

**GEOLOGIA DA SERRA DE ARAÇOIABA,
ESTADO DE SÃO PAULO**

por

André Davino

Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada

RÉSUMÉ

Ce travail traite des résultats des recherches géologiques exécutées dans la Serra de Araçoiaba (État de São Paulo). Dans sa partie centrale (region de la Fazenda Ipanema) afflueurent des roches alcalines qui contiennent de la magnetite et de l'apatite. Les recherches avaient pour but d'expliquer le mecanisme de la mise em place de ces roches, et d'étude la deposition des gisements de magnetite et d'apatite.

La carte géologique de la region a été levée à 1/20000; trois unités stratigraphiques y apparaissent:

- a) le substratum cristallin (pre cambrien supérieur?)
- b) le group Tubarão (permo-carbonifère)
- c) les intrusives alcalines (cretacée inferieur)

Pour la première fois, il est fait état, dans le secteur de la Serra de Araçoiaba, de la presença de roches amphibolitiques, et des *fenites*.

Les donées ont permis de comprendre le mecanisme de la mise en place du magma, par injection forcée, controlée par des structures regionaux du Socle Crystallin. Il est bien possible que, en profondeur le magma occupe um volume beaucoup plus grande qu'il ne le semble pas avoir en surface.

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados das investigações geológicas efetuadas na serra de Araçoiaba, que se localiza no centro-leste do Estado de São Paulo. Na parte central desta serra (área da Fazenda Ipanema) afloram rochas alcalinas, contendo concentrações de magnetita e apatita. As pesquisas tiveram por finalidade tentar elucidar o mecanismo de intrusão dessas rochas e estudar a distribuição dos depósitos de magnetita e apatita.

Foi elaborado o mapa geológico da região onde se delimitam três unidades estratigráficas: embasamento cristalino (pré cambriano sup.), Grupo Tubarão (permo-carbonífero) e intrusão alcalina (cretácea inferior). É mencionada pela primeira vez, na área da serra de Araçoiaba, a presença de rochas anfibolíticas e de *fenitos*.

A intrusão alcalina de Ipanema foi do tipo **injeção forçada**, com o conseqüente arqueamento das rochas encaixantes; a colocação do magma foi controlado, principalmente, pelas estruturas regionais do complexo cristalino. Admite-se que o magma ocupe, em profundidade, o espaço correspondente a uma faixa alongada, de direção NE-SW, com mais de uma dezena de quilômetros.

As jazidas de magnetita encontram-se, em grande parte, na forma de depósitos eluviais e concentrações in situ e poucas dezenas de metros de profundidade.

INTRODUÇÃO

A Serra de Araçoiaba, situada ao norte da cidade de Araçoiaba da Serra (fig. 1), eleva-se a 300 metros acima do relevo circunvizinho, expresso por superfícies de ondulação suave, nas quais as diferenças de nível não ultrapassam uma centena de metros. A altitude média da região é de 570 metros, porém, o ponto culminante da serra alcança 967 metros. A serra estende-se em direção NW-SE por 8 km, e sua largura chega a atingir 6 km. A drenagem se apresenta em disposição radial ao redor da serra, sendo os principais coletores de água: o rio Ipanema, o ribeirão do Ferro e o rio Iperó, todos afluentes do rio Sorocaba.

A importância da serra de Araçoiaba, do ponto de vista geológico, deriva do fato de conter umas das muitas ocorrências de rochas alcalinas do Brasil. As concentrações de magnetita e apatita nessas rochas despertam, desde longa data, especial interesse sobre a área. O contorno da intrusão alcalina situa-se na parte central da Serra e está contido inteiramente dentro dos limites da Fazenda Federal de Ipanema.

As finalidades principais do presente trabalho foram:

a — tentar esclarecer o mecanismo da intrusão do corpo alcalino de Ipanema e sua posição, no espaço e no tempo, dentro da estrutura regional da área;

b — investigar as possibilidades de novas ocorrências de minério de ferro e de apatita.

GEOLOGIA REGIONAL

A serra de Araçoiaba situa-se na faixa do Grupo Tubarão (v. fig. 1) do Sistema de Santa Catarina, que, nessa região do Estado de São Paulo, repousa diretamente sobre o embasamento cristalino.



Fig. 1 — Mapa Geológico Regional. Localização de Ipanema e dos demais lugares citados no trabalho (adaptado do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, 1963).

O Grupo Tubarão, de idade permo-carbonífera (Mendes, 1961), é constituído de rochas de oriegm e periglacial. Contém, em algumas áreas, intercalações marinhas e camadas de carvão depositadas nos períodos interglaciais. Possui mergulho regional muito suave para oeste, acompanhado a superfície topográfica do embasamento cristalino.

A ordem de grandeza do mergulho regional da superfície do embasamento cristalino pode ser calculado a partir de dados de sondagens (v. tabela 1, poço de São Pedro) e de eletrorresistividade (por exemplo, em Jupira, município de Porto Feliz, este método indicou o embasamento cristalino a 50 metros abaixo do nível do mar). As determinações permitiram calcular um mergulho ao redor de 1° a $1^{\circ}30'$ para NW.

Admitindo-se constante este mergulho, o embasamento cristalino deveria encontrar-se a uns 300 metros de altitude na região da serra de Araçoiaba. No entanto, o embasamento aflora nessa serra em altitudes superiores a 850 metros.

Em extensão regional ocorrem intrusivas

básicas (diábasios) associadas ao vulcanismo mesozóico do Sul do Brasil (Leiz, 1949), cortando ou intercalando-se nas camadas do Grupo Tubarão.

Os dados de sondagens que interessam ao presente trabalho estão transcritos na tabela 1. Como pode ser notado, o Grupo Tubarão atinge espessuras consideráveis, que ultrapassam 1000 metros, enquanto sills (ou lacólitos?) de diabásio apresentam até mais de 200 metros de espessuras (Mezzalira, 1958, p. 51). É interessante observar a pequena espessura do Grupo Tubarão na sondagem I (160 m), localizada a quase 3 km da área da intrusão alcalina de Ipanema.

GEOLOGIA DA REGIÃO DA SERRA DE ARAÇOIABA

Ao iniciarmos os trabalhos na área de Ipanema, estudada geologicamente por vários autores, tínhamos algumas informações sobre sua litologia e algumas idéias de seu tectonismo. A gênese das rochas alcalinas, bem como o modo de formação das jazidas de magnetita e apatita já tinham sido investigados preliminarmente. Um mapa geológico levantado por Knecht e publicado por Moraes (1938) constitui valioso auxílio na execução dos nossos levantamentos.

