 — Nefelina-sienito com xenólito de gnaïsse. Km 36,5 da estrada Rio-Caxambu.

Nefelina-sienito bandeado. Ocorre às margens do córrego Taquaral, próximo à usina elétrica do Hotel Simon, constituindo matacões de dimensões variáveis, que são aproveitados como pedras para revestimento e ornamentação de edifícios.

Não conseguimos localizar o afloramento desta rocha estranha, embora não a tenhamos encontrado em outras áreas do maciço. Difere dos nefelina-sienitos comuns do maciço, mais na estrutura e textura do que na composição mineralógica. A estrutura é bandeadada, com faixas claras e escuras que se alternam paralelamente. A espessura destas faixas varia de poucos milímetros a 5 centímetros, sendo que as faixas centimé-

tricas são as mais freqüentes. São raros os casos em que apófises de uma das faixas atravessam a outra. (foto 7 e 8).

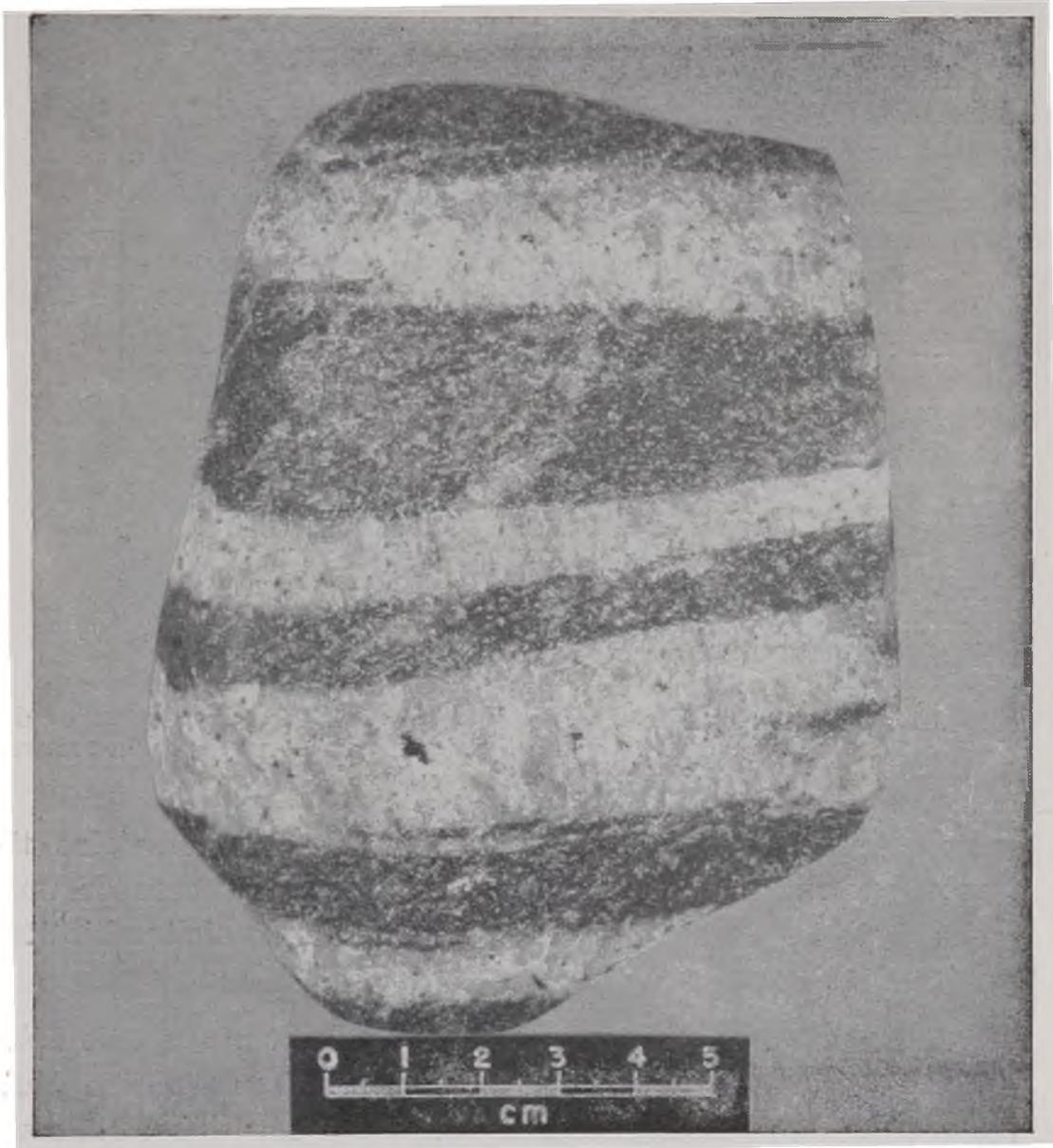


Foto 7 — Nefelina-sienito bandeado. Ribeirão Taquaral, sede do P.N.I.

No estudo microscópico desta rocha distinguimos duas partes. O estudo das faixas escuras (nefelina-biotita-sienito) e o das faixas claras (nefelina-sienito).

A banda escura é de textura fina, microgranular hipidiomórfica, e contém os seguintes minerais: micropertita, oligo-

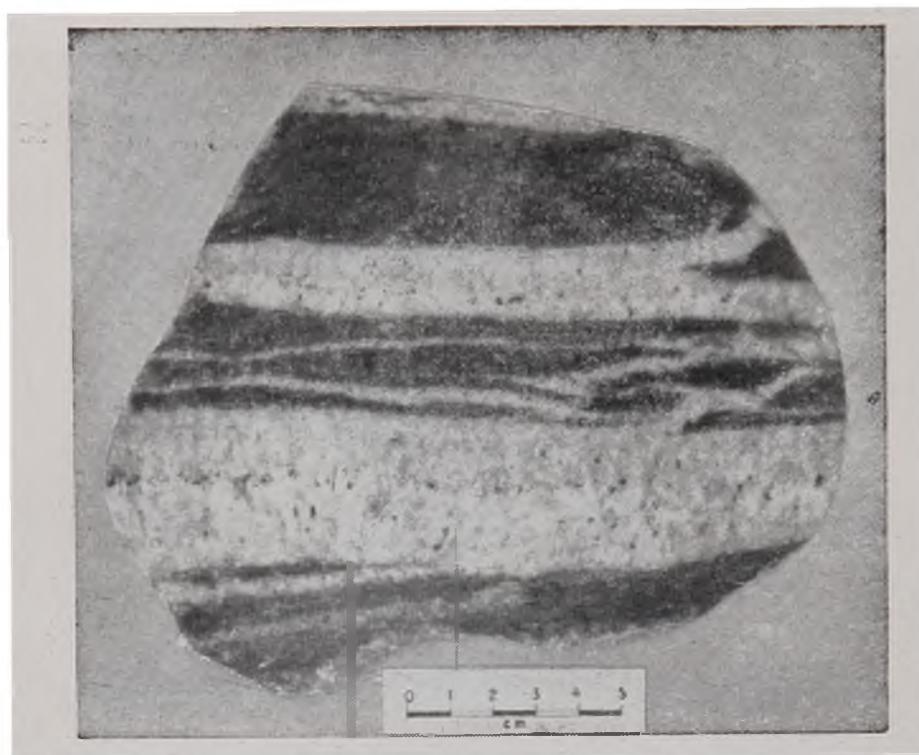


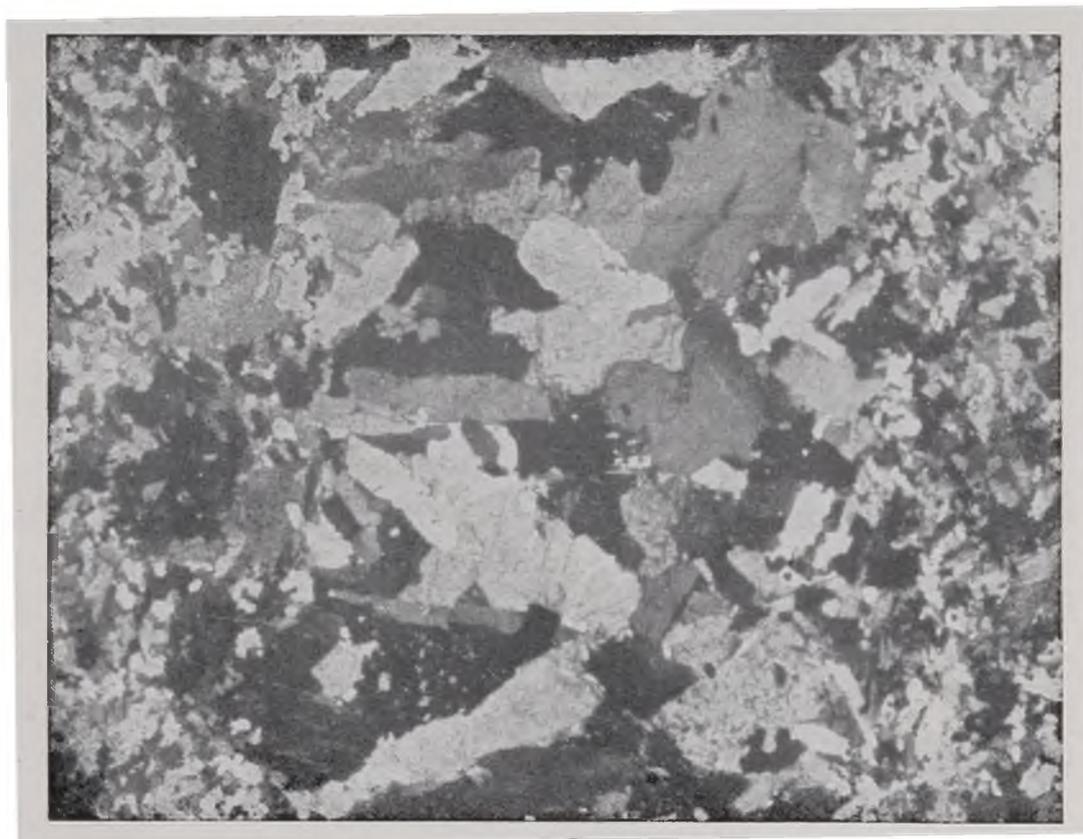
Foto 8 — Nefelina-sienito bandeado. Ribeirão Taquaral, sede do P.N.I. Observar que a banda branca corta a banda escura.

clásio, biotita, nefelina, sodalita e os minerais acessórios titanita, apatita, magnetita e fluorita. Se fôsse o caso de uma rocha distinta, poderia ser classificada como nefelina-biotita-sienito.

A banda clara é de granulação grossa, com cristais idiomorfos e sub-idiomorfos, orientados perpendicularmente à direção das faixas, mostrando uma estrutura em pente. Na composição mineralógica foram identificados micropertita, nefelina, biotita, oligoclásio, sodalita, titanita, apatita, fluorita e magnetita.

Pela análise modal, podemos então observar que a principal diferença mineralógica entre as duas bandas, está na porcentagem de oligoclásio e biotita, que é bem mais elevada na banda escura. Por outro lado, na banda clara a nefelina é mais abundante.

Se êste bandeamento foi provocado por diferenciação e enriquecimento em minerais máficos nas bandas escuras, pelo desenvolvimento das bandas claras num estado semi-sólido por diferenciação rítmica, ou ainda por um processo de filtração, "filter pressing" (Wahlström⁷⁵), é um problema que está por ser resolvido. De qualquer maneira, porém, a estrutura em pente, formada por grandes cristais da banda clara, crescidos perpendicularmente à direção das bandas, sugere a possibilidade de explicar-se o fenômeno por injeção de material pobre em máficos, na fase final da intrusão magmática (fotomicrog. 6 e 7).



Fotomicrografia 6 — Nefelina-sienito bandeado. Banda clara de granulação média entre duas bandas escuras de granulação fina. x 12. Nicóis+.

Tinguaíto com pseudo-leucita. Em Poços de Caldas, tinguaítos com pseudomorfos de leucita já haviam sido observados por Derby 12 e por Hussak*, e mais recentemente foram

* Conforme citação de Ellert¹⁹.



Fotomicrografia 7 — Nefelina-sienito bandeado. Contacto da banda clara com a escura. Os cristais maiores da banda clara estão dispostos perpendicularmente aos da banda escura. x 25. Nicóis+.

estudados e descritos por Ellert¹⁹. No Itatiaia ainda não haviam sido citados, provavelmente porque além de não formarem bons afloramentos, existem em pequena área, quando esta é comparada com a extensão das ocorrências dos outros tipos de rochas comuns no maciço. Encontra-se no corte da estrada, três quilômetros ao norte do Hotel Monte Parnaso.

O tinguaito com pseudo-leucita do Itatiaia, é uma rocha de cor cinza escura, com textura microcristalina, de granulação fina, com algumas ripas centimétricas de ortoclásio microperítico que sobressaem na massa afanítica. Os pseudomorfos possuem a forma aproximada de icositetraedros, são de distribuição irregular e às vezes estão mutuamente concrecidos. As dimensões destes pseudomorfos são variáveis de milímetros até 10 centímetros de diâmetro. Nas seções dos maio-

res pseudomórfos, pode-se distinguir uma borda de 1 a 2 mm, mais clara e microcristalina. São comuns os pseudomorfos com inclusões de agregados centimétricos, constituídos de aegirina, titanomagnetita, apatita e biotita. A porção clara dos pseudomorfos, consta de uma associação de ortoclásio, anortoclásio, albita e oligoclásio, com nefelina(*). A textura é radial (foto 9).



Foto 9 — Tinguaito com pseudo-leucita. Estrada do Hotel Monte Parnaso.

Pulaskitos. Ocorrem na região da Capelinha, no morro do Urubu e na parte N-NE do maciço. Em todos êstes locais, os pulaskitos formam zonas irregulares dentro dos nefelina-sienitos, dos quais se distinguem pela mudança de textura e pelo decréscimo na porcentagem de nefelina. Tôdas as amostras estudadas são de rochas claras, de granulação média, textura granular-traquitóide, que apresentam muita semelhança na composição mineralógica. Seus constituintes minerais são micro-

* Determinação pelo método de "Deby-Scherrer (difração de Raios X), realizada no Departamento de Mineralogia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo.

pertita, nefelina, biotita, diopsídio ou augita, titanita, apatita e magnetita. Os cristais de hornblenda e de oligoclásio são raros.

TABELA 1

Composição modal do sienito bandeado

Minerais	Amostras	
	1	2
Micropertita	70,5%	70,5%
Oligoclásio	1,8	13,2
Nefelina	26,5	3,6
Sodalita	x	x
Biotita	1,2	12,7
Titanita	x	x
Apatita	x	.x.
Magnetita	x	x
Fluorita		
Soma	100.0%	100.0%
P. E.	2,61	2,62

1 — Banda Clara

2 — Banda Escura

x — Porcentagens inferiores a 0,1%

TABELA 2

Composição modal

MINERAIS	Amostras									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Microperthita	84,2%	59,4%	74,7%	73,8%	81,3%	72,2%	90,4%	85,3%	91,2%	64,2%
Albita	0,5	—	—	—	—	—	—	0,8	—	6,7
Nefelina	5,1	40,6	11,7	18,4	1,9	20,3	—	—	1,9	—
Sodalita	—	—	1,3	3,2	9,0	—	0,2	—	—	—
Aegirinaugita	—	x	—	—	2,8	6,0	—	—	1,4	—
Aegirina	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27,3
Augita	—	x	5,4	—	—	—	—	—	—	—
Diopsídio	—	—	—	—	—	—	—	2,8	—	—
Hornblenda	1,8	x	3,0	3,0	—	—	1,7	4,2	x	—
Riebeckita	—	—	—	—	—	x	—	—	—	—
Biotita	4,5	x	0,2	0,3	1,5	x	2,2	4,4	3,8	0,9
Titanita	1,9	x	1,5	0,5	1,7	0,3	2,3	x	1,2	x
Apatita	1,1	x	x	0,1	x	x	0,2	2,0	x	x
Magnetita	0,9	x	2,2	0,7	1,8	1,2	3,0	0,5	0,5	0,9
Zircão	x	—	—	—	x	—	—	—	x	x
Soma	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
P. E.	2,56	2,63	2,67	2,61	2,56	2,53	2,62	2,64	2,60	2,76

1 — Nefelina-sienito — Caixa d'água do Hotel Simon.

2 — Nefelina-sienito km 8 da estrada P.N.I. — TV Tupi.

3 — Sodalita-nefelina-sienito — km 8 da estrada P.N.I. — TV Tupi

4 — Sodalita-nefelina-foiuito — Estação da TV Tupi.

5 — Sodalita-foiuito — Barraco de Mauá.

6 — Nefelina-foiuito — Lago Azul, sede do P.N.I.

7 — Microsienito — Pedra do Leão.

8 — Pulaskito — Planalto, no caminho para o Barraco de Mauá.

9 — Pulaskito — Margem do rio Preto, próximo à Maromba.

10 — Aegirina-sienito km 12 da estrada P.N.I. — TV Tupi.

x — Porcentagens inferiores a 0,1.

P.N.I. — Parque Nacional do Itatiaia.

FOIAÍTOS

Na literatura geológica, o termo foiaíto tem sido aplicado de maneira um tanto ampla; definindo ora a composição mineralógica, ora classificando a textura da rocha. No nosso trabalho optamos pela classificação textural, de acordo com Johannsen¹⁹. Chamaremos de foiaíto todas as rochas com textura traquitóide e composição mineralógica semelhante a nefelina-sienito (fotomicrog. 8).



Fotomicrografia 8 — Cristais de micropertita em foiaíto de textura traquitóide. x 25. Nicóis+.

Os foiaítos do Itatiaia são rochas cuja coloração varia de cinza claro a escuro, com granulação de média a grossa e de textura traquitóide. Os cristais de pertita ou de micropertita apresentam-se em ripas idiomorfas distribuídas quase sempre sub-paralelamente. A nefelina, que é abundante, às vezes mostra-se alterada em cancrinita. Os minerais máficos são horn-

blenda, riebeckita, aegirinaugita e biotita. Os minerais acessórios são a titanita, apatita e magnetita. São raros os cristais de sodalita.

Os foiaítos ocorrem em afloramentos distintos, ou formando manchas dentro dos sienitos. Podem ser observados nas proximidades da estação da TV Tupi, perto do Hotel Simon, nos cortes da estrada do P.N.I. para o Lago Azul, às margens do Rio Prêto, e na região da Vargem Grande.

