PETROGRAFIA, PETROQUÍMICA E METALOGENIA DO GRANITO SERRA DO PARATIÚ, CANANÉIA, ESTADO DE SÃO PAULO

PETROGRAPHY, PETROCHEMISTRY AND METALLOGENY OF THE SERRA DO PARATIÚ GRANITE, CANANÉIA, SÃO PAULO STATE

Fernando Antonio Guimarães Martins[1]
Antonio Carlos Gondim de Andrade e Silva[1]
Mirian Cruxên Barros de Oliveira[2]

RESUMO

A região estudada é composta por rochas do Maciço Granítico Serra do Paratiú – MGSP, rochas metamórficas do Complexo Turvo-Cajati (ou metarritmitos Iguape), formações sedimentares Plio-Pleistocênicas do Grupo Mar Pequeno (Formação Cananéia e, muito subordinadamente, as Formações Pariqüera-Açu e Ilha Comprida) e coberturas holocênicas de origem continental, marinha e mista. O MGSP, Neoproterozóico – Eopaleozóico, está inserido na Plataforma Sul-Americana, no contexto geotectônico do embasamento cristalino sul-sudeste brasileiro (Bloco Iguape), pertencendo à Suíte Intrusiva Serra do Mar. Acha-se intrudido em rochas metamórficas do Complexo Turvo-Cajati (Paleoproterozóico), onde, localmente, junto ao contato com o corpo granítico, verifica-se biotita-cordierita *hornfels* denotando metamorfismo de contato. Constitui-se em um corpo, circunscrito, de forma levemente ovalada, com aproximadamente 70 km² de área aflorante; muito homogêneo, onde predomina biotita monzogranito, porfirítico, de cor cinza claro e, subordinadamente, biotita sienogranito. É fracamente peraluminoso, do tipo *subsolvus*, e coloca-se nos termos finais da série cálcio-alcalina. A hipótese de que o Granito Serra do Paratiú seja pós-orogênico é reforçada pelas evidências de campo (forma do corpo, metamorfismo de contato) e petroquímicas. Os dados petroquímicos permitem posicioná-lo como um granito mais pertinente à classe dos granitos pós-colisionais, variável de pós-tectônico a anorogênico, com dados composicionais, relativos a alguns elementos (Y, Nb, Rb, Zr) e óxidos (SiO_2, K_2O), que permitem visualizá-lo ora como tipo I reduzido e ora como tipo A, formado por fusão da crosta inferior, altamente fracionada, à semelhança do que ocorre com os granitos australianos *Ackley* e *Sandy Cape*, cujas características geoquímicas

1 Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná. fagmbr@pop.com.br gondim@ufpr.br
2 Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT mirincr@ipt.br

são compatíveis com os granitos do tipo A, mas geológica e petrograficamente são, respectivamente, granitos do tipo I e S. Os granitos da Suíte Serra do Mar, da qual o MGSP faz parte, apresentam idades radiométricas de 580 ± 20 Ma. Concomitantemente ao trabalho de mapeamento geológico desse Maciço Granítico efetuou-se, em seu domínio, a coleta de amostras de sedimentos ativos de corrente, que foram analisadas para os elementos Cu, Zn, Pb, Li, Mo, Bi, F e Sn, e de concentrados de bateia, que foram submetidos a análises mineralógicas. A integração de todos os dados obtidos durante esta pesquisa permitiu concluir que o MGSP corresponde a um corpo estéril, do ponto de vista de exploração mineral, e que sua esterilidade deve-se a um conjunto de situações desfavoráveis, tais como: ausência de um protólito enriquecido em metal; não desenvolvimento de uma fase de pré-concentração durante a evolução magmática; presença de um conjunto de minerais acessórios cafêmicos e seqüestradores de metal na fase magmática precoce (ilmenita, magnetita, etc); e liberação precoce da fase aquosa, prejudicando qualquer compensação e sucesso de concentração hidrotermal.

Palavras-chave: granito, petrografia, petroquímica, metalogenia, Serra do Paratiú, Cananéia-SP.

ABSTRACT

The studied region is made up of rocks of the Serra do Paratiú Granite Massif – SPGM, metamorphic rocks of Turvo-Cajati Complex (metarhytmites Iguape), sedimentary formation Plio-Pleistocenic of Mar Pequeno Group (Cananéia Formation and, subordinated, Pariqüera-Açú and Ilha Comprida formations) and holocenic sediments of continental, marine and mixed origin. The SPGM Neoproterozoic – Eopaleozoic is inserted in the South American Platform, in the geotectonic complex of the Brazilian south-southeast crystalline basement (Iguape Block), integrating the Serra do Mar intrusive suite. It is intruded in the metamorphic rocks of the Turvo-Cajati complex (Paleoproterozoic), where locally there are contact metamorphic rocks, mainly biotite-cordoerite hornfels. It is a lightly oval shaped circumscribed and discordant body with approximately 70 km² of outcrop area, relatively homogeneous constituted by biotite-monzogranite, porphyritic, grey color and subordinated botite-sienogranite. The SPGM is weakly peraluminous, of *subsolvus* type and belongs to the end of a chalcalkaline series. The hypothesis that Serra do Paratiú Granites is post-orogenic is reinforced by petrochemical data and field evidence (shape of the body, contact metamorphism). The petrochemical data allows to put the SPGM as post-collision granite. Post-tectonic to anorogenic with data of some elements (Y, Nb, Rb, Zr) and oxides (SiO_2, K_2O) that allow to consider it as I or A type, formed by fusion of high fractionated inferior Crust. This fact is similar to those of hybrid us granites of Australia (Ackley and Sandy Cape), which geochemical characteristics are compatible with type A granites, but geological and aerographical data suggest that they are respectively of type I and S. The granites of Serra do Mar Suite including the SPGM present radiometric ages of 580 ± 20 Ma. Concomitantly to the work of geological mapping of this granite massif, samples of active stream sediments were taken, which were analyzed for Cu, Pub, Zn, Li, Mo, Bi, F and Son. Panned concentrated samples also were taken to mineralogical analysis. The integration of all data obtained during this research suggests that the SPGM is a sterile granite due to several unfavorable situations, such as: absence of a protoplast enriched with metal; no development of pre-concentration phase during the magmatic evolution; presence of a group of cafemic and metal kidnappers accessory minerals during early-magmatic phase (ilmenite, magnetite, etc,), and precocious liberation of a volatile phase, not allowing hydrothermal concentration.

Key-words: granite, petrography, petrochemistry, metallogenesis, Serra do Paratiú, Cananéia, São Paulo.

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo a caracterização petrográfica, petrogenética, geoquímica e metalogenética do Maciço Granítico Serra do Paratiú (MGSP). Constitui tema desenvolvido na pesquisa a partir da qual foi elaborada dissertação de mestrado do primeiro autor (Martins 2002).

O MGSP e áreas adjacentes foi objeto de mapeamento geológico, na escala aproximada 1 : 38.000, abarcando uma área de 210 Km².

Grande parte dos dados utilizados para a concretização deste trabalho foi obtida por Martins e colaboradores, por ocasião do desenvolvimento de uma avaliação do potencial mineral do MGSP, realizada no âmbito do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do

Estado de São Paulo) nos anos 1987 e 1988. Esses dados, ainda inéditos, foram reavaliados, reinterpretados e complementados com dados de campo e laboratoriais obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O MGSP localiza-se no sudeste do Estado de São Paulo, no vale do Rio Ribeira de Iguape, no município de Cananéia. O centro do corpo granítico dista 240 km da cidade de São Paulo e 220 km de Curitiba. Localiza-se na porção centro-leste da folha topográfica Ilha de Cananéia (SG-23-V-A-IV-3), escala 1 : 50.000 (IBGE 1974).

O acesso à área é facultado pela rodovia Régis Bittencourt (BR-116) - que une São Paulo a Curitiba - até o km 462 no Estado de São Paulo, a partir do qual se transfere para a rodovia SP-226 até a cidade de Pariqüera-Açu. Dessa cidade atinge-se a área prosseguindo-se através da rodovia SP-226 (Pariqüera-Açu - Cananéia) ou da rodovia SP-222 (Pariqüera-Açu - Iguape) (figura 1).

CONTEXTO TECTÔNICO

O MGSP está inserido na Plataforma Sul-Americana no contexto geotectônico do embasamento cristalino sul-brasileiro, definido por Almeida et al. (1976) como Região de Dobramentos Sudeste, que anteriormente havia recebido a denominação de Cinturão de Dobramentos Ribeira (Almeida et al. 1973), correspondente ao que Almeida et al. (1977) e Hasui & Oliveira (1984) definiram como a Província Estrutural Mantiqueira. Passarelli (2001) insere a área do MGSP e encaixantes no que denominou de Bloco Tectônico Iguape.

Kaul (1997) adota o modelo de compartimentação geotectônica proposta por Siga Jr. (1995) que assume para a região quatro porções de entidades geotectônicas do Ciclo Brasiliano: os Cinturões Móveis Ribeira, Don Feliciano e Paranaguá e o Cráton de Luís Alves.

Kaul (1997) destaca que o palco do magmatismo Serra do Mar foi o Cráton Luís Alves, representado por maciços graníticos, diques ácidos e derrames vulcânicos principalmente ácidos. Esse Cráton foi uma das micromassas submetidas à aglutinação que dera origem ao Megacontinente Gondwana. Esse continente fi-

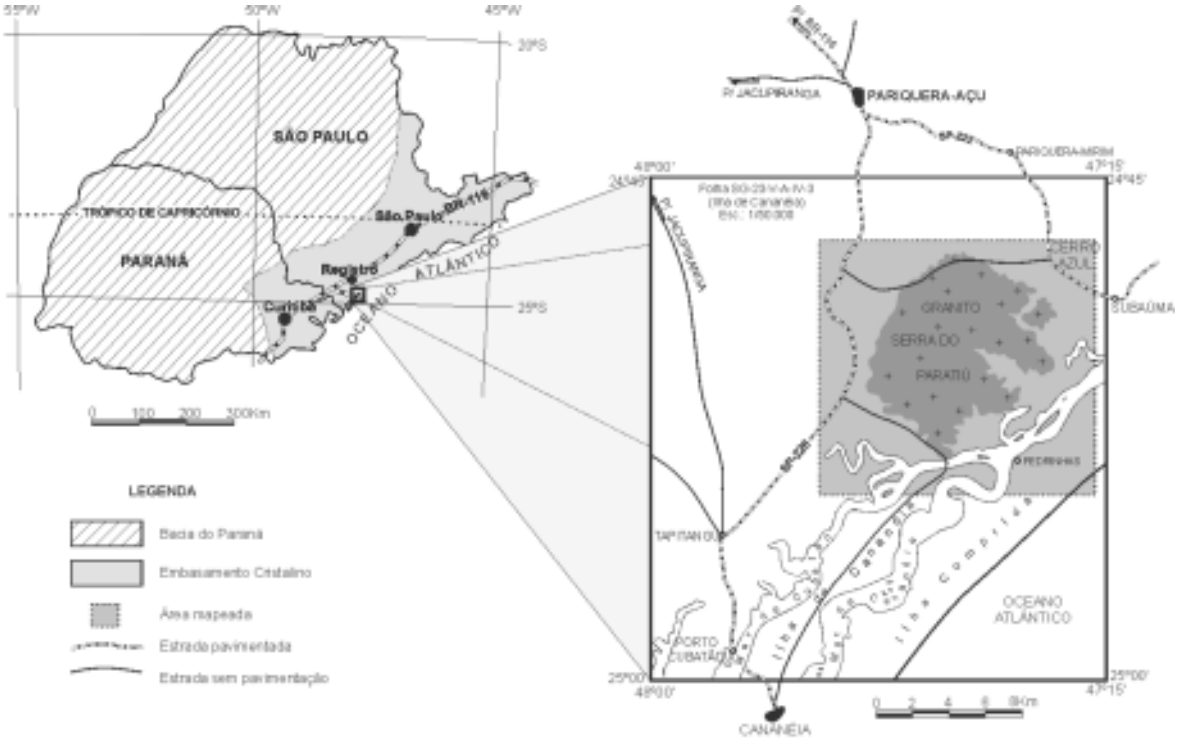


Figura 1: Mapa de localização do Maciço Granítico Serra do Paratiú (MGSP). *Map of localization of the Serra do Paratiú Granitic Massif.*

cou posicionado entre três outras massas continentais: o Cráton Paraná (a NW), presentemente coberto inteiramente pelos depósitos fanerozóicos da Bacia do Paraná, o Cráton Congo-São Francisco (a N e NE) e o Cráton Kalahari (a SE), estes dois semicobertos por formações de diversas idades. Entre essas massas continentais se desenvolveram, no decurso da aglutinação, os cinturões móveis "Ribeira" (entre os Crátons Paraná e Luís Alves), "Paranaguá" (entre os Crátons Luís Alves e Congo-São Francisco) e "Don Feliciano" (entre os Crátons Luís Alves e Kalahari). O Granito Serra do Paratiú está inserido no domínio do Cráton Luís Alves.

