

## LITOGEOQUÍMICA DAS ROCHAS GRANÍTICAS DO STOCK SÃO MIGUEL ARCANJO, SUDESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

LITOGEOCHEMISTRY OF THE GRANITIC ROCKS OF THE SÃO MIGUEL ARCANJO STOCK, SOUTHEAST OF THE STATE OF SÃO PAULO

Isabella Maria Wonsik DALBELO<sup>1</sup>, Antonio Misson GODOY<sup>2</sup>, Otávio Augusto Ruiz Paccola VIEIRA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduação em Geologia- IGCE- UNESP- Universidade Estadual Paulista. Av. 24A, 1.515-Bela Vista. Rio Claro (SP).  
E-mail: isabella.dalbelo@unesp.br

<sup>2</sup>Departamento de Geologia- IGCE- UNESP- Universidade Estadual Paulista. Av. 24A, 1.515-Bela Vista. Rio Claro (SP).  
E-mail: antonio.godoy@unesp.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Instituto de Geografia – IG, Monte Carmelo, MG. E-mail: otavio.vieira@ufu.br

Introdução  
Material e métodos  
Geologia regional  
Geologia local  
Contexto geomorfológico  
Contexto geológico  
Contexto aerogamaespectrométrico  
Contexto faciológico  
Contexto petrográfico  
Química mineral  
Feldspato  
Biotita  
Hornblenda  
Litogeoquímica  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências

**RESUMO** - As rochas graníticas neoproterozoicas pós-colisionais do *Stock* São Miguel Arcanjo localizam-se na região sudeste do estado de São Paulo, no município homônimo e encontram-se relacionadas ao magmatismo do batólito granítico Agudos Grandes, vinculado ao Bloco Cotia, do Terreno Apiaí. Constitui um corpo de 36 km<sup>2</sup>, intrusivo nas rochas da sequência metavulcanossedimentar do Grupo Votuverava do Supergrupo Açunguí, a sul da Zona de Cisalhamento Taxaquara, de direção geral de deformação NE-SW. As rochas são representadas por variedades predominantemente isotrópicas, de composição monzogranítica a localmente monzonítica e granodiorítica, de coloração vermelha a rósea, predominantemente porfíricas e, secundariamente, equi- a inequigranulares de granulação média a grossa, além das rochas das fases tardias aplíticas e pegmatíticas. Na parte central, o corpo ígneo encontra-se parcialmente encoberto por sedimentos cenozoicos inconsolidados e esparsas ocorrências de folhelho da Formação Itararé. A mineralogia principal das rochas do stock inclui microclínio, quartzo, oligoclásio, anfibólio (edenita e ferroedenita) e biotita (flogopita e siderofilita). As rochas graníticas são peraluminosas e altamente diferenciadas, correlacionadas à série cálcio-alkalina de alto potássio a shoshonítica do Tipo I Caledoniano, de ambiente sin- a tardi-colisional, pertencentes à fase final da construção do Arco Magmático Ribeira. Estão associadas às estruturas transtensivas da Zonas de Cisalhamento Taxaquara, resultantes do final do evento colisional da Orogênese Ribeira e caracterizam o arranjo final geotectônico de estabilização do Terreno Apiaí.

**Palavras-Chave:** Granito São Miguel Arcanjo. Terreno Apiaí. Geoquímica. Química Mineral.

**ABSTRACT** – The post-collisional Neoproterozoic granitic rocks of the São Miguel Arcanjo Stock are located in the southeastern region of the state of São Paulo, in the municipality of the same name, and are related to the magmatism of the Agudos Grandes granitic batholith, linked to the Cotia Block, of the Apiaí Terrain. It constitutes a 36 km<sup>2</sup> body, intrusive in the rocks of the metavolcano-sedimentary sequence of the Votuverava Group of the Açunguí Supergroup, south of the Taxaquara Shear Zone, with a general NE-SW deformation direction. The rocks are represented by predominantly isotropic varieties, with monzogranitic to locally monzonitic and granodioritic composition, red to pink in color, predominantly porphyritic and, secondarily, equi- to inequigranular, medium to coarse-grained, in addition to rocks of the late aplitic and pegmatitic phases. In the central part, the igneous body is partially covered by unconsolidated Cenozoic sediments and sparse occurrences of shale from the Itararé Formation. The main mineralogy of the rocks in the stock includes microcline, quartz, oligoclase, amphibole (edenite and ferroedenite) and biotite (phlogopite and siderophyllite). The granitic rocks are peraluminous and highly differentiated, correlated with the high-potassium calc-alkaline to shoshonitic series of Caledonian Type I, of a syn- to late-collisional environment, belonging to the final phase of the construction of the Ribeira Magmatic Arc. They are associated to the transtensive structures of the Taxaquara Shear Zones, resulting from the end of the Ribeira Orogeny collisional event and characterized the final geotectonic arrangement of stabilization of the Apiaí Terrain.

**Keywords:** São Miguel Arcanjo Granite. Apiaí Terrain. Geochemistry. Mineral Chemistry.

### INTRODUÇÃO

As rochas do *Stock* Granítico São Miguel Arcanjo estão situadas na Província Mantiqueira Central, na porção centro-sul do Cinturão Ribeira e, especificamente, na parte norte do Terreno Apiaí.

Os litotipos localizam-se no sudeste do estado de São Paulo, no município homônimo, entre as coordenadas 48°10'W/23°56'S e 47°53'W/24°00'S.

As rochas do corpo ígneo afloram em áreas

das folhas topográficas publicadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística–IBGE, especificamente, no extremo sudoeste da Folha de São Miguel Arcanjo (SF-23-Y-C-IV-3), extremo sudeste da Folha de Gramadinho (SF-23-Z-D-VI-4).

A área abrange rochas encaixantes metassedimentares pertencentes ao Grupo Votuverava, do Supergrupo Açungui, rochas granitoides neoproterozoicas do *stock* granítico São Miguel Arcanjo, pertencente ao Complexo Agudos Grandes, rochas sedimentares do Grupo Itararé e coberturas quaternárias.

No trabalho de mapeamento geológico, em escala 1:25.000, das rochas neoproterozoicas do *Stock* Granítico São Miguel Arcanjo, foi definido um corpo com formato ovalado, de aproximadamente 36 km<sup>2</sup>, intrusivo em rochas da sequência metavulcanossedimentar meso- a neoproterozoica do Grupo Votuverava, pertencentes ao Supergrupo Açungui.

Na porção norte, o *stock* mostra-se em contato com rochas que apresentam feições de deformações impostas pela Zona de Cisalhamento Taxaquara de direção geral NE-SW (Figuras 1A, B).

Segundo o arranjo espacial nos mapas geológicos, este corpo ígneo apresenta-se parcialmente segmentado na região central pela cobertura de rochas sedimentares. De acordo com a literatura existente, são apresentadas diferentes delimitações e classificações para o corpo ígneo. Na cartografia geológica do estado de São Paulo, o Granito São Miguel Arcanjo encontra-se representado como um corpo ígneo individualizado e diferenciado em duas porções que exibem características composicionais e texturais distintas (Hasui, 1973).

Algarte et al. (1973) o descrevem como um conjunto magmático único de rochas de granulção média a grossa, porfiroide, coloração cinza a cinza escura e/ou rosada, constituídas por microclínio, quartzo e máficos. Silva et al. (1977), em trabalhos regionais, adotam esta mesma caracterização magmática.

Hasui et al. (1978) propuseram a primeira sistematização das rochas granitoides do estado e este conjunto de rochas foi correlacionado aos litotipos da Suíte Granítica Pós-tectônica, pertencente à Fácies Itu.

As rochas da Fácies Itu são compostas por um conjunto de litotipos de caráter isotrópico, de alto potássio e, principalmente, equi- a inequigranulares a levemente porfiríticas. Ainda segundo Hasui et al. (1978), o ambiente de geração destas

rochas caracteriza-se como magmático tardio e controlado por zonas de cisalhamento, sendo elas discordantes e não-deformadas.

No mapa geológico de integrações do estado de São Paulo em escala 1:500.000, elaborado pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica-IPT (Bistrichi et al., 1981 e Almeida et al., 1981) o *stock* ocorre individualizado e separado fisicamente em dois corpos texturalmente distintos, associados à Fácies Itu.

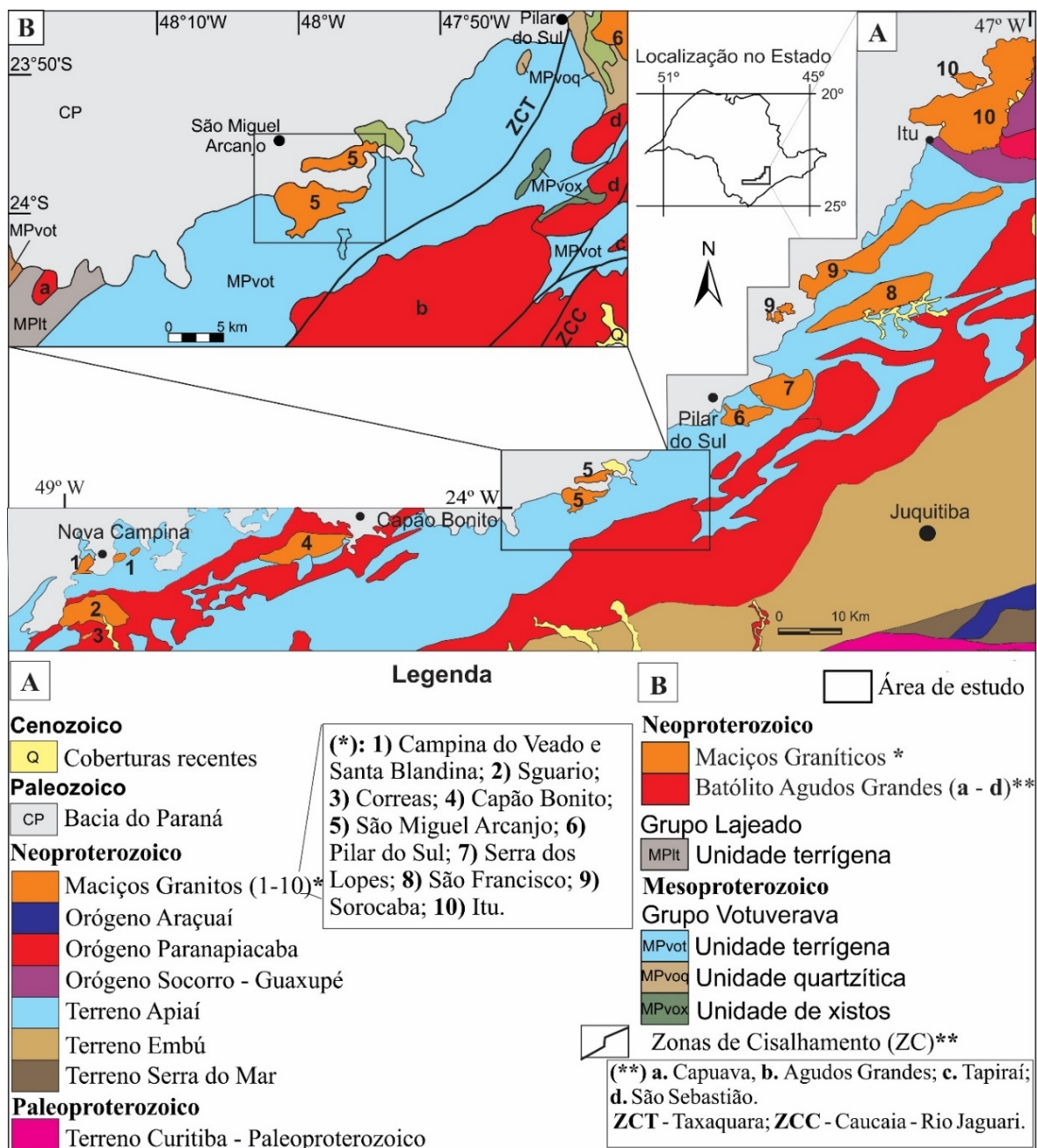
Somente no Mapa Geológico de Integração em escala 1:750.000, em Perrotta et al. (2005), elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (Figura 1A, B), este corpo foi oficialmente denominado de Granito São Miguel Arcanjo.

Dominantemente, na literatura existente, as porções norte e sul são descritas como descontínuas, porém interligadas e distintas, orientadas segundo E-W (Algarte et al., 1973, Silva et al., 1977 e Bistrichi et al., 1981).

No entanto, Leite (2003) realizou estudos de cunho faciológico e geoquímico separando as rochas graníticas em dois corpos, assim como Hasui (1973) e Perrotta et al. (2005). A porção norte, de caráter pós-orogênico, é constituída por hornblenda-biotita monzogranito porfirítico, enquanto a porção sul, de caráter sin-orogênico, é constituída por hornblenda-biotita monzogranito a granodiorito porfirítico. O autor interpreta que porção sul sin-orogênica teria sido invadida pela porção norte pós-orogênica mais jovem.

Neste trabalho, as rochas de ambos os segmentos foram interpretadas como um corpo ígneo único, porém com variedades faciológicas. São constituídas predominantemente por variedades de hornblenda-biotita sieno- a monzogranitos em ambos os seguimentos constituindo uma exposição de uma “janela erosiva pré-cambriana” localizada no atual limite de rochas sedimentares do Grupo Itararé e sedimentos da Bacia do Paraná. Estas ocorrências caracterizam-se por pequenas exposições em regiões de declive e drenagens, ocorrendo principalmente como fina superfície de composição arenosa inconsolidada de sedimentos recentes.