Nefelina-sodalita-foiaíto. Aflora nos cortes da estrada nas imediações do Lago Azul, na sede do P.N.I. e próximo ao baraco de Mauá. Aparece como diferenciação local dentro do corpo de nefelina-sienito e foiaíto. É uma rocha clara, de granulação média e de textura traquitóide. Na composição mineralógica contém micropertita, nefelina, sodalita, riebeckita e biotita. Os minerais acessórios são titanita e magnetita.

Microfoiaíto. Ocorre nos mesmos locais em que foram observados os foiaítos, constituindo zonas em que as rochas apresentam variação na granulação. Assim é que rochas de granulação média, passam gradativamente a rochas de granulação fina a muito fina. A textura é traquitóide e os constituintes minerais são micropertita idiomorfa ou sub-idiomorfa, raros cristais de albita, nefelina abundante, às vezes alterada em cancrinita. A aegirinaugita é o mineral máfico mais frequente. A hornblenda e biotita estão em menor porcentagem. Alguns cristais de aegirinaugita e hornblenda estão intercrescidos. Os minerais acessórios são a titanita, apatita e magnetita. Algumas amostras evidenciam desenvolvimento de calcita secundária.

QUARTZO-SIENITOS

Generalidades. As rochas delineadas no mapa e classificadas como quartzo-sienitos, afloram numa grande extensão do planalto do Itatiaia, e estão localizadas mais ou menos na parte central do contorno externo da intrusão alcalina. Estão em

contacto com os sienitos, granito alcalino e brechas, ocupando uma área estimada em 21 km² o que corresponde a 9,5% do total da área abrangida pelas rochas alcalinas.

No mapa geológico, empregamos a denominação quartzo-sienito de maneira genérica, para designar rochas alcalinas com quartzo em porcentagens variáveis de 2 a 8,6%, numa graduação crescente das zonas de contacto para a parte central do maciço.

Nos cortes da estrada do Registro para as Agulhas Negras, compreendidos entre os quilômetros 15 e 17, pode-se observar a passagem gradativa de rochas alcalinas com pouco quartzo, para rochas ricas em quartzo que passam a nordmarkito típico, e finalmente a granitos alcalinos.

Os quartzo-sienitos são as rochas que modelam as regiões altas do relevo do planalto do Itatiaia, tais como as Agulhas Negras, Pedra do Altar e Prateleiras. Quando diaclasadas e sulcadas, dão origem às enormes e profundas caneluras das rochas do planalto.*

Quartzo-sienitos. Ocorrem nas zonas de contacto com as brechas e com os sienitos. São rochas claras, de granulação grossa a média e de textura hipidiomórfica granular. Na composição mineralógica foram identificados micropertita, quartzo intersticial, raios cristais de aegirinaugita, riebeckita e hornblenda azul. Os minerais acessórios são titanita, magnetita e apatita.

Quartzo-sienito glomérulo-porfiróide. Esta rocha aflora à altura do km 3 da estrada Registro-Agulhas Negras, na zona de contacto do gnaiss com as rochas alcalinas, e também na região do Brejo da Lapa. Em quase todos os locais em que ocorre, já se encontra em avançado estágio de alteração.

É uma rocha clara, de granulação média, mas com glomérulos cinzentos de feldspato, que se realçam do restante da rocha. Estes glomérulos, que à primeira vista poderiam ser confundidos com fenocristais zonados de feldspato, constituem

* Vide E. Ribeiro Filho (1964) — As Caneluras e os Caldeirões do Planalto do Itatiaia. Eng. Min. e Met., 39 (232): 163-165.

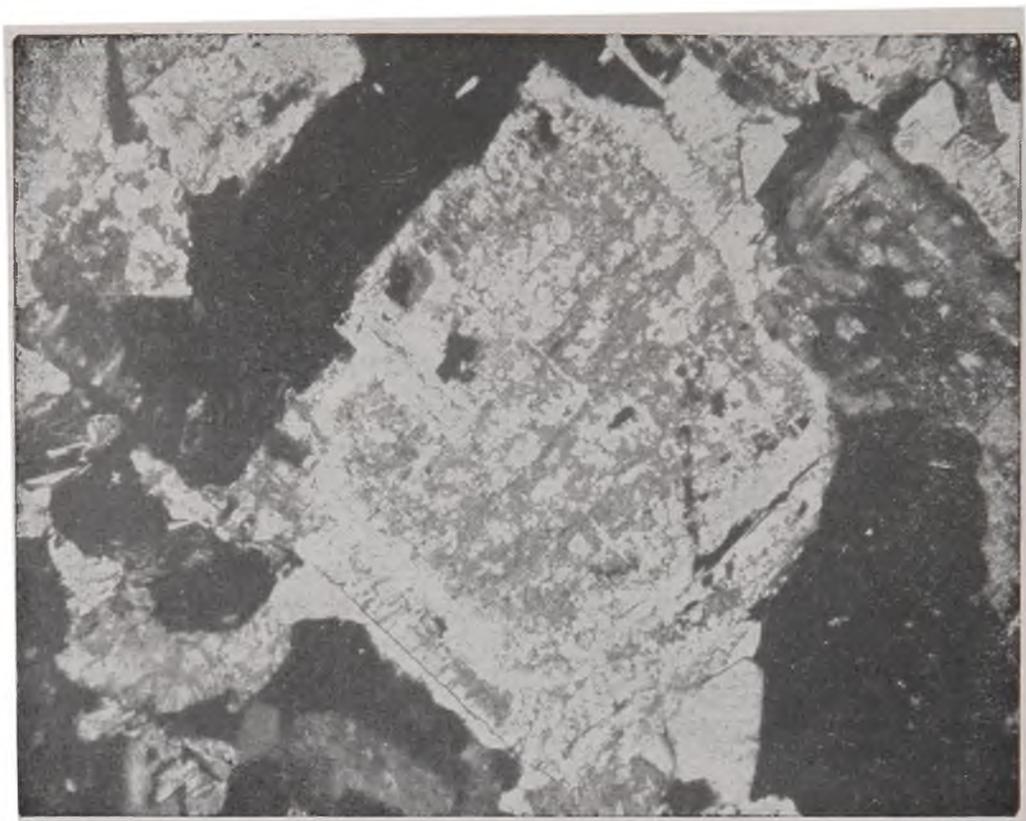
na realidade, agregados cristalinos formados por cristais geminados de oligoclásio, que se acham envolvidos por ortoclásio facilmente distinto pelo seu menor índice de refração. Há glomérulos nos quais se pode observar a passagem de oligoclásio a ortoclásio límpido e finalmente a ortoclásio alterado. As dimensões destes glomérulos, variam de 0,5 a 1,5 cm. Além dos glomérulos, a rocha contém ortoclásio sob a forma de cristais subidiomorfos, quartzo intersticial ou intercrescido com ortoclásio, formando textura gráfica. Subordinadamente aparecem a hornblenda, magnetita, titanita e apatita. Alguns cristais de hornblenda mostram-se parcialmente cloritizados.

Tanto a textura, quanto a alta porcentagem de quartzo (8,6%), levaram-nos a não classificar esta rocha como nordmarkito

Nordmarkito porfirítico. Aflora a 400 metros do abrigo Rebouças, no corte da estrada que vai desta localidade ao abrigo Massena. Trata-se de uma rocha clara, de textura porfirítica. Algumas ripas de micropertita sobressaem da massa de granulação fina. Quanto à composição mineralógica citamos a micropertita ripiforme ou sob a forma de cristais sub-idiomorfos. Estes às vezes exibem orla límpida, mais sódica, contrastando com a parte central embaciada. Os cristais de quartzo são granulares e intersticiais, raramente intercrescidos com ortoclásio. Subordinadamente, a rocha contém ainda arfvedsonita, biotita, magnetita, titanita e apatita (fotomicrog. 9)

Nordmarkito equigranular. E' encontrado em afloramentos nos cortes da estrada para o abrigo Massena, em contacto gradativo com o nordmarkito descrito acima. É uma rocha clara, de granulação média e de textura hipidiomórfica granular. Seus constituintes minerais são micropertita sub-idiomorfa ou ripiforme, quartzo, arfvedsonita, aegirinaugita, biotita, magnetita e titanita. Os cristais de quartzo são granulares e intersticiais.

Nordmarkito de granulação grossa. Ocorre nos cortes da estrada do Registro para as Agulhas Negras, na zona de contacto



Fotomicrografia 9 — Cristal zonado de micropertita em quartzo-sienito. x 30. Nicóis+.

com as brechas. É uma rocha cinza rosada de granulação grossa e de textura hipidiomórfica granular. São freqüentes as cavidades miarolíticas milimétricas, preenchidas por cristais de quartzo e de micropertita.

Na composição mineralógica ressalta-se a alta porcentagem de micropertita, que corresponde a 92,5% da rocha. Ocorrem pequenos cristais intersticiais de quartzo. Subordinadamente foram encontrados hornblenda, aegirinaugita, magnetita, titanita, apatita, pirita e clorita (foto 10).

Nordmarkito granular miarolítico. Aflora na região das Agulhas Negras e das Prateleiras. É uma rocha clara, de granulação grossa, de textura hipidiomórfica granular e com abundantes cavidades miarolíticas preenchidas parcialmente por cristais de quartzo e de micropertita. As cavidades miarolíticas, que normalmente são de dimensões milimétricas, às

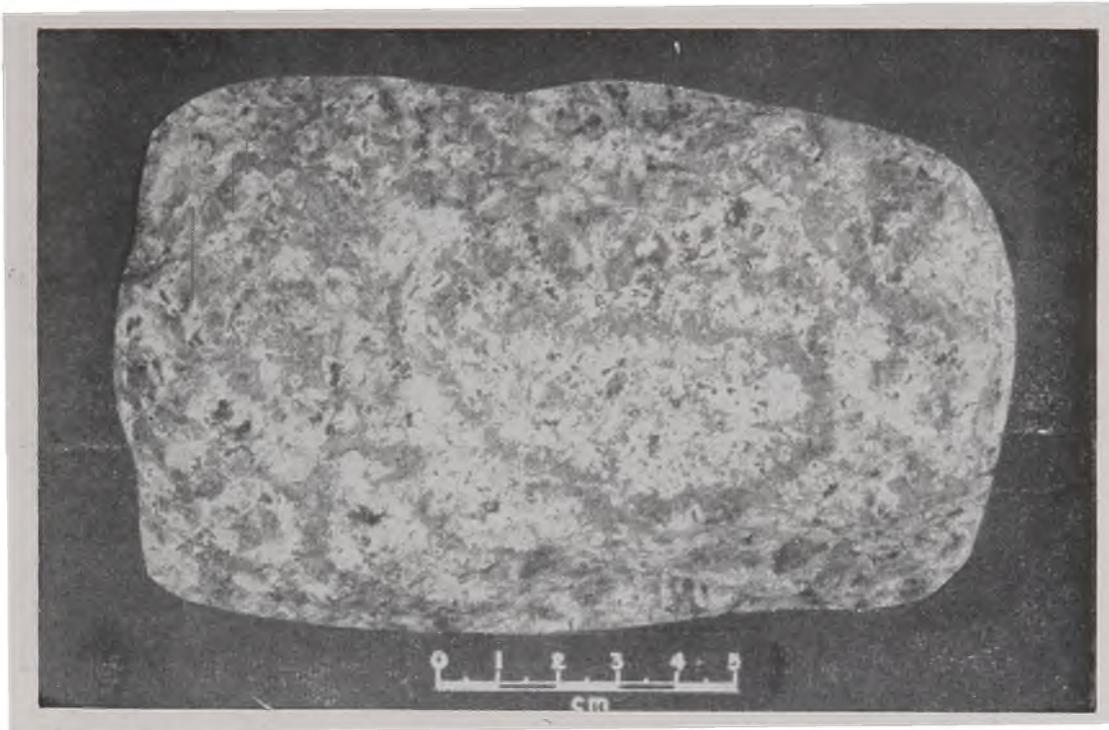


Foto 10 — Nordmarkito de granulação grossa. Planalto do Itatiaia.

vêzes ultrapassam 1 cm. Em algumas destas cavidades maiores, encontramos cristais geminados de quartzo, com mais de 2 cm. de comprimento.

Os constituintes mineralógicos desta rocha são micropertita, às vêzes zonada, quando então a orla externa é mais rica em albita que a porção central; quartzo intersticial, aegirinau-gita, biotita, arfvedsonita, titanita e magnetita.

Os cristais de arfvedsonita são geralmente zonados, com a parte central de cor parda tendendo ao verde, circundada por arfvedsonita verde azulada. Os cristais de albita e de antiper-tita são raros.

Granito alcalino. Ocorre a 900 metros do abrigo Rebouças na estrada para o abrigo Massena. O nordmarkito, por enriquecimento em quartzo, passa gradativamente a granito alcalino (foto 11).

O granito alcalino do Itatiaia, é uma rocha clara, de granulação média, equigranular e de textura granofírica. Seus componentes mineralógicos são essencialmente micropertita e

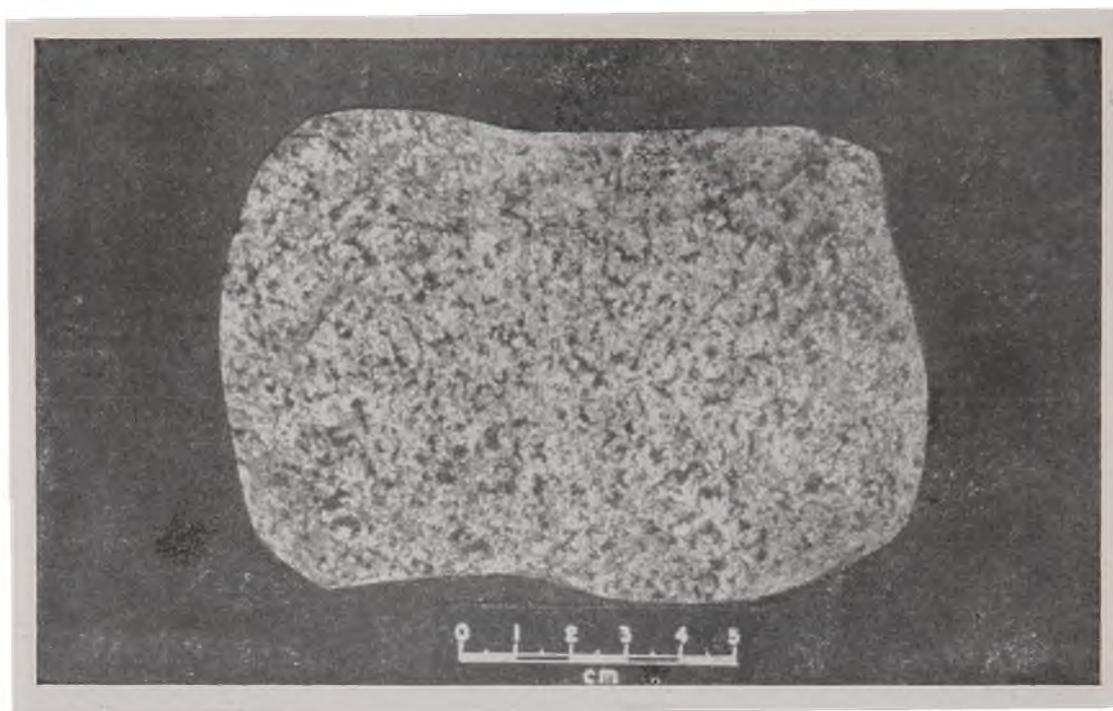


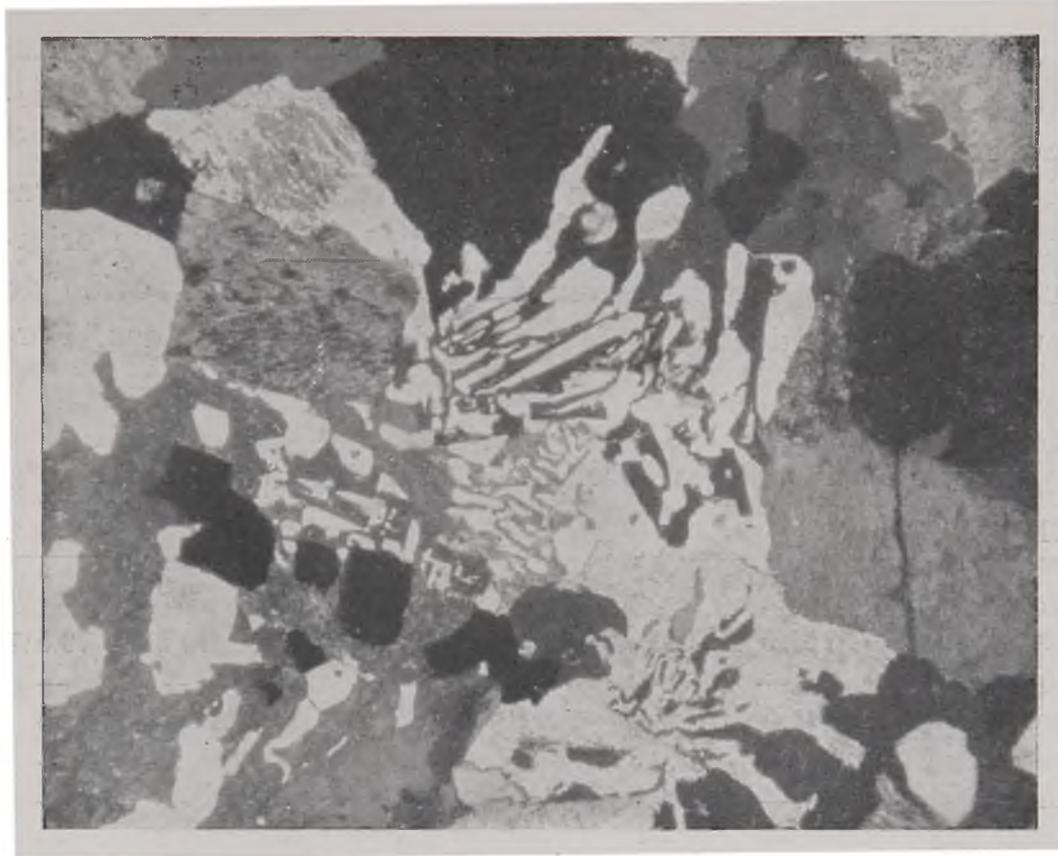
Foto 11 — Granito alcalino. Planalto do Itatiaia.

quartzo. Não contém anfibólio nem piroxênio. A biotita é menos freqüente que a magnetita, titanita e siderita. Subordinadamente há também apatita, fluorita opala e molibdenita.