Kaul et al. (1982) caracterizaram na região Sul-Sudeste do Brasil o que designaram de Episódio Campo Alegre, que no entender desses autores constitui uma importante fase da evolução da crosta continental nessa região. Esse episódio iniciou-se com a elaboração de *rifts* intracontinentais há aproximadamente 600 Ma. É representado por vulcanismo, sedimento-gênese e plutonismo, e finalizou por volta de 450 Ma. O plutonismo é representado por vários corpos intrusivos de granitos e granitóides, do tamanho de stocks, que foram englobados no que denominaram Suíte Intrusiva Serra do Mar. Trata-se de um plutonismo de características anorogênicas marcantes. Dentre esses plutons destacam-se, na região enfocada, o MGSP, Mandira e Guaraú.

Kaul (1997) conclui que o magmatismo granítico da Suíte Intrusiva Serra do Mar, da qual o MGSP faz parte, apresenta idade radiométrica próxima de 580 ± 20 Ma. Trata-se de uma Suíte pós-colisional, ou seja, formou-se justo após colisões continentais relacionadas ao processo de aglutinação do Megacontinente Gondwânico, em ambiente distensional, intraplaca. Uma amostra de biotita monzogranito isótropo da Serra do Cordeiro (K-34) datada por Passarelli (2001) pelo método K-Ar, forneceu, em concentrados de biotitas, idade de 505 ± 16 Ma, cerca de 80 Ma mais jovem que o obtido através do método U/Pb (582 Ma). No entender de Passarelli (2001) a idade de 582 Ma indica a época de resfriamento dessa rocha, ou seja, sua colocação em níveis superiores, com temperaturas inferiores a 250° C, e a idade em torno de 500 Ma pode representar a época de cessação do aquecimento regional.

Destaca-se que novos modelos tectônicos têm sido propostos para a área, dentre eles encontram-se os propostos por Campos Neto (2000) e Passarelli (2001). Não cabe aqui discuti-los por fugir ao escopo do presente estudo. Dentre os modelos tectônicos propostos para a área de interesse optou-se por adotar o de Siga Jr (1995) que fora também adotado por Kaul (1997), apresentado acima.

MACIÇO GRANÍTICO SERRA DO PARATIÚ (MGSP)

ASPECTOS GERAIS

O MGSP (Neoproterozóico – Eopaleozóico) constitui-se em um stock de forma ovalada, com aproximadamente 100 km² de área. Trata-se de um corpo granítico circunscrito, discordante e intrusivo em rochas do Complexo Turvo-Cajati (Paleoproterozóico). Como grande parte de sua borda sudeste acha-se encoberta por sedimentos quaternários, a sua extensão areal aflorante é reduzida para aproximadamente 70 km² (figura 2).

Esse maciço granítico define as mais expressivas elevações do relevo da área estudada, atingindo, localmente, altitudes da ordem de 700 metros (figura 3). Trata-se de um corpo constituído essencialmente por monzogranito (granito 3b) e, muito raramente, sienogranito (granito 3a) na classificação de IUGS (1973), Streckeisen (1976) & Le Maitre (1989), geralmente com textura porfirítica e granulação média, de cor cinza-claro (figuras 4 e 5).

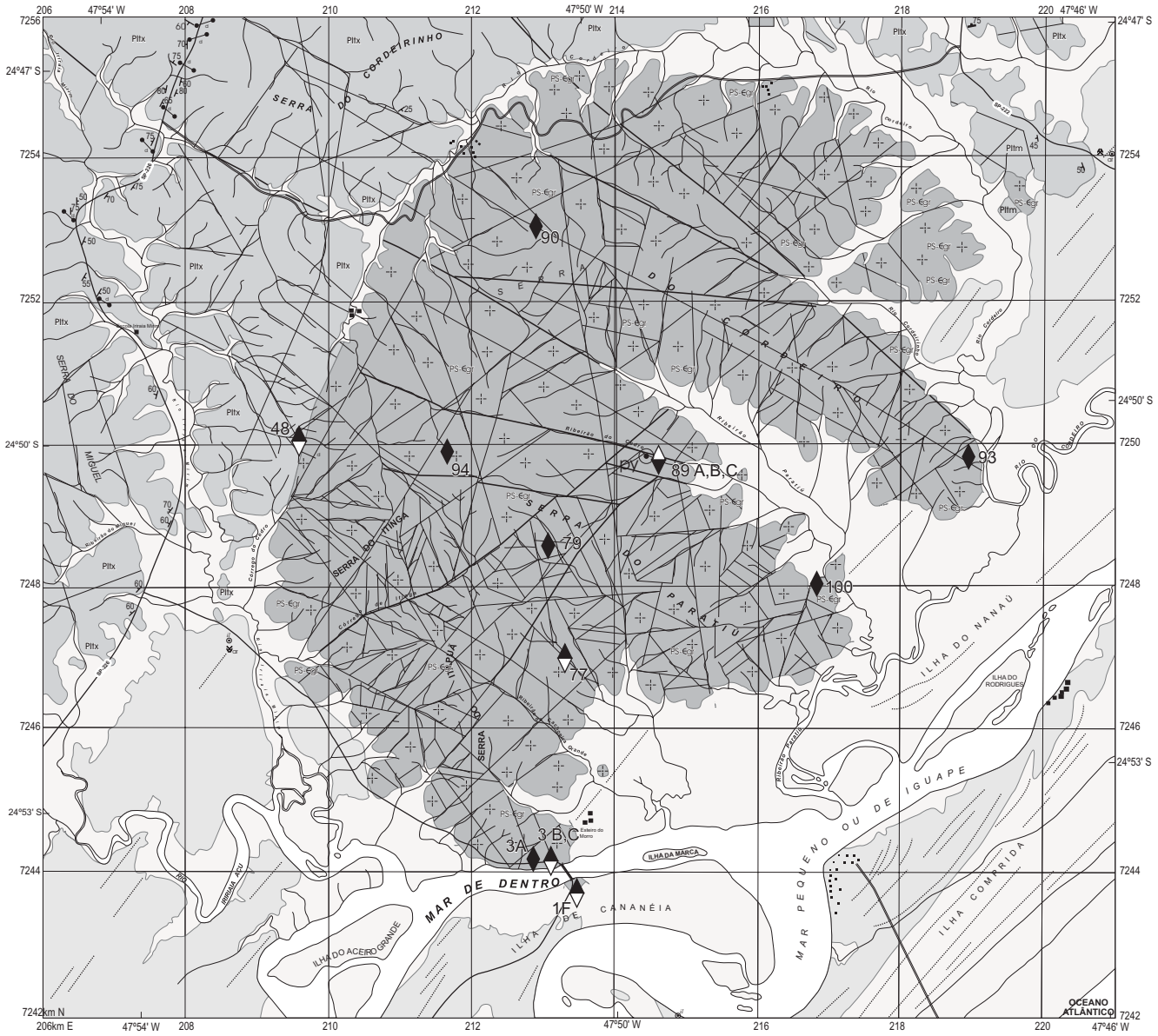
Muito localmente, observam-se enclaves dioríticos em meio ao Maciço, e cortando-o ocorrem, com freqüência, diques de microgabro e lamprófiro, encaixados em zonas de fraturas.

Evidência de metamorfismo de contato nas seqüências do Complexo Turvo-Cajati foi identificada na porção NW da área. Junto ao afloramento GPS-048-3, caracterizou-se biotita-cordierita *hornfels*. Contatos tectônicos (falhas normais) foram observados, principalmente no extremo NE da área, onde as encaixantes são constituídas por xistos conglomeráticos e metaconglomerados pertencentes ao Complexo Turvo-Cajati.

Em termos gerais, o maciço acha-se extremamente fraturado, localmente deformado, com evidências de catáclase e milonitização. Grande número de lineamentos é observado em fotografias aéreas, definidos predominantemente por fraturas (juntas e falhas), com nítido padrão radial.

ENCLAVES E DIQUES

Foram observados diversos enclaves no MGSP. Esses corpos apresentam-se com dimensões variáveis desde centimétricas até métricas. Os centimétricos foram observados em praticamente toda a extensão do Maciço e se constituem de agregados minerais, de 1 a 3 cm, de tonalidade cinza-escura a preta. A classificação petrográfica desses agregados revelou tratar-se de



LEGENDA

CENOZÓICO

Coberturas holocênicas de origem continental, marinha e mista.

Formações sedimentares Plio-Pleistocênicas do Grupo Mar Pequeno (Formação Cananéia e, muito subordinadamente, as Formações Pariquera-Açu e Ilha Comprida).

NEOPROTEROZÓICO - EOPALEOZÓICO

MACIÇO GRANÍTICO SERRA DO PARATIÚ (GSP)

PS-Egr — Biotita monzogranito (granito 3b), textura porfiríca e, subordinadamente, porfiróide, com matriz granular hipidiomórfica, de granulação média, localmente fina e/ou grossa, de tonalidade esbranquiçada a acinzentada.

PALEOPROTEROZÓICO

COMPLEXO TURVO-CAJATI

Filito, micaxisto fino, metassilito, metargilito e, subordinadamente, metarenito (Pltx).
Xisto conglomerático e metaconglomerado polimítico (Pltm).

100 Amostras de rochas referenciadas no texto.

Quanto a codificação das estações de amostragem

100 - Entenda-se: GSP - 100 - 3

1F - Entenda-se GSP - 001F - 3

NV

ESCALA GRÁFICA

0 0,5 1,0 1,5 2,0 Km

POR: F.A.G. MARTINS, 2002 (SIMPLIFICADO)

Figura 2: Mapa geológico da região do Maciço Granítico Serra do Paratiú, Cananéia. Estado de São Paulo. *Geological map of the Serra do Paratiú Granitic Massif region, Cananéia – São Paulo State.*

Figura 3**:** Vista panorâmica da porção ocidental do Maciço Granítico Serra do Paratiú. O ponto mais elevado localiza-se na Serra do Itinga (Pico Itinga) e atinge 702 metros de altitude. *Panoramic view of western area of the Serra do Paratiú Granitic Massif. The most elevated point is Itinga peak, 702 m.*

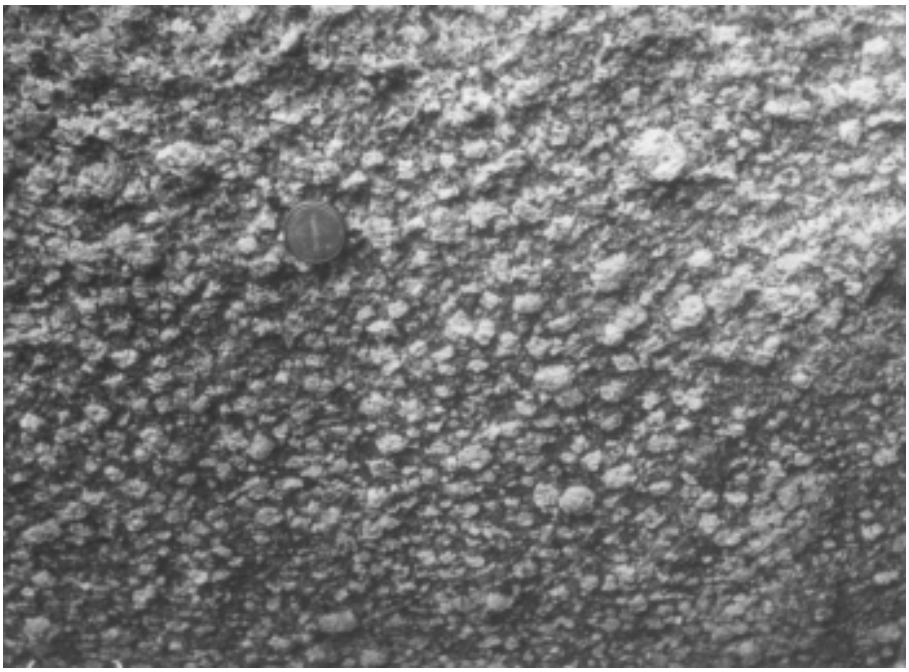


Figura 4: Aspecto da textura porfirítica comum no Maciço Granítico Serra do Paratiú (biotita monzogranito). Os fenocristais em destaque são de feldspato potássico. *Porfiritic texture, very common in Serra do Paratiú Granitic Massif (biotite monzogranite).*