Na região sudoeste do estado de São Paulo (Figura 1A), definida por Godoy (2003) e Godoy et al. (2021), ocorre a inserção do *Stock* São Miguel Arcanjo na província dos corpos ígneos tardi- a pós-orogênicos correlacionados ao ciclo Brasileiro, com as exposições rochosas aflorando



**Figura 1** - A) Mapa geológico do Pré-Cambriano da porção sudeste do estado de São Paulo, com a disposição dos principais corpos graníticos pós-orogênicos a anorogênicos (Modificado Perrotta et al. (2005), Godoy et al. (2021) B) Detalhamento das principais unidades geológicas no entorno dos Stock Granítico São Miguel Arcanjo (Modificado de Perrotta et al., 2005) e Hasui & Sadowski (1976).

nas proximidades do atual contato erosivo com as rochas sedimentares da borda da Bacia do Paraná.

Parte do conjunto ígneo foi definido como constituinte do Cinturão *Rapakivi* Itu, em consonância com o proposto por Vlach (1990), ou ainda como integrante da Província *Rapakivi* Itu através de critérios químicos estabelecidos por Wernick et al. (1997, 1998 e 2000).

A partir das propostas de evolução petrogenética para esta granitogênese apresentadas e discutidas em Faria & Godoy (2024), constata-se que os *stocks* São Miguel Arcanjo e Pilar do Sul

correspondem aos poucos *plútons* que ainda carecem de informações geológicas-petroológicas mais detalhadas.

Neste sentido, o presente trabalho visa a atualização dos dados geológicos através de mapeamento sistemático, caracterização petrográfica e faciológica, bem como estudos da química mineral e litogeoquímica dos principais tipos de rochas do referido *stock*, de forma a contribuir na melhor compreensão da evolução tectono-magmática da granitogênese sin-colisional associada à evolução Brasileira das rochas do Terreno Apiaí.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A realização do trabalho envolveu a integração de material bibliográfico, elaboração de mapas base, estudos petrográficos ao nível microscópico, estudos geoquímicos em minerais e em rocha total.

A etapa de campo teve como enfoque a descrição dos aspectos geológicos gerais e o mapeamento faciológico. Na etapa de laboratório foram descritas lâminas delgadas por meio de microscópio binocular de luz polarizada da marca ZEISS, modelo Axioskop 40 do Laboratório de Microscopia do DG - IGCE.

As análises químicas qualitativas e semi-quantitativas de minerais foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, utilizando-se Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo JEOL-JSM-6010LA, com detector de EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectrometer*) acoplado.

Análises químicas quantitativas foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica usando equipamento da marca JEOL modelo JXA-8230 superprobe, acoplado a 5 detectores de WDS (*Wavelength Dispersive X-Ray Spectro-*

*meters*), sob condições de 15 kV em minerais silicáticos formadores de rocha.

Foram analisados cristais de feldspato potássico e plagioclásio, biotita e hornblenda escolhidos por critérios petrográficos de acordo com a associação mineral de interesse.

Foram realizados estudos litogeoquímicos de litotipos específicos a partir de análises químicas de rocha total executadas pelo laboratório da SGS Geosol Laboratórios Ltda., Belo Horizonte, MG. Para análise quantitativa dos elementos maiores (concentração em %) utilizou-se Fluorescência de Raios X, através de pastilha fundida em meio com tetraborato de lítio.

Os elementos menores (concentração em ppm) foram analisados por Espectrômetro Óptico com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), por fusão com tetraborato de lítio.

Os elementos terras raras foram analisados por Espectrômetro de Massa em Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS), após fusão utilizando metaborato/tetraborato de lítio e digestão em ácido nítrico, segundo os padrões de rotina do laboratório de geoquímica.

## GEOLOGIA REGIONAL

As rochas ígneas do *Stock* São Miguel Arcanjo estão associadas à evolução neoproterozoica da Província Mantiqueira Central, definida por Almeida (1967) Almeida et al. (1977); Hasui & Oliveira (1984); Heilbron et al. (2004).

As rochas afloram na porção centro-sul do Cinturão Ribeira, denominação definida por Almeida et al. (1977) e Hasui et al. (1978), ou Cinturão de Dobramentos Sudeste, como denominado por Cordani et al. (2000).

A compartimentação tectônica definida por Hennies et al. (1967) considera que a arquitetura do pré-cambriano paulista apresenta subdivisões baseadas na delimitação e movimentação horizontal e vertical ao longo de grandes zonas de cisalhamento regionais neoproterozoicas.

Segundo Godoy (1989, 2003), durante o evento magmático neoproterozoico após o processo colisional (NW-SE) teriam se alojado os magmatismos cálcio-alcalino a alcalino sin- e pós-orogênicos a anorogênicos, seguidos, por fim, de um processo de escape tectônico, caracterizado por reativações de inúmeras zonas de cisalhamento transcorrentes, responsáveis pela movimentação e posicionamento final dos blocos crustais

e deformações dos corpos ígneos

De acordo com Hennies et al. (1967), Hasui et al. (1975), Hasui & Sadowski (1976) e Hasui et al. (1980), a área insere-se no bloco ou compartimento definido como Conjunto Paranapiacaba, fazendo parte do Bloco Cotia, definido em seu contato norte com as rochas sedimentares da Formação Itararé pela Zona de Cisalhamento Taxaquara e, a sul, com as rochas metassedimentares de alto grau do Grupo Embu que formam o Bloco Juquitiba, pela Falha de Caucaia (Figura 1A).

O Cinturão Ribeira é caracterizado na área pelo Terreno Apiaí (Hasui, 2010, 2012 e Heilbron et al., 2004) ou, no contexto do Conjunto Paranapiacaba (Hasui & Sadowski, 1976), pelos blocos Cotia e Juquitiba.

O Terreno Apiaí é constituído por uma sequência de rochas supracrustais de baixo a médio grau metamórfico que iniciaram sua evolução entre o Paleo- e o Mesoproterozoico, designadas como Grupo Açungui (Fiori, 1992 e Campanha, 1991) e, posteriormente, elevada para Supergrupo Açungui (Campanha, 1991, 2002; Campanha & Sadowski, 1999 e Faleiros, 2008).

Durante a Orogenia Brasileira estas rochas sofreram amalgamação de unidades supracrustais, cujas idades variam de Callimiano (1500-1400 Ma: Formação Água Clara e Grupo Votuverava), a Toniano (1000-900 Ma: parte do Grupo Itaiacoca) e a Ediacarano (630-580 Ma: parte do Grupo Itaiacoca) (Fiori, 1992, 1994; Tassinari, 1988; Tassinari et al., 1990 e Basei et al., 2003).

Na área do corpo granítico ocorrem rochas associadas ao Grupo Votuverava, o qual pode ser subdividido em cinco formações: Perau, Rubuquara, Nhunguara, Piririca e Ribeirão das Pedras, além de duas unidades informais compostas por uma sequência metavulcanossedimentar caracterizada pela dominância de micaxisto e granada micaxisto, sendo estas diferenciadas apenas por metamorfismo em níveis crustais distintos.

Este conjunto litológico ocorre intercalado com rochas metabásicas, sendo elas: anfibólito e anfíbolito (Campanha & Sadowski, 1999 e Campanha et al., 2015).

Temporalmente associado à orogenia brasileira houve um evento magmático predominantemente cálcio-alcálico, que gerou três batólitos principais: Cunhaporanga, Três Córregos e Agudos Grandes (Prazeres Filho, 2005 e Janasi et al., 2001).

O Complexo Agudos Grandes, definido por Bettencourt et al. (1971), corresponde a uma unidade geológica caracterizada por conjuntos de granitos sin- a pós-orogênicos, que se estende na direção NE-SW.

Grande parte de seu volume é composto por intrusões sin-orogênicas cálcio-alcálicas de aproximadamente 610 Ma (Janasi et al., 2001), cujo contorno é preenchido por rochas graníticas mais jovens. Dentre os corpos sin-orogênicos, tem-se os granitos Ibiúna, Jurupará, Tapiraí, Serra dos Agudos Grandes e Turvo.

Segundo Leite (2003), a porção centro-norte do batólito é marcada pela presença de pequenos plútons elípticos a subcirculares de caráter per-

luminosos, classificados como tardi-orogênicos (600 Ma), menos diferenciados, como o Granito Piedade.

Os corpos mais diferenciados, pós-orogênicos, ocorrem na porção oeste do batólito e são representados pelos maciços Roseira, São Miguel Arcanjo, Serra dos Lopes (565 Ma) e Pilar do Sul (600 Ma), dominando o caráter peraluminoso crustal.

Informações geológicas específicas que abordam o mapeamento da região encontram-se definidas em Algarte et al. (1973); Hasui (1973); Silva et al. (1981); CPRM (1989) e Chierigati et al. (1991).

Trabalhos que abordam estudos petrológicos e geoquímicos encontram-se em Leite (2003). Trabalhos geocronológicos encontram-se em Leite (2003) e Leite et al. (2007) e apresentam as idades de  $^{206}\text{Pb}/\text{U}^{207}$  de  $608,4 \pm 1,8$  Ma para os principais plútons tardi-colisionais do Batólito Granítico Agudos Grandes, obtidas com  $\text{MSWD} = 2\%$  e, portanto, apresentando a melhor estimativa para a idade de cristalização das rochas granitoides.

Os resultados isotópicos para as rochas do Granito São Miguel Arcanjo (Leite, 2003) apresentam idades de cristalização pelo método U/Pb em monazita entre  $581,2 \pm 7,5$  Ma e idade  $T_{\text{DM}}$  de 2,1 Ga com valores fortemente negativos de  $\epsilon\text{Nd}_T$  (-16) e valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{inicial}}$  elevados (0,715-0,717).

Essa idade modelo  $T_{\text{DM}}$  sugere que os magmas que deram origem a esses granitoides foram provenientes de fontes que certamente envolveram retrabalhamento de fragmentos crustais formados predominantemente no paleoproterozoico.

Os valores fortemente negativos de  $\epsilon\text{Nd}_T$  (-16), sugerem importante participação de material crustal na formação do magma primário, também reforçado pelos valores apresentados de  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  característicos de crosta continental (Leite, 2003).

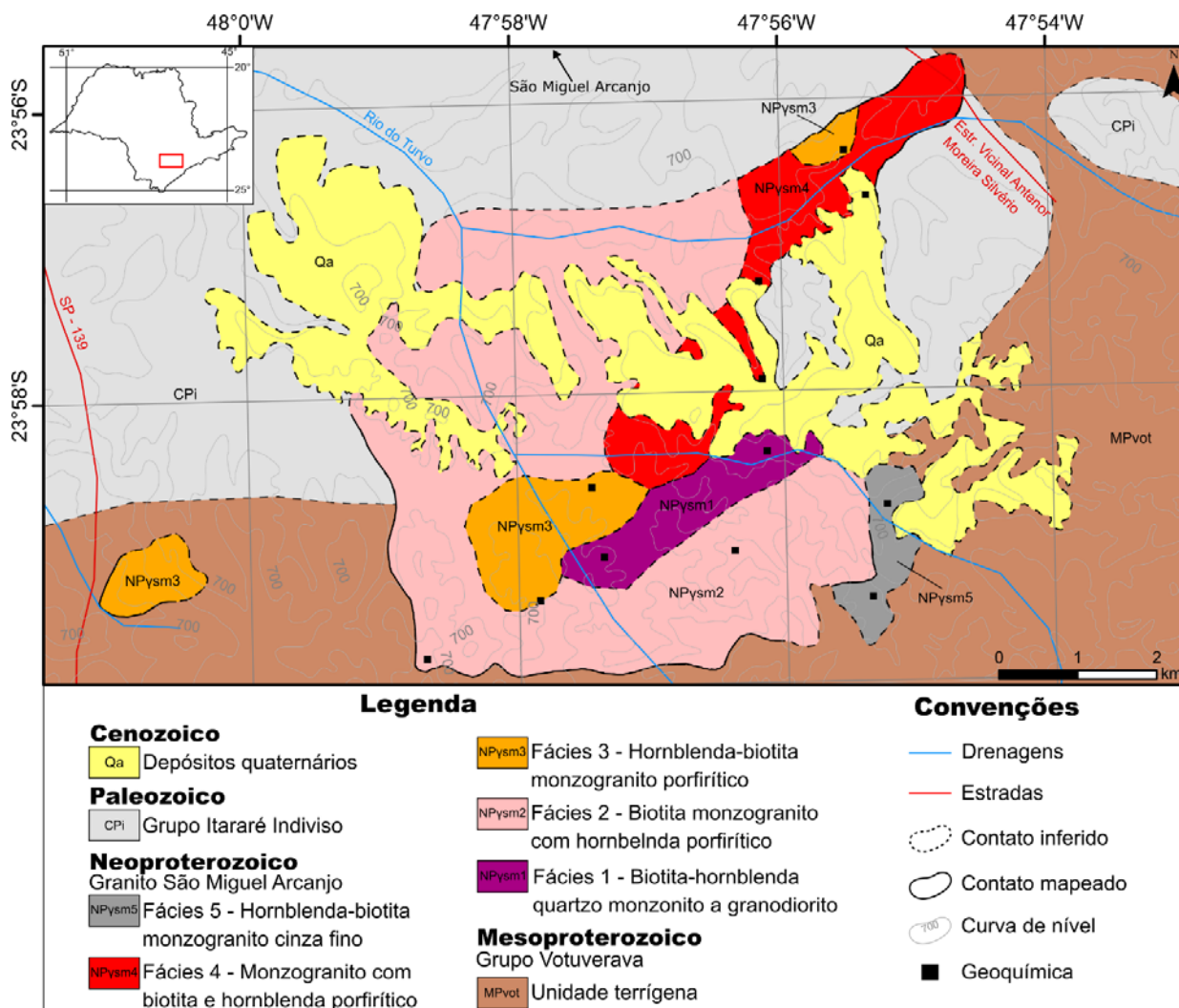
## GEOLOGIA LOCAL

O *stock* granítico possui cerca de 36 km<sup>2</sup> de área aflorante, com aproximadamente 7,5 km de comprimento e 6,5 km de largura. Dista cerca de 10 km do município de São Miguel Arcanjo, aflora no limite entre a Folha Topográfica homônima com a de Gramadinho e é cortado apenas por estradas secundárias de pequeno porte. O corpo distribui-se a oeste do Batólito Agudos Grandes, sendo considerado um corpo-satélite do mesmo (Figura 2).