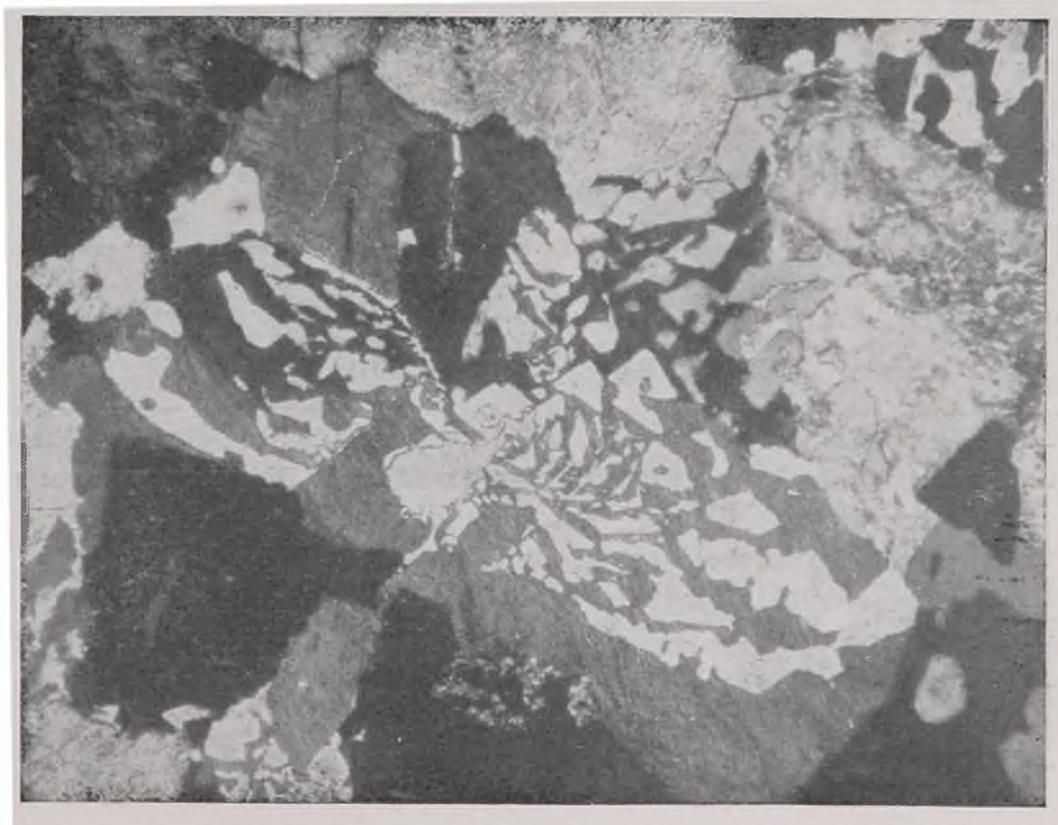
Os cristais de micropertita estão intensamente intercrescidos com cristais de quartzo, formando a textura granofírica (fotomicrog. 10 e 11). (Fig. 1).

BRECHAS

Considerações gerais. A primeira referência à brecha do Itatiaia, foi feita pelo Dr. José Moacyr V. Coutinho, num guia mimeografado do X Congresso de Geologia, promovido pela Sociedade Brasileira de Geologia em 1956. Segundo o autor citado, “a descrição petrográfica sugere para esta rocha origem eruptiva, provavelmente em conduto vulcânico, próximo à superfície”. Penalva⁵⁷, em 1962, quando elaborávamos o mapa geológico do Itatiaia, descreveu as brechas magmáticas da região.



Fotomicrografia 10 — Textura granofírica em granito alcalino.
Quartzo extinto. x 25. Nicóis+.



Fotomicrografia 11 — Textura granofírica em granito alcalino.
Quartzo iluminado. x 25. Nicóis+.

As brechas magmáticas do Itatiaia formam dois corpos distintos, mas com características geológicas e petrográficas semelhantes, entre os quais afloram os quartzo-sienitos.

Ambos os corpos constam na maior parte, de rochas fragmentárias relacionadas à mesma intrusão alcalina que originou o maciço. Ocupam uma área de 10 km² na região do planalto, perfazendo 5% da área total de rochas alcalinas. For-

TABELA 3

Composição modal dos quartzo-sienitos e do granito alcalino

MINERAIS	Amostras						
	1	2	3	4	5	6	7
Microperitita	89,5%	94,2%	88,8%	86,7%	87,7%	79,2%	70,5%
Oligoclásio	—	—	—	—	x	—	—
Quartzo	2,4	2,9	5,7	5,8	8,6	19,0	27,5
Aegirinaugita	—	0,5	—	x	—	x	—
Hornblenda	—	0,5	—	—	..	—	—
Riebeckita	—	—	—	3,5	—	1,8	—
Arfvedsonita	—	—	3,4	—	—	—	1,0
Biotita	4,7	x	0,4	0,5	1,1	x	x
Titanita	x	x	x	0,6	1,1	x	x
Magnetita	3,0	1,9	1,7	2,9	1,5	x	1,0
Apatita	0,4	x	x	—	x	—	x
Fluorita	—	—	—	x	—	x	x
Siderita	—	—	x	—	—	—	x
Pirita*	—	—	—	—	x	—	—
Opala*	—	—	—	—	—	—	x
Clorita*	—	—	—	—	x	—	—
Soma	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
P.E.	2,54	2,57	2,58	2,50	2,61	2,53	2,59.

1 — Quartzo-sienito porfiritico. km 13 da estrada Registro-Agulhas.

2 — Nordmarkito de granulação grossa. Estrada Rebouças-Massena.

3 — Nordmarkito porfiritico. Estrada Rebouças-Massena.

4 — Nordmarkito miarolítico. Prateleiras e Agulhas Negras.

5 — Quartzo-sienito glomérulo porfiróide — Brejo da Lapa.

6 — Granito alcalino — — Estrada Rebouças-Massena.

7 — Granito alcalino. Estrada Rebouças-Massena.

x — Porcetagens inferiores a 0,1.

* — Minerais secundários.

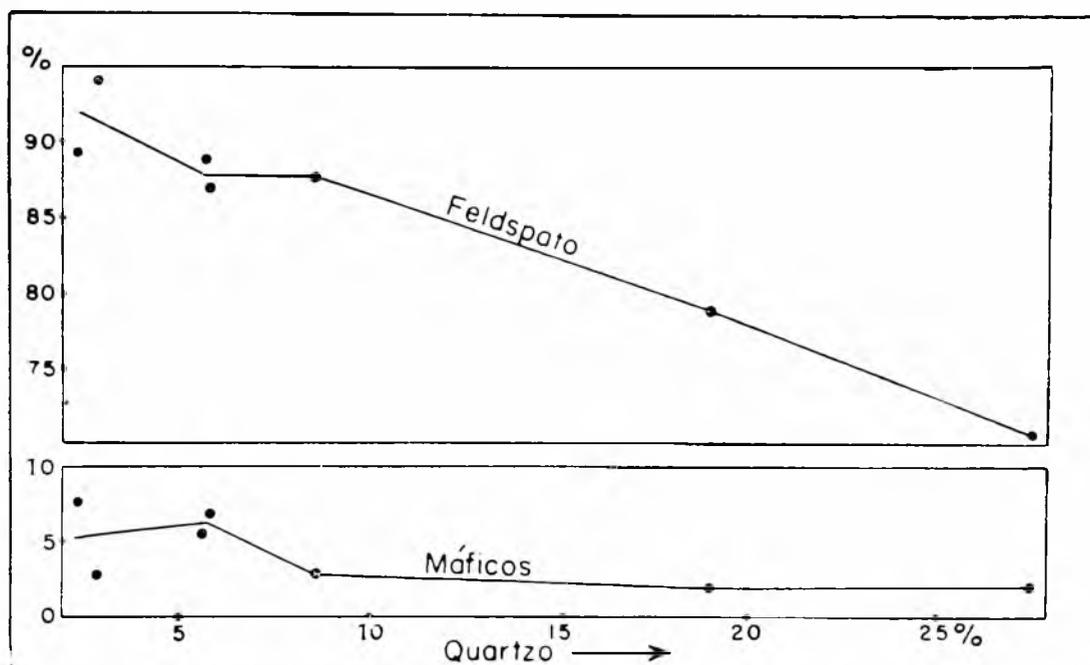


Fig. 1 — Diagrama de variação de Feldspato e Máficos em função de Quartzo, relativo a quartzo-sienito e granito alcalino.

mam dois corpos alongados segundo a direção NO-SE. localizados a noroeste das Agulhas Negras, onde as altitudes oscilam de 2.000 a 2.400 metros.

As brechas estão em contacto com os quartzo-sienitos e com tinguaitos porfiróides, que passam gradativamente a brechas típicas, sem que os limites possam ser delineados. Por esta razão, os tinguaitos e as rochas alcalinas afaníticas relacionadas às brechas, e às vezes parcialmente brechadas, foram também incluídas na área das brechas. As rochas alcalinas afaníticas, encontradas nas zonas limítrofes entre brechas e quartzo-sienitos, foram observadas em massas irregularmente distribuídas dentro das zonas das brechas.

As melhores exposições das rochas brechadas pertencem ao corpo que aflora nas proximidades do Brejo da Lapa, e que dali por diante, aparecem nos cortes da estrada para as Agulhas Negras, especialmente entre os quilômetros 10,2 e 11,5, bem como na estrada dos Carvoeiros, que desce para Serra Negra.

As brechas localizadas pouco a noroeste da Pedra do Altar, mostram igualmente a passagem de quartzo-sienitos a brechas, através de rocha fina não brechada, evidenciando-se deste modo, o mesmo fenômeno já observado no outro setor das brechas.

Descrição macroscópica

Macroscopicamente as brechas podem ser diferenciadas por três características essenciais: natureza dos fragmentos, forma e dimensões dos fragmentos sub-angulosos e relação quantitativa matriz-fragmentos.

Natureza dos fragmentos. Os fragmentos mais comuns são os de grandes cristais de ortoclásio ou de anortoclásio, e de rochas alcalinas traquitóides ou afaníticas. As cores dos fragmentos são de tonalidades variáveis entre cinza claro, cinza escuro, cinza avermelhado, castanho avermelhado ou castanho. Esta diversificação de cores deve-se em grande parte à alteração a que estas rochas estiveram sujeitas. Não foram observados fragmentos de gnaisses nem de sienitos de granulação grossa.

Forma e dimensões dos fragmentos. Quanto à forma e dimensões também há grande variação. Existem fragmentos visíveis somente ao microscópio, como existem aqueles que chegam a um metro de diâmetro. Entre estes limites extremos, há blocos com diâmetros entre 20 e 50 cm, embora predominem os de 1 a 5 cm.

Os fragmentos são na maioria angulosos ou sub-angulosos e aproximadamente equidimensionais. Alguns fragmentos mostram-se arredondados.

Adotando o critério de Fisher²¹ computaremos como fragmentos somente os de dimensões superiores a 2mm.

Relação porcentual volumétrica matriz-fragmentos. Na transição do tinguaito para rocha fina brechada, e finalmente para brecha típica, pode-se observar o aumento gradual do número dos fragmentos. Tanto nos cortes da estrada Registro-Agulhas Negras, como nos afloramentos ao norte de Pedra do

Altar, pudemos observar brechas com menos de 10% de fragmentos, que passam a brechas nas quais as porcentagens de fragmentos e matriz se equilibram. Em outras ocorrências, contudo, os fragmentos correspondem a mais de 70% da rocha, como é o caso das brechas que ocorrem nos cortes da estrada dos Carvoeiros para Serra Negra, e da brecha situada pouco ao sul do km 12,1 da estrada Registro-Agulhas Negras.

A coloração das brechas, depende da cor dos fragmentos e da cor da matriz, variando naturalmente com o tipo da relação porcentual matriz-fragmentos. Embora haja grande variação na cor dos fragmentos, predomina a cor cinza esverdeada da matriz, porque esta geralmente excede a 50% da massa total. Na matriz esbranquiçada das brechas submetidas a intenso intemperismo alítico, sobressaem os fragmentos cinzentos ou castanhos de rochas afaníticas ou traquitóides.

Microscopia das brechas

As brechas do Itatiaia podem ser classificadas pelas seguintes características: textura da matriz, sua composição mineralógica e natureza, forma e dimensões dos fragmentos. Embora as brechas sejam heterogêneas quanto a todos estes caracteres distintivos, pode-se observar que a variação mais evidente reside na textura da matriz e na natureza dos fragmentos.

Textura da Matriz. A matriz é invariavelmente constituída por uma massa fina microcristalina. A textura pode ser granular, traquitóide ou ainda fluidal. Às vezes, em uma só lâmina podemos ver setores que exemplificam os três tipos de textura. Em algumas brechas a matriz consiste de massa afanítica, com esferolitos produzidos por devitrificação (fotomicrog. 12)

Composição mineralógica da matriz. A matriz das brechas compõe-se de massa afanítica feldspática, cuja natureza não foi possível identificar, acrescida de porcentagens variáveis de clorita, pirita, magnetita, calcita, siderita, apatita, biotita e seri-



Fotomicrografia 12 — Estrutura fluidal em brecha magmática. x 25. Nicóis+.

cita. Em algumas brechas do contacto com os quartzo-sienitos, a matriz possui pequena porcentagem de quartzo microcristalino.

Fragmentos. Tanto macroscópica quanto microscópicamente, foi possível observar que os fragmentos, apesar de heterogêneos na forma, nas dimensões, no arredondamento e na litologia, constituem ainda o melhor fator para se distinguir os diferentes tipos de brechas do Itatiaia, desde que se obedeça o seguinte critério:

- Tipo a — brechas com predominância de fragmentos ou fenocristais de feldspato.
- Tipo b — brechas com predominância de fragmentos de rochas.
- Tipo c — brechas mistas (fragmentos de feldspato e de rochas, mais ou menos nas mesmas proporções).

Tipo d — brechas com fenocristais de feldspatos e com pseudo-leucita.

Tipo e — brecha monolitológica (com fragmentos de uma só rocha)

Tipo a. Aflora nos cortes da estrada Registro-Agulhas Negras, no trecho compreendido entre os marcos quilométricos 11 e 13. Estas brechas apresentam matriz feldspática e afanítica, com textura granular-traquitóide, e às vezes com estrutura fluidal. Esta torna-se mais evidente ao redor dos fenocristais ou fragmentos. Na composição mineralógica da matriz, além de feldspato foram identificados biotita, clorita, sericita, apatita, siderita, calcita, pirita e magnetita. Os fragmentos, bem como os fenocristais não fragmentados, são de ortoclásio e de anortoclásio

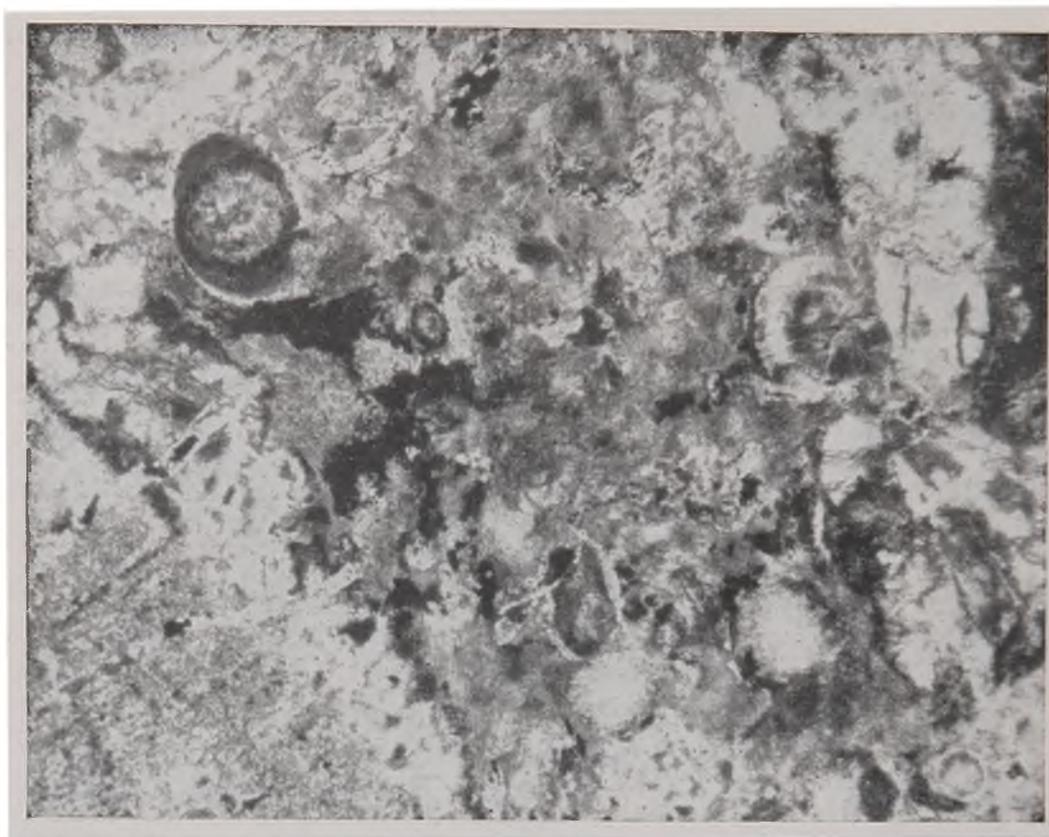
A quantidade de fragmentos não atinge 10%.

Tipo b. Os melhores afloramentos deste tipo de brecha, estão na estrada dos Carvoeiros, que desce para Serra Negra, cujo início está à altura do km 12 da estrada Registro-Agulhas Negras. As brechas descritas acima, em que predominam os fragmentos de feldspato, passam gradativamente a este outro tipo, com fragmentos heterogêneos na litologia, na forma e nas dimensões.