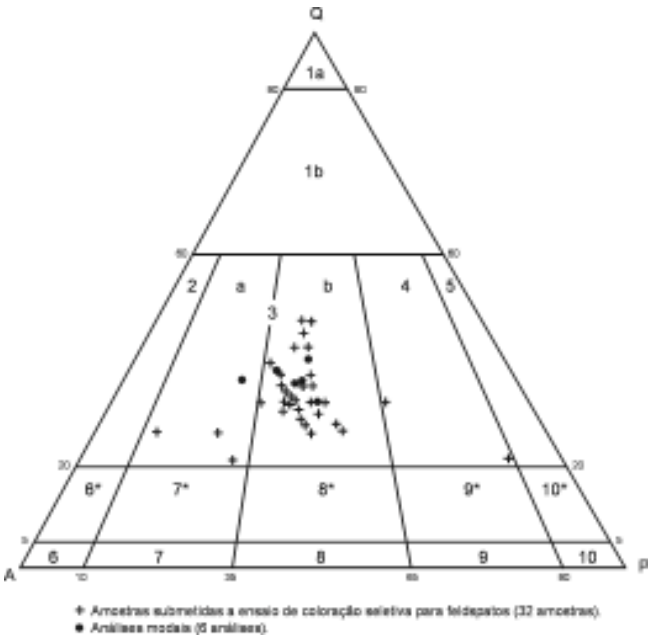


Figura 5: Amostras de rochas do Maciço Granítico Serra do Paratiú lançadas em diagrama triangular QAP (Streckeisen 1976; Le Maitre 1989). *Rock samples of Serra do Paratiú Granitic Massif, ploted in QAP diagram. (Streckeisen 1976; Le Maitre 1989).*

biotita-quartzo diorito. Os enclaves de maiores dimensões, ou seja, decimétricos a métricos foram observados principalmente na borda sul do maciço, mais especificamente junto à estação GSP-003 B,C-3.

A composição destes enclaves é idêntica à da encaixante, diferenciando apenas na granulometria, que é bem mais fina, e na tonalidade, cinza-escura, que contrasta com os tons mais claros do Granito. Análises petrográficas das amostras GSP-003-3 A e B, revelaram tratar-se, encaixante e enclave, de biotita monzogranito porfirítico de granulação média e fina, respectivamente.

No âmbito do MGSP foram observados diques, comumente irregulares, de espessuras decimétricas, constituídos de biotita sienogranito pórfiro. Trata-se de uma rocha com textura porfirítica e matriz de granulação muito fina. Fenocristais milimétricos e tabulares de microclínio e oligoclásio, além de quartzo, com hábito bipiramidal, destacam-se na matriz fina, constituída pelos mesmos minerais e também biotita, zircão, apatita, opacos e turmalina. Sericita e epídoto ocorrem como produto da alteração parcial de plagioclásio.

Cortando também o Maciço Granítico Serra do Paratiú, ocorrem diques de microgabro (diabásio ou dolerito) e lamprófiro (Juro-Cretácicos), dotados de possanças que variam de alguns centímetros até metros, verticais e com direção NW-SE.

OCORRÊNCIA MINERAL

A única ocorrência mineral metálica associada diretamente ao MGSP diz respeito à presença de sulfetos, localizados em zona de falha, na porção central do Maciço, no curso médio do Ribeirão do Cedro, junto à estação GSP-089-3 (ver figura 2).

Trata-se de uma área com exposição descontínua, ao longo do talvegue do Ribeirão do Cedro, que cobre uma extensão em torno de uma centena de metros de comprimento por uma dezena de metros de largura, orientada segundo N60-75W, subvertical a vertical, que grada lateralmente para o granito pouco afetado pela catáclase. Os sulfetos ocorrem disseminados e ao longo de microfissuras observadas em litotipo afetado por metassomatismo, descrito petrograficamente como sericita-quartzo greisen, e que, devido ao modo de ocorrência, pode ser classificado como um endogreisen.

Estudos de seções polidas da amostra GSP-089-3 C, revelaram a presença de pirita, ilmenita, pirrotita e calcopirita. A pirita ocorre disseminada pela rocha em agregados de grãos anédricos a subédricos, submilimétricos a milimétricos. Os cristais mais desenvolvidos geralmente apresentam microfraturas e inclusões de pirrotita e raras de calcopirita muito fina, anédrica. As inclusões de pirrotita são anédricas a subédricas e são bastante freqüentes. A ilmenita é bastante rara, associa-se à biotita em cristais submilimétricos, subédricos, nas bordas da mica ou como finas inclusões.

PETROGRAFIA DAS ROCHAS GRANÍTICAS

O MGSP é constituído basicamente por monzogranitos e, muito subordinadamente, por sienogranito. Macroscopicamente observa-se que a textura predominante nas rochas do MGSP é a porfirítica com matriz granular hipidiomórfica. Os fenocristais estão constituídos por microclínios, em cristais subcentimétricos a centimétricos, predominando entre 2 e 3 centímetros (Figura 4). A matriz é constituída principalmente por cristais submilimétricos a milimétricos de quartzo, em agregados de grãos subédricos, plagioclásio, em cristais tabulares e microclínio, em cristais subédricos a anédricos.

Outra textura encontrada com freqüência é a porfirítica com cristais hipidiomórficos, caracterizada geralmente por raros fenocristais de microclínio subcentimétricos em meio a cristais submilimétricos a milimétricos de quartzo, plagioclásio e microclínio.

O microclínio micropertítico a mesopertítico, junto com quartzo e plagioclásio representam 90 a 95 % da rocha.

Microclínio ocorre em cristais prismáticos curtos, de textura micropertítica (pertitas sob a forma de cordões ou manchas). Localmente, no contato entre dois cristais observam-se bordas albíticas. Por vezes ocorrem inclusões de plagioclásio, indicando possíveis restos resultantes da substituição de plagioclásio por microclínio, denotando o que seria uma feldspatização potássica precoce.

Plagioclásio (oligoclásio) possui hábito tabular, geralmente zonado, com bordas mais sódicas, albíticas e límpidas, enquanto as regiões centrais são turvas e freqüentemente saussuritizadas. Na fotomicrografia 1, vê-se cristal de plagioclásio, à esquerda, em contato com cristal de microclínio micropertítico. No contato com o microclínio são observados freqüentes intercrescimentos mimerquíticos com quartzo**.**

O quartzo apresenta extinção ondulante, de moderada a forte e é comum a presença de inclusões de microclínio e de plagioclásio.

Em quantidades subordinadas ocorre biotita parda a verde (5 a 10% do total da rocha) e, associados a ela, opacos (principalmente magnetita e ilmenita), allanita, apatita, titanita e zircão. Em algumas amostras foram encontrados cristais de fluorita, geralmente em grãos intersticiais ou inclusos em plagioclásio. Aparece de forma bastante rara turmalina em cristais finos. Como minerais secundários são comuns: epídoto, sericita e localmente alofano (alteração do plagioclásio), clorita e hidróxidos de ferro (alteração da biotita). A biotita também aparece alterada nas bordas para sericita e clorita.

É muito comum a alteração hidrotermal representada por saussuritização do plagioclásio e cloritização da biotita de forma pervasiva nas rochas graníticas Paratiú.

A fluorita está relacionada tanto ao processo de albitização como ao hidrotermalismo, que afetaram o Maciço Granítico como um todo.

Ao microscópio a deformação é observada através de microfraturas (preenchidas ou não por hidróxidos de ferro) e moderada a forte extinção ondulante em cristais de quartzo.

Junto à estação GSP-089-3 (figura 2), coincidente com uma zona de falha, ocorre rocha afetada por processo metassomático e composição compatível a *greisen*, e que, devido ao modo de ocorrência, pode ser chamada de *endogreisen.* Apresenta granulação fina, coloração cinza-médio e estrutura maciça com fraturas. Microscopicamente exibe textura heterograno-blástica, caracterizada por cristais anédricos de quartzo, submilimétricos a milimétricos, associados a finas lamelas de sericita, também em agregados, perfazendo cerca de 85% da rocha. Ocorrem ainda biotita, opacos, fluorita,

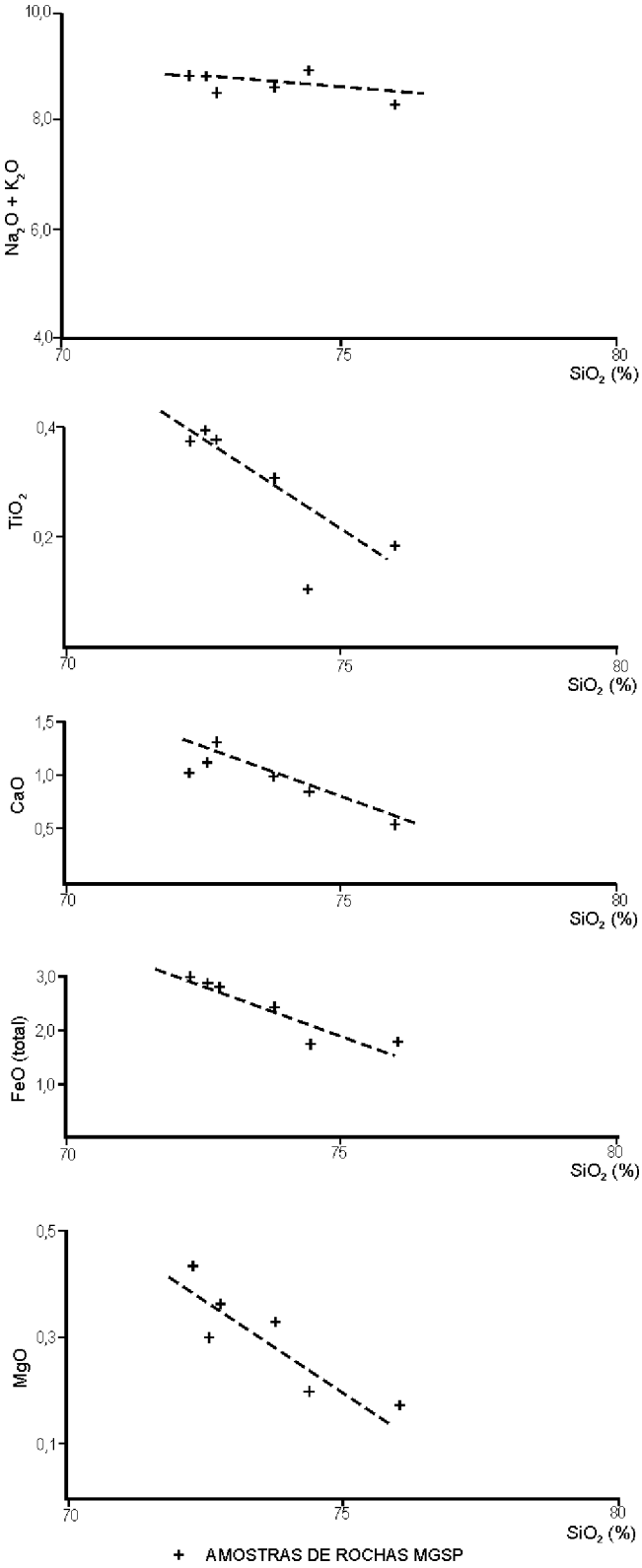


Figura 6: Biotita monzogranito. Plagioclásio e microclínio micropertítico. Polarizadores cruzados (GSP-009-3). *Biotite monzogranite. Plagioclase and micropertite microcline. Crossed polarizers. (GSP-009-3).*

zircão e apatita, além de óxidos e/ou hidróxidos de ferro, que aparecem em microfraturas. O estudo dos minerais opacos em seções polidas revelou predominantemente pirita, em cristais submilimétricos, com inclusões freqüentes de pirrotita e raras de calcopirita. A ilmenita também está presente geralmente associada à biotita.