Trabalhos anteriores

A região de Ipanema estão ligados os

primeiros fatos relacionados à história da geologia no Brasil. A serra de Araçoiaba (fig. 2), constituindo uma anomalia morfológica na suave topografia onde se ergue, deve ter muito cedo chamado a atenção dos homens que conquistaram o interior do Brasil. Consta que, desde o século XVI, eram conhecidas as jazidas de ferro de Ipanema. No início do século XIX instalou-se ali a Fábrica de Ferro de São João do Ipanema.

Com a transferência da Coroa Portuguesa para o Brasil, a convite de Portugal chegou ao Brasil, em 1809, Luiz Wilhelm Varnhagen, incumbido de desenvolver a siderurgia instalada em Ipanema. Em 1818 corria ferro-gusa na Fábrica de Ipanema, onde fora instalado um dos primeiros altos-fornos que funcionou no País, tendo trabalhado ativamente durante a Guerra do Paraguai.

Rosenbusch (1870) foi o primeiro a reconhecer a martita que ocorre em Ipanema como produto pseudomórfico de magnetita.

A primeira menção sobre a existência de apreciável quantidade de ácido fosfático no solo que envolve os blocos de magnetita das jazidas de Ipanema se deve a Dupré (1885). Só em 1891, porém, Derby mostrou que a apatita ocorre como um dos constituintes das rochas alcalinas. Neste trabalho, Derby (1891) fez observações sobre a geologia da região e reconheceu alguns diques ligados à intrusão alcalina.



Fig. 2 — A Serra de Araçoiaba vista da estrada Ipanema-Porto Feliz.

Vinte anos mais tarde, Gonzaga de Campos, em relatório inédito (apud Knecht, 1930, pp. 6 e 21) fez estudos aprofundados sobre os recursos de magnetita de Ipanema.

Uma nova fase das investigações começa a partir de 1927, quando o governo do Estado de São Paulo e, posteriormente, o governo da União interessaram-se pela exploração da apatita para fabricação de adubo. A esta fase estão ligados inicialmente os nomes de Guilherme Florence e Theodoro Knecht, mais tarde, os de Luciano Jacques de Moraes, Moraes Rego, Viktor Leinz e outros.

Guilherme Florence, encarregado das pesquisas pelo governo paulista, conseguiu localizar vários corpos de minério fosfático.

Knecht (1930) apresentou a primeira secção geológica da serra de Araçoiaba, além dos estudos comparativos das jazidas de ferro e de apatita, tendo avaliado as suas reservas.

Moraes (1938) sintetiza todas as pesquisas geológicas feitas até essa data e apresenta sugestões para a instalação de uma fábrica de superfosfatos, aproveitando o minério de Ipanema. Moraes Rego (1938) e Araújo (1939) estudaram o aproveitamento da apatita.

Leinz (1940) publica estudos petrogenéticos sobre as rochas alcalinas, com especial referência às cocorrências de apatita.

Embora instalada a usina de beneficiamento e até mesmo iniciada a produção de superfosfatos, todas as tentativas de exploração da apatita resultaram antieconômicas.

Dos trabalhos mais recentes, fora da área da intrusão alcalina, mas que a ela fazem menção, cita-se o de Maciel e Guimarães (1955). Estes autores descrevem e discutem a origem de um dique de composição semelhante ao shonkinito-pórfiro que ocorre em Ipanema, situado no bairro do Congonhal, município de Tatuí. Knecht (1960) descreve também uma ocorrência de rocha alcalina semelhante ao shonkinito-pórfiro de Ipanema, no bairro dos Soares, município de Piedade.

O mapa geológico

No mapa geológico que apresentamos estão individualizadas as seguintes unidades estratigráficas:

Embasamento Cristalino (pré-cambriano sup.?)

Grupo Tubarão (permo-carbonífero)

Intrusão alcalina (mesozóica)

Assinalamos por meio de letras as rochas principais e, por meio de símbolos convencionais, os elementos estruturais medidos. Dentro da área do Embasamento Cristalino delimitamos as seguintes unidades litológicas: metassedimentos, anfíbolito e granitos.

Na execução do levantamento geológico, contamos com o auxílio de fotografias aéreas em escala aproximada 1:20000. Como mapa-base, servimo-nos da carta topográfica da Fazenda Ipanema, publicada em 1928 pelo Serviço Geográfico do Exército, em escala 1:20000 e com curvas de nível de 10 em 10 metros.

Tabela 1 — Dados de Sondagem (*)

Local	Espessura em metros		Observações
	Grupo Tubarão	Diabásio	
Angatuba	1136	117	atingiu o embasamento cristalino
S. Pedro Ipanema	1131	215	Idem
(I)	160	-	atingiu o embasamento cristalino a 420 m de altitude. Poço na sede da Fazenda Ipanema.
(II)	160	-	atingiu o embasamento cristalino, atravessou três corpos (silb?) de rochas alcalinas, com espessuras de 10, 2 e 5 m. Altitude do embasamento: 514m.
(III)	63	-	não atingiu o embasamento cristalino, atravessou 2 corpos de rochas alcalinas de 0,2 e 0,5 m de espessura.

* Os dados referentes a Ipanema foram fornecidos pela Cia. de Cimento Ipanema; os de S. Pedro e Angatuba foram reproduzidos da publicação de Mezzalana (1956, p.51).

Litologia

Rochas do Embasamento Cristalino

As rochas do embasamento cristalino que afloram na região de Ipanema são metassedi-

mentos do Grupo São Roque, anfíbolito e granito, todas consideradas pré-cambrianas. Com exceção do setor leste e sudeste, estas rochas se situam (v. mapa) ao redor da área da intrusão alcalina, numa faixa que, a partir do norte, alarga-se para oeste e para o sul. Essa faixa atinge até 5 km de largura. Uma área de anfíbolito, de forma irregular, ocorre isolada e cercada por sedimentos, a leste da intrusão alcalina; o mesmo parece dar-se com o granito que se localiza a algumas centenas de metros ao norte da cidade de Araçoiaba da Serra.

Metassedimentos do Grupo São Roque predominam na zona norte e em grande parte da região sul e sudeste da intrusão alcalina. São filitos prateados, quando são, e amarelados a ligeiramente vermelhos, quando decompostos. As faixas de filito passam gradualmente às de calcaxisto, até calcáreos metamórficos, de coloração escura, com notável quantidade de fissuras preenchidas por calcita. Foram encontrados em alguns pontos da área mapeada também micaxistos e quartzitos.