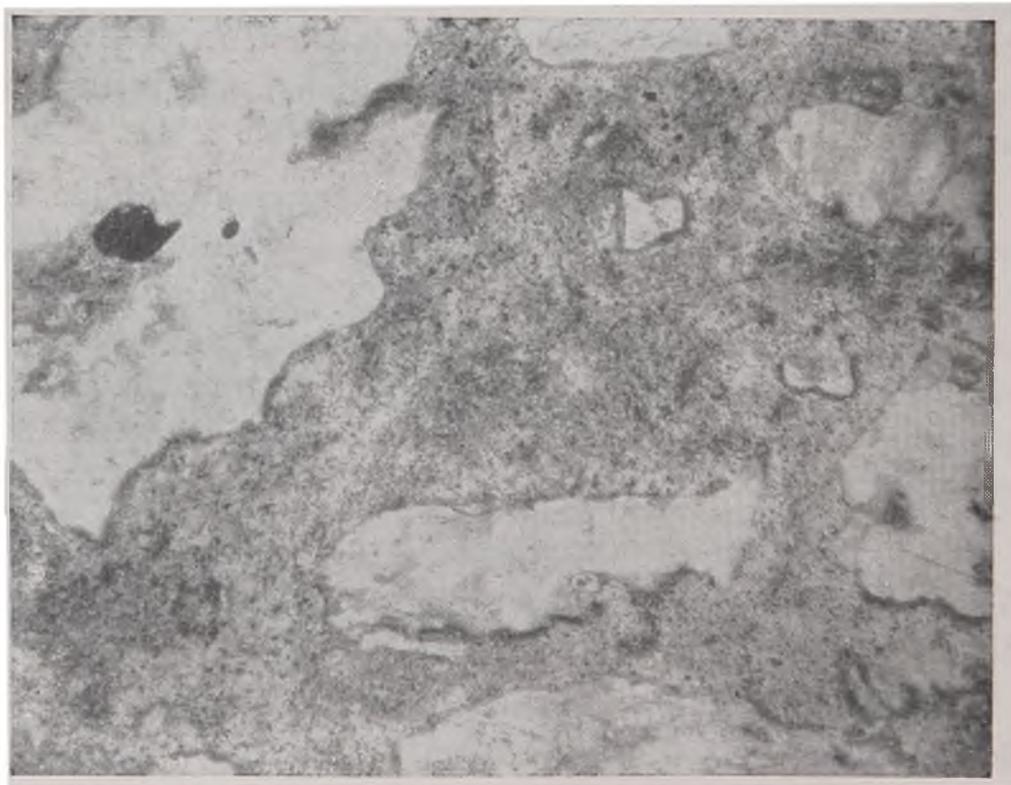
A matriz é de textura microgranular ou traquitóide, exibindo as vezes estrutura fluidal. Aqui também a textura fluidal é mais evidente ao redor dos fragmentos. Além da massa feldspática, a matriz contém clorita, calcita, siderita, apatita, biotita, pirita e magnetita. Em algumas lâminas a matriz apresenta zonas de massa vítrea marron, com esferolitos produzidos por devitrificação (fotomicrog. 13)

Os fragmentos são de rochas alcalinas traquíticas ou afaníticas, de coloração cinza, castanha e castanha esverdeada. Alguns fragmentos mostram estrutura fluidal.

Alguns afloramentos possuem amostras que evidenciam cloritização intensa dos minerais máficos.



Fotomicrografia 13 — Esferólitos em brecha magmática. x 63.
Nicóis II.



Fotomicrografia 14 — Fragmentos corroidos de feldspato. Bre-
cha magmática. x 25. Nicóis II.

Tipo c. Ocorre em tôda a área das brechas. As características mineralógicas e texturais da matriz são as mesmas dos tipos descritos acima. A diferença entre êste tipo e os anteriores está na relação quantitativa de fragmentos de feldspato e de rochas, que aqui é mais ou menos de 1:1 (foto 11).

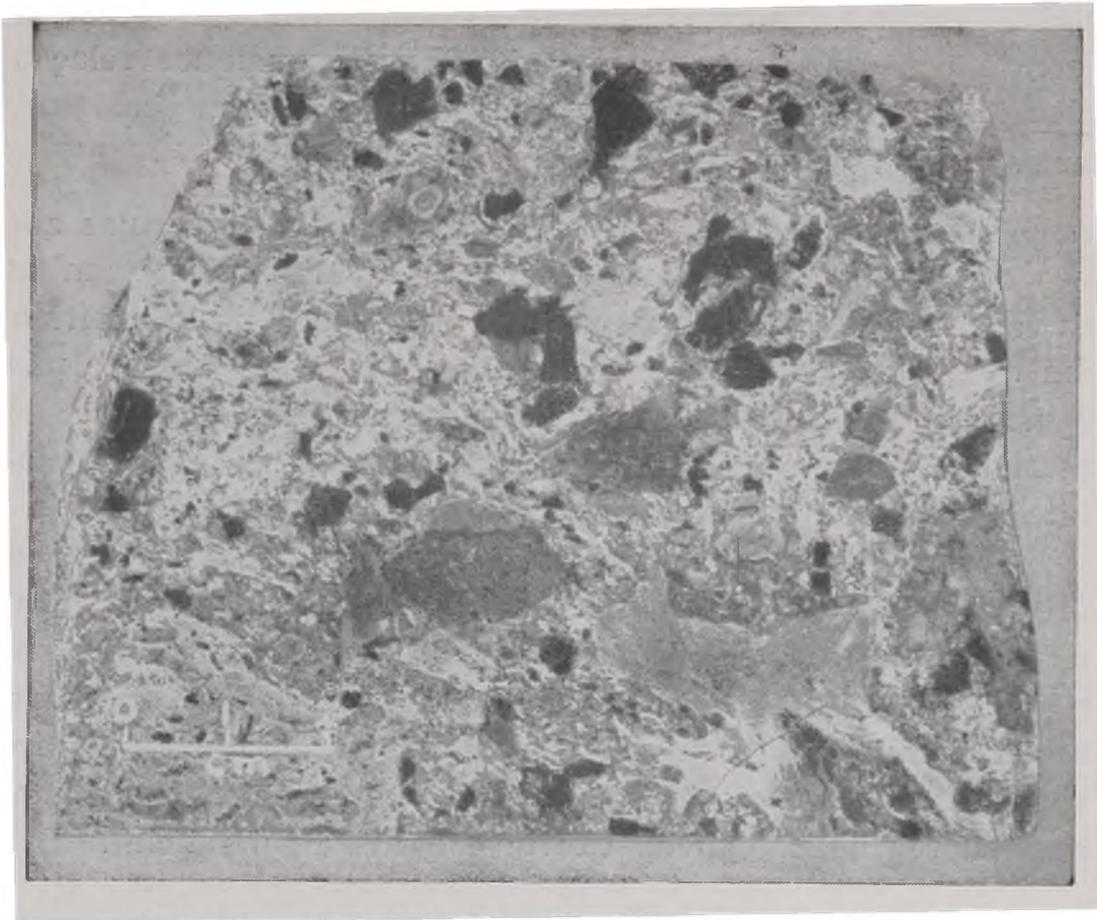


Foto 12 — Brecha magmática. Planalto do Itatiaia.

Tipo d. Aflora à altura do km 3,0 da estrada que sai do Hotel Monte Parnaso para a serra. O tinguaiú com pseudoleucita que também aflora neste local, gradativamente passa a êste tipo de brecha, que difere de tôdas as demais, por conter pseudoleucita. E' uma brecha cinza escura, com textura microgranular ou traquitóide. Na matriz que é constituída de massa muito fina, destacam-se alguns cristais de ortoclásio, anortoclásio, biotita, magnetita e apatita.

Os fragmentos são de ortoclásio, de anortoclásio ou de rochas traquitóides.

Na zona brechada são raros os pseudomorfos centimétricos, comuns no tinguaito com pseudoleucita em contacto com as brechas (fotos 9 e 12)

Tipo e. Ocorre pouco ao sul do km 12,1 da estrada Registro-Agulhas Negras, na região da Capelinha e em algumas zonas milonitizadas do planalto. São brechas de atrito, de origem diferente das descritas anteriormente, e sem qualquer relação com os dois corpos de brechas delineados no mapa geológico. Estas brechas estão geralmente silicificadas.

Quartzo-microsienito passando a brecha. Aflora nas zonas de transição do quartzo-sienito para brechas, em ambos os corpos de brechas. Descrevemos esta rocha neste capítulo em que estamos tratando das brechas, porque, apesar de não apresentar características microscópicas de rocha brechada, no campo pode-se perceber a passagem gradativa do quartzo-sienito para brecha, através desta rocha.

Microscopicamente, o aspecto que chama a atenção, é a estrutura fluidal e a abundância de pirita. É uma rocha cinza clara, de textura microgranular, com cristais na maioria xenomorfos. Algumas ripas sub-idiomorfos de ortoclásio, que se sobressaem na massa microcristalina, apresentam as bordas irregulares. Além de ortoclásio a rocha contém biotita, siderita, apatita, magnetita, pirita, clorita e quartzo intersticial.

MILONITOS

As zonas milonitizadas são freqüentes na região do planalto onde afloram os quartzo-sienitos. Tanto nas imediações das Prateleiras como no caminho para as Agulhas Negras e para Mauá, são comuns as ocorrências de milonitos, já intemperizados, e por isto mesmo, muitas vezes difíceis de serem distinguidos de diques de rochas alcalinas de granulação fina.

O milonito de maior espessura (1,50m) está exposto a 500m do abrigo Rebouças, na estrada para o abrigo Massena. Tem direção E. O e mergulha 50° para o norte. Aqui o quartzo sienito de granulação média a grossa, foi transformado numa

rocha de granulação fina, agora muito alterada. Na parte central da zona milonitizada, há uma faixa de rocha mais escura, com 0,5m de espessura, que sugere a intrusão de um dique através da rocha fendilhada e triturada.

DIQUES

Os gnaisses e as rochas alcalinas do Itatiaia são cortados por numerosos diques, com espessuras variáveis de poucos centímetros a alguns metros, geralmente com direção N-NE.

As rochas alcalinas são cortadas por diques de tinguaitos, de microsienitos bem como por outras alcalinas, cuja granulação muito fina aliada ao estado de alteração, não permitiu um estudo pormenorizado.

Os gnaisses do embasamento cristalino são atravessados por diques de rochas alcalinas finas, e por diques escuros, provavelmente de natureza diabásica.

HALOS PLEOCRÓICOS

Os halos pleocróicos observados nas biotitas de algumas das rochas alcalinas do Itatiaia poderiam ser interpretados sob dois aspectos. Como antigos halos formados nas rochas pré-cambrianas do teto gnáissico, posteriormente assimilado pelas rochas alcalinas, ou como halos mais recentes, primitivamente originados nas próprias rochas alcalinas.

Na discussão deste problema alguns fundamentos devem ser assentados.

1 — De acôrdo com Henderson^{36,37} Henderson e Bateson³⁸, Henderson e Turnbull³⁹, Rankama⁶¹ e Hayase³⁴, o escurecimento dos halos pleocróicos é proporcional à ionização causada por partículas alfa, ou seja, proporcional à radioatividade e ao tempo de atuação do núcleo da inclusão.

2 — De acôrdo com Holland e Kulp⁴⁰ e Kulp et al⁴⁴, desde que admitamos que a mitamictização é causada por bombardeamento radioativo, segue-se que a intensidade da destruição,

será afetada pela estabilidade inerente a cada mineral, pelo tempo e pela atividade total das partículas alfa do mineral incluído.

3 — Os halos pleocróicos, geralmente observados em rochas do Pré-Cambriano, já foram também encontrados em rochas do Paleozóico, e até mesmo do Terciário.

Assim é que Joly⁴² cita halos no granito Mourne do Terciário. Henderson³⁷ encontrou-os em rochas com menos de 400 milhões de anos. Hayase³⁴ identificou halos em granitos do Cretáceo e do Terciário. Henderson³⁶ menciona seis tipos de halos pleocróicos identificados em rochas de todas as idades geológicas.

4 — Nas rochas do embasamento cristalino da região do Itatiaia, não foram identificados halos pleocróicos, apesar da abundância de biotita.

5 — Em algumas rochas do contacto, em que provavelmente houve fenitização parcial, também não foram observados halos pleocróicos.

6 — O aegirina-sienito que aflora à altura do km 12 da estrada do P.N.I. para a TV Tupi, contém halos pleocróicos em cristais xenomorfos de biotita, incluídos em cristais maiores de aegirina. Em alguns destes cristais inclusos de biotita, há evidências de que houve transformação parcial de biotita em aegirina. Por outro lado a interpenetração de cristais de ortoclásio e plagioclásio, também sugere processos metassomáticos com produção de feldspatos alcalinos.

7 — Com exceção do caso citado acima, as biotitas com halos estão em rochas insaturadas, ricas em nefelina e sodalita (sienitos e foiaítos com sodalita e nefelina)

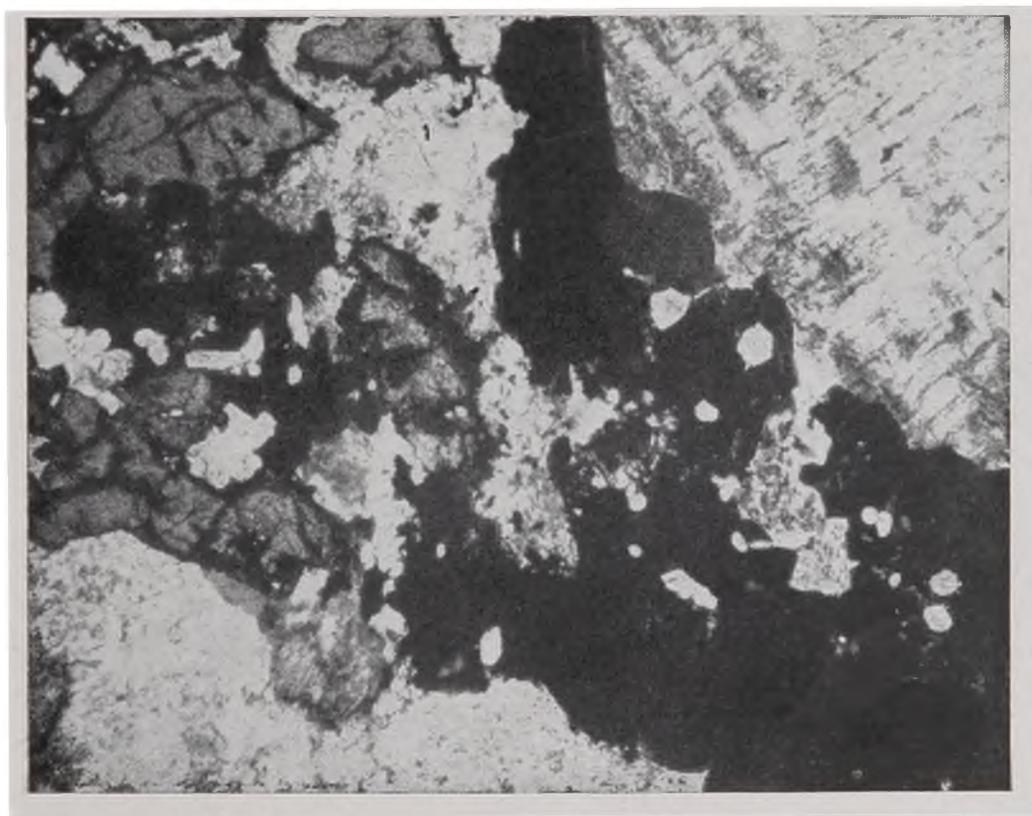
8 — As ocorrências das rochas que exibem halos pleocróicos, estão em plena zona de sienitos, na metade da distância entre o contacto com o embasamento e com os quartzo-sienitos, em cotas variáveis entre 1.500 e 2.400 metros.

9 — Nas rochas em que provavelmente houve fenitização parcial do gnaiss, o processo não foi suficientemente intenso

a ponto de produzir feldspatóides. Entretanto as biotitas com halos pleocróicos estão somente em rochas nefelínicas, às vezes com sodalita.

10 — As rochas quartzo-feldspáticas, quando submetidas a processos metassomáticos alcalinos (ferritização), originam rochas em que a porcentagem de quartzo decresce e os cristais de biotita são total ou parcialmente substituídos por aegirina, à medida que o fenômeno se desenvolve (Eckermann¹⁵, Strauss e Truter⁷⁰, Mathias⁵¹ e Turner e Verhoogen⁷⁵).

Dois argumentos poderiam ser aventados em oposição a halos pleocróicos do Terciário, ou seja, halos formados originalmente nas rochas alcalinas do Itatiaia. O primeiro, seria o de que as rochas alcalinas são recentes demais para que pudessem conter biotitas com halos. O segundo argumento, sem dúvida mais convincente, refere-se ao fato de haver halos em cristais de biotita parcialmente transformada em aegirina, o que



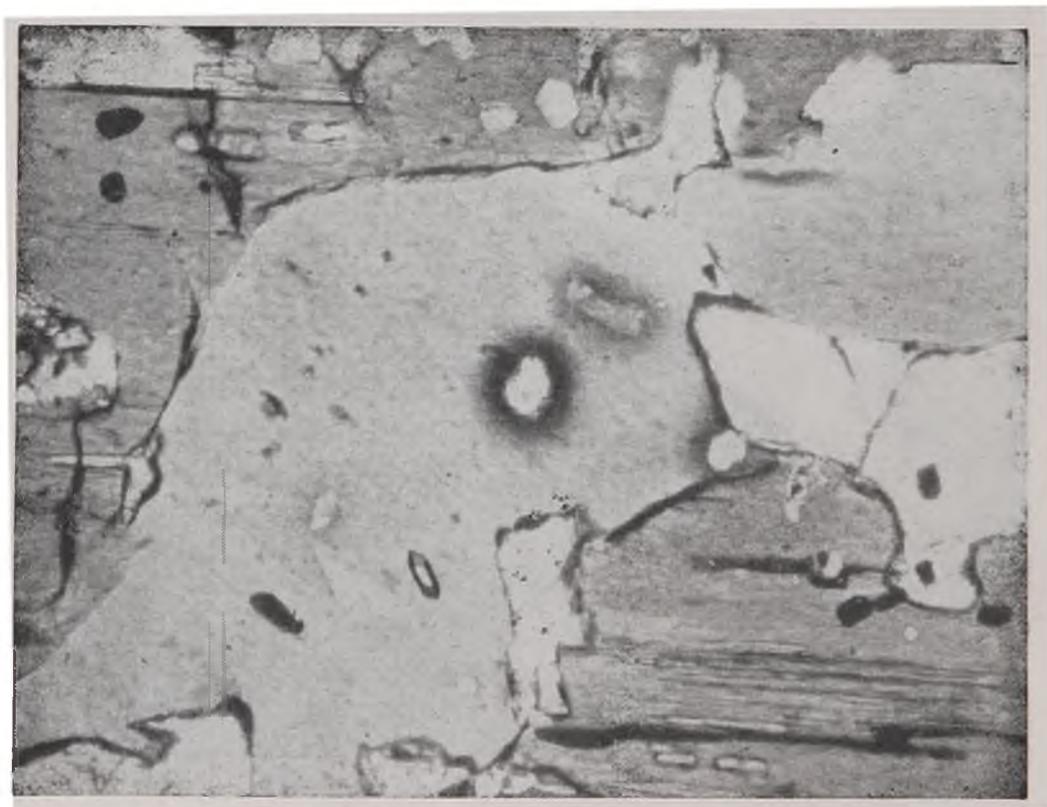
Fotomicrografia 15 — Magnetita com inclusões de apatita. Nefelina-sienito. x 25. Nicóis II.

indicaria biotitas oriundas de rochas gnáissicas posteriormente assimiladas pelo magma alcalino.