Muito localmente, na extremidade sul do Maciço, ocorrem rochas graníticas cataclasadas até termos miloníticos e blastomiloníticos. São constituídas basicamente de quartzo e, subordinadamente, albita (GSP-001F-3). O aumento no teor de quartzo e a presença de albita se devem provavelmente a um processo metassomático, relacionado com a deformação e albitização seguida por greisenização.

PROCESSOS TARDI A PÓS-MAGMÁTICOS QUE AFETARAM O MACIÇO GRANÍTICO SERRA DO PARATIÚ

A petrografia das rochas graníticas conduziu à identificação de vários processos tardi a pós-magmáticos. A relação temporal desses processos segue a seqüência clássica proposta por Beus & Zalashkova (1964) e Shcherba (1970), ou seja: Fase 1 - feldspatização potássica precoce; Fase 2 - feldspatização sódica precoce; Fase 3 - greisenização; e Fase 4 - hidrotermalismo de baixa temperatura.

A feldspatização potássica precoce caracterizada pelo microclínio apresenta feições de processo pervasivo. O mesmo pode-se dizer com relação à feldspatização sódica precoce, evidenciada pelo aparecimento da albita, e que apresenta relação com processos de deformação rúptil-dúctil. Esse fato é coerente com o trabalho de Beus & Zalashkova (1964) que asseveram que em geral não existe uniformidade na albitização, a qual aparece associada a falhamentos.

A greisenização encontra-se bastante localizada, restringindo-se a uma área com cerca de 1.000 m² na região central do Maciço (GSP-089-3) e de forma incipiente na borda sul. Os greisens do maciço Paratiú apresentam importante participação de quartzo, com mica e albita subordinadas. A greisenização é controlada por fraturas de origens diversas, ocorrendo em zonas de efeito metassomático. O estágio da greisenização pode ser dividido em duas fases, pelas suas feições geoquímicas, sendo a primeira marcada pela formação de quartzo e mica subordinada, como assinala Beus & Zalashkova (1964).

Na borda sul do Granito Serra do Paratiú há indícios de greisenização superimposta à albitização, sempre associadas a falhamentos (GSP-001F-3). A ausência de concentração de elementos raros (Nb, Sn, W, etc.), constituindo jazida, poderia ser explicada pelo fato desses elementos se concentrarem preferencialmente na fase final da greisenização, caracterizada por uma acumulação preferencial de micas (Beus & Zalashkova 1964), não encontrada no maciço em pauta.

O hidrotermalismo de baixa temperatura afetou o Maciço de forma pervasiva, embora seja mais intenso próximo às fraturas.

As características observadas indicam que a greisenização representa um processo restrito no Maciço e de baixa intensidade.

A presença de rochas graníticas, em superfície, afetadas pelo processo de microclinização precoce, permite supor também que as porções apicais do Maciço, que são regiões preferenciais para a acumulação de fluidos portadores de metais raros, já foram erodidas. Beus & Zalashkova (1964) sugerem uma profundidade (até a crista do granito) de 150 a 180 m para as regiões mais afetadas pela albitização tardia. Portanto, no MGSP, a ausência dessa zona estaria indicando nível de erosão avançado, fato esse que pode ser um dos motivos da ausência de jazidas minerais nesse Maciço.

Os produtos dos processos metassomáticos, acima caracterizados, foram identificados basicamente através dos estudos micro-petrográficos, já que em campo evidências desses processos são relativamente difíceis de ser observadas. Elas são mais marcadas ao longo das zonas de falhas, nunca se estendendo na rocha compacta além de alguns metros, exceto na área central do maciço.

PETROQUÍMICA

As análises químicas das rochas do MGSP objetivaram a sua caracterização petroquímica. As amostras submetidas às análises químicas e determinações normativas são do tipo compostas (*chip sample*).

Todas as análises foram feitas nos laboratórios da Geosol e os métodos adotados foram os seguintes:

a) SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO, CaO e P_2O_5 por fluorescência de raios X, com amostras fundidas com tetraborato de lítio. Usou-se um espectrômetro a vácuo Rigaku-Denki com excitação com tubo de cromo.
b) MnO, Na_2O, K_2O, Li, Cu, Zn e Pb por absorção atômica com solubilização total das amostras com HF-HNO_3.
c) FeO por via úmida com titulação com permanganato de potássio.

Tabela 1: Resultados das determinações químicas obtidas em amostras de rocha do Maciço Granítico Serra do Paratiú. *Chemical data obtained from rock samples of the Serra do Paratiú Granitic Massif.*

Amostras de rocha	GSP-003A-3	GSP-079-3	GSP-090-3	GSP-093-3	GSP-094-3	GSP-100-3
Óxidos (%)						
SiO_2	72,8	72,6	74,40	72,30	76,00	73,80
TiO_2	0,37	0,4	0,11	0,38	0,19	0,31
Al_2O_3	13,1	13,2	13,00	13,40	12,20	12,90
Fe_2O_3	0,15	0,88	0,29	0,98	0,46	0,49
FeO	2,65	2,00	1,45	2,00	1,30	1,90
MnO	0,06	0,05	0,04	0,07	0,04	0,06
MgO	0,36	0,30	0,20	0,43	0,17	0,33
CaO	1,30	1,10	0,83	1,00	0,56	0,99
Na_2O	3,20	3,10	3,20	3,20	3,20	3,30
K_2O	5,30	5,70	5,70	5,60	5,10	5,30
P_2O_5	0,06	0,07	<0,05	0,09	<0,05	0,07
Total	99,35	99,40	99,27	99,45	99,27	99,45
Elementos traços (ppm)						
Li	74	74	116	77	104	107
Be	7	6	8	9	10	13
V	14	22	60	52	27	40
Cu	4	3	3	5	5	3
Zn	70	62	41	70	36	57
Rb	320	320	410	310	420	380
Sr	82	57	26	98	15	57
Y	150	150	260	130	210	190
Zr	450	330	230	520	280	290
Nb	32	54	26	40	30	40
Mo	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sn	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ta	<15	<15	<15	<15	<15	<15
W	<15	<15	<15	<15	<15	<15
Bi	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Terra Raras (ppm)						
La	43,9	52,7	57,4	40,8	39,4	36,6
Ce	98	103,3	123,3	76,7	87,9	78,5
Nd	45,8	49	64,1	35,6	45,6	38,6
Sm	10	9,9	15,7	7,3	11,2	9
Eu	1,1	1,1	1,1	1	0,75	0,94
Gd	8,2	8,1	14	6,1	10	7,4
Dy	7,1	7,3	14,1	5,8	10,1	6,9
Ho	1,3	1,3	2,6	1,1	1,8	1,2
Er	3,8	4,2	8,2	3,7	5,9	4
Yb	3,3	3,9	7,9	3,8	5,5	3,7
Lu	0,45	0,55	1	0,54	0,72	0,48

Tabela 2: Norma CIPW das rochas do Maciço Granítico Serra do Paratiú. *CIPW norms of the rocks of the Serra do Paratiú Granitic Massif.*

MINERAIS / AMOSTRAS	Q	Or	Ab	An	Hy	En	Fs	Wo	Ap	Il	C	Mt	Zr
GSP-003A-3	27, 27	31,93	29,30	5,84	4,66	1,01	3,65	0,13	0,13	0,53	-	0,16	0,04
GSP-079-3	29,49	34,36	28,40	5,10	2,89	0,85	2,05	-	0,15	0,57	0,11	0,94	0,03
GSP-090-3	30,76	34,31	29,27	3,86	2,55	0,56	1,99	-	0,11	0,16	0,20	0,31	0,02
GSP-093-3	28,78	33,70	29,26	4,45	3,24	1,21	2,03	-	0,19	0,54	0,52	1,04	0,05
GSP-094-3	34,38	30,80	29,38	2,51	2,00	0,48	1,52	-	0,11	0,27	0,58	0,49	0,03
GSP-100-3	30,74	31,81	30,17	4,54	3,23	0,93	2,31	-	0,15	0,44	0,11	0,52	0,03

quartzo, ortoclásio, albita, anortita, (enderbita + ferrossalita), enderbita, ferrossalita, wollastonita, apatita, ilmenita, coríndon, magnetita, zircão

Tabela 3: Valores de Niggli para as rochas do Maciço Granítico Serra do Paratiú. *Niggli values for Serra do Paratiú Granitic Massif rocks.*

MINERAIS / AMOSTRAS	si	ti	al	fm	c	alk	k	mg	qz
GSP-003A-3	393,23	1,50	41,70	15,75	7,52	35,O2	0,52	0,18	153,14
GSP-079-3	394,04	1,63	42,22	15,33	6,40	36,05	0,55	0,16	149,35
GSP-090-3	436,30	0,48	44,93	10,34	5,21	39,52	0,54	0,17	178,23
GSP-093-3	385,52	1,52	42,11	16,58	5,71	35,59	0,53	0,21	143,15
GSP-094-3	478,99	0,90	45,31	10,84	3,78	40,06	0,51	0,15	218,75
GSP-100-3	415,91	1,31	42,84	14,09	5,98	37,08	0,51	0,20	167,56

d) Be, V, Y, Zr, Nb, Mo, Sn e Bi e por espectrometria óptica de emissão na região ultravioleta. Amostras diluídas com quartzo-grafita e excitadas no arco D. C.
e) Rb, Sr, Ba, Ta e W por fluorescência de raios-X usando técnica de pó prensado.
f) Terras Raras: La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb e Lu por espectrometria de plasma – ICP, após separação em resinas de troca iônica.

A acuracidade das análises foi testada com padrões da United States of Geological Survey (USGS) para rochas graníticas, principalmente o granito G-2.

Análises químicas de seis amostras de rochas graníticas do Maciço Serra do Paratiú revelaram semelhanças muito grandes entre si (tabela 1), o que, aliás, era esperado devido à homogeneidade petrográfica verificada ao longo de todo o corpo.

A norma CIPW e os valores de Niggli, referentes ao Granito Serra do Paratiú, consubstanciam as Tabelas 2 e 3, respectivamente.

A homogeneidade química do Granito Serra do Paratiú pode ser atestada também pelos diagramas de Harker (1909) (figura 6).

O Granito Serra do Paratiú é caracterizado como do tipo *subsolvus*. O termo *subsolvus* foi criado por Tuttle & Bowen (1958), para caracterizar os granitos que apresentam simultaneamente feldspato potássico e plagioclásio (figura 7).

No diagrama triangular AFM, esse granito coloca-se nos termos finais da série cálcio-alcalina (Bonin 1982), conforme se pode verificar na figura 8.