### Contexto Geomorfológico

Do ponto de vista do contexto geomorfológico regional, a área de estudos situa-se entre dois grandes domínios morfológicos de norte a sul: Depressão Periférica e Planalto Atlântico do estado de São Paulo (Almeida, 1981).

No Domínio da Depressão Periférica, localizado na porção norte da área, há o predomínio de colinas amplas com declividades suaves.



**Figura 2** - Mapa Geológico simplificado das faciologias graníticas do Stock São Miguel Arcanjo e rochas encaixantes.

As exposições das rochas graníticas ocorrem majoritariamente na forma de raros matacões com dimensões variáveis e parcialmente encobertos. O corpo é delimitado pelas quebras de relevo, associadas ao contato do granito com sedimentos da Bacia do Paraná.

Na região de transição entre as duas províncias morfológicas são registrados níveis de relevo que decrescem gradualmente de altitude. Basicamente, a rochas do conjunto granítico da região é de difícil identificação em função da espessa cobertura de rochas do Grupo Itararé e sedimentos recentes.

O corpo encontra-se exposto dentro do Domínio do Planalto Atlântico, principalmente na região do Alto do Ribeira, zona do Planalto de Ibiúna, e é delimitado na parte sul pela Serra dos Agudos Grandes, constituindo parte da Serra do Paranapiacaba, onde ocorrem as maiores elevações da região, apresentando relevo ondulado e montanhoso com desníveis altimétricos maiores do que o resto da área.

Nestas áreas encontram-se expostas as rochas

do embasamento pré-cambriano, caracterizado por relevo de morrotes com declividades acentuadas, mais dissecadas e erodidas.

Boas exposições de rocha estão presentes neste domínio, marcado pelos maiores cursos de drenagem da região. Ocorrem como pequenos lajedos e blocos, distribuídas ao longo das pequenas quedas dos cursos de água, quando o relevo suaviza os vales parcialmente encobertos por uma expressiva cobertura sedimentar aluvionar. Tais exposições são frequentemente observadas na principal drenagem da área, o rio Turvo.

As principais drenagens regionais incluem o rio Turvo, Turvinho e Areias, além de seus ribeirões afluentes secundários. As planícies de inundação mais representativas estão nestas drenagens, onde é rara a aparição de matacões graníticos.

Aproveitando o curso de maior porte e maior declividade, propiciada pelas exposições rochosas graníticas pré-cambriana, destacam-se duas áreas represadas. A maior, Represa São José, possui instalações de duas Pequenas Centrais Hidroelétricas - PCHs, definidas como usinas hidroelétricas Tur-

vinho e São José. No ribeirão Areias, afluente do rio Turvo, localiza-se a Usina Hidroelétrica Lavrinha.

O limite sul do corpo é definido pelo contato com as rochas metassedimentares, ainda caracterizado por grande cobertura de vegetação natural, principalmente associada às maiores drenagens que se amplia para os limites da Reserva Florestal de Carlos Botelho.

### **Contexto Geológico**

No mapa geológico das rochas do *Stock* São Miguel Arcanjo (Figura 2), define-se um corpo cujos contatos geológicos possuem formato controlado e alongado segundo a direção de deformação geral NE-SW, provavelmente imposta pelas ramificações da Zona de Cisalhamento Taxaquara (ZCT). Esta zona de deformação deve facilitar e controlar o *emplacement*, além de impor deformações laterais e a atual disposição dos limites do conjunto ígneo.

O corpo magmático apresenta uma área de exposição de aproximadamente 36 km<sup>2</sup> e os seus contatos com as rochas encaixantes, quando observados, são normais. Apenas o limite sul do corpo é definido pelo contato intrusivo das rochas ígneas com as rochas metassedimentos do Grupo Votuverava.

Na porção norte da exposição magmática, apresentam-se as exposições de rochas sedimentares fanerozoicas da Bacia do Paraná, representadas por litotipos do Grupo Itararé, além das coberturas de sedimentos quaternários recentes. Portanto, a região dificilmente permite o afloramento das rochas do *stock*.

A distribuição das unidades litoestratigráficas da área consiste na sequência metavulcanosedimentar de idade meso- a neoproterozoica de médio grau metamórfico do Grupo Votuverava, que constitui a unidade de topo do Supergrupo Açungui. É caracterizada pela sucessão de raros litotipos clásticos químicos, além de intrusivas metabásicas associadas. É constituída por filito, metarritmito e, localmente, micaxisto, sendo estes representados por granulação mais desenvolvida dos minerais micáceos. Estas rochas alternam-se, localmente, com pequenas camadas de quartzitos sem pujança na área. Mais raramente e de forma isolada, ocorrem rochas metabásicas e ocorrências localizadas de rochas calciossilicatadas.

O filito de coloração avermelhada a arroxeada constitui o litotipo mais representativo da área. Composto predominantemente por sericita/muscovita e quartzo e grada para metarritmito, onde

alternam-se porções psamo-pelíticas (arenosas, siltosas e argilosas) com diferentes espessuras ou colorações. Os pacotes onde prevalecem metassedimentos de composição argilosas ou silte-arenosas, cujas espessuras são destacadas, foram descritos respectivamente como lentes de filito, metassiltito e metarenito. As lentes de metarenito apresentam-se na forma de bancos ou corpos geometricamente lenticulares, de pequenas espessuras e intercalados ao metarritmito.

A sequência química é representada por raras rochas calciossilicatadas que gradam para cálcio-filitos, dispostas em pequenas lentes de espessura centimétricas e não individualizadas.

Orto- e parafibrolitos ocorrem como pequenos corpos alongados, com direção tectônica geral NE-SW, concordantes com a direção das camadas metassedimentares.

### **Contexto aerogamaespectrométrico**

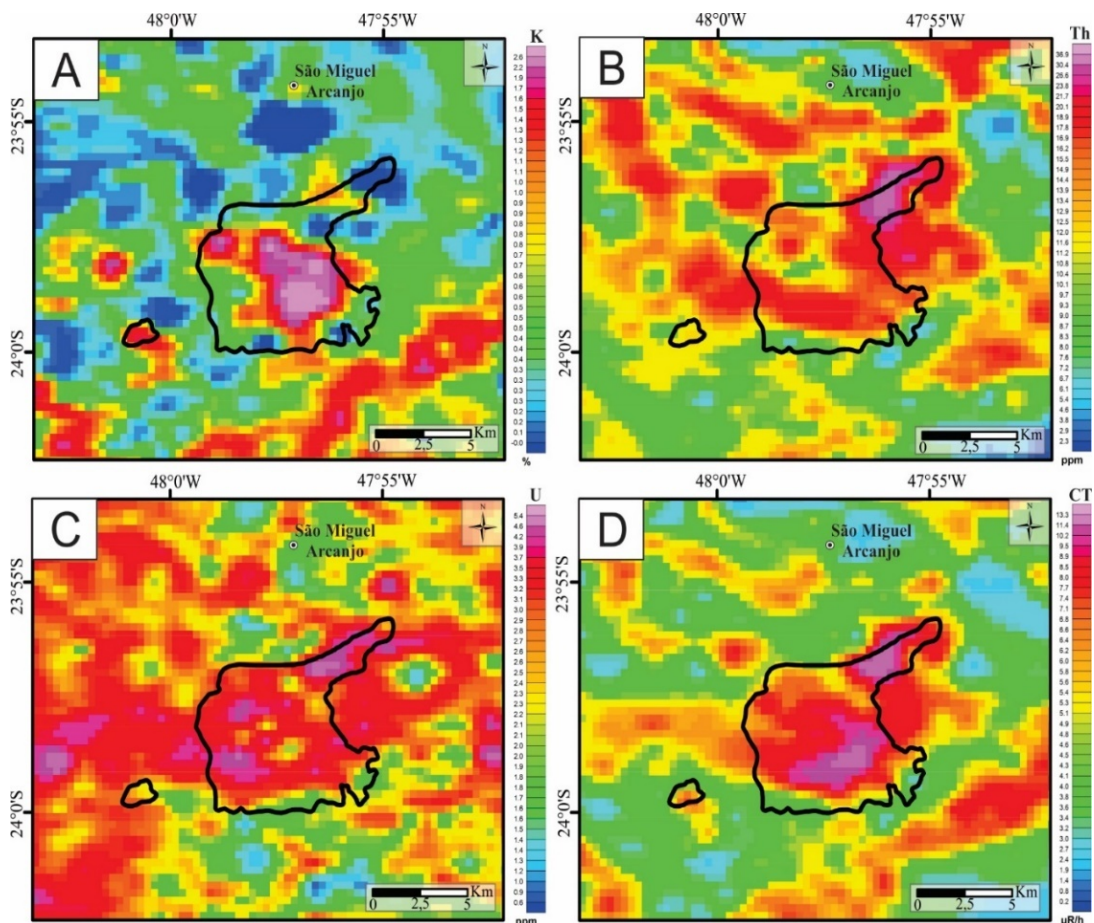
A emissão dos raios gama, quando ajustada para uso na geologia, possibilita realizar a medição dos elementos K, U e Th em rochas, sedimentos e solos. Na figura 3 são apresentados os mapas produzidos a partir dos dados aerogamaespectrométricos, disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Projeto Aerogeofísico Paraná-Santa Catarina (2011).

Nestes mapas, foram inseridos os limites das unidades dos corpos ígneos obtidos neste trabalho, com objetivo de ilustrar e caracterizar a relação entre as respectivas respostas das rochas por elementos analisados.

O mapa de contagem de K (Figura 3A) reproduz a melhor equivalência com os contatos externos das rochas com os litotipos do corpo, expressando valores mais altos das intensidades relativas de potássio, reflexo de rochas graníticas com altos teores de feldspato potássico.

Os mapas de Th e U apresentam valores altos das intensidades relativas dos sinais referidos nos mapas pelas suas quantidades equivalentes (eTh, eU). O mapa de Th (Figura 3B) se destaca pelos valores elevados. O contraste também é observado entre as ocorrências das fácies potássicas, apresentando também valores elevados de U para todo o plúton (Figura 3C).

O mapa de contagem (CT) (Figura 3D) para K, Th, U apresenta resultados similares na delimitação das rochas do plúton. De modo geral, as imagens geradas pelo método aerogamaespectrométrico confirmaram os contatos já definidos para o *Stock* São Miguel Arcanjo.



**Figura 3** - Mapa Aerogamaespectrométrico: A) Contagem de K; B) Contagem de Th; C) Contagem de U; D) Contagem total (CT) para K, Th e U na região das rochas do *Stock* São Miguel Arcanjo.

Também é possível a observação da dificuldade de definição mais precisa dos contatos, em razão da marcante cobertura sedimentar sobreposta às rochas graníticas no contato norte do *stock*.

### Contexto Faciológico

As rochas graníticas estudadas exibem características geológicas, petrográficas, estruturais, texturais e minerais variadas que permitiram o reconhecimento de cinco fácies distintas, representadas no mapa faciológico da figura 2.

Os valores das composições modais estimadas e mineralogia encontram-se descritas na figura 4 e tabela 1 e que foram denominadas de: biotita-hornblenda-quartzo monzonito a granodiorito, biotita monzogranito com hornblenda porfirítico, hornblenda-biotita monzogranito porfirítico, monzogranito com biotita e hornblenda porfirítico e hornblenda-biotita monzogranito cinza fino.

Tardiamente, estes conjuntos litológicos são intrudidos por inúmeros aplitos que se caracterizam como diques de coloração rósea e cinza, tabulares e orientados segundo o padrão de fraturamento. Adicionalmente, existem bolsões e apófises pegmatoides que apresentam formatos irregulares e descontínuos.