Anfíbolito. Esta rocha, descrita primeiramente como diorito por Knecht (1930, p. 9) aparece posteriormente em seu mapa geológico (publicado por Moraes, 1938) como *diabásio e rochas associadas*. De fato, à primeira vista, o solo argiloso e de coloração vermelha intensa dos anfíbolitos lembra muito o solo proveniente de diabásio.

O estudo petrográfico de uma dezena de lâminas delgadas indicou tratar-se realmente do anfíbolito. Um sumário deste estudo, feito pelo geólogo Celso B. Gomes, do Departamento de Mineralogia e Petrologia, é dado a seguir.

Quase todas as rochas anfíbolíticas da região de Ipanema apresentam-se inteiramente recristalizada. Sua granulação varia de fina a grossa. Nota-se nas de granulação fina incipiente alinhamento dos cristais de anfíbólio. Nas rochas de granulação grossa é frequente a

presença de porfiroblastos de anfíbólio e feldspatos, com quartzo e minerais opacos como principais inclusões.

Processos de deformação mecânica, indicados pelo encurvamento das linhas de clivagem dos cristais de anfíbólio e presença de plagioclásio granulado foram observados em quase todas as amostras.

A textura é blastofítica. O plagioclásio, ripiforme, exibindo geminação complexa, e a presença de núcleos de piroxênio, no interior dos cristais de anfíbólio constituem as feições texturais mais notáveis dessas rochas.

Anfíbólio e plagioclásio são os principais componentes mineralógicos dessas rochas, constituindo quase sempre mais 90% de sua composição.

O anfíbólio é uma hornblenda verde comum, com pleocroísmo de Z passando de verde escuro a verde azulado. Nas amostras mais xistosas, apresenta estrutura zonada, exibindo, nas partes centrais, cores comumente mais pálidas que nas bordas.

O plagioclásio, determinado pelo método de Michel-Lévy, tem sua composição situada dentro do campo de variação da andesina. Apresenta-se frequentemente granulado e desprovido de clivagens e geminação, porém, em rochas menos afetadas pelo processo metamórfico, possui hábito ripiforme e mostra-se geminado segundo as leis da Albita e Carlsbad.

Minerais do grupo do epidoto (clinozoisita e pistacita), titanita e opacos constituem os acessórios mais importantes. Os primeiros, ocorrendo na forma de agregados, associam-se intimamente ao plagioclásio e parecem ter-se formado às suas expensas. A titanita é encontrada na forma de agregados, comumente dispersos ao redor dos minerais opacos.

Biotita, quartzo e turmalina, presentes em pequenas quantidades, foram igualmente identificados.

Os granitos predominam em toda a faixa a oeste da intrusão alcalina. Ocorrências não indicadas no mapa geológico de Knecht aparecem a sudeste, próximo do bairro de Araçoiaba.

Encontram-se dois tipos macroscopicamente diferentes de granitos. Na faixa a oeste da intrusão alcalina, esta rocha possui coloração rósea e textura equigranular, com cristais de até 1 cm, enquanto o granito que aflora a sul e a sudeste é claro e apresenta feldspatos de mais de 3 cm, em textura porfiróide.

Rochas do Grupo Tubarão

Quase todas as rochas do Grupo Tubarão são encontradas na área da serra de Araçoiaba, com visível predominância de arenitos geralmente arcozianos. Camadas e lentes de conglomerados, de alguns centímetros a mais de 1 metro de espessura, são encontrados nos pacotes de arenitos. São estas intercalações, bem como as de sedimentos siltosos e argilosos, que permitem perceber ligeira estratificação nos afloramentos de arenito expostos nos 300 metros de desnível do flanco leste da serra de Araçoiaba. Não pudemos precisar quantos níveis de tilito ocorrem na área estudada, mas, existe pelo menos um nível repousando sobre o embasamento cristalino. De fato, o maior afloramento de tilito que encontramos se situam na Fazenda Itaiquirá, diretamente sobre rochas do embasamento (anfíbolito). Outros afloramentos foram encontrados em níveis diferentes (v. mapa geológico).

As rochas do Grupo Tubarão, numa distância de 3 a 5 km ao redor da área das alcalinas, se apresentam geralmente mais endurecidas do que em outras localidades. Amaral S.E. (1961, p. 97), que estudou os arenitos

arcozianos da região de Ipanema, atribuiu esse endurecimento à silicificação superficial motivada por causas de natureza climática sem relação ao magma alcalino, Leinz (1940, p. 25) por outro lado, verificou em alguns pontos que as rochas sedimentares sofreram a ação de metamorfismo termal, provocado pela ação do magma alcalino. Esta ação, porém, se restringiu a alguns metros ou a poucas dezenas de metros (idem, p. 26).

As rochas sedimentares circundam toda a borda exterior da área do embasamento cristalino (v. mapa), com exceção do setor leste e sudeste da serra de Araçoiaba, onde estão diretamente em conexão (contato inferido) com as intrusivas alcalinas. Pode-se notar que, nas maiores elevações da serra de Araçoiaba, os sedimentos ainda se acham presentes. É o que se observa ao redor do ponto culminante dessa área, a 967 metros de altitude. Em algumas zonas, manchas isoladas de sedimentos do Grupo Tubarão, de poucos metros de espessura, ainda capeiam o Embasamento Cristalino (v. mapa). Este fato possibilitou a obtenção de cotas da superfície original do embasamento cristalino ainda não destruída pela erosão atual.

Rochas encontradas na área da intrusão alcalina

A intrusão magmática de Ipanema ocupa área aproximadamente circular de 9 km². Sua superfície é drenada pelo ribeirão do Ferro, que forma um vale profundamente talhado e praticamente linear, de direção NE-SW.

Duas medidas efetuadas no Laboratório de Geocronologia da USP, segundo o método do potássio-argônico, indicaram para as rochas alcalinas de Ipanema idade cretácea inferior. Estas determinações foram feitas com biotita, contidas em shonkinitos-pórfiros.

A descrição petrográfica mais completa e

o único estudo genético das rochas alcalinas de Ipanema foram apresentados por Leins (1940). Este autor distingue quatro tipos principais de rochas plutônicas na área, e as identifica como ortoclásio-egirinito, ortoclásio-lusitanito, umpte-kito e nordmarkito. As rochas que constituem os sills e diques associados à intrusão alcalina foram classificados como shonkinitos-pórfiros pelo autor citado. Como produtos anormais, aparecem concentrações de magnetita e apatita.