Hughes (1972) apud Barker (1985), estudando os efeitos químicos produzidos pela albitização no Granito Bastfallshöjden (Suécia), propôs a utilização de alguns diagramas discriminantes entre o granito inalterado e o granito albitizado, entre os quais o diagrama K_2O +

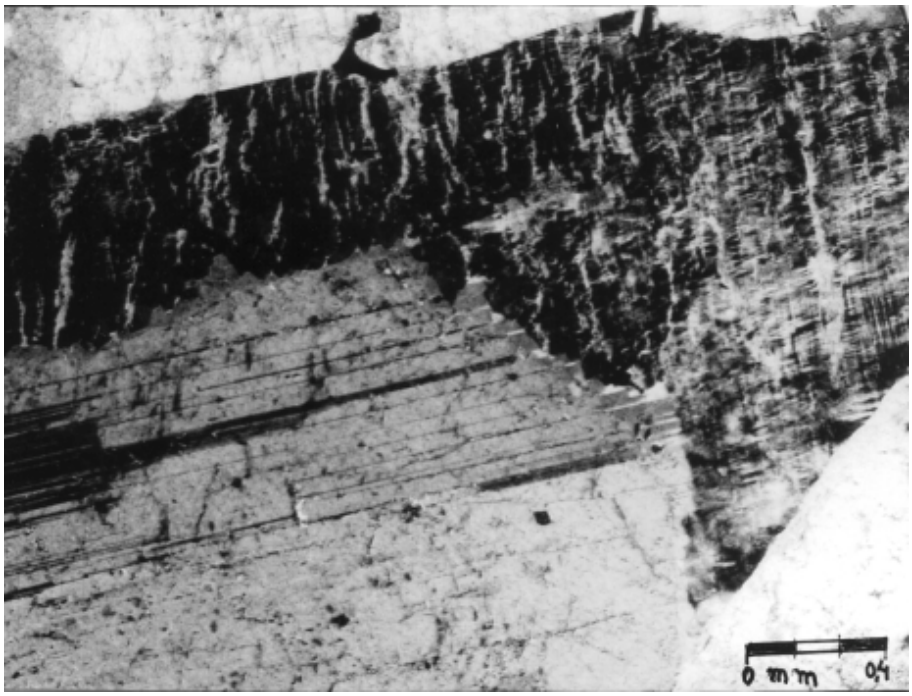


Figura 7: Diagrama de Harker (1909) para rochas do Maciço Granítico Serra do Paratiú. *Diagram of Harker (1909) for the rocks of the Serra do Paratiú Granitic Massif.*

Figura 8: Diagrama triangular AFM para as rochas do Maciço Granítico Serra do Paratiú (Bonin 1982). *AFM diagram for the rocks of the Serra do Paratiú Granitic Massif.*

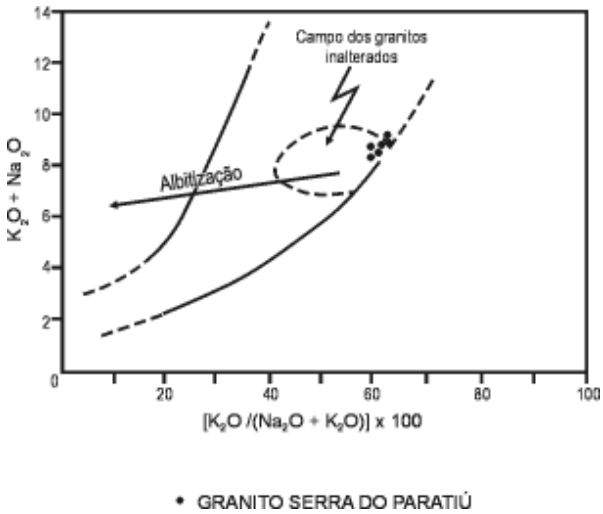


Figura 9: Efeitos de alteração exibidos no "contexto ígneo" (Hughes 1972 apud Barker 1985) onde as rochas ígneas inalteradas definem uma área restrita. *Alteration effects exhibit in the igneous spectrums (Hughes 1972 apud Baker 1985) where the fresh igneous rocks define a restricted area.*

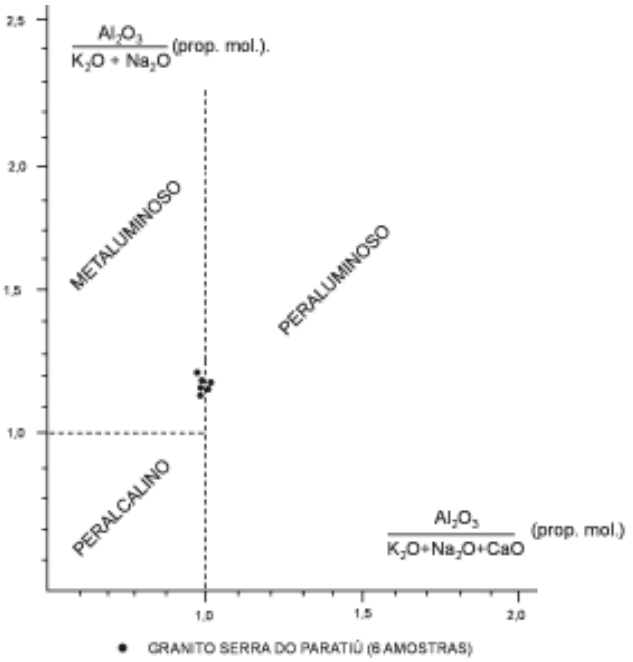


Figura 10: Diagrama de classificação de rochas ígneas segundo as proporções da Al_2O_3, CaO, K_2O + Na_2O (Shand 1947) e amostras plotadas do Maciço Granítico Serra do Paratiú. *Diagram of classification of igneous rocks by Al_2O_3, CaO, K_2O + Na_2O (Shand 1947) and ploted samples of Serra do Paratiú Granitic Massif.*

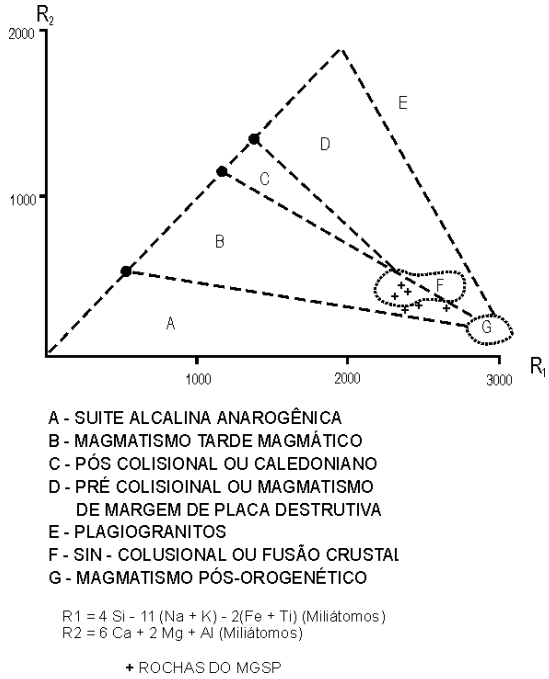


Figura 11: Diagrama das principais associações de granitóides (Batchelor & Bowden 1985) usando o esquema multicatiônico de De La Roche et al. (1980), distinguindo as associações de granitóides de Pitcher (1983) para rochas do Maciço Granítico Serra do Paratiú. *Diagram of main granitoides association (Batchelor & Bowden 1985) using the multicationic system of De La Roche et al.(1980), is distinguished the granitoide association from Pitcher (1983) for the rocks of Serra do Paratiú Granitic Massif.*

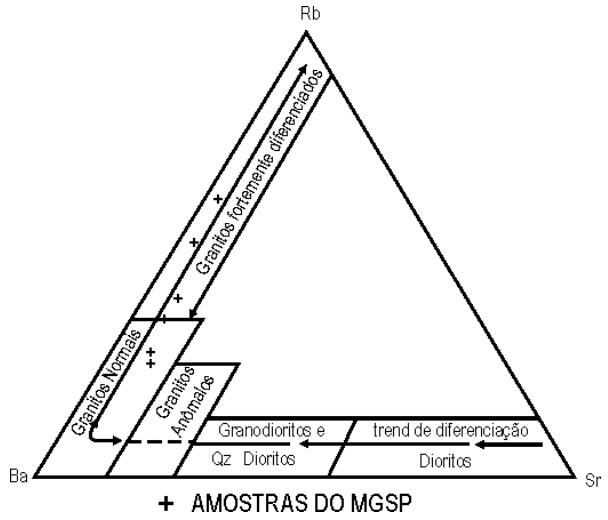


Figura 12: Diagrama Rb-Ba-Sr segundo Turekian & Wedepohl (1961) apud El Bouseily & El Sokkary (1975) para rochas do Maciço Granítico Serra do Paratiú. Diagram Rb-Ba-Sr as Turekian and Wedepohl (1961) apud El Bouseily and El Sokkary (1975) for the rocks of Serra do Paratiú Granitic Massif.

Na_2O versus K_2O / Na_2O + K_2O x 100. Plotando-se várias amostras do MGSP neste diagrama, praticamente todas se colocam no campo dos granitos inalterados (figura 9).

No gráfico de saturação de alumina (Shand 1947), o MGSP posiciona-se no limiar dos granitos metaluminosos e peraluminosos (figura 10). As amostras deste granito selecionadas com determinações geoquímicas, lançadas no diagrama, se revelaram em parte metaluminosas e em parte peraluminosas.

Batchelor & Bowden (1985) propuseram a utilização dos valores catiônicos de De La Roche et al. (1980) na interpretação petrogenética de séries de granitóides. Com base nessa classificação, as rochas do MGSP encontram-se no campo dos granitos sin-colisionais ou de fusão crustal (Figura 11). Em termos de duração representariam a duração de um evento completo de colisão de placas (Batchelor & Bowden 1985).

Utilizando-se da razão ternária Rb-Ba-Sr proposta por Turekian & Wedepohl (1968) apud El Bouseily & El Sokkary (1975), o MGSP é caracterizado como um granito normal a diferenciado (Figura 12).

Pearce et al. (1984) sugeriram a utilização de elementos traços, particularmente Rb, Y, Nb e Ta para a discriminação de ambientes tectônicos de rochas

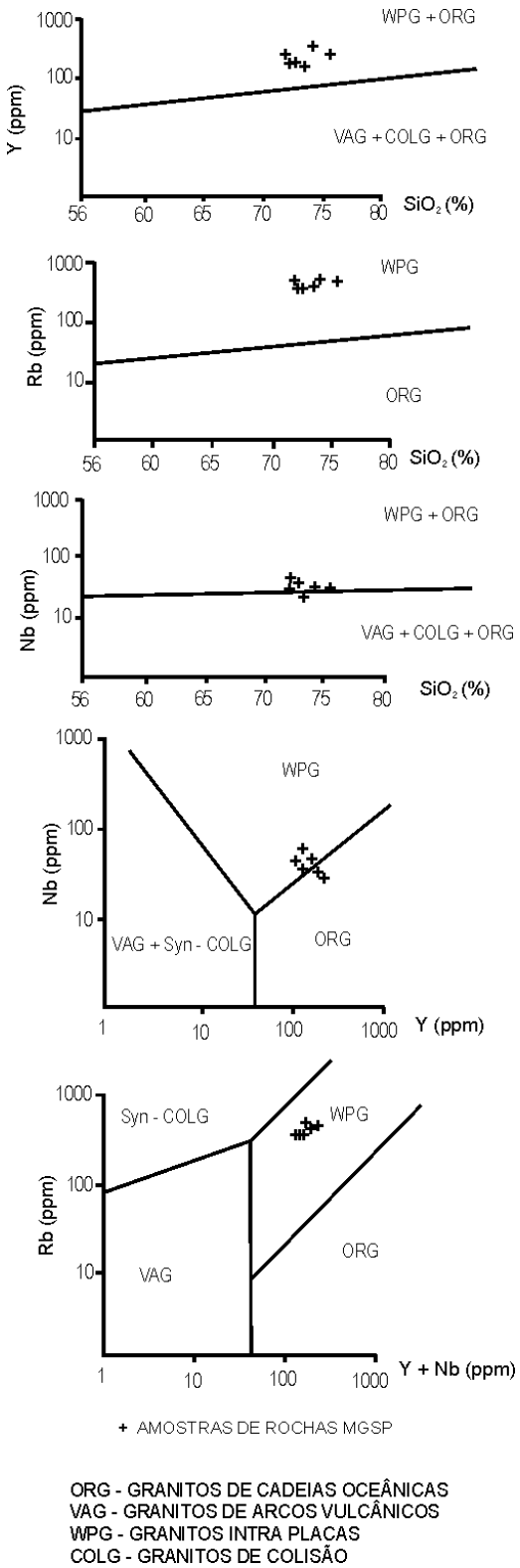


Figura 13: Diagrama SiO_2 versus Y, Rb, Nb; Y versus Nb e Y + Nb versus Rb para rochas do Maciço Granítico Serra do Paratiú (Pearce et al. 1984). *Diagram of SiO_2 versus Y, Rb, Nb; Y versus Nb and Y+Nb versus Rb for the rocks of Serra do Paratiú Granitic Massif (Pearce et al. 1984).*