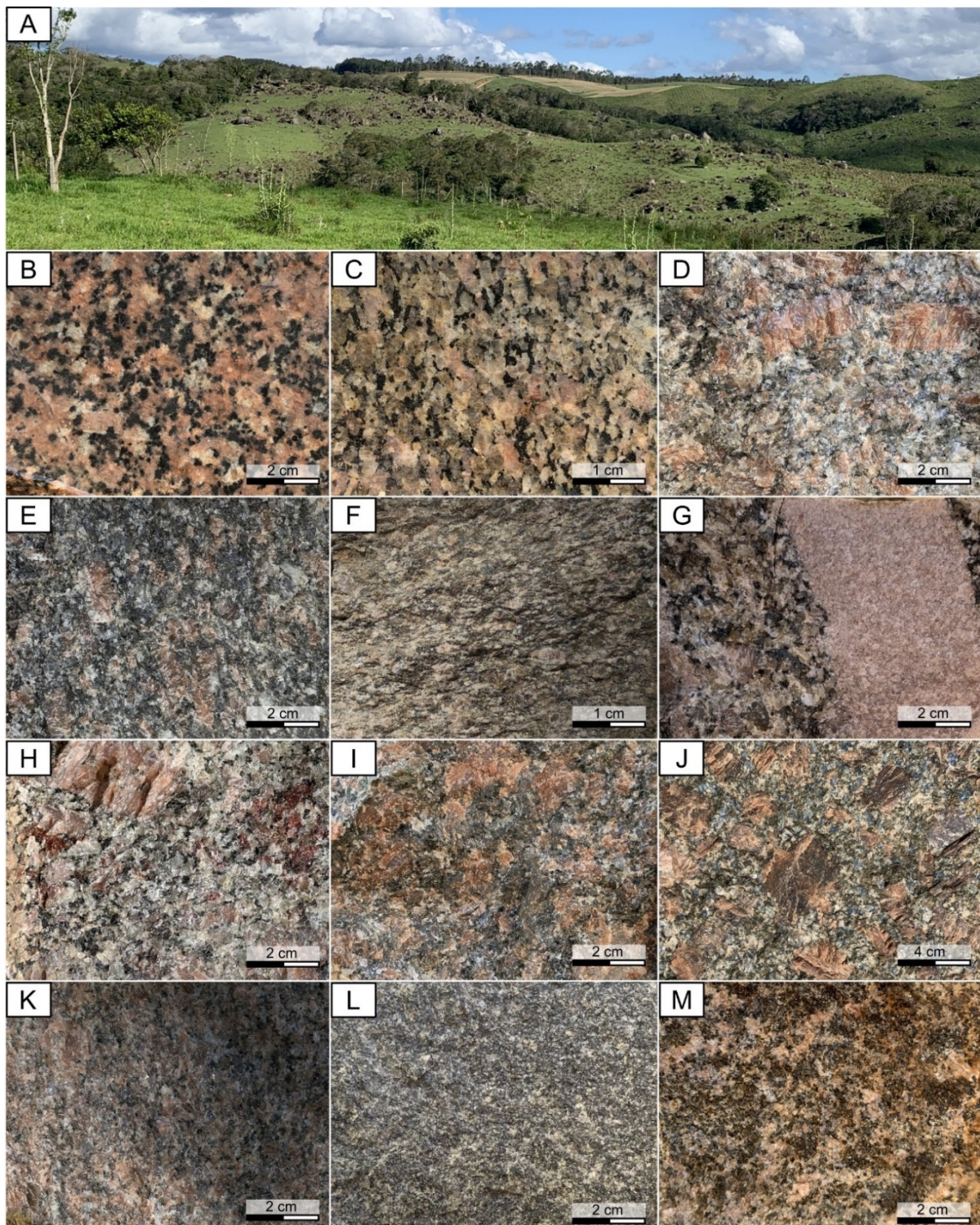
A *Fácies 1 - biotita-hornblenda-quartzo monzonito a granodiorito* localiza-se na porção NE a central do corpo. Distingue-se das outras fácies por apresentar menores porcentagens de quartzo e microclínio, sendo classificada como rocha de acidez intermediária.

Os litotipos ocorrem de forma isolada e caracteriza-se por pequenos morrotes de topos arredondados. São rochas leucocráticas, coloração cinza escura e rósea, com textura inequigranular a porfirítica (Figura 4B) e estrutura maciça. Os fenocristais possuem entre 1 e 2cm e apresentam-se imersos em matriz de granulação média (Figura 4C), representando cerca de 20% da rocha.

A *Fácies 2 - biotita monzogranito com hornblenda porfirítico* é a de maior ocorrência e está distribuída ao longo do *stock*, ocorrendo principalmente em sua porção leste. Os litotipos são leucocráticos, com coloração rósea e cinza clara a escura, estrutura maciça e textura porfirítica.

Os fenocristais de microclínio apresentam tamanho médio de 3 cm, mas atingem dimensões de 4 cm (Figura 4D), imersos em matriz de granulação média a grossa (Figura 4E).





**Figura 4** - A) Geomorfologia do Granito São Miguel Arcanjo marcada por morros de baixa declividade, topo arredondado e encostas convexas. Feições macroscópicas das fácies: **Fácies biotita-hornblenda-quartzo monzonito a granodiorito** B) litotipo leucocrático, de coloração cinza escura, com fenocristais de feldspato róseos e estrutura maciça; C) rocha de coloração cinza clara a escura e textura inequigranular. **Fácies biotita monzogranito com hornblenda porfirítico** D) litotipo de coloração cinza escura, branca e rósea, com fenocristais de microclínio; E) rocha porfirítica de estrutura maciça e coloração cinza escura com fenocristais de feldspato róseo. **Fácies hornblenda-biotita monzogranito porfirítico** F) litotipo com estrutura anisotrópica, cinza clara a escura e de ocorrência isolada a oeste do corpo principal; G) rocha leucocrática de coloração cinza escura a clara, branca e rósea, textura porfirítica e com veio aplítico; H) rocha leucocrática, de coloração cinza escura, branca, rósea e vermelha, resultante da impregnação de óxido/hidróxido de Fe no quartzo. I e **Fácies monzogranito com biotita e hornblenda porfirítico** J) litotipo de coloração rósea, cinza e branca, estrutura maciça e textura porfirítica, cujos fenocristais são de microclínio e os cristais de quartzo apresentam-se azulados; K) rocha leucocrática, de coloração cinza escura a clara e branca e textura porfirítica, com fenocristais de feldspato róseo. **Fácies hornblenda-biotita monzogranito cinza fino** L) litotipo de coloração cinza escura, estrutura maciça e textura aplítica; M) rocha de coloração cinza escura e rósea, estrutura maciça e textura fanerítica e equigranular.

A *Fácies 3 - hornblenda-biotita monzogranito porfirítico* aflora descontinuamente ao longo do corpo. Ocorre na forma de blocos com dimensões variáveis, majoritariamente alterados de forma superficial.

São rochas leucocráticas, de coloração rósea e matriz cinza, estrutura maciça a localmente deformada (Figura 4F), textura porfirítica, com a presença marcante de veios aplíticos (Figura 4G) e fenocristais de microclínio (25-30%) com dimensões entre 2 e 5 cm. Observa-se ainda a ocorrência de porções com cristais e quartzo impregnados com óxido/hidróxido de Fe, conferindo coloração vermelha à rocha (Figura 4H).

A *Fácies 4 - monzogranito com biotita e hornblenda porfirítico* ocorre na porção nordeste do corpo como blocos de dimensões variáveis, moderadamente alterados. Esta fácies distingue-se das demais por sua maior porcentagem de fenocristais (30-35%), os quais possuem majoritariamente 3 cm, mas chegam a 5 cm (Figura 4I).

Destaca-se também a coloração cinza azulada do quartzo e o forte fraturamento do microclínio, evidenciando feições deformacionais (Figura 4J).

Os litotipos são leucocráticos e apresentam coloração cinza escura a clara e rosados a avermelhados, pelo destaque dos fenocristais de microclínio, definindo uma textura porfirítica em matriz de granulação média a grossa e estrutura maciça (Figura 4K).

A *Fácies 5 - hornblenda-biotita monzogranito cinza fino* localiza-se, de forma restrita, na porção sudeste do corpo, sendo caracterizado pela presença de blocos moderadamente alterados em porções próximas às bases dos morros ou caracterizada, de forma pontual, por morros pouco acentuados e com topos aplainados.

São litotipos de granulação média a fina, leucocráticos, com coloração cinza escura a clara, estrutura maciça, equigranular (Figura 4L). As rochas dispõem-se na forma de blocos e apresentam feições que sugerem constituir diques aplíticos. Dominantemente, observam-se feições texturais equigranular a inequigranulares (Figura 4M), sendo que ambas as litologias não apresentam evidências de deformação.

### **Contexto Petrográfico**

A mineralogia e correspondentes valores das composições modais estimadas encontram-se discriminadas na tabela 1 e ilustradas nas figuras 5 e 6.

*Fácies 1 - biotita-hornblenda-quartzo monzonito a granodiorito* apresenta litotipos de compo-

sição intermediária, que possuem cerca de 20% de fenocristais de microclínio imersos em matriz de coloração cinza escura e rósea e granulação média, com cristais dispostos entre 0,1 a 0,4 mm.

As rochas são constituídas por oligoclásio (30-45%), quartzo (20-30%), microclínio (20-25%), hornblenda (7%) e biotita (4-7%). Os cristais de biotita e hornblenda apresentam-se em variados graus de transformações hidrotermais secundárias para clorita e biotita, respectivamente.

Os minerais acessórios incluem titanita (1%) e apatita (1%), enquanto os traços incluem minerais opacos, apatita, zircão e allanita. Os minerais secundários são representados por clorita, sericita, turmalina, epidoto, biotita e argilo minerais.

*Fácies 2 - biotita monzogranito com hornblenda porfirítico* representa rochas de matriz cinza a branca, granulação média a grossa, com cristais de dimensões entre 0,1 e 0,4 mm. É composta por oligoclásio (30-45%), microclínio (25-35%), quartzo (20-35%), biotita (5-8%) e hornblenda (5%). Os minerais secundários são representados por clorita, sericita, epidoto, minerais opacos e biotita. Os minerais acessórios são titanita (2%), apatita zircão, e minerais opacos.

Rochas da *Fácies 3 - hornblenda-biotita monzogranito porfirítico* apresentam textura predominantemente porfirítica, de matriz inequi-granular média a grossa (0,1 a 0,5 mm) e são constituídas por oligoclásio (35-45%), microclínio (25-30%), quartzo (20-30%), biotita (6-8%) e hornblenda (1-7%). Os minerais acessórios são representados por titanita (1-2%), zircão, apatita, titanita e minerais opacos. Os minerais de alteração são constituídos principalmente por sericita, epidoto, clorita e argilo minerais.

*Fácies 4 - monzogranito com biotita e hornblenda porfirítico* apresenta rochas com matriz de coloração cinza a rósea, granulação média a grossa, com cristais de até 0,5 mm e são constituídas por oligoclásio (35-45%), microclínio (20-25%), quartzo (30-35%), biotita (5-7%) e hornblenda (1%). Os minerais secundários incluem clorita, sericita, epidoto, biotita e hidróxidos e óxidos de ferro. Os minerais acessórios são representados por apatita, titanita, zircão e minerais opacos.

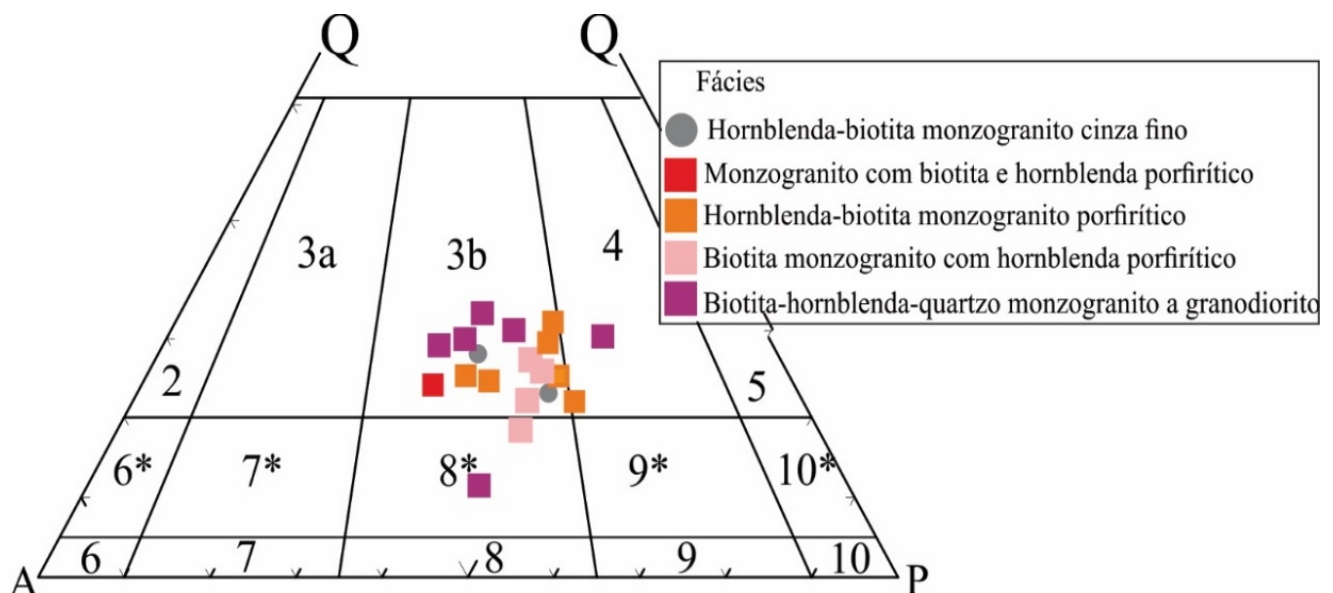
As rochas da *Fácies 5 - hornblenda-biotita monzogranito cinza fino* apresentam coloração cinza escura a clara, textura aplítica e matriz de granulação fina, com cristais de 0,1 mm. É constituída por oligoclásio (25-35%), microclínio (25-30%), quartzo (15-20%), hornblenda (6-7%) e bio-

tita (3-4%). Os minerais secundários são representados por biotita, clorita, sericita, epidoto e argi-