Por outro lado, o fato de não se ter encontrado halos nas rochas gnáissicas do embasamento cristalino, bem como a presença de halos em cristais idiomorfos de biotita nos nefelinasienitos e foiaítos, torna difícil a explicação, tanto pela assimilação de rochas biotíticas do teto gnáissico, quanto pela formação de fenito reomórfico.

A presença de feldspatóides nas rochas portadores de halos significa que, se estas tivessem sido originadas por fenitização, o processo deveria ter se dado com intensidade suficiente para transformar a biotita em aegirina. Este fenômeno não pode entretanto ser generalizado para as rochas que contém halos em cristais idiomorfos de biotita, destituídos de qualquer evidência de substituição por aegirina.

Além das dificuldades mencionadas acima, há os casos já citados de halos pleocróicos encontrados em rochas até do Ce-



Fotomicrografia 16 — Biotita com halo pleocróico. Nefelina-sienito. x 160. Nicóis II.

nozóico, e ainda a relação entre radioatividade e o escurecimento dos halos.

Se os halos pleocróicos estão em biotitas provenientes de rochas do teto gnáissico do Pré-Cambriano, ou naquelas segregadas no magma alcalino, ou ainda se os halos se formaram tanto em biotitas antigas incorporadas pelas rochas alcalinas, mas também em biotitas geradas pelo magma alcalino, é um problema que somente poderá ser resolvido com determinações geocronológicas. Acreditamos, contudo, na maior probabilidade dos halos terem se formado nas biotitas segregadas pelo magma alcalino (fotomicrog. 16)

PETROGÊNESE DAS ROCHAS ALCALINAS DO ITATIAIA

O aspecto genético das rochas alcalinas do Itatiaia, foi abordado por Derby¹³ em 1889, que sem entrar nos pormenores dos eventos que teriam dado origem ao maciço, acreditava que o Itatiaia constituía exemplo de região vulcânica.

Freitas²⁷ estabeleceu a relação das intrusões alcalinas com o tectonismo da serra do Mar e serra da Mantiqueira, admitindo para o caso do Itatiaia uma origem plutônica-vulcânica.

Guimarães^{31 32}, relaciona a gênese das rochas alcalinas aos derrames basálticos que atingiram o sul do Brasil.

Lamego⁴⁶ foi, sem dúvida, quem mais se deteve no estudo da gênese do maciço alcalino do Itatiaia. Discordando da idéia de Derby quanto ao vulcanismo, adotou a teoria da origem plutônica, por diferenciação agpaítica.

Várias teorias já foram sugeridas com o objetivo de explicar a gênese das rochas alcalinas. Discutiremos algumas daquelas que poderiam ser propostas para o caso das rochas do Itatiaia:

1 — Dessilicificação de magma basáltico ou granítico por assimilação de calcário (Daly^{8 9} Shand^{65 66 67})

Esta teoria, cuja possibilidade de aplicação tem sido tão discutida, e até mesmo negada (Bowen⁴), não tem apoio algum no maciço do Itatiaia, que está limitado unicamente pe-

las rochas gnáissicas. Mesmo nas vizinhanças de tôda a região estudada, não são conhecidas ocorrências de calcários.

2 — Diferenciação magmática relacionada e influenciada por movimentos átectônicos epirogênicos (Harker³³)

O embasamento cristalino no sul do Brasil, foi atravessado por algumas intrusões alcalinas dispostas ao longo de duas direções principais. A primeira, no sentido NE, compreende as ocorrências de Lages, Itapirapuã, Cananéia, Jacupiranga, Serrote, Ipanema, São Sebastião, Itatiaia, Gericinó, Tinguá, Medanha e Cabo Frio. A segunda direção, no sentido NW e quase normal à primeira, abrange as intrusões de São Sebastião, Poços de Caldas, Araxá, Salitre e Serra Negra (Ellert¹⁹)

Guimarães^{31 32}, ressalta a importância do ambiente tectônico na gênese das nossas rochas alcalinas. Freitas op. cit., também o faz, quando associa as intrusões de alcalinas ao tectonismo responsável pela formação das serras do Mar e da Mantiqueira. Por outro lado, Leinz⁴⁸ já reconheceu a existência de duas linhas de tensão no sul do Brasil. Uma paralela à linha da costa e outra perpendicular à primeira, teriam possibilitado a subida do magma basáltico.

Creemos que independentemente do processo magmático, por desenvolvimento de magma alcalino primário, ou por diferenciação a partir de magma basáltico, à luz dos fatos já citados, deve ter havido influência do ambiente na formação das rochas alcalinas do Itatiaia, alinhadas segundo as direções tectônicas.

3 — Cristalização fracionada de magma basáltico. Os magmas basálticos, responsáveis pela formação de rochas que ocupam amplas áreas distribuídas nos vários continentes, evidenciam que no curso da diferenciação magmática, podem dar frações finais correspondentes a traquitos, sienitos ou nefelina-sienitos. A diversificação no grau de insaturação das variedades magmáticas, parece estar ligada ao próprio magma primário.

No Brasil, vários autores concordam na relação entre tectonismo, derrames basálticos e intrusões alcalinas na parte meridional do país.

Freitas²⁴ menciona a semelhança entre as instruções alcalinas de São Sebastião e Itatiaia, dadas como comagmáticas e originadas por diferenciação de magma basáltico, pelo processo de cristalização fracionada normal.

Guimarães³¹ considera que no Brasil as rochas alcalinas originaram-se da atividade do magma basáltico, nas áreas adjacentes às de maiores deslocamentos epirogênicos.

Almeida², estudando a geologia e petrologia do arquipélago de Fernando de Noronha, opina sobre a origem daquela província de rochas alcalinas a partir de magma basáltico alcalino.

A semelhança petrográfica com algumas ocorrências já descritas, a ausência de calcários, as relações tectônicas, bem como o volume da intrusão, constituem argumentos favoráveis à gênese das alcalinas do Itatiaia, por diferenciação magmática a partir de matriz basáltica. Não há necessariamente a obrigatoriedade de se relacionar a origem das rochas alcalinas aos derrames basálticos da bacia do Paraná. Aliás, de acordo com as determinações de idade pelo método K-A, o vulcanismo basáltico abrange um intervalo entre 119-147 milhões de anos. Considerando que as rochas alcalinas do Itatiaia têm 66 m.a., não se deve correlacioná-las no tempo, ao vulcanismo basáltico do Eocretáceo (Amaral et al ⁸⁰ e Melfi ⁸¹)

Há complexos alcalinos ígneos, onde os diferentes tipos de sienitos estão associados a quartzo-sienitos e a granitos. Se de um lado há exemplos citados a favor da origem independente para as rochas saturadas e instauradas, não há negar que existem casos em que a relação gradual dos dois tipos de rochas, sugere uma origem a partir do mesmo magma primário

Tiley⁷⁴, ao estabelecer a sequência da diferenciação nos complexos ígneos alcalinos, distinguiu duas classes gerais de associação.

A — Complexos com nefelina-sienitos, mas em que a série termina com quartzo-sienito ou com granito.

B — Complexos que contém granito, mas em que a série termina com nefelina-sienito.

Julgamos que o maciço alcalino do Itatiaia constitui mais um exemplo a ser acrescentado àqueles mencionados por Tiley op.cit., para o caso de complexos alcalinos cuja série termina com quartzo-sienito e com granito.

Nas nossas observações de campo, e posteriormente pelo estudo microscópico das rochas, pudemos verificar que no Itatiaia há uma transição gradual de t \acute{e} rmos insaturados ricos em feldspat \acute{o} ides, que passam a rochas saturadas e finalmente a rochas supersaturadas. Esta transição progride das bordas do contacto com o embasamento cristalino, para a parte central do maciço. Assim é, que da periferia para o centro do maciço, afloram nefelina-sienitos, nefelina-sodalita-sienitos, nefelina-foiaítos, sienitos, pulaskitos, quartzo-sienitos, com proporções variáveis de quartzo que passa a granito alcalino. Poder-se-ia também imaginar que ao invés da transição gradual ter sido lateralmente, poderia representar uma variação em que os teores de sílica progridem com a altitude. Entretanto, os afloramentos de granito alcalino estão situados em níveis inferiores quando comparados com as altitudes das Agulhas Negras e das Prateleiras, onde afloram quartzo-sienitos (Fig. 2)

Os afloramentos em que a heterogeneidade nos tipos de rochas alcalinas insaturadas aparentemente invalidaram a sequência apontada acima, poderiam ser explicados como partes da intrusão, onde os processos de difusão não foram capazes de promover a completa homogeneização do magma.

Nos afloramentos de quartzo-sienitos e nordmarkitos do Planalto do Itatiaia, a passagem gradual com enriquecimento progressivo em quartzo é bem mais evidente que nos sienitos com maior ou menor grau de insaturação. A partir do contacto com as brechas para a parte central da área ocupada por quartzo-sienitos, as porcentagens de quartzo variam de 2% ao máximo de 27,5% no granito alcalino.

Nos sistemas sintéticos obtidos em fusões experimentais sob pressão de vapor de água, há uma barreira termal no sis-

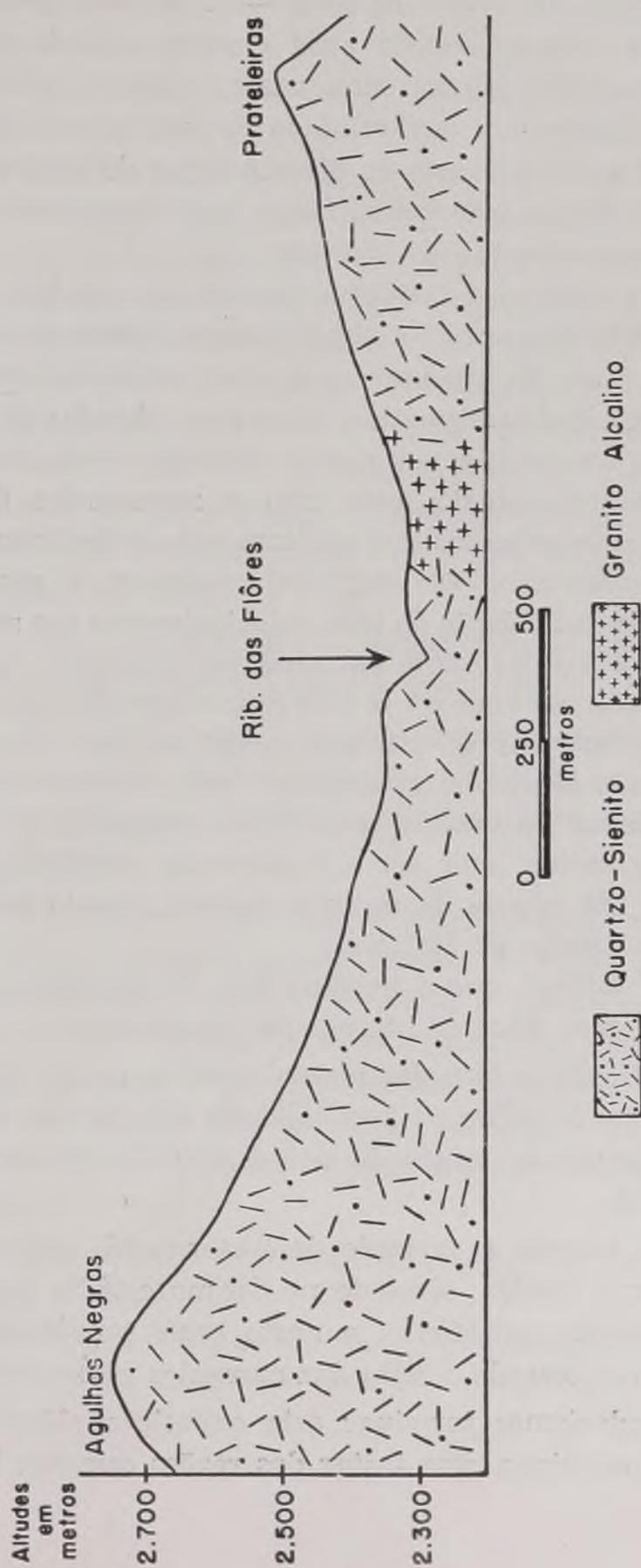


Fig. 2 — Seção geológica entre os picos das Agulhas Negras e Prateleiras, Planalto do Itatiaia.

tema ternário $\text{SiO}_2 - \text{Na Al SiO}_4 - \text{K Al SiO}_4$ que impede a transição de nefelina-sienito para granito através de sienito ou quartzo-sienito. Entretanto, como expõe o próprio Tiley *op.cit.*, há também a possibilidade de explicar-se esta transição, como sendo o produto da diferenciação de fusões naturais nas quais a composição é modificada por componentes máficos e por notável conteúdo em voláteis.

Outro problema relativo à gênese das rochas alcalinas do Itatiaia é o da possível assimilação das rochas do teto gnáissico, como meio de elucidar-se o enriquecimento em quartzo na região da cúpula magmática. As rochas híbridas do contacto, os xenólitos de gnaisses nas rochas sieníticas, bem como a existência de aegirina-sienito com cristais xenomorfos de biotita (provavelmente oriundos dos gnaisses pré-cambrianos, parcialmente transformados em aegirina), reforçam a possibilidade de ter havido assimilação do teto, principalmente nas zonas onde o quartzo acha-se presente em altas porcentagens. É possível que este problema venha a ser resolvido com determinações da composição isotópica de estrôncio, expressa pela relação $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ (Faure e Hurley⁷⁹). Por outro lado, de acordo com Emons²⁰ e Gates²⁹, a textura granofírica constatada em quartzo-sienitos e granitos, pode ser o produto da cristalização fracionada final, em cúpula de sistema fechado, o que poderia ser aplicado ao maciço do Itatiaia.

Leinz⁴⁷ advoga que o nordmarkito do Ipanema parece representar a fase final da segregação magmática.

Streckeisen⁷¹ infere das observações de campo no complexo nefelínico de Ditro, a possibilidade do quartzo dos granitos alcalinos ter-se originado por dissolução de xenólitos do embasamento.

Tiley⁷³, usando o exemplo de Skaergaard, assevera que o fracionamento félsico, somente no último estágio pode produzir um resíduo granofírico, e neste caso, provavelmente depois de haver cessado a ação das correntes convencionais.

Não poderíamos terminar esta exposição sobre a gênese das rochas alcalinas, sem tratar das razões que nos levaram a

discordar da teoria agpaítica, aplicada ao maciço alcalino do Itatiaia por Lamego⁴⁶

São classificados como rochas agpaíticas, os nefelina-sienitos peralcalinos, com anfibólio sódico e aegirina em vez de biotita, hornblenda ou piroxênios diopsídicos. O termo agpaítico foi introduzido por Ussing, para definir rochas que ocorrem em Ilimaussaq, geradas por um magma, no qual, durante o processo da segregação magmática, a separação de sodalita, nefelina e microclina antecedeu à cristalização da maior parte dos minerais máficos (Sorensen⁶⁹). Entretanto, nas rochas alcalinas do Itatiaia, os cristais de feldspatóides ocupam os espaços residuais, o que lhes imprime o carácter xenomórfico, ao contrário do que sucederia caso fôsse invertida a ordem de segregação. Não foram também observados feldspatóides inclusos em minerais máficos.

Em 1960, Sorensen *op.cit.* estabeleceu as seguintes regras para o reconhecimento de rochas agpaíticas:

a — As rochas agpaíticas são de baixo conteúdo em Ca e Mg e não contém biotita, diopsídio e hornblenda. Entretanto todos êstes minerais são frequentemente encontrados nas rochas do Itatiaia.

b — As rochas agpaíticas contém silicatos complexos de Zr e de Ti, em vez de zircão e titanita. Também quanto a êste item as rochas do Itatiaia evidenciam o contrário. Ainda que o zircão não seja comum, a titanita o é. Nos sienitos, foiaítos, pulaskitos, brechas e quartzo-sienitos, a titanita é o mineral acessório que sempre está presente. Em alguns sienitos a titanita é proeminente o bastante, para ser macroscòpicamente reconhecida.

c — São rochas com eudialita, em que os carbonatos são raros.