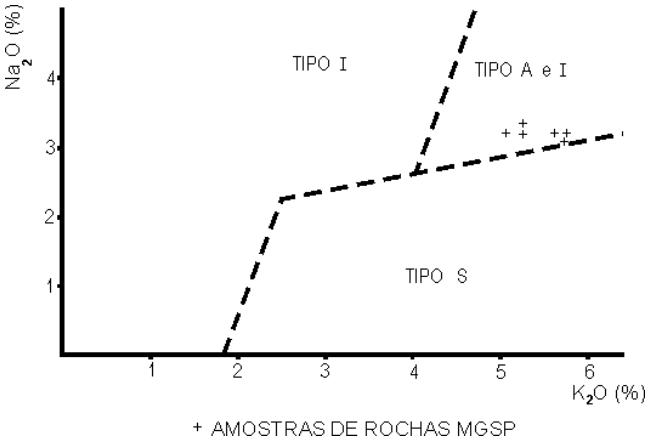


Figura 14: Diagrama K_2O versus Na_2O para granitos de Lachlan Fold Belt, discriminando campos de predominância dos granitos tipo I, S, e A-I (White & Chappell 1983). *Diagram of K_2O versus Na_2O for granites of Lachlan Fold Belt, discriminating the fields of types I, S and A-I (White &Chappell 1983).*

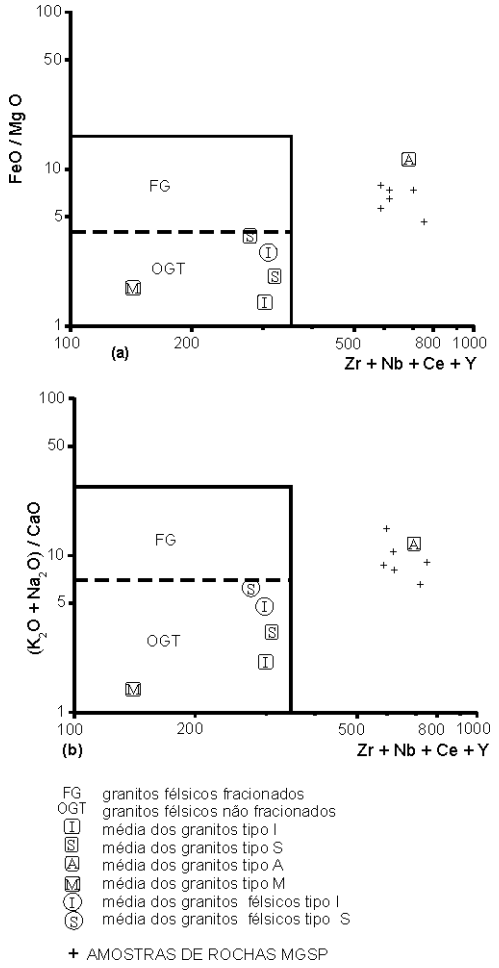


Figura 15: Diagrama Zr+Nb+Ce+Y versus FeO/MgO (a) e $(K_2O+Na_2O)/CaO$ (b), discriminando campos para granitos félsicos fracionados (FG) e não fracionados (OGT), plotando também médias de granitos tipos A, S e I (Whalen et al. 1987). *Diagram of Zr+Nb+Ce+Y versus FeO/MgO (a) and $(K_2O+Na_2O)/CaO$ (b) showing field for fractionated felsic granite (FG) and no fractionated (OGT), also plotted the average of granites type A, S and I (Whalen et al.1987.)*

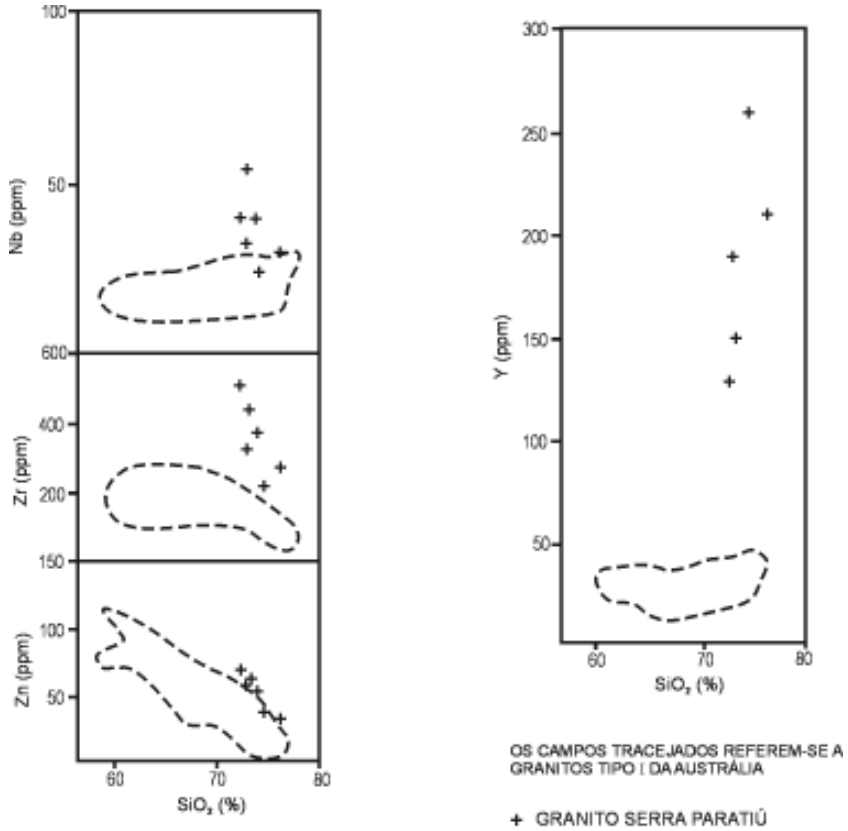


Figura 16: Diagrama de SiO_2 versus Zn, Zr, Nb e Y mostrando os altos valores de cátions de alta valência, característicos de granitos do Tipo A (Collins et al. 1982) para rochas do Maciço Granítico Serra do Paratiú. *Diagram of SiO_2 versus Zn, Zr, Nb and Y, showing the high values of ionic charge, characteristics of the type A granites (Collins et al. 1982) for samples of Serra do Paratiú Granitic Massif.*

graníticas. Os teores destes elementos no MGSP o colocam como granito intraplacas (figura 13).

O diagrama apresentado na Figura 14 foi extraído de White & Chappell (1983). Foi elaborado a partir de resultados analíticos das razões Na_2O / K_2O de granitos dos tipos I, S e A procedentes de Lachlan Fold Belt (Austrália). Ao lançar os dados do Granito Serra do Paratiú neste diagrama, todos se encontram no campo dos granitos tipos A-I por apresentarem altos conteúdos, tanto em Na_2O como em K_2O.

Nos diagramas elaborados com base em Whalen et al. (1987) todas as amostras do MGSP caem no campo dos granitos tipo A (figura 15).

A tabela 4 exibe uma comparação entre médias de análises químicas de granitos dos tipos I, S e A (White & Chappell 1983), observando-se uma grande semelhança química do MGSP com os granitos tipo A, os quais apresentam altos teores em SiO_2, Na_2O + K_2O, Fe / Mg, F, Zr, Nb, Ga, Sn, Y e TR (exceto Eu) e baixos teores em CaO, Ba e Sr (Collins et al.1982; White & Chappell 1983; Loiselle & Wones 1979). No MGSP, observa-se um enriquecimento acentuado nos cátions de alta valência (exceto Zr, cujo enriquecimento é pouco acentuado), o que está de acordo com as constatações feitas por Collins et al. (1982) a respeito dos granitos tipo A (figura 16).

Segundo Whalen et al. (1987), existem granitos (como Ackley & Sandy Cape) que não são do tipo A, embora sua composição química mostre uma forte convergência nessa direção.

No caso do Granito Ackley, a fácies mais evoluída constitui menos que 30% da área aflorante de um plutão félsico composto. A outra fácies é biotita granito com megacristais de K-feldspato, os quais claramente não caracterizam o tipo A. Evidências de campo e geoquímicas sugerem que a fácies mais evoluída pode ter sido formada por cristalização fracionada, próximo ao topo deste plutão "tipo I" (Whalen 1983 apud Whalen et al. 1987). Segundo esses autores, há um problema com a classificação de granitos félsicos não peralcalinos, pois eles podem representar granitos dos tipos S e I, altamente fracionados.

Granitos tipo A exibem freqüentemente mineralizações de Sn, Mo, Bi, Nb, W, Ta e F (Collins et al. 1982, Pitcher 1983). A Tabela 5 apresenta teores médios de alguns elementos menores em granitos normais (obtidos da literatura), bem como os teores mínimos e máximos e as médias desses mesmos elementos no MGSP,

Tabela 4: Comparação entre as médias de análises químicas de granitos dos tipos I, S e A, procedentes de Lachlan Fold Belt (White & Chappell 1983), com as análises químicas de amostras do Maciço Granítico Serra do Paratiú (MGSP). *Comparing Serra do Paratiú Granite Massif data and granite types I, S and A from LachlanFold Belt (White & Chappell, 1983).*

	TIPO-I	TIPO-S	TIPO-A	MGSP
Nº de AMOSTRAS	532	316	31	6
ÓXIDOS (%)				
SiO_2	67,98	69,08	73,60	73,65
TiO_2	0,45	0,55	0,33	0,29
Al_2O_3	14,49	14,30	12,69	12,97
Fe_2O_3	1,27	0,73	0,99	0,54
FeO	2,57	3,23	1,72	1,88
MnO	0,08	0,06	0,06	0,05
MgO	1,75	1,82	0,33	0,30
CaO	3,78	2,49	1,09	0,96
Na_2O	2,95	2,20	3,34	3,20
K_2O	3,05	3,63	4,51	5,45
P_2O_5	0,11	0,13	0,09	0,07
ELEMENTOS TRAÇOS (ppm)				
Sc	15	14	14	NA
V	74	72	10	36
Cr	27	46	3	NA
Co	12	13	4	NA
Ni	9	17	2	NA
Cu	11	12	6	4.0
Zn	52	64	102	56
Ga	16	17	21	NA
Rb	132	180	199	360
Sr	253	139	105	56
Y	27	32	76	182
Ba	520	480	605	411
Zr	143	170	342	350
Nb	9	11	22	37
La	29	31	55	45.1
Ce	63	69	134	94.6
Nd	23	25	56	46.5
Pb	16	27	29	13
Th	16	19	23	NA
U	3	3	5	NA

Obs.: NA – não analisado. *No analysed.*

Tabela 5: Teores de elementos menores (ppm) em granitos normais segundo vários autores de acordo com Rose et al. (1979), e no Maciço Granítico Serra do Paratiú. *Grade of minor elements (ppm) in normal granites by several authors (Rose et al. 1979) and Serra do Paratiú Granite Massif (MGSP).*

ELEMENTOS	Li	Be	V	Cu	Zn	Rb	Sr	Nb	Zr	Ba	Pb
MGSP - Mínimo	74	6	130	3	36	310	15	26	290	240	7
MGSP - Máximo	116	13	260	5	70	420	98	54	520	800	20
MGSP - Média	92	9	181	4	56	360	55	37	35	530	13
Granitos Normais - Média	4	3	41	12	51	276	100	20	175	840	18

onde se observa um enriquecimento em Be, Nb, V, Rb, Zr, Zn e Li e um empobrecimento em Sr, Ba, Pb e Cu.

Os teores litoquímicos médios dos elementos traços Li (92 ppm) e Be (9 ppm) mostram tratar-se de um granito com especialização geoquímica para esses elementos. Os teores litoquímicos médios de Cu (4 ppm), Zn (56 ppm) e Pb (13 ppm) não indicam especialização para metais-base.