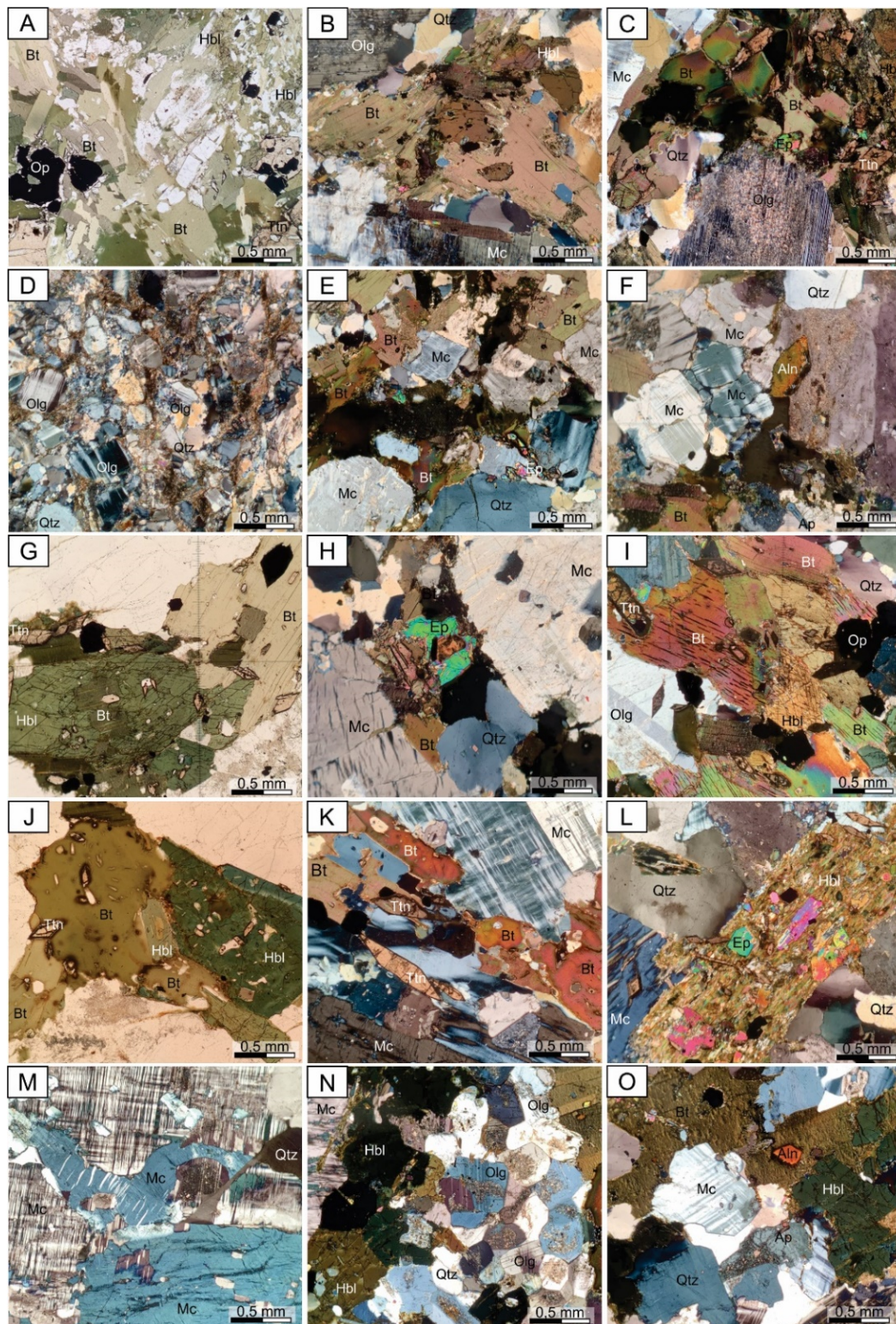
lominerais e os minerais acessórios presentes são titanita, allanita, apatita, zircão e minerais opacos.

**Tabela 1** - Composição modal estimada e características petrográficas para os litotipos do *Stock* São Miguel Arcanjo.

Fácies		Bt-Hbl monzogranito a Qz monzonito	Bt monzogranito c/ hornblenda porfirítico	Hbl-Bt monzogranito porfirítico	Monzogranito c/ Hbl-Bt porfirítico	Hbl-Bt monzogranito cinza fino
Estrutura		Isotrópica	Isotrópica	Aniso- a Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica
Textura		Porfirítica a inequigranular hipidiomórfica	Porfirítica, matriz inequigranular hipidiomórfica	Porfirítica, matriz inequigranular hipidiomórfica	Porfirítica, matriz inequigranular hipidiomórfica	Aplítica, matriz equigranular hipidiomórfica
Grão	Matriz (mm)	0,1 - 0,4	0,1 - 0,5	0,1 - 0,5	0,1 - 0,5	0,1
	Fenocristal (cm)	1 - 2	1 - 4	2 - 5	1 - 5	-
% Fenocristais	FK	15 - 25	15 - 20	25 - 30	30 - 35	-
Descrição		Coloração cinza escura, com fenocristais de feldspato róseos e matriz média	Coloração cinza e branca, com fenocristais de feldspato róseos e matriz média a grossa	Coloração cinza a rósea, com fenocristais de feldspato róseo e matriz média a grossa	Coloração cinza a rósea, com fenocristais de feldspato róseo e matriz média	Coloração cinza e matriz fina
Índice de cor		Leucocrático	Leucocrático	Leucocrático	Leucocrático	Leucocrático
Minerais félsicos (%)	Qtz	20 - 30	20 - 35	20 - 30	30 - 35	15 - 30
	FK	20 - 25	25 - 35	25 - 30	20 - 25	25 - 30
	Plag	30 - 45	30 - 45	35 - 45	35 - 45	25 - 35
Minerais escuros (%)	Biot	4 - 7	5 - 8	6 - 8	5 - 7	3 - 4
	Hbl	7	0 - 5	1 - 7	0 - 1	6 - 7
	Ttn	0 - 1	0 - 2	1 - 2	-	-
	Índice M	16	5 - 15	8 - 17	5 - 8	9 - 11
	Índice M'	15	5 - 15	8 - 17	5 - 8	9 - 11
Minerais Acessórios		Apatita, zircão, allanita, opacos	Apatita, zircão e minerais opacos	Apatita, zircão e minerais opacos	Apatita, titanita, zircão, opacos	Titanita, allanita, zircão, opacos
Minerais Secundários		Clorita, sericita, turmalina, epidoto e biotita	Clorita, sericita, epidoto e biotita	Clorita, sericita, epidoto e biotita	Clorita, sericita, epidoto, biotita, óxidos de Fe	Clorita, sericita, epidoto, biotita
Classificação		Biotita-hornblenda-quartzo monzonito a granodiorito	Biotita monzogranito com hornblenda porfirítico	Hornblenda-biotita monzogranito porfirítico	Monzogranito com biotita e hornblenda porfirítico	Hornblenda-biotita monzogranito fino



**Figura 5** - Diagrama QAP (Q- quartzo; A- feldspato alcalino; P- plagioclásio), Streckeisen (1976), com a composição modal estimada para as rochas do *Stock* Granítico São Miguel Arcanjo. Legenda: 3a: sienogranito e 3b: monzogranito



**Figura 6** - Fotomicrofotografias de aspectos mineralógicos das rochas graníticas do *stock* São Miguel Arcanjo. **Fácies Biotita-hornblenda-quartzo monzonito a granodiorito** (A) microclínio pertítico e biotita primária e secundária da transformação hornblenda (pol. cruz.); (B) allanita e apatita euedrais (pol. cruz.); **Fácies biotita monzogranito com hornblenda porfirítico**; (C) microclínio pertítico, epidoto e biotita secundários (pol. cruz.); (D) inclusões de titanita em cristais de biotita e hornblenda (pol. cruz.); (E) biotita primária e hornblenda com inclusões de titanita e biotita (pol. desc.); **Fácies hornblenda-biotita monzogranito porfirítico**; (F) com destaque para minerais opacos e biotita primária e secundária (pol. desc.); (G) hornblenda biotitizada com inclusões de titanita (pol. cruz.); (H) hornblenda biotitizada, epidotizada e cloritizada (pol. cruz.); (I) hornblenda biotitizada (pol. cruz.); (J) microclínio com geminação Carlsbad, biotita primária e cristais euedrais de titanita (pol. cruz.); **Fácies monzogranito com biotita e hornblenda porfirítico**; (K) microclínio pertítico com geminação Carlsbad (pol. cruz.); (L) oligoclásio com geminação polissintética (pol. cruz.); **Fácies hornblenda-biotita monzogranito cinza fino**; (M) oligoclásio saussuritizado e hornblenda epidotizada e biotitizada (pol. cruz.); (N) microclínio com geminação Carlsbad, feições pertíticas e quartzo com extinção ondulante (pol. cruz.); (O) allanita e apatita euedrais (pol. cruz.). Abreviação (Kretz, 1983).

## QUÍMICA MINERAL

O estudo de química mineral do Granito São Miguel Arcanjo foi desenvolvido em todas suas fácies predominantes, sendo caracterizados seus principais minerais essenciais: feldspato alcalino, plagioclásio, anfibólio e biotita.

### Feldspato

Foram analisados 10 cristais de feldspato potássico e 20 cristais de plagioclásio. O conteúdo de átomos por unidade de fórmula (a.p.u.f.) para os cristais de feldspato analisados de cada amostra foi calculado na base em 8 oxigênios e os resultados significativos estão apresentadas na tabela 2.

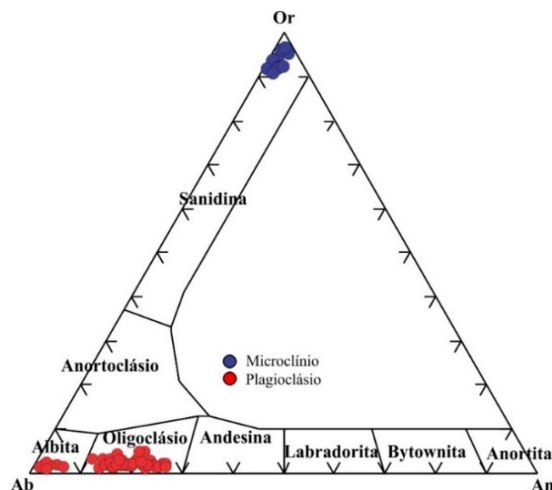
Os cristais de plagioclásio apresentam variação composicional com teor de albita entre  $Ab_{77,35}-Ab_{99,03}$  (Tabela 2), discriminadas no gráfico An-Ab-Or (Figura 7), apresentando composição predominantemente de oligoclásio e albita.

A presença de albita nas bordas dos cristais de plagioclásio é explicada como fruto de alteração hidrotermal e recristalização do oligoclásio. Os valores de cristais de feldspato potássico condizem com a interpretação petrográfica de microclínio, com  $Or > 90$  (Tabela 2), discriminadas no gráfico An-Ab-Or (Figura 7).

**Tabela 2** - Análises químicas representativas por microsonda eletrônica de cristais de feldspatos das rochas graníticas do *Stok* São Miguel Arcanjo.