As rochas do Itatiaia não contém eudialita, mas em algumas amostras identificamos calcita e siderita deutéricas.

d — São rochas nas quais há excesso de álcalis em relação ao alumínio, sendo geralmente válida a relação

TABELA 4

Análises Químicas
(Porcentagens em peso)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	56,20	57,88	60,38	59,56	59,72	59,30	61,40	69,60	66,00
TiO ₂	0,84	1,08	1,20	0,42	0,92	0,55	1,00	0,42	0,29
Al ₂ O ₃	22,12	18,34	18,35	19,10	19,55	18,90	19,00	13,90	16,70
Fe ₂ O ₃	1,60	2,31	1,15	1,91	1,71	1,70	1,60	1,10	1,10
FeO	1,31	2,05	1,54	1,95	1,65	0,70	1,80	0,60	1,50
MnO	0,15	0,15	0,14	0,12	0,15	0,15	0,19	0,05	0,02
MgO	0,80	0,86	1,82	1,07	1,35	0,60	0,90	0,30	0,30
CaO	1,56	2,26	1,22	1,16	1,94	1,40	1,70	1,00	1,80
Na ₂ O	7,72	6,36	7,28	6,44	5,34	8,50	5,20	4,50	5,70
K ₂ O	6,46	7,50	6,88	6,84	6,20	6,30	6,50	6,00	5,50
P ₂ O ₅	0,03	0,33	0,14	0,27	0,20	0,28	0,36	0,25	0,17
H ₂ O+						1,10	0,80	1,00	0,60
H ₂ O-						0,28	0,20	0,78	0,12
CO ₂						0,20	0,10	0,70	0,10
P. F	1,28	0,96	0,52	1,22	0,96				
Total	100,07	100,08	100,62	100,06	99,69	99,96	100,75	100,20	99,90

1 — Nefelina-sienito — Capelinha.

2 — Quartzo-sienito — Alto do Itatiaia.

3 — Sodalita-nefelina-sienito — Butner, Mauá.

4 — Nordmarkito — Agulhas Negra.

5 — Nefelina-sienito — Estação Biológica do Itatiaia.

6 — Sodalina-nefelina-sienito — Estação TV Tupi, P.N.I.

7 — Brecha magmática — Km 11 da estrada Registro-Agulhas.

8 — Nordmarkito — Estrada Rebouças-Massena.

9 — Biotita-gnaise alcalino — Fazenda Dois Irmãos.

Análises de 1 a 4 por Marysia Fontoura Leinz e Vera M.

Gomes, segundo Lamego ⁴⁶

Análises de 6 a 9 por Aida Espinola, do laboratório do

D.N.P.M.

$$\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Al}} \approx 1,2$$

Esta relação, calculada para as rochas do Itatiaia, com base nas análises químicas fornecidas por Lamago ⁴⁶, revelou valores inferiores ou iguais a 1,15. A mesma relação, quando calculada em função dos resultados das análises químicas dadas neste nosso trabalho, também fornece valores iguais ou inferiores a 1,15. A média da relação $\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Al}}$, calculada pelos dados de

oito análises químicas é igual a 1,03. Estes resultados constituem mais um argumento contrário à diferenciação agpaítica para as rochas alcalinas do Itatiaia.

A figura 3, que representa o diagrama de variação dos óxidos em função da sílica, refere-se aos resultados das análises químicas de sienitos e nordmarkito, contidos na tabela 4.

As porcentagens de SiO₂ variam de 56,20% a 69,60%, sendo que este valor máximo corresponde ao nordmarkito

Percebe-se no diagrama que com exceção de Al₂O₃ e Na₂O, as curvas dos outros óxidos variam sub-paralelamente com o aumento das porcentagens de sílica.

Nos pontos da curva de Na₂O nota-se grande dispersão, o que se deve provavelmente à variação no conteúdo de nefelina dos sienitos. A menor porcentagem de Na₂O, igual a 4,50%, refere-se a nordmarkito em que a nefelina é mineral ausente.

A razão deste diagrama não estar integralmente de acordo com as curvas de variação deduzidas para o fenômeno de cristalização fracionada (Bowen ⁴), possivelmente prende-se ao fato de nele estarem representadas somente rochas com teores de SiO₂ acima de 56,20%.

GÊNESE DAS BRECHAS

A interpretação dos fenômenos que deram origem às brechas magmáticas do Itatiaia envolve problemas muito complexos, sujeitos obviamente a contestações várias. As explica-

ções quanto à gênese destas brechas, ainda pouco estudadas, têm muito de especulação. Por esta razão, diante das dificuldades que impedem uma solução conclusiva, preferimos separar neste capítulo, os fatos verificados, dos processos que fo-

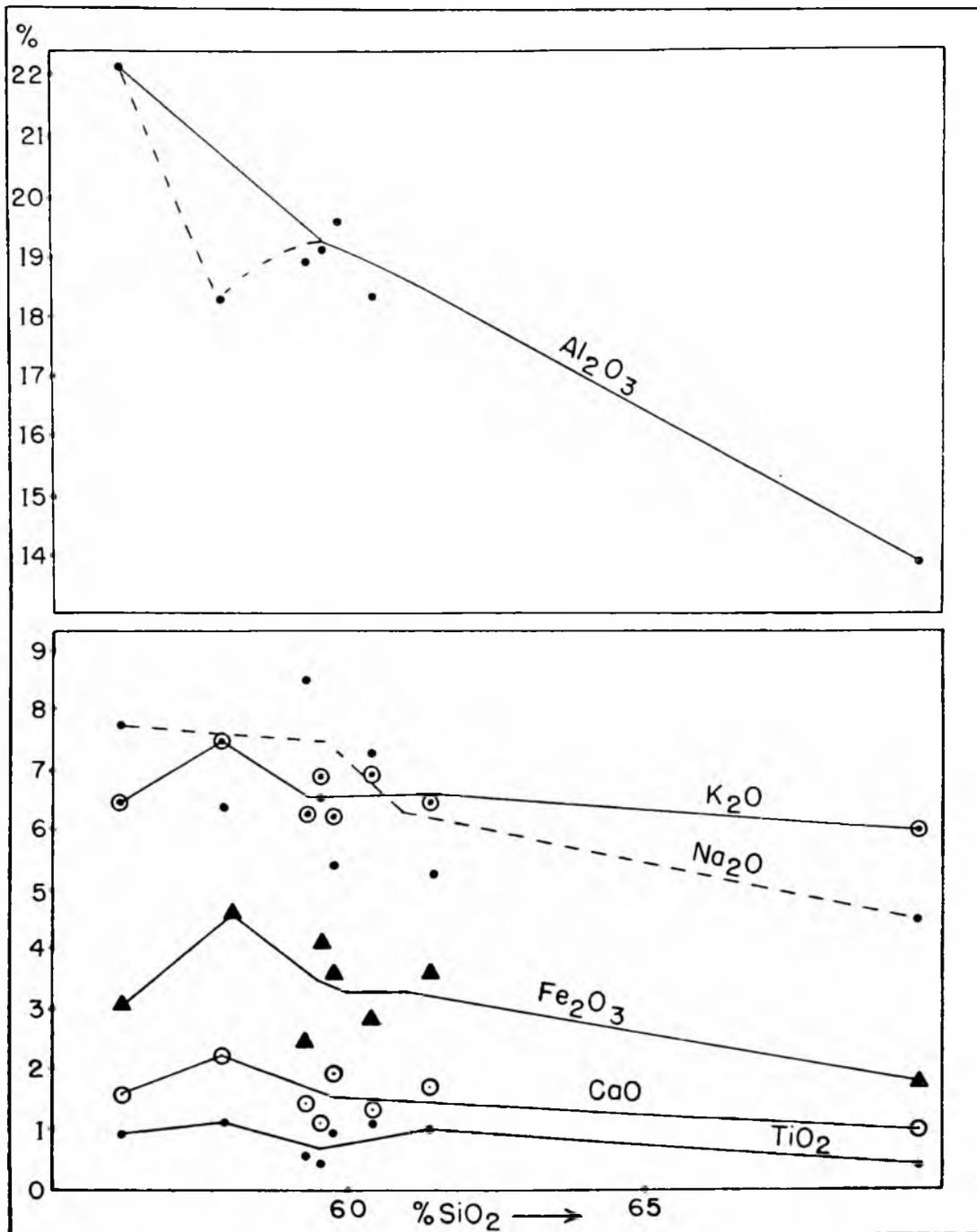


Fig. 3 — Diagrama de variação dos óxidos em função da sílica.

ram inferidos à luz das nossas observações petrográficas e geológicas.

Baseados nas nossas observações podemos asseverar que:

1 — Na região do Itatiaia não há evidências que comprovem a existência de rochas efusivas ou de material piroclástico.

2 — As brechas do Itatiaia não possuem fragmentos e nem matriz de origem vulcânica.

3 — Nos fragmentos e na matriz das brechas não foram encontradas vesículas.

4 — As brechas estão em contacto com sienitos e quartzosienitos de granulação fina, que passam gradativamente a brechas típicas. Do contacto para a parte central da zona de brechas, a porcentagem de fragmentos é crescente.

5 — Os fragmentos são quase na totalidade de natureza petrográfica semelhante à das rochas adjacentes (brechas autolíticas)

6 — A matriz microcristalina, que é constituída principalmente por massa feldspática, às vêzes contém quartzo microcristalino.

7 — Não foram identificados fragmentos de gnaiss.

8 — Alguns fragmentos de rochas ou de feldspatos contidos nas brechas, exibem bordas de corrosão magmática (fotomicrog. 14)

9 — As brechas comumente apresentam textura fluidal, muitas vêzes proeminente ao redor dos fragmentos.

10 — Na composição mineralógica da matriz das brechas, são freqüentes os carbonatos, pirita, fluorita e clorita deutéricos.

11 — O tinguaito com pseudo-leucita passa a brecha, sem que o contacto possa ser delineado.

As observações citadas nos itens acima, aliadas a algumas características dos fragmentos das brechas, tais como a ausência de seleção, angulosidade, levaram-nos a optar pela origem plutônica. Aliás brechas magmáticas intrusivas não constituem

novidade, porquanto já foram mencionadas na literatura geológica por muitos autores, entre os quais destacamos Durrell¹⁶, Fairbairn e Robson²¹, Gates²⁸, Goodspeed³⁰ e Parsons⁵⁶

Creemos que a fase de formação das brechas está associada a intrusão alcalina, rica em voláteis, e deu-se contemporaneamente a ela.

As brechas mostram alterações hidrotermais e são ricas em pirita e carbonato

Certamente os gases magmáticos, processos de "stopping", fenômenos de colapso das rochas das paredes, e concentração do conteúdo de água na matriz pastosa, desempenharam importante papel na formação das brechas.

Durrell¹⁶ afirma que durante a cristalização da "lama magmática", que representa somente parte da matéria ígnea, pode haver concentração de água correspondente a duas ou três vezes o conteúdo original.

Admitindo-se que a região do Planalto do Itatiaia, onde afloram os quartzo-sienitos e brechas, representa a zona da cúpula de diferenciação magmática, pode-se assumir que na fase final de diferenciação houve aumento da fração gasosa, com conseqüente desenvolvimento de pressões, capazes de provocar fendas de escape nas rochas alcalinas adjacentes. O magma, forçando as fraturas inicialmente formadas, ao penetrá-las foi ampliando-as, ao mesmo tempo em que arrancava fragmentos e produzia cavidades nas rochas das paredes, por atrito.

O mecanismo intermitente de enriquecimento e alívio de voláteis, processos de "stopping" fragmentando e assimilando porções das rochas encaixantes, bem como os fenômenos de colapso, conjuntamente associados aos possíveis movimentos de subsidência (Penalva⁵⁸), facilitariam destarte o aumento e incorporação dos fragmentos ao magma ascendente, agora transformado em brecha intrusiva.

As brechas monolitológicas, classificadas neste nosso trabalho como brechas do **tipo e**, são de origem diversa das brechas magmáticas, ainda que possam ter-se formado contemporaneamente.

São brechas de atrito, localizadas em zonas de fraturas, onde houve maior intensidade de milonitização.

MACIÇO ALCALINO DE PASSA QUATRO(*)

O maciço alcalino de Passa Quatro está situado nos municípios de Itanhandu e de Passa Quatro, no estado de Minas Gerais; nos municípios de Lavrinhas e de Queluz, no estado de São Paulo e no município de Resende, no estado do Rio de Janeiro.

Ab'Sáber e Bernardes¹ referem-se ao maciço de Passa Quatro como outra porção foiaítica em bloco igualmente monolítico, porém com altitudes mais modestas que as encontradas no Itatiaia. Este corpo alcalino, que Ruellan** designou por maciço ou serra de Queluz está isolado das rochas sieníticas do Itatiaia pela garganta do Registro. O corredor gnáissico que separa os dois maciços, tem a largura mínima de um quilômetro na região do Registro, de onde se alarga para noroeste e para sudeste.

Ao redor das rochas alcalinas estão as do embasamento cristalino, constituído principalmente de biotita-gnaisses e gnaisses graníticos, com xistosidade predominante entre N40-70E, mergulhando para o sul. Os afloramentos de quartzito, com igual atitude, são de pequena extensão. Perto da região em que o rio Verde atravessa sobre rochas alcalinas, ocorrem pegmatitos com muscovita e turmalina.

Na escarpa nordeste do maciço, ao lado da rodovia Rio-Caxambu, há espesso manto de talus com blocos de rochas alcalinas parcial ou totalmente bauxitizados, formando depósitos já em exploração para a obtenção de sulfato de alumínio.

Nas escarpas noroeste e sudoeste, nas proximidades de Passa Quatro, há também depósitos de piemonte com abundantes

* Este capítulo já foi parcialmente reproduzido, com a nossa autorização, no boletim n.º 41 do Instituto Geográfico e Geológico, p. 114, capítulo de Eruptivas Alcálicas, de autoria do Prof. Ruy Ozório de Freitas, 1964.

** Conforme citação de Ab'Sáber e Bernardes¹

blocos de rochas alcalinas em processo de bauxitização, que eventualmente poderão constituir reservas exploráveis.

Na escarpa sudeste, onde o rio do Salto tem parte das suas nascentes, podem-se observar numerosos trechos em que os rios correm sôbre enormes blocos de sienitos provenientes do maciço de Passa Quatro, diretamente assentados no embasamento gnáissico no estado fresco.

As fotografias aéreas que dispúnhamos, atingiam sômente uma pequena parte da área do maciço de Passa Quatro. Por esta razão, recorreremos ao mapas municipais atualizados, executados pelo I.B.G.E. e gentilmente cedidos pelas prefeituras de Passa Quatro, Itanhandu, Resende e pelo próprio I.B.G.E. de São Paulo. Êstes mapas, após redução da escala a 1:100.000, foram unidos a fim de que tivéssemos o mapa regional.

A linha de contacto das rochas alcalinas com o embasamento cristalino, foi acompanhada no campo na parte nordeste e noroeste, onde os bons afloramentos são de mais fácil acesso. Na parte restante o contacto é inferido através das observações de campo. O indispensável auxílio da foto-interpretação não foi utilizado por falta de fotografias aéreas.

ROCHAS ALCALINAS

As rochas alcalinas do maciço de Passa Quatro, semelhantes às do Itatiaia, ocupam uma área estimada em 110 km². É possível que aqui ocorram todos os tipos de rochas já descritos na região do Itatiaia. Entretanto, como o nosso objetivo se prendia mais às investigações geológicas do Itatiaia, limitamo-nos a coletar algumas poucas amostras para a análise petrográfica.

Foram encontrados sienitos, nefelina-sienitos, foiaítos, nefelina-microsienitos, nefelina-sienitos porfiróides e tinguíto porfiróide. O fato de não havermos localizado brechas e quartzosienitos, não nos autoriza a eliminar a possibilidade de que estas rochas possam aflorar na porção central do maciço alcalino, ainda não estudada.

O contôrno externo da intrusão alcalina é de forma aproximadamente elíptica, cujo eixo maior, com 17 km, está na di-

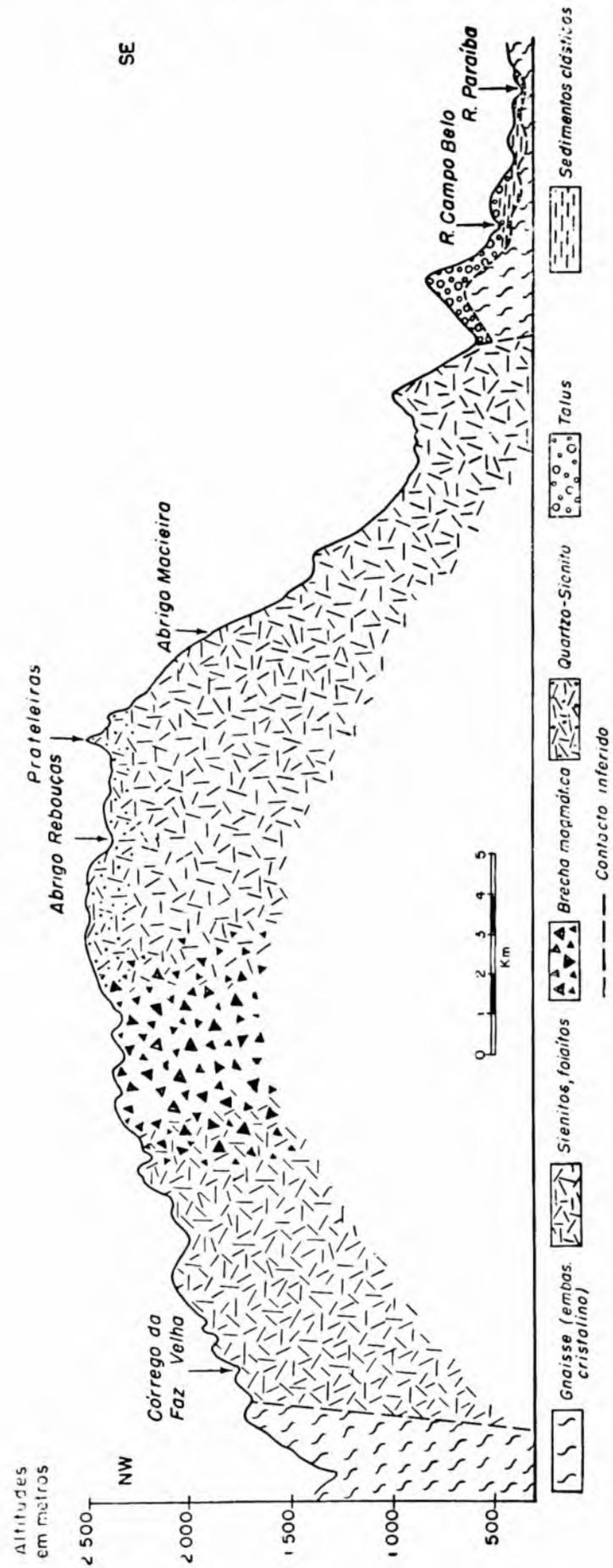


Fig. 4 — Seção geológica de Noroeste para Sudeste, maciço alcalino do Itatiaia.

reção NE-SW concordante com a xistosidade regional. O menor eixo, com 8 km, está na direção NW-SE.