Harris et al. (1986), estudando rochas provenientes de várias zonas de colisão continente-continente, de idade fanerozóica, propuseram uma subdivisão em quatro grupos de intrusões, cada qual associada a um estágio particular da evolução tectônica de uma zona de colisão e com características geoquímicas que as distinguem umas das outras. Assim, o grupo I é formado por intrusões pré-colisionais cálcio-alcalinas (em arco vulcânico); o grupo II é formado por intrusões peraluninosas sin-colisionais; o grupo III, por intrusões cálcio-alcalinas tardi a pós-colisionais; e o grupo IV, por intru-Obs.: NA – não analisado. *No analysed.*sões alcalinas pós-colisionais.

As amostras do MGSP exibem baixa razão Rb / Sr, o que é característico das intrusões dos grupos I e III (figura 17). No entanto, a possibilidade do Granito Serra do Paratiú, ser pré-colisional fica descartada pela ausência de foliação (apresenta estrutura isótropa) e pela presença, ainda que restrita, de metamorfismo de contato nas encaixantes. Por conseguinte o Maciço Granítico Serra do Paratiú, por suas características estruturais e geoquímicas, pertenceria ao grupo III, granitos tardi a pós-colisionais de Harris et al. (1986).

Na figura 18 são apresentadas as curvas das terras raras normalizadas de amostras que cobrem diferentes zonas do MGSP. Essas curvas exibem uma depleção de Eu, relativamente moderada se comparada com as do Granito Correas descrito por Goraieb (2001), evidenciando o grau não muito acentuado da diferenciação das rochas do MGSP.

Keqin et al. (1984), estudando a petrogênese de granitóides e suas relações metalogenéticas no sul da China, descreveu três séries granitóides, cada uma com um padrão de distribuição de terras raras e respectivas especializações metálicas. Assim, descreveu: a série Mantélica, derivada de zonas de subducção crosta oceânica / crosta oceânica; série Sintaxia, derivada de zonas de subducção crosta oceânica / crosta continental; e a série Transformação, derivada de zonas de tectonismo intracontinental ou colisional intracontinental. Os granitos da série Transformação apresentam vocação para mineralizações em greisens e os de derivação mantélica para jazimento tipo pórfiro. O MGSP se enquadra no padrão da série Transformação.

Juniper & Kleeman (1979), estudando granitos mineralizados em Sn de New South Wales, no Reino

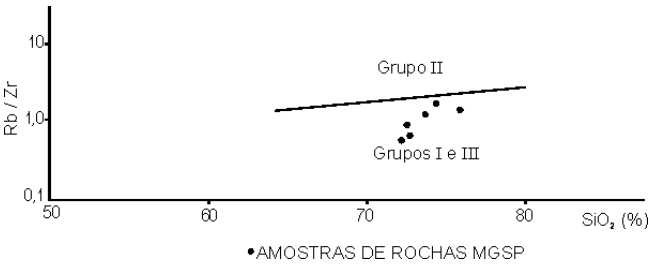


Figura 17: Diagrama SiO_2 versus Rb/Zr para rochas graníticas dos grupos I, II e III (Harris et al. 1986) e o campo do Granito Serra do Paratiú. *Diagram SiO_2 versus Rb/Zr for granite rocks of the I, II and III groups (Harris et al. 1986) and the field of Serra do Paratiú Granite.*

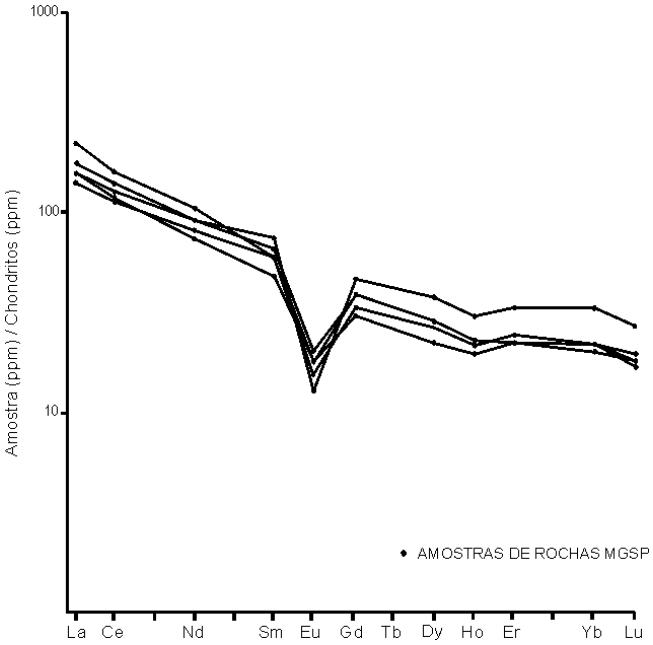


Figura 18: Diagrama de terras raras normalizadas a condritos como Boyton (1984), para Granito Serra do Paratiú. *Diagram of Rare Earth Elements set normal by condrithes as Boyton (1984), for Serra do Paratiú Granite.*

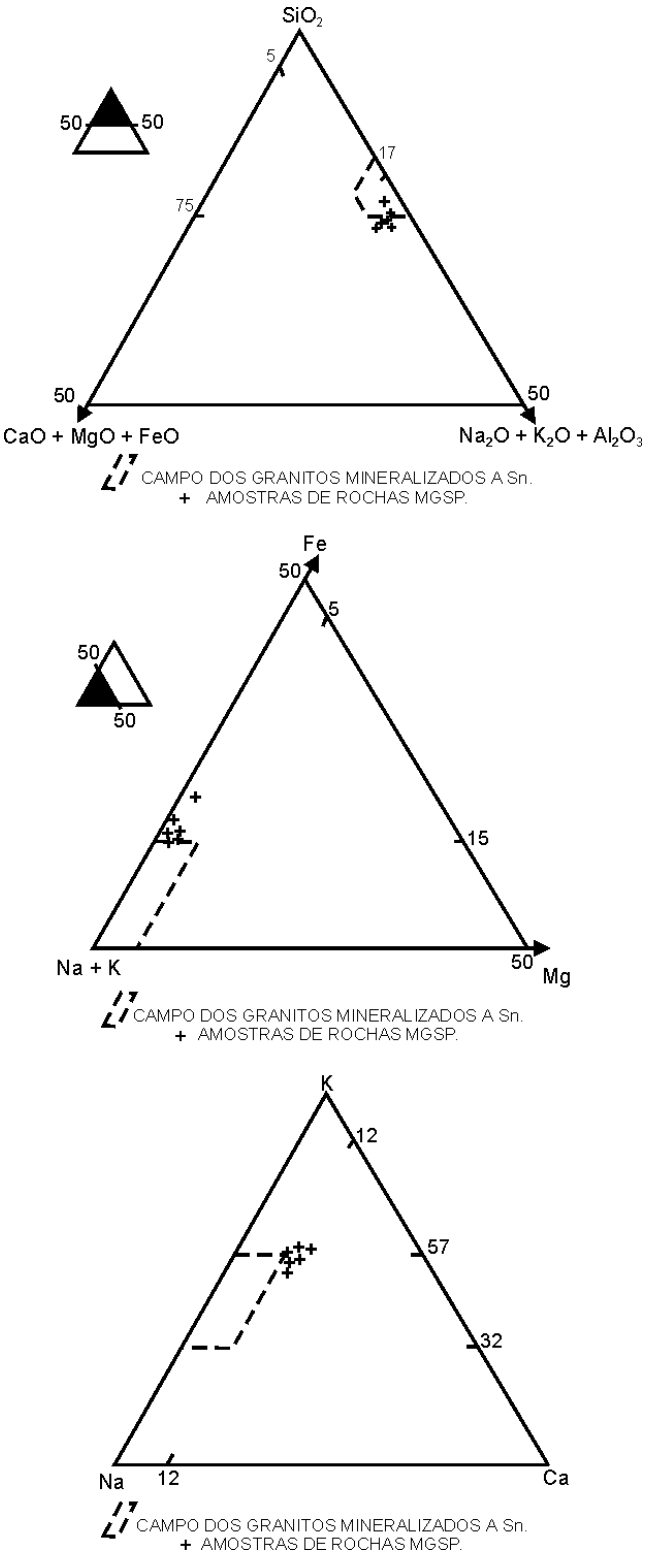


Figura 19: Diagramas ternários discriminando campos de granitos mineralizados a Sn segundo Juniper & Kleeman (1979) e amostras do Maciço Granítico Serra do Paratiú. *Ternary diagrams showing field ot the Sn mineralized granites as Juniper and Kleeman (1979) and the Serra do Paratiú Massif samples.*

Unido, concluíram que granitos mineralizados a Sn podem ser geoquimicamente caracterizados através de seus elementos maiores. Nos diagramas desses autores, as amostras do GSMP posicionam-se próximas e dentro do campo dos granitos mineralizados em Sn no diagrama SiO_2 - CaO + MgO + FeO - Na_2O + K_2O + Al_2O_3. Nos outros dois diagramas: Fe – (Na + K) – Mg e K – Na – Ca, as amostras posicionam-se fora desse campo (figura 19).

Comparando-se os resultados das análises químicas do MGSP com a média de granitos especializados, precursores e normais de Tischendorf (1977) observa-se que o maciço granítico em apreço apresenta características geoquímicas que o colocam ora como granito normal, ora como granito precursor, raramente se aproximando das médias de granitos especializados.

Granitos normais correspondem aos granitos cuja distribuição e teores de elementos traços estão compatíveis com o padrão geoquímico desses elementos para granitos não mineralizados. Granitos especializados (Beus & Grigorian 1977) correspondem a granitos com um ou mais elementos traços, expressos em valores apreciavelmente altos, isto é, valores anômalos de variança não usual para um dado tipo de granito.

Quando existem duas ou mais gerações de granitos, em que se percebe uma especialização metalogenética crescente da mais antiga para a mais jovem, como ocorre na Amazônia (Bettencourt et al. 1995) e em Portugal (Derré & Roger 1984), o granito precursor corresponde à geração que antecede à geração portadora de mineralização.

CONCLUSÕES

O MGSP (Neoproterozóico - Eopaleozóico) é um *pluton* com dimensão de *stock*, de forma levemente ovalada, com aproximadamente 100 km² de área, dos quais 30% acham-se encobertos por sedimentos holocênicos. Trata-se de um corpo circunscrito, petrograficamente muito homogêneo, constituído basicamente por biotita monzogranito porfirítico, acinzentado, intrudido nos metamorfitos do Complexo Turvo-Cajati. O seu alojamento (*emplacement*) deu-se de forma passiva, já que a intrusão não ocasionou perturbações estruturais relevantes nas encaixantes. O contato, no geral, é normal, localmente. Entretanto, verifica-se contato tectônico através de falhas normais. A presença pontual de biotita-cordierita *hornfels* denota que o granito, durante a intrusão, ocasionou metamorfismo de contato nas rochas encaixantes.

A integração dos estudos geológicos, petrográficos, mineralógicos, geoquímicos e petroquí-

micos possibilitou a formulação de algumas hipóteses quanto à natureza e ao ambiente tectônico do Granito Serra do Paratiú. É verdade que os dados desses estudos nem sempre são concordantes, e por vezes são até contraditórios. No entanto, esses dados fornecem informações suficientes para um enquadramento tectônico e avaliação metalogenética desse maciço.