	Plagioclásio ●										Feldspato Potássico ●		
SiO <sub>2</sub>	62,90	63,36	63,36	63,78	62,78	62,32	65,09	69,70	69,25	64,50	64,34	63,97	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,37	23,11	23,07	24,14	23,33	23,32	18,60	18,81	23,80	25,59	26,63	19,02	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,03	0,05	0,07	0,11	0,50	0,06	0,07	0,05	0,07	0,03	0,03	
BaO	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,00	0,63	
CaO	4,48	4,00	3,92	3,99	3,94	3,73	2,91	0,19	0,12	0,00	0,00	0,00	
Na <sub>2</sub> O	8,87	9,18	9,07	9,12	9,10	8,48	9,52	10,91	10,91	0,37	0,36	0,34	
K <sub>2</sub> O	0,18	0,08	0,08	0,23	0,19	0,56	0,15	0,11	0,06	15,86	16,14	15,78	
<b>Total</b>	<b>99,87</b>	<b>99,77</b>	<b>99,58</b>	<b>100,15</b>	<b>99,50</b>	<b>99,06</b>	<b>100,00</b>	<b>100,81</b>	<b>100,03</b>	<b>99,53</b>	<b>99,57</b>	<b>99,77</b>	
<b>Fórmula estrutural calculada com base em 8 oxigênios</b>													
Si	2,78	2,80	2,81	2,78	2,79	2,79	2,97	3,04	2,89	2,79	2,76	2,97	
Al	1,22	1,21	1,20	1,24	1,22	1,23	1,00	0,97	1,17	1,31	1,35	1,04	
Fe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
Ca	0,21	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,14	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	
Na	0,76	0,79	0,78	0,77	0,78	0,73	0,84	0,92	0,88	0,03	0,03	0,03	
K	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,88	0,88	0,94	
<b>Soma Cations</b>	<b>4,99</b>	<b>4,99</b>	<b>4,98</b>	<b>4,99</b>	<b>5,00</b>	<b>4,98</b>	<b>4,96</b>	<b>4,94</b>	<b>4,96</b>	<b>5,01</b>	<b>5,02</b>	<b>4,99</b>	
<b>Membros Finais</b>													
Ab	77,35	80,21	80,34	79,46	79,81	77,76	84,78	98,39	99,03	3,45	3,29	3,20	
An	21,60	19,31	19,21	19,20	19,08	18,88	14,33	0,95	0,61	0,00	0,00	0,00	
Or	1,05	0,48	0,46	1,34	1,11	3,36	0,89	0,67	0,36	96,55	96,71	96,80	

Or\*\*\* =  $K/(K+Ca+Na) \times 100$ ; Ab\*\* =  $Na/(K+Ca+Na) \times 100$ ; An\* =  $Ca/(K+Ca+Na) \times 100$



**Figura 7** - Diagrama de composição de cristais de feldspato a partir de valores de K (Or), Na (Ab), Ca (An) (Deer et al., 1963) das rochas graníticas do *Stock* São Miguel Arcanjo

## Biotita

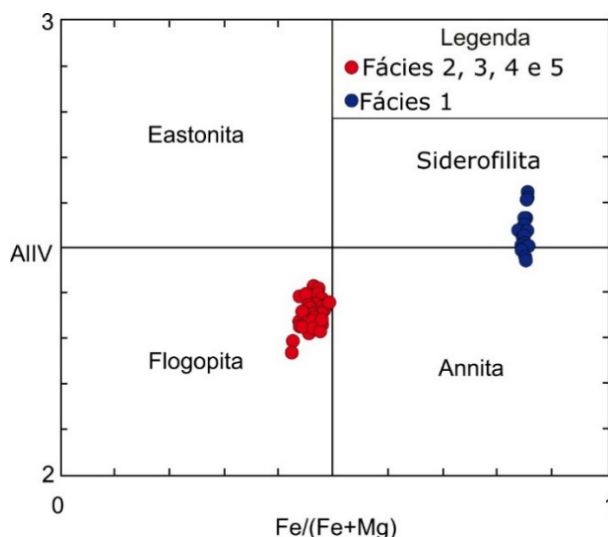
Foram analisados 20 cristais de biotita em todas as fácies das rochas do *Stock* São Miguel Arcanjo, totalizando aproximadamente 30 pontos. O conteúdo de átomos por unidade de fórmula (a.p.u.f.) para os cristais analisados de cada amostra foram calculados na base em 8 oxigênios e estão apresentados os valores obtidos na tabela 3.

De acordo com o diagrama Al (IV) *versus*

$Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$  (Deer et al., 1992; Speer, 1984), os cristais de biotita são quimicamente classificados como flogopita (Fácies 2 - biotita monzogranito com hornblenda porfirítico; 3 - hornblenda-biotita monzogranito porfirítico; 4 - monzogranito com biotita e hornblenda porfirítico; 5 - hornblenda-biotita monzogranito cinza fino) e siderofilita (Fácies 1 - biotita-hornblenda-quartzo monzogranito a granodiorito) (Figura 8).

**Tabela 3** - Análises químicas representativas por microsonda eletrônica de cristais de biotita das rochas graníticas do *Stock* São Miguel Arcanjo.

	Fácies 2, 3, 4, 5 ●								Fácies 1 ●			
	2 - Bt monzogranito com Hbl porfirítico, 3 - Hbl-Bt monzogranito porfirítico, 4 - monzogranito com Bt e Hbl porfirítico e 5 - Hbl-Bt monzogranito cinza fino								Bt-Hbl-Qz monzonito a granodiorito			
SiO <sub>2</sub>	37,50	37,30	37,40	36,57	37,22	37,49	37,37	37,52	34,18	34,85	34,27	33,12
TiO <sub>2</sub>	1,42	1,81	1,91	1,75	1,74	1,58	1,61	1,64	2,31	3,37	3,00	3,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,82	15,52	14,99	14,68	14,80	14,82	14,66	14,58	14,01	13,87	13,77	13,55
FeO	18,76	18,46	19,88	19,83	19,62	19,76	20,22	20,26	35,04	33,94	35,12	35,24
MnO	0,36	0,30	0,32	0,38	0,35	0,35	0,40	0,37	0,40	0,40	0,41	0,36
MgO	13,50	13,15	12,72	12,67	12,53	12,56	12,51	12,36	3,74	3,51	3,30	3,25
BaO	0,04	0,05	0,04	0,06	0,07	0,12	0,07	0,07	0,07	0,09	0,04	0,05
Na <sub>2</sub> O	0,07	0,07	0,12	0,11	0,13	0,09	0,11	0,09	0,11	0,05	0,07	0,07
K <sub>2</sub> O	9,49	9,54	9,50	9,63	9,66	9,60	9,40	9,72	8,84	9,21	9,18	8,82
Total	96,87	97,05	97,67	96,30	96,84	97,17	97,00	97,42	99,07	99,58	99,54	98,14
<b>Fórmula estrutural calculada com base em 8 oxigênios</b>												
Si	2,83	2,80	2,81	2,80	2,83	2,84	2,83	2,84	2,73	2,75	2,73	2,69
Al <sup>iv</sup>	2,33	2,39	2,37	2,40	2,35	2,33	2,33	2,32	2,53	2,49	2,54	2,62
Ti	0,08	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,14	0,20	0,18	0,20
Fe <sup>2+</sup>	1,19	1,16	1,25	1,27	1,25	1,25	1,28	1,28	2,34	2,24	2,34	2,39
Mn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
Mg	1,52	1,47	1,43	1,44	1,42	1,42	1,41	1,39	0,45	0,41	0,39	0,39
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
K	0,91	0,92	0,91	0,94	0,94	0,93	0,91	0,94	0,90	0,93	0,93	0,91
<b>Membros Finais</b>												
Fe/Fe+Mg	0,44	0,44	0,47	0,47	0,47	0,47	0,48	0,48	0,84	0,84	0,86	0,86



**Figura 8** - Diagrama de classificação de biotita das rochas graníticas do *Stok* São Miguel Arcanjo (Speer, 1984).

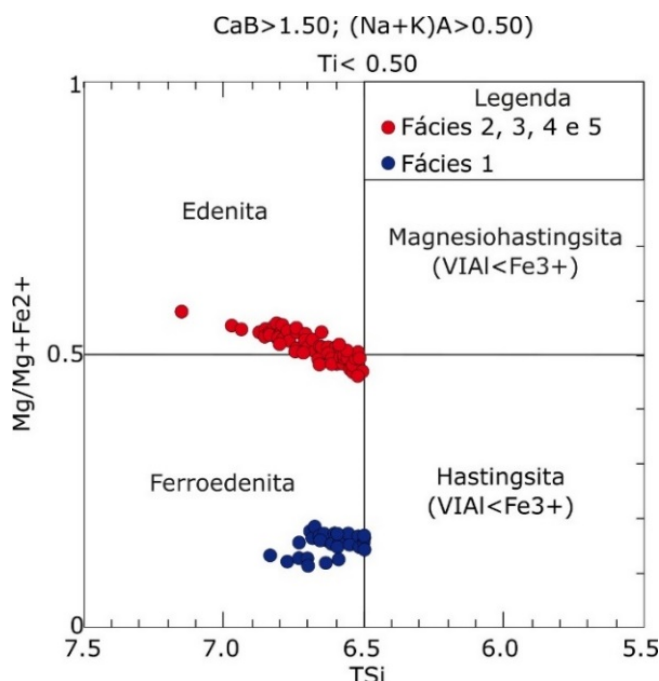
## Anfibólio

Os resultados analíticos, juntamente à fórmula estrutural, aparecem na tabela 4 e na figura 9, sendo o cálculo feito com base em 23 átomos de oxigênio. As análises foram realizadas em 20 cristais de anfibólio, totalizando aproximadamente 40 pontos. Devido ao alto grau de hidrotermalismo, algumas litologias não apresentavam anfibólios bem preservados para identificação.

O diagrama de TSi x Mg/Mg+Fe (Figura 9), proposto por Leake et al. (1977), evidencia a presença de dois grupos principais de anfibólio analisados, quimicamente classificados como como edenita (Fácies 2- Bt monzogranito com Hbl porfirítico; 3- Hbl-Bt monzogranito porfirítico; 4- monzogranito com Bt e Hbl porfirítico e, 5- Hbl-Bt monzogranito cinza fino) e como ferroedenita (Fácies 1- Bt-Hb-Qz monzonito a granodiorito) (Figura 9).

**Tabela 4** - Análises químicas representativas por microsonda eletrônica de cristais de anfibólio das rochas graníticas do *Stok São Miguel Arcanjo*.

	Fácies 2, 3, 4, 5 ●								Fácies 1 ●			
	2 - Bt monzogranito com Hbl porfirítico; 3 - Hbl-Bt monzogranito Porfirítico; 4 - monzogranito com Bt e Hbl porfirítico e, 5 - Hbl-Bt monzogranito cinza fino								Bt-Hbl monzogranito a Qz monzonito			
SiO <sub>2</sub>	43.58	43.88	43.73	42.37	43.88	44.06	43.73	42.37	41.29	41.39	40.76	41.30
TiO <sub>2</sub>	0.44	0.71	0.33	0.94	0.71	0.94	0.33	0.94	2.04	1.88	1.67	2.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.37	9.15	9.22	9.64	9.14	8.62	9.21	9.63	8.36	7.99	8.31	8.37
FeO	20.53	20.50	20.67	20.90	18.43	18.43	18.58	18.78	28.04	28.26	32.38	31.22
MnO	0.51	0.49	0.53	0.51	0.49	0.48	0.53	0.51	0.95	0.94	0.95	0.95
MgO	10.13	10.37	10.26	9.53	10.35	10.40	10.24	9.51	3.13	3.21	3.03	3.13
CaO	11.91	11.75	11.83	11.63	11.74	11.78	11.83	11.62	10.08	10.42	9.42	10.08
Na <sub>2</sub> O	1.07	1.23	1.14	1.42	1.23	1.18	1.13	1.42	1.68	1.65	1.65	1.69
K <sub>2</sub> O	1.08	1.13	1.11	1.33	1.13	1.07	1.11	1.33	1.16	1.15	1.09	1.16
<b>Total</b>	<b>98.92</b>	<b>99.50</b>	<b>99.13</b>	<b>98.62</b>	<b>97.39</b>	<b>97.24</b>	<b>97.00</b>	<b>96.46</b>	<b>97.07</b>	<b>97.24</b>	<b>99.52</b>	<b>100.30</b>
<b>Fórmula estrutural calculada com base em 23 oxigênios</b>												
Si	6.61	6.62	6.63	6.50	6.70	6.73	6.71	6.58	6.66	6.68	6.53	6.54
Ti	0.05	0.08	0.04	0.11	0.08	0.11	0.04	0.11	0.25	0.23	0.20	0.24
Al	1.68	1.63	1.65	1.74	1.65	1.55	1.67	1.76	1.59	1.52	1.57	1.56
Fe <sup>2+</sup>	2.61	2.59	2.62	2.68	2.35	2.36	2.38	2.44	3.78	3.82	4.34	4.13
Mn	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.13	0.13	0.13	0.13
Mg	2.29	2.33	2.32	2.18	2.35	2.37	2.34	2.20	0.75	0.77	0.72	0.74
Ca	1.94	1.90	1.92	1.91	1.92	1.93	1.94	1.93	1.74	1.80	1.62	1.71
Na	0.32	0.36	0.33	0.42	0.36	0.35	0.34	0.43	0.53	0.52	0.51	0.52
K	0.21	0.22	0.21	0.26	0.22	0.21	0.22	0.26	0.24	0.24	0.22	0.23
<b>Membro Final</b>												
<b>Total Cátions</b>	<b>15.76</b>	<b>15.78</b>	<b>15.79</b>	<b>15.86</b>	<b>15.69</b>	<b>15.66</b>	<b>15.70</b>	<b>15.78</b>	<b>15.68</b>	<b>15.71</b>	<b>15.85</b>	<b>15.81</b>



**Figura 9** - Diagrama de classificação dos anfibólios das rochas graníticas do *Stok São Miguel Arcanjo* (Leake et al. (1977)).

## LITOGEOQUÍMICA

As análises geoquímicas de rocha total de 12 São Miguel Arcanjo, encontram-se enumeradas amostras referentes às rochas graníticas do *Stock* na tabela 5.