Do ponto de vista genético Leinz (1940, pp. 33–36) conclui por uma diferenciação *in loco* do magma numa pequena câmara magmática, pelo menos, até a formação dos egirinitos. Numa fase posterior, o magma ter-se-ia injetado nas rochas encaixantes.

Não se encontra na área das rochas alcalinas praticamente nenhum afloramento, por estarem as mesmas profundamente decompostas. É comum, todavia, acharem-se na área da intrusão, blocos de sílex de vários tamanhos, alguns dos quais com mais de um metro de diâmetro.

Fenitos. Durante os levantamentos dos perfis magnetométricos efetuados na área das intrusivas alcalinas, chamou-nos a atenção o fato de se encontrarem em vários pontos, além da grande quantidade de material silicificado, pequenos blocos rolados de rochas incipientemente decompostas, em muitas das quais notam-se coloração esverdeada e estrutura orientada. Estas rochas foram sistematicamente coletadas e o estudo microscópico revelou tratar-se de rochas fenitizadas. São rochas do embasamento cristalino, em sua maioria granitos e xistos, contendo geralmente egirina, que é o mineral comum a quase todas as rochas alcalinas de Ipanema. Estas rochas, de coloração esverdeada, apresentam faixas escuras ricas em piroxênio que se sucedem a faixas com minerais claros (quartzo e feldspatos), sendo a estrutura orientada remanescente da xistosidade da rocha (fig. 3). Não fizemos estudo pormenorizado dos *fenitos*; mas, queremos deixar registrada

sua presença na área de Ipanema.

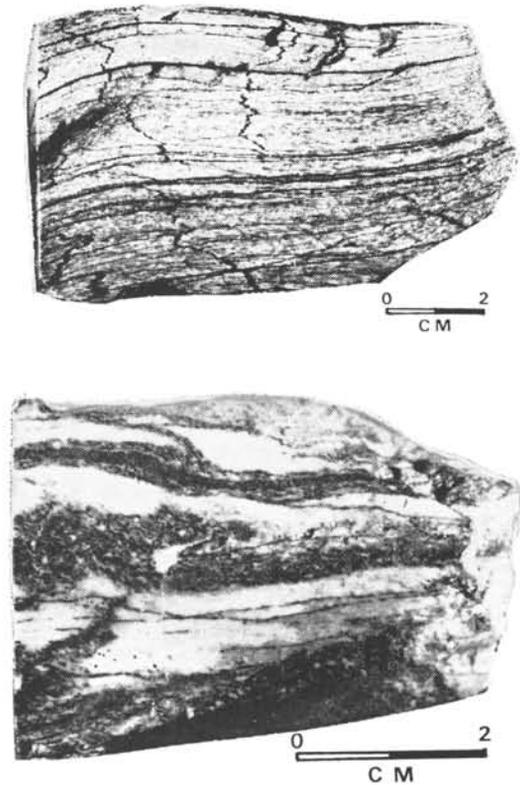


Fig. 3 — Fenitos. As bandas escuras correspondem a piroxênios e as claras, a quartzo e feldspatos. A estrutura orientada reflete a xistosidade da rocha original.

Em resumo, dentro da área das *intrusivas alcalinas* (. mapa geológico), além das supostas rochas alcalinas encontram-se outras unidades litológicas: sílex e restos das rochas encaixantes, em parte afetadas metassomaticamente, por ação do magma alcalino. Essas unidades não foram mapeadas por serem exíguos os afloramentos. No mapa geológico representamos tão-somente as principais ocorrências de sílex.

Estruturas

Os elementos estruturais observados objetivaram fornecer dados, que pudessem contribuir para o esclarecimento do mecanismo de **colora-**

ção do corpo magmático de Ipanema. Assim, as seguintes estruturas foram estudadas: xistosidade dos metassedimentos, acamamento e diaclases das rochas sedimentares, falhas e diques de shonkinito-pórfiro.

Xistosidade

A direção da xistosidade dos metassedimentos é muito consistente — em média, N50E — (em relação ao norte geográfico) e os mergulhos são próximos da vertical. Contudo, nas proximidades das rochas alcalinas, os metassedimentos se apresentam muito fraturados, indicando o esforço exercido pelo magma contra as rochas encaixantes.

Acamamento

No mapa geológico registramos algumas medidas de direção e mergulho das camadas do Grupo Tubarão. O maior número de observações estão ao norte e nordeste da área das rochas alcalinas; na região sul, onde os afloramentos escasseiam, não há medidas assinaladas. No flanco leste da serra de Araçoiaba, é perfeitamente visível, no campo, a inclinação das camadas para leste.

As direções das camadas variam, como se depreende, por exemplo, das medidas registradas, próximas ao córrego da Onça (v. mapa), a nordeste da pedreira de calcário da Cia. de Cimento Ipanema; os rumos dos mergulhos dessas camadas, porém, são mais comumente opostos à área da intrusão alcalina. Os ângulos de mergulho são da ordem de 10° a 15° (fig. 4), nas proximidades da área das rochas alcalinas e diminuem à medida que se afasta desta área.

Essa atitude das camadas sedimentares parece estar ligado ao tectonismo provocado pela intrusão, pois, normalmente, as camadas

do Grupo Tubarão apresentam mergulho regional muito pequeno (da ordem de 1° a 1° 30' para oeste), conquanto, na área de Ipanema, se encontrem mergulhos superiores a 10°, com rumos diversos.

Outro dado digno de interesse, relacionado com o tectonismo da área, é a inclinação da superfície do embasamento cristalino.



Fig. 4 — Grupo Tubarão. Camadas do Grupo Tubarão inclinadas de cerca de 15°. Proximidades da pedreira de calcário da Cia. de Cimento Ipanema.

A presença de algumas manchas de sedimentos que remanesceram isoladamente sobre o cristalino, preservando-lhe a superfície original, e ainda os dados de sondagens (tabela 1) permitiram avaliar a inclinação do embasamento cristalino, em direções dispostas radialmente ao redor da intrusão. Os valores obtidos variam de 10° a 20°, o que demonstra estar essa superfície com inclinação da mesma ordem de grandeza das camadas sobrepostas.