Esses estudos permitiram as seguintes conclusões sobre o MGSP:

- O *pluton* MGSP caracteriza-se petrograficamente por biotita monzogranito porfirítico, de cor cinza-clara e, muito subordinadamente, por biotita sienogranito;
- O MGSP é um *pluton* fracamente peraluminoso; do tipo *subsolvus* e que se coloca nos termos finais da série cálcio-alcalina;
- Os dados petroquímicos permitem posicioná-lo na classe dos granitos pós-colisionais, variável de pós-tectônico a anorogênico ("anorogênico precoce"). Com dados composicionais relativos a alguns elementos (Y, Nb, Rb, Zr) e óxidos (SiO_2, K_2O) que permitem visualizá-lo ora como do tipo I reduzido e ora como do tipo A formado por fusão da crosta inferior, altamente fracionada, à semelhança do que ocorre com os granitos australianos *Ackley* e *Sandy Cape*, cujas características geoquímicas são compatíveis com os granitos do tipo A, mas geológica e petrograficamente são, respectivamente, granitos do tipo I e S (Whalen et al. 1987). A hipótese de que o GSP seja pós-tectônico é reforçada pelas evidências de campo (forma do corpo, metamorfismo de contato), além dos dados petroquímicos;
- A presença de rochas graníticas, em superfície, afetadas pelo processo de microclinitização precoce (feldspatização potássica), permite supor que as porções apicais do MGSP, que são regiões preferenciais para a acumulação de metais, já foram erodidas. Beus & Zalashkova (1964) sugerem profundidades de 150 a 180 metros até a crista do granito para as regiões mais afetadas pela feldspatização sódica tardia – que se revelou ausente no MGSP. Essa ausência indicaria que o nível de erosão do MGSP acha-se avançado;
- As características geoquímicas do MGSP colocam-no ora como granito normal, ora como granito precursor, que corresponde a uma geração que antecede a geração portadora de mineralização e, raramente, se aproxima das médias de granitos especializados;
- Os teores dos elementos Terras Raras Leves elevados e a moderada depleção de Européio caracteriza o MGSP como pouco diferenciado;
- O estudo comparativo entre as curvas das Terras Raras normalizadas a condrito, do MGSP, com aquelas apresentadas por Keqin et al. (1984), permite enquadrá-lo como pertencente à série Transformação, ou seja, que apresenta vocação para mineralizações em *greisens;*
- Quanto às ocorrências minerais associadas ao MGSP, destacam-se os sulfetos (pirita e, subordinadamente, calcopirita) associados aos sericita-quartzo *greisens,* situados em zonas de falhas interiores ao Maciço (*endogreisens*). Trata-se de ocorrências pontuais, de pequenas dimensões, que não justificam estudos de mais detalhe (complementares) com objetivos de se avaliar o seu potencial econômico.

A não constatação de mineralizações importantes associadas ao MGSP pode ser explicada pelas seguintes razões:

- Ausência de um protólito enriquecido em metais e baixa evolução do granito;
- Não desenvolvimento de uma fase de pré-concentração durante a evolução magmática;
- Presença de um conjunto de minerais acessórios tais como: ilmenita, magnetita, zircão, monazita e titanita, seqüestradores de metais na fase magmática precoce;
- Liberação precoce da fase aquosa, prejudicando qualquer compensação e sucesso de concentração de caráter hidrotermal;
- Riqueza em minerais cafêmicos sequestradores de F para fases cristalinas (apatita, biotita). Dessa forma se impediria que os elementos F e B, que são rebaixadores da temperatura do *solidus,* atuassem como elementos retardadores da solidificação do magma;
- Adicionalmente, a textura porfirítica do granito sugere que a separação da fase fluida ocorreu precocemente, quando o *pluton* ainda não havia atingido um alto grau de cristalização. Nesta condição, os fluidos são diluídos e, em pequena quantidade, não são capazes de gerar mineralizações, mas tão somente alterações metassomáticas incipientes, como as constatadas nas rochas do MGSP.

Destaca-se, de toda maneira, que tudo indica que as porções apicais do MGSP, que representam regiões preferenciais para a acumulação de metais, já foram erodidas. Portanto, qualquer eventual mineralização associada à cúpula deste maciço já teria sido erodida.

Em função das razões acima se conclui que o MGSP não corresponde a um alvo merecedor de investigações complementares enfocando mineralizações granófilas. O MGSP, do ponto de vista de exploração mineral para minerais metálicos, corresponde a um corpo estéril.

AGRADECIMENTOS

Aos amigos geólogos Prof. Dr. Rubens Borges da Silva e Ms. Paulo César Pressinotti e ao geoquímico Duílio Rondinelli pela colaboração. Ao desenhista gráfico Henrique Leone Mathoso pela paciência e dedicação na arte final do mapa e das figuras. E aos amigos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT por terem gentilmente cedido grande parte dos dados utilizados para a elaboração deste trabalho e sempre terem colocado à disposição os laboratórios desta instituição.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M. de. & AMARAL, G.& CORDANI, U.G.& KAWASHITA, K., 1973. The precambrian evolution of the South American Cratonic Margin, South of Amazon River. In: NAIRN, A.E.M.& STEHLI, F.G. (eds.). *The ocean basins and margins*. New York, Plenum. **1**:411-446.

ALMEIDA, F.F.M. de & HASUI, Y. & BRITO NEVES, B.B. 1976. The upper precambrian of South América. *Bol. IG-USP*, São Paulo, 7:45-80.

ALMEIDA, F.F.M. de & HASUI, Y. & BRITO NEVES, B.B. de. & FUCK, R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: Simp. Geol. Nordeste, *Atas*..., Campina Grande, SBG Núcleo NE, p. 363-391.

BARKER, J.H. 1985. Rare-earth and other trace element mobility accompanying albitization in a Proterozoic granite, W. Bergslagen, Sweden*. Mineral Magazin*, 49:107-115.

BATCHELOR, R.A. & BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitic rock series using multicationic parameters. *Chem. Geol*., 48:43-55.

BETTENCOURT, J.J. & TOSDAL, R. & LEITE JR, W.B.; PAIOLA, B.L., 1995. Overview of the rapakivi granites of Rondonia Tin Province (RTP). In: Symposium on rapakivi granites and related rocks, Belém, Brazil, 1995. *Excursion Guide*. Belém, Brazil, International Geological Correlation Programme (IGCP Project 315).

BEUS, A.A. & ZALASHOVA, N.Y. 1964. Post-magmatic high temperature metassomatic processes in granitic rocks*. Inter. Geol. Rev*., **6**(4): 668-681.

BEUS, A.A. & GRIGORIAN, S.V. 1977. *Geochemical Exploration Methods For Mineral Deposits.* In: A. A. LEVINSON (ed.). Applied Publishing, Wilmette, Illinois, USA, 287 p.

BONIN, B. 1982. *Les granites des complexes annulaires*. Orléans, BGRM., 183 p. (Manuels et Méthodes n. 4).

BOYTON, W.V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: HENDERSON, P. (ed.). *Rare earth element geochemistry*, Elsevi, 63-114.

CAMPOS NETO, M.C. 2000. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African cycle and orognic collage in southeastern Brazil. In: CORDANI, U.G. & MILANI, E.J. & THOMAZ FILHO, A. & CAMPOS, D.A. *Tectonic Evolution of South America*, Rio de Janeiro, 2000, p. 335-365.

COLLINS, W.J. & BEAMS, S.D. & WHITE, A.J.R. & CHAPPELL, B.W. 1982. Nature and origin of a type granites with particular reference to Southeastern Australia. Contrib. *Mineral. Petrol*., 80:189-200.

DE LA ROCHE, H. 1980. A Classification of vulcanic and plutonic rocks usind R1-R2 diagrams and major element analyses - its relationschips with current nomenclature. *Chem. Geol*., 29:183-210.

DERRÉ, C. & ROGER, G. 1984. Filons à etain - tungstène dans la moitié nord du Portugal. Guides de Recherche. *Chron. Rech. Min*., 475:35-50.

EL BOUSEILY,A.M. & EL SOKKARY, A.A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chem. Geol*., 16:207-219.

GORAIEB, C.L. 2001. *Contribuição à gênese do depósito primário polimetálico (Sn, W+Zn, Cu, Pb) Correas, Ribeirão Branco (SP).* Inst. Geociências , USP, São Paulo, Brasil,Tese de doutoramento, 215 p.

HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A.F. de. 1984. Província Mantiqueira, setor central. In: ALMEIDA, F.F.M. de. & HASUI, Y. (eds.). *O pré-cambriano do Brasil*. São Paulo, Edgard Blücher, p. 308-344.

HARKER, A. 1909. *The natural history of igneous rocks*. London, Metheuen, 384 p.

HARRIS, N.B.W. & PEARCE, J.A. & TINDLE, A.G. 1986. Geoquimical characteristics of Collision-zone magmatism. In: COWRD, M.P. & RIERS, A.C. (eds.). *Collision tectonics.* Oxford. Geolog. Soc. Sp. Public. 19:67-81.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.1974. Folha topográfica de Cananéia (SG-23 – V – A – IV 3), escala 1: 50.000.

IUGS - International Union of Geological Sciences, 1973. Plutonic rocks classification and nomenclature recomended by the IUGS. Subcomission on the systematics of igneous rocks. *Geotimes,* 18:26-30.

JUNIPER, D.N. & KLEEMAN, J.D. 1979. Geoquimical caracterization of some tin -mineralizing granites of New South Wales. *J. Geochem. Explor*., 11:321-333.

KAUL, P.F.T. 1997. *O magmatismo na Serra do Mar e adjacências (Sul do Brasil) no final do Neoproterozóico e seus condicionantes tectônicos*. Inst. Geociências, USP, São Paulo, Brasil. Tese de Doutorado, 293 p.

KAUL, P.F.T. & COITINHO, J.B.L. & ISSLER, R.S. 1982. O episódio Campo-Alegre. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador. *Anais...* SBG. Salvador, **1**:47-54.

KEQIN, X. & NAI, S. & DEZI, W. & SHOUXI, X. & YINGJUN, L. & SHOUYAN, J. 1984. Petrogenesis of the granitóides and their metallogenic relations in South China. In: KEQIN, X. & GUANGCHI, T. (eds.). *Geology of Granites and their Metallogenetic Relations*. Beijing, Science Press. p. 1-32.

LE MAITRE, R.W., 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*. London, Blackwell Sci. Plub. 193 p.

LOISELLE, M.C. & WONES, D.R. 1979. Characteristics of anorogenic granites. *Abstr. Geol. Soc. Am.* An. Gen. Meeting. p. 539.

MARTINS, F.A.G. 2002. *Contexto geológico e potencial mineral do granito Serra do Paratiú, Cananéia, Estado de São Paulo.* Setor Ciências da Terra, Depto. de Geologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 156 p.

PASSARELLI, C.R. 2001. *Caracterização estrutural e geocronógica dos domínios tectônicos da porção sul-oriental do Estado de São Paulo*. Inst. Geociências, USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 254 p.

PEARCE, J.A. & HARRIS, N.B.W. & TINDLE, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25:956-983.

PITCHER, W.S. 1983. Granite type and tectonic environment. In: HSÜ, K.J. (org.). *Mountain building processes*. Nova York. Academic Press, p. 19-40.

PITCHER, W.S. 1993. *The nature and origin of granite*. Blackie Acad. and Prof. ed. London, 321 p.

ROSE, A.W. & HAWKES, H.E. & WEBB, J.S. 1979. *Geochemistey in mineral exploration*. 2 editora London. Academic Press, 657 p.

SHAND, S.J. 1947. *Eruptive rocks.* Murby, London. 360 p.

SHCHERBA, G.N. 1970. Greisens. *Intern. Geol. Rev*, **12**(2):114-149.

SIGA JR., O. 1995. *Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e evolução crustal.* Inst. Geociências, USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 212 p.

STRECKEISEN, A.L., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Sci. Rev*. 12:1-33.

TISCHENDORF, G. 1977. Geochemical and petrographic characteristics of silic magmatic rocks associated with rare element mineralization. In: STEMPROK, M. & BURNOL, L. & TISCHENDORF, G. (eds.). Metallization associated with magmatism. Praque. *Geological Survey*, 2:41-96.

TUTTLE, O.F. & BOWEN, N.L. 1958. Origin of granite in the light of experimental studies in the system $NaAlSi_3O_8$ – $KAlSi_3O_8$ – SiO_2H_2O. New York, *Geol. Soc. América*, 153 p. (Memoir, 74).

WHALEN, J.B. & CURRIE, K.L. & CHAPPELL, B.W. 1987. A-type granites: Geochemical caracteristics, discrimination and petrogeneses. *Contrib. Mineral. Petrol*., 95:407-419.

WHITE, A.J.R. & CHAPPELL, B.W. 1983. Granitoid types and their distribution in the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia. Bolulder, Geological Society of America. p. 21-34 il. (*GSA. Memoir, 159*).

Recebido em 15 set. 2002
Aceito em 27 abril 2004