**Tabela 5** - Análises geoquímicas de amostras de rochas das faciológicas graníticas do *Stock* São Miguel Arcanjo

	Rósea 1 <span style="color: purple;">■</span>		Rósea 2 <span style="color: pink;">■</span>		Rósea 3 <span style="color: orange;">■</span>			Rósea 4 <span style="color: red;">■</span>			Cinza <span style="color: grey;">●</span>	
	Bt-Hbl-Qz monzonito a granodiorito		Bt monzogranito com Hbl porfíritico		Hbl-Bt monzogranito porfíritico			Monzogranito com Bt e Hbl porfíritico			Hbl-Bt monzogranito cinza fino	
SiO <sub>2</sub>	61.63	65.86	65.59	65.82	64.89	68.71	68.93	72.14	72.85	74.59	66.36	70.66
TiO <sub>2</sub>	0.82	0.88	0.47	0.54	0.87	1.00	0.63	0.26	0.45	0.26	1.45	0.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.70	13.63	14.30	14.65	14.24	13.57	14.24	13.57	13.16	13.12	13.68	13.99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.86	5.16	3.05	3.34	4.77	5.64	3.77	1.95	3.17	1.95	7.38	2.49
MnO	0.18	0.07	0.05	0.05	0.07	0.08	0.06	0.04	0.06	0.05	0.12	0.05
MgO	0.61	2.10	1.08	1.25	1.84	1.20	1.54	0.35	0.64	0.35	1.86	0.54
CaO	2.05	3.64	2.17	2.40	3.53	2.71	2.81	1.05	1.68	1.06	3.05	1.31
Na <sub>2</sub> O	3.99	3.74	3.80	3.76	3.69	3.09	3.79	3.21	3.46	3.26	3.43	3.25
K <sub>2</sub> O	6.39	2.63	4.73	4.98	3.68	5.01	4.01	5.69	4.38	4.99	4.12	5.40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.37	0.19	0.24	0.32	0.37	0.23	0.08	0.14	0.09	0.46	0.12
LOI	0.29	0.48	0.42	0.56	0.39	0.43	0.43	0.47	0.57	0.60	0.63	0.72
<b>Soma</b>	<b>100.69</b>	<b>100.39</b>	<b>99.20</b>	<b>99.53</b>	<b>99.70</b>	<b>99.88</b>	<b>98.93</b>	<b>98.79</b>	<b>99.48</b>	<b>99.12</b>	<b>99.39</b>	<b>98.99</b>
Ba	474.00	420.00	1053.00	1592.00	1267.00	958.00	999.00	572.00	445.00	434.00	713.00	667.00
Ga	25.60	25.90	23.80	23.40	23.80	23.60	24.50	21.20	23.80	21.90	25.70	22.10
Hf	27.70	6.10	4.29	4.80	6.62	11.23	4.87	5.48	8.81	5.73	10.49	5.72
Nb	28.01	9.63	2.85	3.63	9.59	25.11	7.56	13.86	19.53	15.62	41.81	14.13
Rb	125.70	134.60	192.20	160.20	120.70	225.00	160.70	291.30	253.90	280.80	239.50	278.20
Sr	68.00	695.00	635.00	860.00	876.00	257.00	724.00	128.00	148.00	118.00	221.00	181.00
Ta	0.69	0.05	0.05	0.05	0.05	0.94	0.05	1.34	0.52	0.41	1.03	0.39
Th	7.00	22.10	29.60	12.10	13.90	27.60	12.40	39.80	33.60	34.00	18.70	35.20
U	1.39	4.55	8.16	2.54	2.87	3.77	5.32	11.92	5.43	12.11	4.66	11.61
V	5.00	71.00	32.00	16.00	70.00	38.00	34.00	5.00	5.00	5.00	84.00	9.00
Y	38.04	50.36	12.24	15.51	23.73	50.55	48.55	47.24	38.64	48.27	102.75	156.48
Zn	141.00	98.00	56.00	57.00	74.00	91.00	65.00	46.00	60.00	46.00	113.00	45.00
Zr	1587.00	278.00	180.00	204.00	295.00	533.00	197.00	208.00	352.00	209.00	474.00	230.00
La	75.90	186.40	43.90	50.50	73.50	106.40	58.20	62.10	84.80	69.70	96.40	319.40
Ce	147.70	354.80	75.70	84.90	140.80	217.60	95.20	115.20	160.80	124.60	192.90	452.90
Pr	18.87	45.62	9.39	10.46	17.53	25.22	12.75	13.98	18.57	15.32	24.49	49.33
Nd	72.20	169.10	34.10	38.20	64.20	90.40	46.80	50.30	62.60	53.50	93.70	184.20
Sm	11.90	28.80	4.30	4.80	9.70	15.30	6.80	8.90	9.30	9.00	17.50	29.20
Eu	2.95	5.83	0.05	0.05	0.86	1.11	0.60	0.51	0.79	0.59	1.93	2.80
Gd	10.09	16.63	3.19	3.27	6.26	10.80	4.22	5.52	6.37	7.89	15.29	22.70
Tb	1.40	2.31	0.41	0.40	0.82	1.78	0.75	1.32	1.12	1.32	2.60	4.35
Dy	7.61	10.88	1.89	1.95	3.93	10.03	3.72	7.89	6.63	7.86	15.43	26.07
Ho	1.53	1.83	0.35	0.32	0.69	1.93	0.75	1.62	1.33	1.64	3.20	5.47
Er	3.78	3.99	0.47	0.33	1.19	4.82	1.58	4.50	3.61	4.58	8.65	14.68
Tm	0.61	0.59	0.12	0.10	0.23	0.75	0.24	0.77	0.65	0.76	1.30	2.10
Yb	4.00	3.30	0.70	0.50	1.20	4.60	1.20	5.00	4.20	5.10	7.80	12.50
Lu	0.61	0.44	0.08	0.06	0.15	0.67	0.16	0.73	0.61	0.74	1.15	1.81
<b>Soma ETR</b>	<b>359.15</b>	<b>830.52</b>	<b>147.65</b>	<b>195.84</b>	<b>321.06</b>	<b>491.41</b>	<b>232.97</b>	<b>278.34</b>	<b>361.38</b>	<b>302.60</b>	<b>482.34</b>	<b>1127.5</b>
<b>Média ETR</b>	<b>612.83</b>		<b>171.74</b>		<b>348.48</b>			<b>314.10</b>			<b>804.92</b>	
[La/Yb] <sub>n</sub>	12.79	38.08	42.28	68.09	41.29	15.59	32.70	8.37	13.61	9.21	8.33	17.23
<b>Média</b>	<b>25.44</b>		<b>55.19</b>		<b>29.86</b>			<b>10.40</b>			<b>12.78</b>	
Eu*	80.50	179.80	28.21	30.93	61.83	99.31	43.02	56.30	59.99	61.39	119.26	193.57
<b>Média</b>	<b>130.15</b>		<b>29.57</b>		<b>68.05</b>			<b>59.22</b>			<b>156.41</b>	
Eu/Eu*	0.50	0.44	0.02	0.02	0.19	0.15	0.19	0.12	0.18	0.13	0.22	0.20
<b>Média</b>	<b>0.47</b>		<b>0.02</b>		<b>0.18</b>			<b>0.14</b>			<b>0.21</b>	
Ce-Sm	3.00	2.97	4.25	4.27	3.50	3.43	3.38	3.12	4.17	3.34	2.66	3.74
<b>Média</b>	<b>2.98</b>		<b>4.26</b>		<b>3.44</b>			<b>3.55</b>			<b>3.20</b>	
Gd-Yb	2.04	4.07	3.68	5.28	4.21	1.89	2.84	0.89	1.22	1.25	1.58	1.47
<b>Média</b>	<b>3.05</b>		<b>4.48</b>		<b>2.98</b>			<b>1.12</b>			<b>1.52</b>	



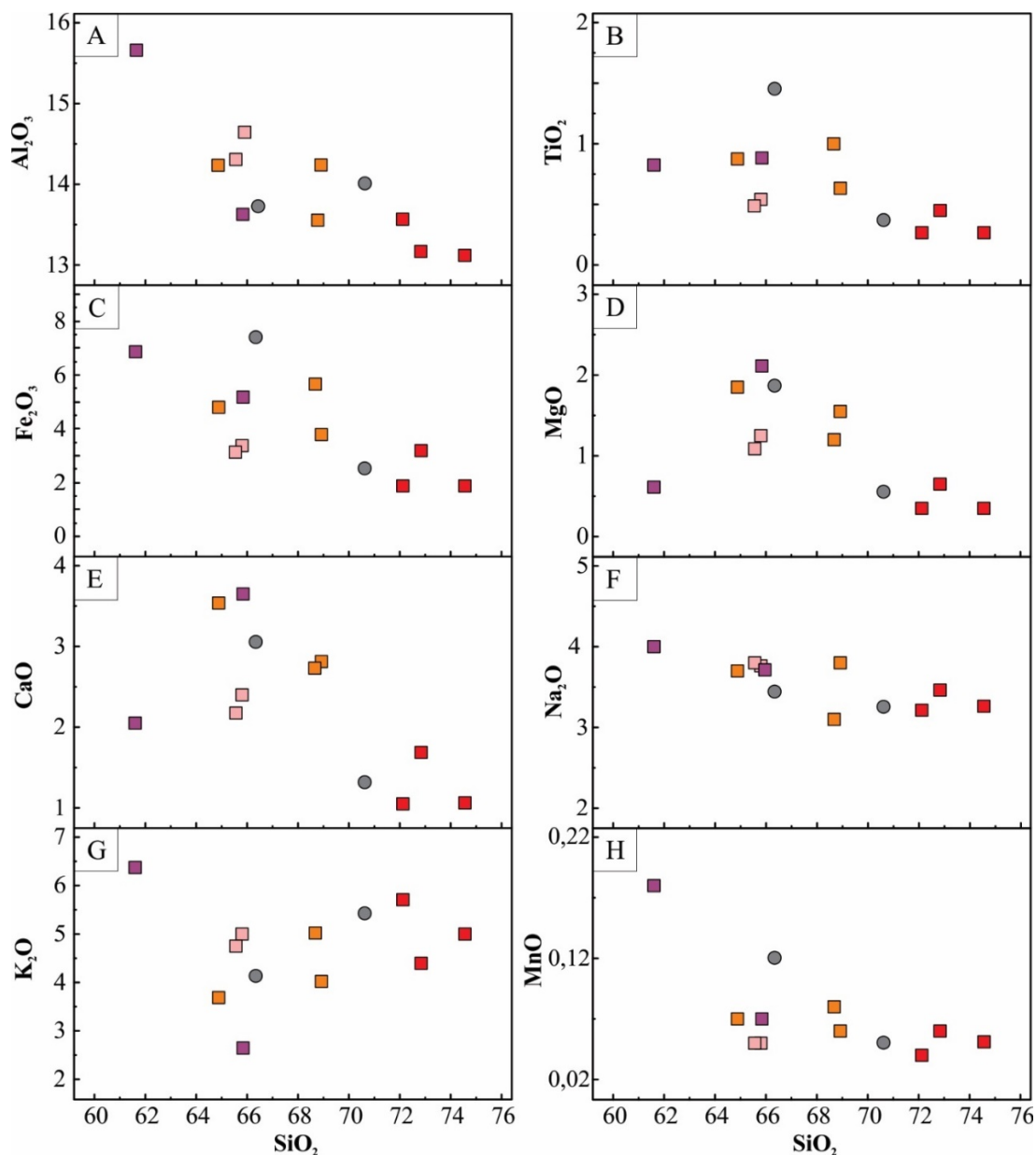
As rochas do *Stock* São Miguel Arcanjo possuem análises geoquímicas previamente realizadas, porém são raras e encontram-se exclusivamente em Leite (2003).

A descrição geoquímica obedecerá a divisão em cinco fácies distintas: *Biotita-hornblenda-quartzo monzonito a granodiorito*, *biotita monzonito com hornblenda porfírtico*, *hornblenda-biotita monzonito porfírtico*, *monzonito com biotita e hornblenda porfírtico* e *hornblenda-biotita monzonito cinza fino*.

A distribuição dos elementos maiores (Figuras 10A a H) de Harker (1909) identificam quanto

aos teores de sílica, para o conjunto de rochas das fácies, dois conjuntos litológicos: de rochas de composição ácida e de rochas intermediária, variando predominantemente entre monzonito e quartzo monzonito e, localmente, granodiorito.

Apresentam valores de sílica distribuídos no intervalo amplo de 61 e 75% de SiO<sub>2</sub>, com termos composicionais intermediários a ácidos. Os números de análises apresentam predominantemente valores acima de 65% SiO<sub>2</sub> para termos ácidos. As rochas com teores superiores a 70% SiO<sub>2</sub> constituem os litotipos mais diferenciados do *stock*.



**Figura 10** - Diagramas de Harker (1909) com variação dos elementos maiores e menores para as rochas graníticas do *Stock* São Miguel Arcanjo.

Os valores de distribuição dos elementos Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO e MnO (Figuras 10A, B, C, D, E, F), de forma geral, definem decréscimo, visto a partir de sua redução em

relação ao aumento da sílica.

Quanto à distribuição dos álcalis, os teores elevados de K<sub>2</sub>O ocorrem distribuídos entre 4,0-6,5% (Figura 10G), desenvolvendo um *trend*

crescente com o aumento de sílica, com teores maiores nas fácies graníticas mais evoluídas e altamente diferenciadas.

Os teores elevados de Na<sub>2</sub>O também oscilam num intervalo de variação entre 3,0 a 4,0% (Figura 10H), mas evidenciam um decréscimo linear com o aumento de sílica.