Camada-guia. A existência de uma camada-guia entre as rochas encaixantes, cuja atitude pudesse ser conhecida em vários pontos, contribuiria substancialmente para elucidar algumas das questões que constituem os objetivos do presente trabalho. Infelizmente esta possibilidade é remota para o Grupo Tubarão. No entanto, uma camada de varvito, poderia, eventualmente, constituir um horizonte único pelo menos em pequenas áreas. Nossas observações de campo parecem indicar não mais que uma camada dessa rocha, de pouca espessura. Knecht

(1960, p. 76) menciona as diferenças de nível em que se encontram camadas de varvito como prova dos falhamentos que ocorreram na área de Ipanema. Estes levaram-nos a considerar, com as devidas reservas, o varvito como provável camada-guia e, por isso, fizemos constar as altitudes de seus afloramentos no mapa geológico. O maior número de observações está a norte e a noroeste da área do mapa.

Os varvitos se situam entre 560 e 600 metros. Não queremos generalizar, mas acreditamos que em áreas restritas como a do quadrante noroeste do mapa, deve tratar-se de um mesmo horizonte de varvito. Assim sendo, o fato das diferenças de altitudes desse horizonte não ultrapassarem 40 m parece indicar que a **colocação** do magma alcalino foi acompanhado tão-somente de pequenos falhamentos, pelo menos naquele setor da serra de Araçoiaba.

Diáclases

As diáclases são as estruturas responsáveis em parte pelo aspecto morfológico espetacular com que se apresentam as rochas sedimentares do Grupo Tubarão em vários pontos ao redor da serra de Araçoiaba, particularmente em seu flanco oriental. São essencialmente diáclases de tensão.

Na área estudada ocorrem dois conjuntos de diáclases com direções perpendiculares entre si, provavelmente formados ao tempo da intrusão.

O número de medidas das direções e mergulho das diáclases, feitas diretamente nos afloramentos, não é suficiente para uma análise estatística das direções preferenciais, mas sugere que um conjunto dessas diáclases se dispõe radialmente ao redor da intrusão e o outro, concentricamente.

Pudemos verificar, pelo exame das foto-

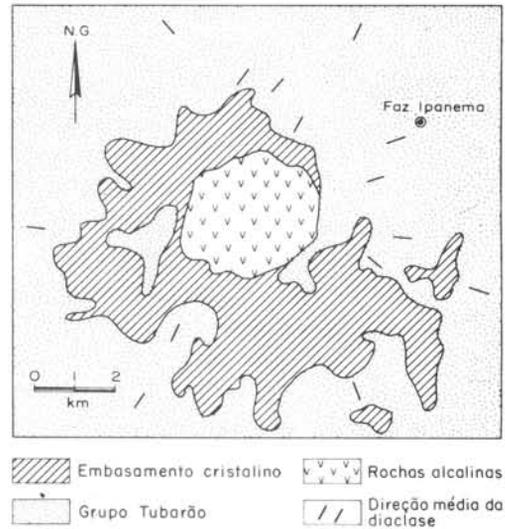


Fig. 5 — Disposição radial das diáclases ao redor da intrusão alcalina de Ipanema.

grafias áreas, que as direções das diáclases radiais convergem, com pequena dispersão, para o centro geométrico da área das rochas alcalinas (fig. 5). O foco principal de irradiação dos esforços exercidos pelo magma intrusivo deve possivelmente encontrar-se num ponto verticalmente abaixo do centro geométrico mencionado. Um número estatisticamente representativo de medidas das atitudes das diáclases concêntricas, em toda a área que circunda as intrusivas, poderia precisar melhor a exata posição espacial do foco dos esforços exercidos pelo magma. As poucas medidas efetuadas, no entanto, mostram mergulhos muito acentuados, próximos da vertical, o que sugere que o foco principal dos esforços deve estar localizado a profundidade da ordem de alguns quilômetros.

Falhamentos

Não verificamos diretamente no campo qualquer falha de grande rejeito. O granito intensamente cisalhado da pedreira localizada no bairro de Iperó e uma zona brechada no arenito do Grupo Tubarão são duas provas diretas mais valiosas que pudemos reunir durante o le-

ventamento geológico da área. A rocha brechada foi encontrada ao sul da área da intrusão alcalina, no local denominado Pingo D'Água, em um bloco de arenito intensamente silicificado. A brecha (fig. 6) contém fragmentos angulosos de arenitos do Grupo Tubarão, de dimensões centimétricas, cimentadas por quartzo e um mineral esverdeado.

A análise de fotografias aéreas, por outro lado, permitiu distinguir feições morfológicas que podem ser correlacionadas a zonas de falhamentos. As linhas de falhas mais prováveis estão assinaladas no mapa geológico. Exemplo notável de feição linear é o córrego da Onça (v. mapa), que se estende por alguns quilômetros, na direção NE-SW. Afloramentos de varvitos em ambos os lados desse córrego apresentam desnível de quase 40 metros. Pequenas falhas observadas no calcário da pedreira da Cia. de Cimento Ipanema seguem a mesma direção do córrego da Onça.

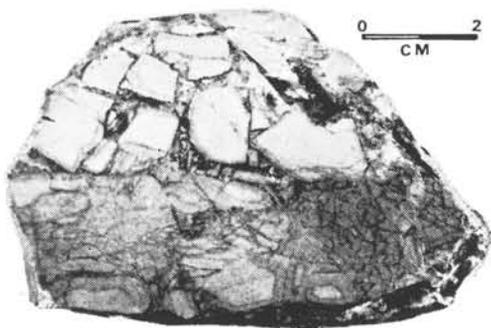


Fig. 6 — Grupo Tubarão. Seção polida de brecha de falha no arenito. Pingo d'Água.

Outra possível zona de falhamento tem direção NW-SE (v. mapa), estendendo-se da pedreira de calcário acima citada até o bairro de Araçoiaba. Com exceção do corpo isolado, de anfibolito, o embasamento cristalino não aflora a nordeste dessa linha. De fato, em grande parte desse setor da região de Ipanema, o embasamento se encontra coberto pelo Grupo Tubarão. Os dados de sondagens descritos na tabela 1, permitem verificar o perfil assumido

pelo embasamento ao longo de três pontos situados em linha aproximadamente reta (v. mapa):

- (1) altitudes do embasamento, no leito do córrego da Onça: 650 m.
- (2) idem, na sondagem II (tabela 1): 514m
- (3) idem, na sondagem I (tabela 1): 420m

As posições dessas sondagens estão assinaladas no mapa geológico. Como se nota, do ponto (1) ao ponto (3), o embasamento apresenta desnível de 230 m, em 4 km de distância. Esse fato parece demonstrar que, se houver falhamentos, foram de pequenos rejeito e possivelmente escalonados.