A uniformidade geomorfológica, as semelhanças petrográficas, bem como a contiguidade, fazem crer que as intrusões alcalinas do Itatiaia e de Passa Quatro foram contemporâneas (*). É possível que o gnaiss localizado entre os dois maciços, constitua uma cunha de separação do tipo "roof pendants" (Daly⁸), ou simplesmente um septo (Fig. 5)

Da comparação macroscópica das rochas dos dois maciços, pudemos verificar algumas diferenças entre tipos petrográficos correspondentes, quais sejam:

1 — Os nefelina-sienitos do Itatiaia são geralmente cinza claros, e possuem cristais de titanita visíveis a olho nu. Os cristais de nefelina são de coloração que tendem para uma tonalidade rosa, enquanto no maciço de Passa Quatro a rocha análoga é cinza, com cristais de nefelina também de cor cinza, e a titanita não é mineral proeminente.

2 — Os tinguaitos do Itatiaia são de matriz cinza, enquanto os do Passa Quatro apresentam matriz castanha.

3 — No maciço de Passa Quatro não foram encontrados tinguaitos com pseudo-leucita, que ocorre somente em um dos afloramentos do Itatiaia.

Nefelina-sienito glomerular. Além dos tipos de nefelina-sienitos comparáveis aos do maciço do Itatiaia, amostramos e estudamos ao microscópio um exemplar diferente de todos quantos havíamos observado. Aflora à altura do km 5 da estrada nova, que está sendo construída a partir do km 33 da rodovia Rio Caxambu rumo ao Alto das Posses.

Trata-se de uma rocha de coloração cinza, de granulação média e de textura inequigranular. O seu aspecto macroscópico assemelha-se ao do granito alcalino do planalto do Itatiaia,

* Segundo E. Ribeiro Filho e U. G. Cordani, as idades das rochas do Itatiaia, Passa Quatro e Morro Redondo, respectivamente 66, 65 e 65,6 m.a., determinadas pelo método K-A, constituem mais um argumento favorável à associação genética destes maciços alcalinos. XX Congresso de Geologia da S.B.G., Publicação n.º 1, Rio de Janeiro, 1966.

com o qual pode ser confundido à primeira vista. Ao microscópio, entretanto, o que a olho nu se assemelha a quartzo, ou a cristais individualizados de nefelina, evidencia-se como agregados granulares de nefelina e ortoclásio. Estes agregados de dimensões milimétricas, ao microscópio, são de aspecto límpido e por isto mesmo facilmente reconhecíveis, quando contrastados com a aparência embaciada dos cristais de micropertita. Além de nefelina, esta rocha se compõe de micropertita sob a forma de cristais idiomorfos e ripiformes, ou em grãos sub-idiomorfos, de ripas aciculares de biotita e de magnetita. (Foto 13).

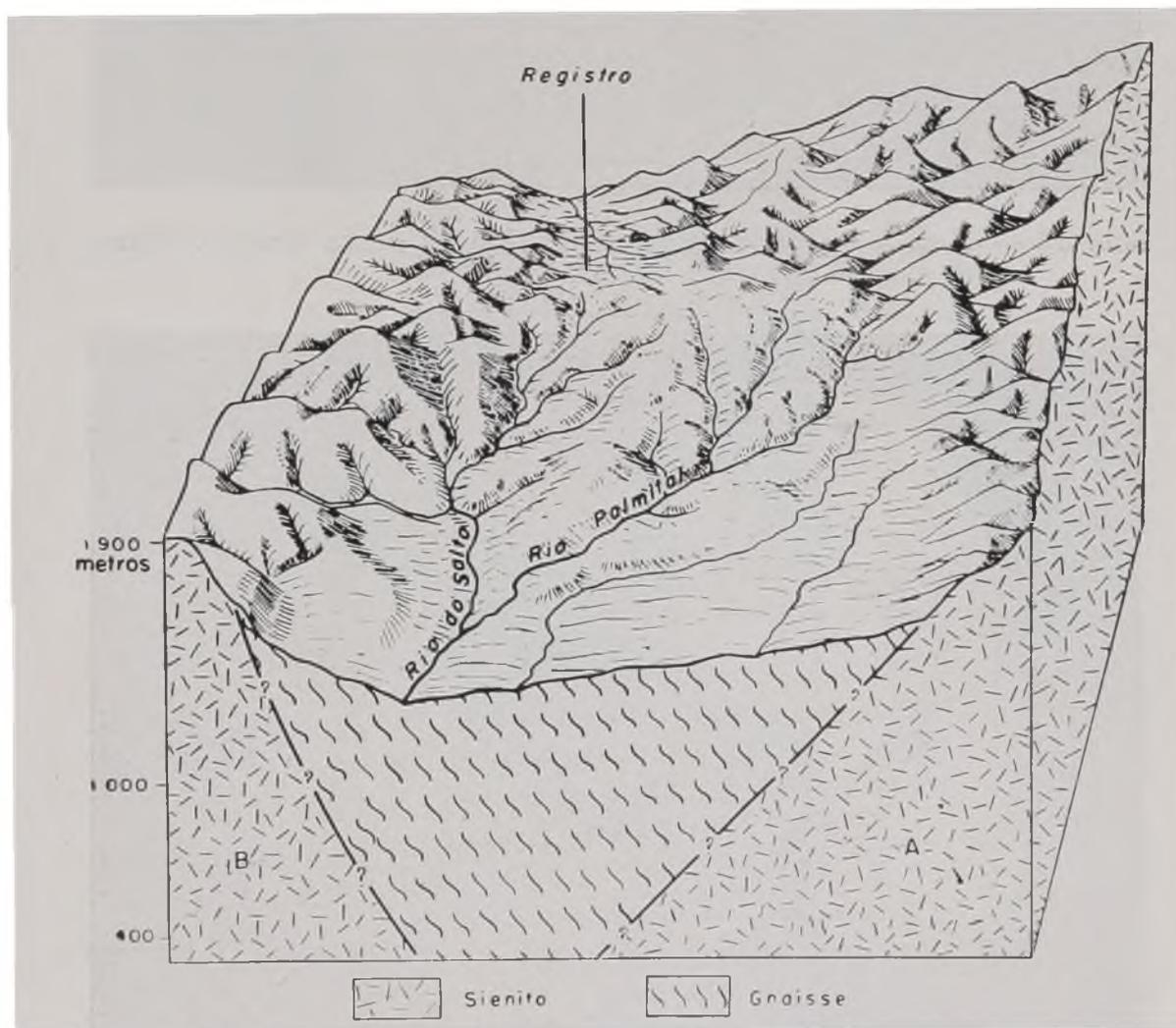


Fig. 5 — Bloco diagrama hipotético mostrando as relações dos maciços de rochas alcalinas do Itatiaia e de Passa Quatro. A separação entre os dois maciços por uma faixa de rochas gnáissicas, corresponderia a um teto pendente, ou simplesmente a um septo.

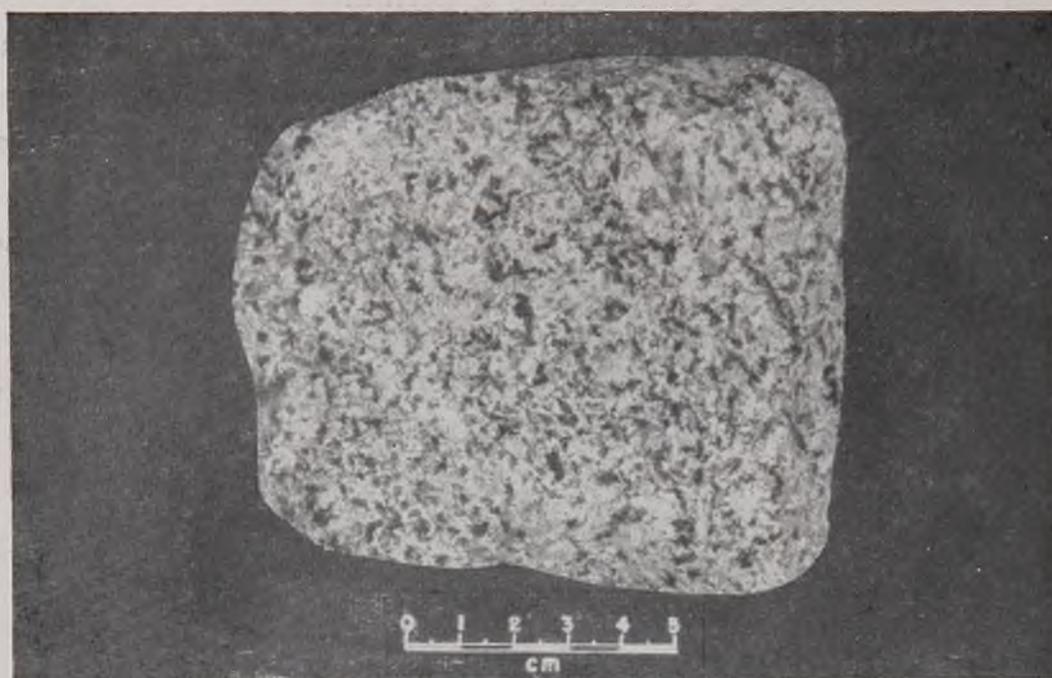


Foto 13 — Nefelina-sienito. Maciço alcalino de Passa Quatro. Estrada para o Alto das Posses.



Foto 14 — Nefelina-sienito em contacto com nefelina-microsienito. Sede do P.N.I.

MACIÇOS DO ITATIAIA E PASSA-QUATRO



Foto 15 — Vista das Agulhas Negras, onde aflora quartzo-sienito
Notar as caneluras sulcadas na rocha. Planalto do Itatiaia.

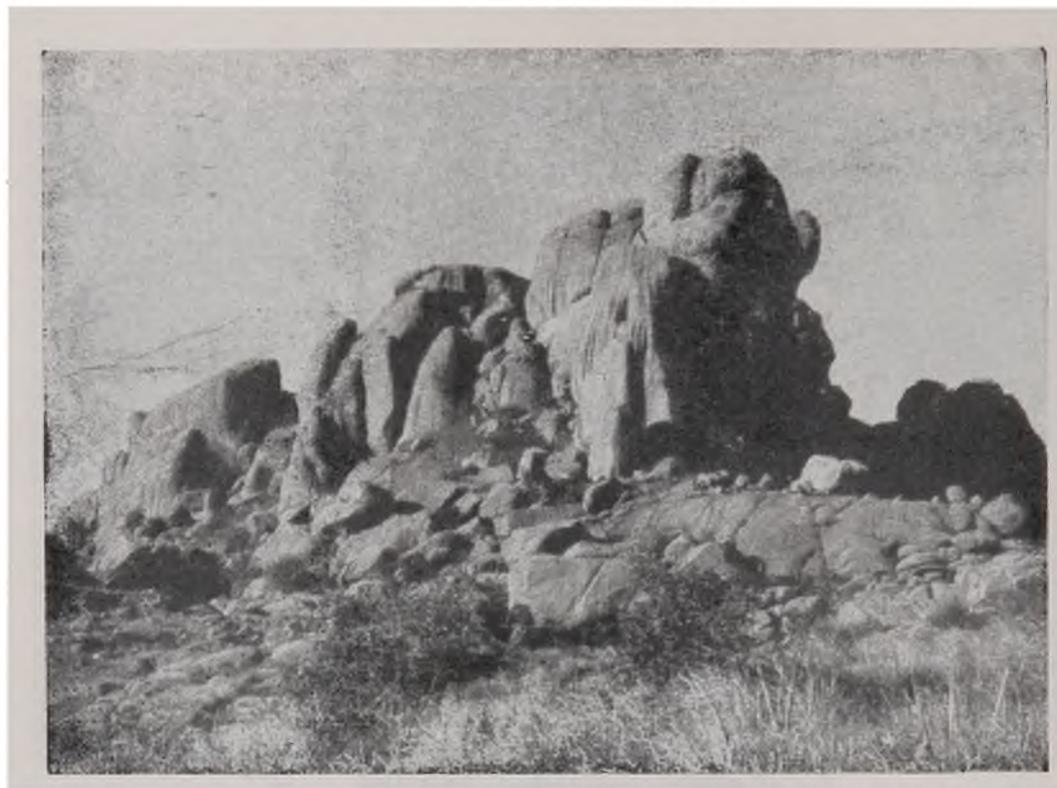


Foto 16 — Vista das Prateleiras, onde aflora quartzo-sienito. Planalto do Itatiaia.

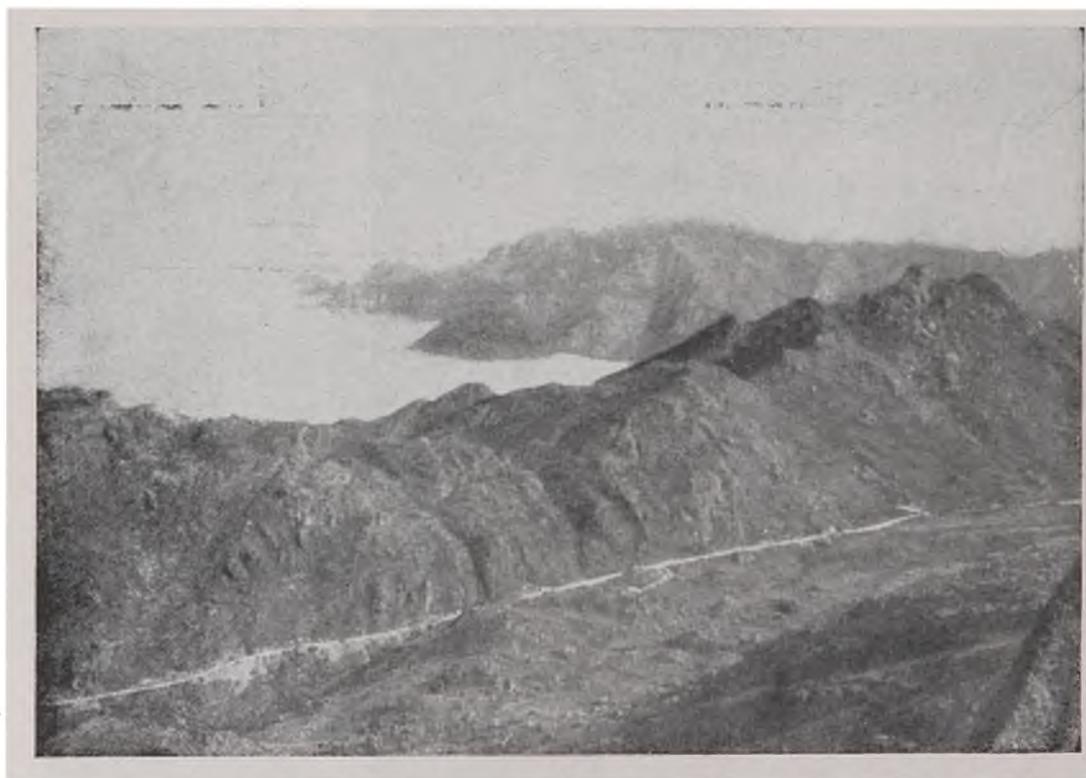


Foto 17 — Vista parcial do maciço alcalino de Passa Quatro, observando-se em primeiro plano a Pedra do Couto, no Planalto do Itatiaia.

CONCLUSÕES

- 1 — Os maciços de rochas alcalinas do Itatiaia e de Passa Quatro formam dois corpos isolados, respectivamente com 221 km² e 110 km²
- 2 — A uniformidade geomorfológica, as idades, as semelhanças petrográficas, bem como a contiguidade, mostram a provável contemporaneidade e consanguinidade das intrusões alcalinas do Itatiaia e de Passa Quatro.
- 3 — O complexo alcalino do Itatiaia é formado de sienitos, foiaítos, pulaskitos, quartzo-sienitos, granito alcalino, brechas e tinguaito com pseudo-leucita. A existência destes diferentes tipos petrográficos é mais uma consequência da distribuição dos minerais em proporções variáveis e de modificações texturais, do que de diferenças na composição mineralógica.
- 4 — No Itatiaia, na fase final da intrusão, houve formação de quartzo-sienitos e de granito alcalino. Os quartzo-sienitos e o granito alcalino representam os últimos termos da transição gradual que provavelmente progrediu das bordas do contacto com rochas gnáissicas para a parte central do maciço, provocando a passagem de rochas insaturadas à saturadas.
- 5 — A textura granofírica, bem como a falta de orientação dos minerais que compoem o granito alcalino do planalto do Itatiaia, são argumentos favoráveis à origem por diferenciação magmática final em cúpula de sistema fechado.
- 6 — As brechas que ocupam uma área do planalto do Itatiaia, estimada em 10 km², são de origem magmática.
- 7 — Quanto à gênese das rochas alcalinas, aceitamos o processo de cristalização fracionada de magma basáltico relacionado a fenómenos tectônicos.
- 8 — As relações entre as porcentagens de Na, K e Al, bem como a composição mineralógica das rochas alcalinas do Itatiaia, tornam difícil a aplicação da teoria agpaíti-

ca, como meio de explicar a gênese do processo magmático.