Outros fatos que ainda podemos acrescentar a favor da provável existência da zona de falhamento NW-SE são: a mudança brusca do relevo que se opera no alto da serra de Araçoiaba, a disposição linear do córrego a oeste do bairro de Araçoiaba e o excepcional mergulho de 70°, que apresentam siltitos argilosos, às margens do citado córrego.

Parece-nos que dois sistemas de falhas cortam as rochas encaixantes da intrusão alcalina de Ipanema. Um sistema, com direção NE, possivelmente controlado pela xistosidade e o outro, predominantemente NW, desenvolvido perpendicular à xistosidade (v. mapa geológico).

Diques e sills de shonkinito-pórfiro

São relativamente poucas as ocorrências conhecidas de diques e sills ligados ao magmatismo alcalino de Ipanema. A mais extensa exposição poder ser vista no corte da *estrada para as minas*, na encosta sul do morro Grande. Mencionado já por Derby (1891), tal sill aflora numa extensão de 300 m, ao longo da referida estrada (v. mapa). É capeado por sedimentos

várvidos muito perturbados, de coloração esverdeada e endurecidos graças á ação do magma. No interior do corpo de Shonkinito-pórfiro encontram-se fragmentos das rochas encaixantes igualmente endurecidos.

As demais ocorrências registradas no mapa geológico são menores do que a citada e a mais distante localiza-se a cerca de 5 km do centro da intrusão, no corte da estrada de ferro Sorocabana. São conhecidas, no entanto, ocorrências desse tipo de rocha, talvez ligadas ao mesmo magmatismo, em áreas afastadas de algumas dezenas de quilômetros do centro da intrusão de Ipanema. Maciel e Guimarães (1955) descrevem um dique de shonkinito-pórfiro no município de Tatuí, localizado a 15 km da intrusão de Ipanema. Esse dique, encaixado nos sedimentos do Grupo Tubarão, é vertical, tem direção N70W e 20–50 metros de espessura. Knecht (1960, p. 72) cita uma ocorrência de rocha alcalina no bairro dos Soares, município de Piedade, a uns 40 km a SE da serra de Araçoiaba. Segundo esse Autor, trata-se também de um corpo de shonkinito-pórfiro, macroscopicamente semelhante ao de Ipanema.

CONCLUSÕES

A intrusão alcalina de Ipanema parece ter sido essencialmente do tipo de *injeção forçada*. Martin et al (1960, p. 173) mencionam Ipanema como exemplo de intrusão alcalina em que não houve abatimento da parte central do teto, como se acontece na maioria das intrusões desse tipo, mas, apenas arqueamento.

Os dados que coletamos no levantamento geológico parecem confirmar inteiramente esta interpretação.

As rochas do embasamento cristalino, que afloram na serra de Araçoiaba, estão deslocadas verticalmente até 500 metros de sua posição normal. Poder-se-ia pensar, como pri-

meira hipótese, que a serra existisse como feição morfológica (*munatak*) da superfície trabalhada pela glaciação permo-carbonífera, sendo mera coincidência a presença da intrusão alcalina. É difícil, no entanto, conceber que a ação erosiva da glaciação pudesse ter poupado área tão restrita como a da serra de Araçoiaba, esculpido ao seu redor desniveis até 500 m, pois, as rochas do embasamento cristalino que afloram no topo da serra (granitos e xistos) não apresentam características de maior resistência à erosão.

A inclinação da superfície topográfica do embasamento para fora da intrusão alcalina, bem como das camadas do Grupo Tubarão, constitui a prova mais segura a favor da hipótese de *injeção forçada* do magma, com conseqüente arqueamento do teto das encaixantes.

O fato de não ter havido subsidência da parte central da intrusão se deve provavelmente ao não extravasamento do magma. O fenômeno limitou-se à formação de rochas plutônicas, sem passar às vulcânicas (Leinz, 1940, p. 11). Houve o soerguimento do teto, mas o processo geológico não evoluiu até a formação de estruturas de colapso.

O ajuste das rochas encaixantes, em conseqüência dos esforços sofridos, fez-se principalmente por meio de fraturas (diáclases e falhas). As diáclases formam dois conjuntos, um radial, outro concêntrico. As falhas, dispostas escalonadamente, possuem pequeno rejeito, da ordem de metros ou de poucas dezenas de metros. A superfície do embasamento cristalino, exposta, ao redor da serra de Araçoiaba, apresenta inclinação suave para fora da intrusão, não havendo indicação alguma de ocorrência de falhas de grande rejeito. Além disso, a pequena oscilação no nível do horizonte de varvito sugere soerguimento uniforme das rochas encaixantes. Parece fazer exceção apenas o setor E-NE (v. mapa geológico). Nessa área, o embasamento cristalino sofreu levantamento relativo

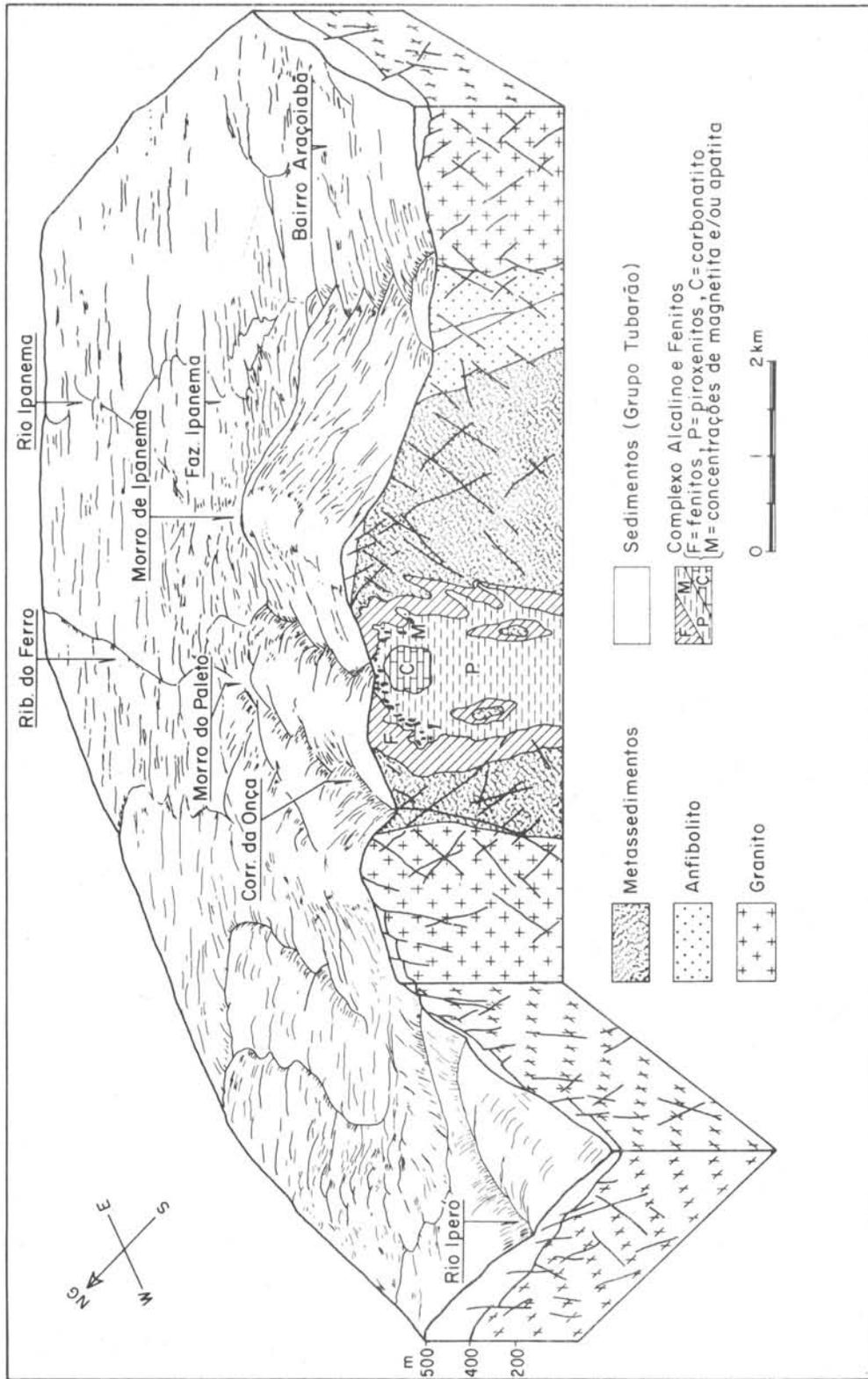


Fig. 7 — Bloco-diagrama da região da serra de Araçoiaba. Interpretação baseada em dados geológicos e geofísicos.

menos intenso que nas demais. O poço I (tabela 1) indica que o embasamento cristalino se encontra a 420 metros de altitude enquanto que, no ponto diametralmente oposto, em relação ao centro da intrusão, o embasamento aflora a cerca de 600 metros de altitude.

Os autores que trabalharam na região de Ipanema não fazem menção quanto à forma e as dimensões do corpo alcalino, em profundidade. As observações geológicas, porém, justificam supor que a intrusão se amplia em profundidade, ocupando maior área horizontal que em superfície.

O abaulamento das rochas encaixantes em consequência da intrusão magmática abrange área relativamente grande. Há pontos do embasamento cristalino afastados horizontalmente até 10 km (v. mapa geológico) enquanto que o diâmetro da área das rochas alcalinas é de aproximadamente 3 km. Além disso, a caída da superfície do embasamento bem como das rochas sedimentares sobrepostas, para fora da área da intrusão, é muito suave. Há, por conseguinte, um arqueamento muito amplo das rochas encaixantes, que só poder ser explicado como consequente dos esforços exercidos por um volume de rochas ígneas muito maior do que sugere a área do alforamento dessas rochas. Os diques de shonkinto-pórfiro, distantes até 5 km do centro da intrusão, constituem argumentos a favor dessa hipótese.

Devemos lembrar também a que superfície topográfica atual no alto da serra de Araçoiaba corresponde aproximadamente ao teto da intrusão alcalina, pois, no ponto culminante dessa serra (967 m), ainda são presentes rochas sedimentares. Isto explicaria o motivo de ser relativamente pequena a área de afloramento da intrusão alcalina. Somente na região da Serra de Araçoiaba, o magma teria conseguido soerguer as rochas encaixantes, alcançando níveis elevados, desenvolvendo localmente uma pequena chaminé magmática, como sugere o bloco-dia-

grama da figura 7.

As observações mostraram que a quantidade de magnetita na forma de concentrações residuais é muito grande. As maiores ocorrências de magnetita conhecidas são lenticulares e possuem cerca de 100 metros de comprimento por uns 10 metros de largura. Há indícios de existência de ocorrências em profundidade e sua prospecção por magnetometria é a mais indicada.

Em relação à apatita, é aconselhável um estudo geológico mais detalhado, visando fornecer dados relativos às relações existentes entre esse mineral e a magnetita.

Em 1967, dois anos após o término deste trabalho, os geólogos do Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo descobriram e começaram a pesquisar por meio de sondagens, um corpo de carbonatito, situado no setor nordeste da área da *intrusão alcalina*. Essa descoberta, baseada em nosso mapageológico, trouxe novas esperanças de se encontrar, associado, ao carbonatito maiores concentrações de apatita, ou de outros minerais.

AGRADECIMENTOS

Consignamos aqui os nossos agradecimentos a todos que auxiliaram na realização deste trabalho. Ao Prof. Rudolf Kollert e ao Prof. Dr. Viktor Leinz, nossa gratidão pelo amparo e crítica emprestados durante o desenvolver das pesquisas. Aos professores Josué Camargo Mendes e Sérgio Estanislau do Amaral devemos vários conselhos sobre a apresentação do trabalho.

O texto foi revisto pelo Prof. Clemente Segundo Pinho, da Cadeira de Língua Portuguesa da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Araraquara. Ao Prof. Pinho, sinceros agradecimentos.

De alta importância foram o auxílio financeiro prestado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, bem como, a acolhida e facilidade que tivemos na Fazenda Federal de Ipanema, por parte do administrador, Eng^o Agesilao S. Pereira da Silva. Em Ipanema, recebemos do Sr. Giubbini várias informações e amostras das sondagens executadas pela Companhia de Cimento Ipanema, que muito nos auxiliaram.

Nas Cadeiras de Física Geral e Experimental, Eletrônica e Física do Estado Sólido da antiga Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da U.S.P., obtivemos preciosas informações e nos foi permitido realizar grande número de experiências de laboratório. Somos gratos a todos que nos auxiliaram, de modo especial ao Prof. Iuda D.G. Lejbsman, à Prof^a Suzana Villaça e ao Prof. Katuchi Techina. O Prof. Dr. Carlos Quadros propiciou facilidades na determinação da susceptibilidade magnética das rochas.

O Eng^o Ludovico Taliberti, chefe do Serviço de Geodésia do Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo pôs à nossa disposição os dados altimétricos do Estado de São Paulo e nos informou sobre as experiências e resultados obtidos com o altímetro Wallace & Tiernan.