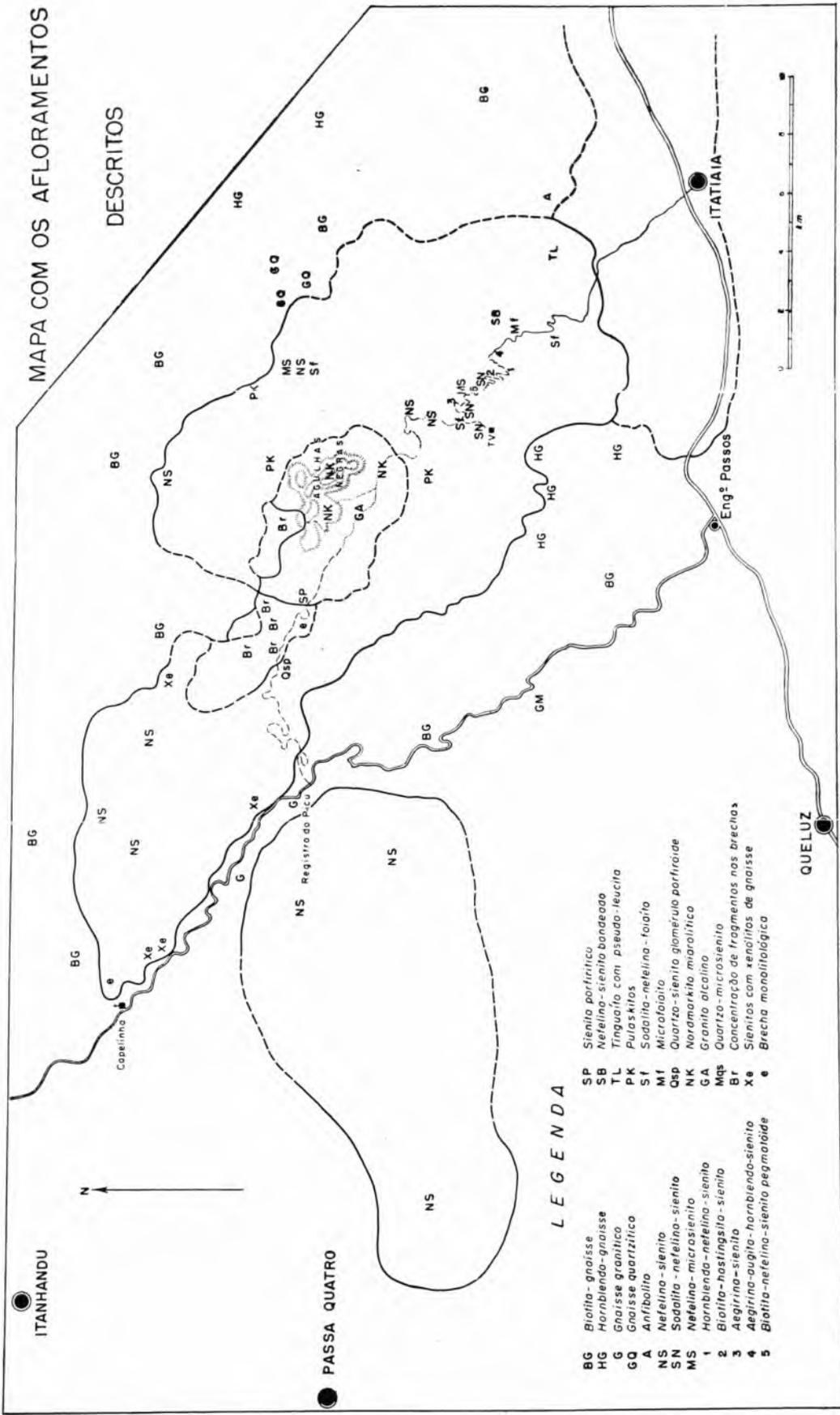
- 9 — As determinações de idade executadas pelo método do potássio-argônio em cristais de biotita, em duas amostras de nefelina-sienito do Itatiaia, revelaram os valores de 64,2 e 64,7 milhões de anos. De acordo com estes dados, a intrusão das rochas alcalinas do Itatiaia teria ocorrido no início do Terciário (Paleoceno) (*) Segundo Amaral et al, as idades dos sienitos do Itatiaia apresentam valor médio de 66 milhões de anos (**)
- 10 — Os cristais de biotita com halos pleocróicos formados por inclusões de zirconita e de apatita devem ter-se originado a partir do mesmo magma que gerou as rochas do complexo alcalino.

* Determinação realizada no Centro de Geocronologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo por G. Amaral, U. Cordani, K. Kawashita e J. H. Reynolds, usando-se o método do potássio-argônio em cristais de biotita, de nefelina-sienito.

** Amaral et al (1966) — Potassium-Argon Ages of Alkaline Rocks from Southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (no prelo)

ITANHANDU

MAPA COM OS AFLORAMENTOS DESCRITOS



PASSA QUATRO

QUELUZ

Eng. Passos

ITATIAIA

L E G E N D A

- | | | | |
|----|--|-----|---|
| BG | Biotita - gnaíse | SP | Sienita porfírica |
| HG | Hornblenda - gnaíse | SB | Nefelina - sienita bandeada |
| G | Gnaíse granítico | TL | Tinguialó com pseudo-leucita |
| GQ | Gnaíse quartzítico | PK | Pulaskitos |
| A | Anfibolito | Sf | Sodalita - nefelina - toaiário |
| NS | Nefelina - sienita | Mf | Microfaiato |
| SN | Sodalita - nefelina - sienita | Qsp | Quartzo - sienita glomerulo porfiróide |
| MS | Nefelina - microsienita | NK | Noramarkita marginalítica |
| 1 | Hornblenda - nefelina - sienita | GA | Granito alcalino |
| 2 | Biotita - hornblenda - sienita | Mqs | Quartzo - microsienita |
| 3 | Aegirina - sienita | Br | Concentração de fragmentos nos brechias |
| 4 | Aegirina - augita - hornblenda - sienita | Xe | Sienitos com xenólitos de gnaíse |
| 5 | Biotita - nefelina - sienita pegmatóide | e | Brecha monofiológica |

Fig. 6



Fig. 17 a



Fig. 17 b

Panorama visto do topo das Agulhas Negras: à esquerda no rumo norte, a serra Negra e os contrafortes das Agulhas; ao centro a várzea do rio Prêto; à direita, o pico do Marombas e anel intermediário; na extrema direita, o Leão e os Dois Irmãos (a figura 17b é o prolongamento da 17a, pelo lado direito desta).

BIBLIOGRAFIA

1. Ab'Sáber, A.N. e Bernardes, N. (1956) — Vale do Paraíba, serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. *Eng. Min. e Met.*, **24** (143): 284-292.
2. Almeida, Fernando F.M. (1955) — Geologia e petrologia do arquipélago de Fernando de Noronha. D.N.P.M., Div. de Geol. e Miner., Monografia 13. 181 p.
3. Backlund, H.G. (1933) — On the mode of intrusion of deep-seated alkaline bodies. *Bull. Geol. Inst. Upsala*, **24**: 1-24.
4. Bowen, Norman L. (1945) — Phase equilibria bearing on the origin and differentiation of alkaline rocks. *Am. J. Sci.*, **243-A**: 75-89.
5. ——— (1928) — The evolution of the igneous rocks. Dover Publications, Inc. New York. 332 p.
6. Chayes, F. (1949) — A simple point counter for thint-section analysis. *Am. Miner.*, **34** (1 e 2): 1-11.
7. Chayes, F. and Fairbairn, H.W. (1951) — A test of precision of thin-section analysis by point counter. *Am. Miner.* **36** (9 e 10): 704-712.
8. Daly, R.A. (1918) — Genesis of the alkaline rocks. *Jour. Geol. Soc.*, **26** (2): 97-134.
9. ——— (1933) — Igneous rocks and the depths of the earth. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 598 p.
10. De Martonne, E. (1943) — Problemas morfológicos do Brasil tropical atlântico. *Rev. Bras. de Geogr.*, **5** (4): 523-550.
11. ——— (1944) — Problemas morfológicos do Brasil tropical atlântico. *Rev. Bras. de Geogr.*, **6** (2): 155-178.
12. Derby, O.A. (1887) — On nepheline rocks in Brazil, with special reference to the association of phonolite and foyaite. *Quart. Jour. Geol. Soc.* **43**: 457-473.
13. ——— (1889) — Os picos altos do Brasil. *Bol. Soc. Geogr. Rio de Janeiro*, **5**: 13-35.
14. Domingues, A.J.P. (1952) — Maciço do Itatiaia. *Rev. Bras. de Geogr.*, **14** (4): 463-471.
15. Dunsen, P. (1905) — Sur la flore de la serra de Itatiaya. *Arq. do Mus. Nac.*, **13**: 5-6.
16. Durrell, C. (1944) — Andesitic breccia dikes near Blairsden, California. *Bull. Geol. Soc. Amer.* **55** (3): 255-272.

17. Ebert, Heinz (1960) — Novas observações sôbre a glaciação pleistocênica na serra do Itatiaia. *Anais da Acad. Bras. Ciênc.*, **32** (1): 51-73.
18. Eckermann, H. von (1948) — The alkaline district of Alnö Island Sver. Geol. Undersökning, Ser. Ca (36), Stockholm. 176 p.
19. Ellert, R. (1959) — Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. *Bol. Fac. Fil. Ciênc. e Letras da U.S.P.*, **237** (Geologia 18) 63 p.
20. Emmons, R.C. (1953) — Petrogeny of the syenites and nepheline syenites of central Wisconsin. *Mem. Geol. Soc. Amer.*, **52**: 71-87.
21. Fairbairn, H.W. and Robson, G.M. (1942) — Breccia at Sudbury, Ontario *Jour. Geol. Soc.*, **50**: 1-33.
22. Fisher, R. V (1958) — Definition of volcanic breccia. *Geol. Soc. Amer.*, **69** (8): 1071-1073.
23. Freitas, R.O. de (1944) — Jazimento das rochas alcalinas no Brasil meridional. *Eng. Min. e Met.*, **8** (43): 45-48.
24. ——— (1947) — Geologia e petrologia da Ilha de São Sebastião. *Bol. Fac. Fil. Ciênc. e Letras da U.S.P.*, **85** (Geologia 3) 244 p.
25. ——— (1951) — Ensaio sôbre a tectônica moderna do Brasil. *Bol. Fac. Fil., Ciênc. e Letras da U.S.P* **130** (Geologia 6). 120 p.
26. ——— (1956) — Considerações sôbre a tectônica e a geologia do vale do Paraíba. *Eng. Min. e Met.*, **24** (143): 276-283.
27. ——— (1958) — Geologia da barragem do funil. *Esc. Eng. São Carlos, U.S.P.*, *Geologia n.7, (Publ. n. 21)* 13 p.
28. Gates, Olcott (1959) — Breccia pipes in the Shonshone Range, Nevada. *Econ. Geol.* **54** (5): 790-815.
29. Gates, R.M. (1942) — Baxter Hollow granite cupola. *Am. Miner.*, **27** (10): 699-711.
30. Goodspeed, G.E. (1953) — Rheomorphic breccias. *Amer. J. Sci.*, **251** (6): 453-469.
31. Guimarães, D. (1947) — Origem das rochas alcalinas. *Bol. Inst. Tec. Ind.*, **5**. Belo Horizonte. 102 p.
32. ——— (1960) — Fundamentos da petrologia e as rochas ígneas do Brasil. *D.N.P.M., Div. Fom. Prod. Min.*, *Bol.* **107**. 410 p.
33. Harker, A. (1917) — Pres. Address, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, **73**: 67-96.

34. Hayase, I. (1954) — Relative geologic measurements on granites by pleochroic haloes and the radioactivity of the minerals in their nuclei. *Am. Miner.*, **39** (9 e 10): 761-772.
35. Heinrich, E. Wm. (1956) — *Microscopic petrography* MacGraw Hill Book Company, Inc. New York 296 p.
36. Henderson, G.H. (1937) — Some new types of pleochroic haloes. *Nature*, **140**, July 31, p. 191.
37. ——— (1939) — A new method of determining the age of certain minerals. *Proc. Roy. Soc. London*, **A-145**: 591-598.
38. Henderson, G.H. and Bateson, S. (1939) — A quantitative study of pleochroic haloes, Part I, *Proc. Roy. Soc. London*, **A-145**: 563-581.
39. Henderson, G.H. and Turnbull, L.G. (1939) — A quantitative study of pleochroic haloes, Part II, *Proc. Roy. Soc. London*, **A-145**: 582-591.
40. Holland, H. D. and Kulp, J. L. (1950) — Geologic age from metamict minerals. *Science*, **111**, March 24, p. 312.
41. Johannsen, A. (1939) — *A descriptive petrography of the igneous rocks*, 2a. ed. 1-3. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois. 318 e 360 p.
42. Joly, J. (1923) — Pleochroic haloes of various geological ages. *Proc. Roy. Soc. London*, **A-102**: 682-705.
43. King, L.C. (1956) — Geomorfologia do Brasil oriental. *Rev. Bras. Geogr.*, **18**: 147-256.
44. Kulp, J. L. et al (1952) — Age from metamict minerals. *Am. Miner.*, **37** (9 e 10): 709-718.
45. Laffite, P (1957) — *Introduction a l'étude des roches métamorphiques et des gites métallifères*. Masson & Cia., Paris. 343 p.
46. Lamego, A.R. (1936) — O maciço do Itatiaia e regiões circundantes. *S.G.M., Bol.* 88. 93 p.
47. Leinz, V (1940) — *Petrologia das jazidas de apatita de Ipanema (Est. de S. Paulo)*, D.N.P.M., Div. Fom. Prod. Min., *Bol.* 40. 52 p.
48. ——— (1949) — *Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil*. *Bol. Fac. Fil., Ciên. e Letras da U.S.P.*, **103** (Geologia 5) 61 p.
49. Maack, R. (1957) — *Über Bereisungsperiodem Und Vereisungsspuren in Brasilien*. *Geol. Rund.*, **45** (3): 547-595.
50. Martin, H., Mathias, M. e Simpson, E.S.W. (1960) — *The Damaraland sub-volcanic ring complexes in south west Africa*. XXI Intern. Geol. Congress, part XIII. Copenhagen. 156-174

51. Mathias, M. (1956) — The petrology of the Messum Igneous Complex, south west Africa. *Trans. Proc. Geol. Soc. S. Afr.*, **59**: 23-57
52. Mau, H. e Coutinho, J.M.V (1959) — Um veio carbonático com terras raras e tório no Maciço do Itatiaia, R.J. *Bol. S. B.G.*, **8** (1): 51-62.
53. Milner, H.B. (1952) — *Sedimentary petrography* Thomas Murby & Co., London. 666 p.
54. Odman, O.H. (1955) — On the presumed glaciation in the Itatiaia mountain, Brazil. *Eng. Min. e Met.*, **21** (123): 107-108
55. Oliveira, E. (1925) — Épocas metalogenéticas do Brasil. *Serv. Geol. e Miner. do Brasil, Bol.* **13**: 121-127.
56. Parsons, W. H. (1960) — Origin of tertiary breccias Wyoming. *XXI Int. Geol. Congress, part XIII. Copenhagen.* 139-146.
57. Penalva, F (1962) — Brecha magmática do Itatiaia. *Bol. S.B.G.*, **11** (1): 117-124.
58. ——— (1966) — Geologia da Região do Itatiaia (Sudeste do Brasil): Morfologia e Tectônica. Tese de Doutorado apresentada à Fac. Fil. Ciên. Letr. da U.S.P. *Bol. Fac. Fil. Ciên. Letr. (Geologia 22)*
59. Pierson, C.T. Haynes, D.D. and Ribeiro Filho, E. (1957) Reconnaissance for radioactive minerals in the southern part of Brazil. U.S.P. Depart. of Interior. TEM-1098, Washington, D.C. 19 p.
60. Pinto, M.S. (1938) — Descoberta de ocorrência de bauxita no Itatiaia. *Min. e Met.*, **8** (15): 183-184.
61. Rankama, K. (1954) — *Isotopic geology.* Pergmon Press Ltda., London. 535 p.
62. Rich, L.J. (1953) — Problems in brazilian geology and geomorphology suggested by reconnaissance in summer of 1951. *Bol. Fac. Fil., Ciên. e Letras da U.S.P.*, **146** (Geologia 9). 53 p.
63. Ruellan, F (1943) — Comunicação sôbre a excursão a Campo Belo e Itatiaia. *Bol. C.N.G.*, **1** (7): 76-79.
64. ——— (1953) — O papel das enxurradas no modelado do relêvo brasileiro. *Bol. Paulista de Geogr.*, (13): 5-18.
65. Shand, S.J (1922) — The problem of the alkaline rocks. *Trans. Geol. Soc. S. Afr.*, **25**: 19-32.
66. ——— (1943) — *Eruptive rocks*, 2a. ed. John Wiley & Sons. Inc., New York. 444 p.
67. ——— (1945) — The present status of Daly's hypothesis of alkaline rocks. *Am. J. Sci.*, **243-A**: 495-507.

68. Silveira, J.D. da (1942) — Itatiaia. Anais do IX Congresso Brasileiro de Geografia, 2: 607-619. Rio de Janeiro.
69. Sorensen, H. (1960) — On the agpaitic rocks. XXI Int. Geol. Congress, part XIII, Copenhagen. 319-327.
70. Strauss, C.A. and Truter, F.C. (1950) — The alkali complex at Spitskop, Sekukuniland, eastern Transvaal. Trans. Proc. Geol. Soc. S. Afr., 53: 81-125.
71. Streckeisen, A. (1960) — On the structure and origin of the nepheline-syenite complex of Ditro (Transsylvania, Roumania) XXI Int. Geol. Congress, part XIII, Copenhagen. 228-238.
72. Teixeira, D. (1961) — Relêvo e padrões de drenagem na chaminé vulcânica do Itatiaia. Bol. Paulista de Geogr., (37): 3-12.
73. Tiley, C.E. (1950) — Some aspects of magmatic evolution. Quart. Journ. Geol. Soc., 106 (421): 37-61.
74. ——— (1958) — Problems of alkaline rock genesis. Quart. Jour. Geol. Soc., 113 (451): 323-360.
75. Turner, F.J and Verhoogen, J. (1960) — Igneous and metamorphic petrology, 2a. ed. (McGraw-Hill Book Company, Inc., New York. 694 p.
76. Wahlstrom, Ernest E. (1950) — Introduction to theoretical petrology John Wiley & Sons, Inc., New York. 366 p.
77. ——— (1955) — Petrographic mineralogy. John Wiley & Sons Inc. New York. 408 p.
78. Williams, H. Turner, F.J and Gilbert, C. M. (1955) — Petrography: an introduction to the study of rocks in thin sections. W. H. Freeman and Company. San Francisco. 406 p.
79. Faure, G. and Hurley, P. M. (1963) — The Isotopic Composition of Strontium in Oceanic and Continental Basalts: Application to the Origin of Igneous Rocks. Jour. Petrol., 4 (1): 31-50.
80. Amaral et al (1966) — Potassium-argon dates of basaltic rocks from southern Brazil. Geochimica et Cosmochimica Acta, 30 (2): 159-189.
81. Melfi, A. J. (1967) — Potassium-argon dates on drill core samples of basaltic rocks from southern Brazil. Geochimica et Cosmochimica Acta, (no prelo)