Ao nosso colega, geólogo Yociteru Hasui, devemos o auxílio no exame de algumas lâminas de rochas; ao geólogo Umberto Cordani, a ajuda na preparação do trabalho de triangulação radial. Ao geólogo Celso B. Gomes, do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da U.S.P., devemos o estudo e a descrição pormenorizada do anfibólito existente na área de Ipanema. Aos alunos do Curso de Geologia de São Paulo que participaram das nossas pesquisas, devemos especiais agradecimentos. Eles completaram as equipes geofísicas, auxiliaram nos milhares de cálculos feitos e abreviaram o tempo de execução do trabalho de campo.

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, I.C., ODDONE, D.S. e OLIVEIRA, G.M.A., 1963, *Prospecção magnética detalhada nas áreas de São Pedro-Xarqueada*: Brasil. Div. Fom. Prod. Min., Bol. 10, p. 3-22.
- AMARAL, S.E., *Silicificação intersticial de arenitos de Sergipe (Série Barreiras) e de Varnhagem, São Paulo (Série Itararé)*: Soc. Bras. Geol.; Bol. v. 10, 1, p. 79-99.
- ARAÚJO, J.B. 1939, *Beneficiamento de apatita em Ipanema, Est. de São Paulo*: Min. e Metal. v. 3, nº 17, p. 299-305.
- BACKLUND, H.G., 1933. *On the mode of intrusion of deepseated alkaline bodies*: Upsala. Geol. Inst., Bull. v. 24, p. 1-24.
- BARBOSA, O. e ALMEIDA, F.F.M., 1949, *Nota sobre a estratigrafia da Série Tubarão em São Paulo*: Ac. Bras. Ciê., An. t. 21, n. 1., p. 6-68.
- 1949, *A Série Tubarão na bacia do rio Tietê, Est. de São Paulo*: Brasil. Div. Geol. Miner. Notas Prel. Est. 48, 16 p.
- BIRCH, F.; SCHAIRER, J.F. e SPICER, H.C., 1942, *Handbook of physical constants*: Geol. Soc. Amer., Spec. Pap. 32, p. 296.
- DERBY, C.A., 1891 — *On the magnetite ore districts of Jacupiranga and Ipanema,*

- São Paulo, Brasil: Am. J. Sci., Ser. 3rd, v. 41, n. 141, p. 311-321.
- DUPRE, L., 1885, *Memória sobre a fábrica de ferro de São João de Ipanema: Ouro Preto*. Esc. Minas, An. 4, p. 51-90.
- FREITAS, R.O., 1951, *Ensaio sobre a tectônica moderna do Brasil: São Paulo*. Univ., Fac. Fil. Ciê. Letr., Bol. 130 (Geol. 6) 120 p.
- GAMA, L.I., 1960, *Distribuição geográfica do campo magnético e sua variação secular no Brasil: Brasil. Min. Ed. Cult., Serv. Magn. Publ. 9, 16 p.*
- KNECHT, T., 1930, *Notas geológicas sobre as jazidas de magnetita e apatita de Ipanema: São Paulo, Secr. Agr. Ind. Com., Bol. Agr. Sér. 31a., ns. 7-8, p. 716-734.*
- 1960, *Notas preliminares sobre novas ocorrências de rochas alcalinas no Estado de São Paulo: Soc. Bras. Geol., Bol. v. 9, n. 1., p. 71-76.*
- LEINZ, V., 1937 – *Estudos sobre a glaciação permo-carbonífera do sul do Brasil: Brasil. Serv. Fom. Prod. Min., Bol. 21, 47 p.*
- 1940, *Petrologia das jazidas de apatita de Ipanema (Estado de São Paulo: Brasil Div. Fom. Prod. Min., Bol. 40, 52 p.*
- 1949, *Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil: São Paulo. Univ., Fac. Fil. Ciê. Letr. Bol. 103 (Geol. 5) 61 p.*
- MACIEL, P e GUIMARÃES, J.E.P., 1955, *A mina de vermiculita de Congonhal, Tatuí, Est. de São Paulo: Soc. Bras. Geol. Bol. v. 4, n. 1, p. 27-41.*
- MARTIN, H.; MATHIAS, M. e SIMPSON, E.S.W., 1960, *The Damaraland sub-vulcanic ring complexes in South West Africa: Int. Geol. Congress, 21^o, Copenhagen, Pte. 13, Sec. 3, p. 7-17.*
- MATTOS, A.H., 1955, *Notas sobre nivelamento barométricos: Rev. Bras. Geogr. ano 18, n. 2, p. 176-192.*
- MENDES, J.C., 1961, *Langella, novo genero di Lingulideo da Série Tubarão: Paraná, Univ. Bol. Geol. 5, 8 p.*
- MEZZALIRA, S., 1958, *Dados sobre água subterrânea na Série Passa Dois e Tubarão do Est. de São Paulo: Soc. Bras. Geol., Bol. v.17, n. 1,p. 49-73.*
- MORAES, L.J., 1938, *Jazidas de apatita de Ipanema, Est. de São Paulo: Brasil. Serv. Fom. Prod. Min., Bol. 27, 50 p.*
- MORAES, REGO, L.F., 1938, *Recursos brasileiros em matérias primas dos adubos fosfatados: Min. e Metal. v. 3, n. 12, p. 377-381; m. 13, p. 25-29.*
- NEVIN, C.M., 1949, *Principles of structural geology*, New York, John Wiley & Sons, Inc. 410 p.
- PUTZER, H., 1955, *Geologia da Folha de Tubarão, Est. de Sta. Catarina: Brasil. Div. Fom. Prod. Min., Bol. 93, 94 p.*
- ROSENBUSCH, C.H.F., 1870, *Das Eizenerz-Lager von São João d'Ypanema in Brazilien und das Vorkommen des Martit Mineralische und geognost. Freiburg. Notizen von einer Reise in Sud-Brazilien.*
- SMITH, H.T.U., 1943, *Aerial photographs and their applications: New York. Appleton-Century Crofts, Inc. 372 p.*
- TALIBERTI, L. et al., 1962, *Nivelamento geral*

do Estado. Altitudes de Precisão: São Paulo. Inst. Geogr. Geol., Bol. 36, 101 p.

U.S.S.R.: Int. Geol. Congress, 21^o, Copenhagen, 1961, Pte. 13, Sec. 3, p.7-17.

VOROBIEVA, O.A., 1960. Alkali rocks of the