O conteúdo de MnO não apresenta grandes variações de conteúdo, mas mostra um decréscimo em relação ao aumento de sílica.

A partir da distribuição química dos elementos maiores, possibilita-se a determinação de diversos diagramas de nomenclatura e classificatórios.

No diagrama de classificação petrográfica de (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) *versus* SiO<sub>2</sub> de Middlemost (1985) (Figura 11A), as amostras distribuem-se concentradamente no campo de granitos (monzogranito). Observam-se amostras com ligeiro decréscimo (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O), que transicionam para rochas granodioríticas. Litotipos apresentando teores de SiO<sub>2</sub> menores transicionam entre quartzo sienito a quartzo monzonito.

No diagrama químico QAP de Lameyre & Bowden (1982) (Figura 11B), as amostras foram predominantemente classificadas como monzogranito, ocorrendo uma amostra transicionando para granodiorito e uma para quartzo monzonito.

Segundo o diagrama ternário Rb-Ba-Sr de El Bouseily & El Sokkary (1975) (Figura 11C), o comportamento das amostras corresponde ao de granitos anômalos.

De acordo com o diagrama de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O - CaO *versus* SiO<sub>2</sub> de Frost et al. (2001) (Figura 11D), as amostras analisadas são similares às rochas do campo cálcio-alcálico, resultado da presença de biotita + hornblenda.

As rochas que transicionam para as classificações alcalina-cálcica e alcalina são reflexos do elevado teor de potássio observado em alguns litotipos.

O diagrama de classificação petrográfica de Debon et al. (1988) (Figura 11E), que utiliza os parâmetros multicatiônicos (Q *versus* P), mostra que os litotipos são classificados predominantemente como granitos enriquecidos em feldspato potássico (P>0) e apresentam afinidade com a série subalcalina potássica (SALKL).

No diagrama de K<sub>2</sub>O *versus* SiO<sub>2</sub> de Taylor (1976) (Figura 11F), as amostras são similares aos litotipos que se distribuem em rochas corre-

cionadas à série cálcio-alcálica de alto K e da série shoshonítica, devido à presença marcante de potássio nas análises.

Quanto à saturação em alumínio, definido pelo Índice de Shand, do diagrama de Maniar & Picolli (1989) (Figura 11G), identificado a partir dos parâmetros das razões molares A/(CNK) *versus* A/(NK), os valores analisados são de litotipos que apresentam forte caráter peraluminoso, refletido pela presença marcante de biotita.

No diagrama de Debon & Le Fort (1983) (Figura 11H), em função dos parâmetros A *versus* B, as rochas do *stock* são constituídas predominantemente por rochas graníticas peraluminosas do campo III-biotita e que transicionam para o campo IV- biotita + hornblenda.

Com relação à distribuição química dos elementos traços, presente nos diagramas binários de Harker (1909) (Figuras 12A a F), observa-se que a distribuição de rubídio (Rb) *versus* SiO<sub>2</sub> (Figura 12A) apresenta valores relativamente baixos e, no geral, uma correlação positiva para o aumento de sílica.

Geralmente, o rubídio encontra-se substituindo o potássio do feldspato potássico e da biotita e, portanto, os menores valores de Rb estão diretamente associados às menores porcentagens de biotita e aos valores mais elevados de hornblenda nos termos graníticos menos enriquecidos em sílica.

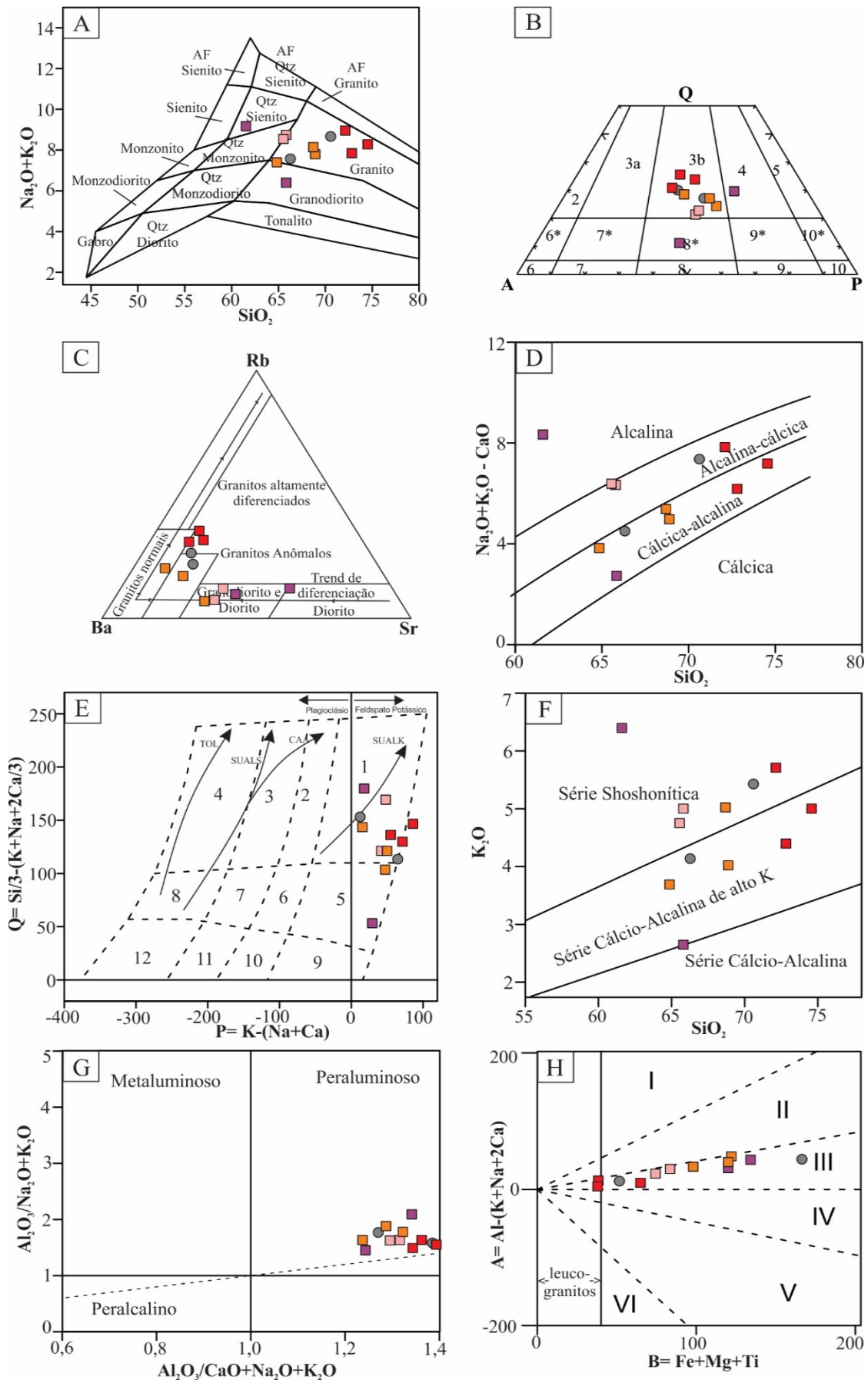
Observa-se, para a relação do estrôncio (Sr) *versus* SiO<sub>2</sub> (Figura 12B), uma leve distribuição negativa com o acréscimo da SiO<sub>2</sub>.

Os teores no diagrama de bário (Ba) *versus* SiO<sub>2</sub> (Figura 12C) evidenciam a forte correlação deste elemento com o Ca do plagioclásio intermediário.

Para as rochas das fácies mais diferenciadas ocorre a redução de plagioclásio observando-se, portanto, um *trend* de redução progressiva de bário.

Portanto, sugere-se um processo de diferenciação magmática na formação dos litotipos do *stock*, envolvendo principalmente o fracionamento do feldspato e, conseqüentemente, para as rochas mais diferenciadas, o aumento de feldspato potássico a partir da segregação, a leve redução em plagioclásio e o empobrecimento de Ba e Sr do líquido magmático, disponível para as fases mais diferenciadas.

Os teores no diagrama de zircônio (Zr) *versus* SiO<sub>2</sub> (Figura 12D) mostram valores baixos e distribuição com leve tendência negativa para as fácies mais diferenciadas. Esta distribuição homogênea



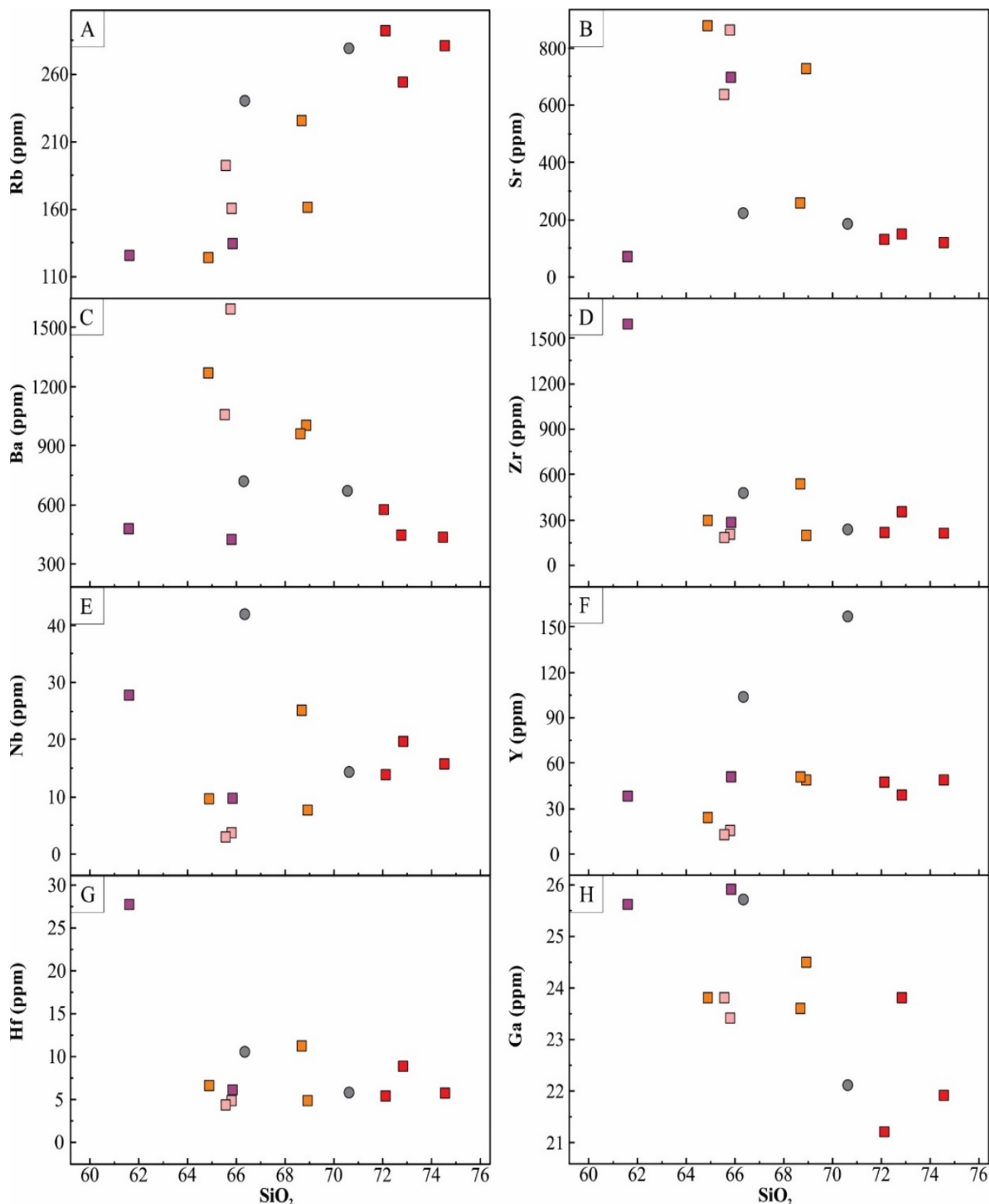
**Figura 11-** Diagramas geoquímicos de classificação das amostras graníticas do *Stock* São Miguel Arcaño. (A) Middlemost (1985); (B) Lameyre & Bowden (1982) (3b- monzogranitos, 4- granodiorito, 8- quartz monzonito); (C) El Bouseily & El Sokkary (1975); (D) Frost et al. (2001); (E) Debon et al. (1988) 1- 2- monzogranito. SUBALK= subcalina potássica; (F) Taylor (1976); (G) Maniar & Picolli (1989); (H) Debon & Le Fort (1983) rochas graníticas do campo III–biotita e do campo IV–biotita + hornblenda.

dos teores de Zr sugere alto grau de fracionamento para os litotipos analisados.

Os valores observados no diagrama de nióbio (Nb) *versus* SiO<sub>2</sub> (Figura 12E) mostram teores relativamente baixos, apresentando disposição das amostras com leve redução em relação aos

valores crescentes de SiO<sub>2</sub>.

Os valores apresentados nos diagramas de ítrio (Y) *versus* SiO<sub>2</sub> (Figura 12F) e Háfnio (Hf) *versus* SiO<sub>2</sub> (Figura 12G) mostram pouca variação na distribuição dos valores destes elementos nas rochas.



**Figura 12** - Diagramas binários para elementos traços das rochas graníticas do *Stock* São Miguel Arcanjo.

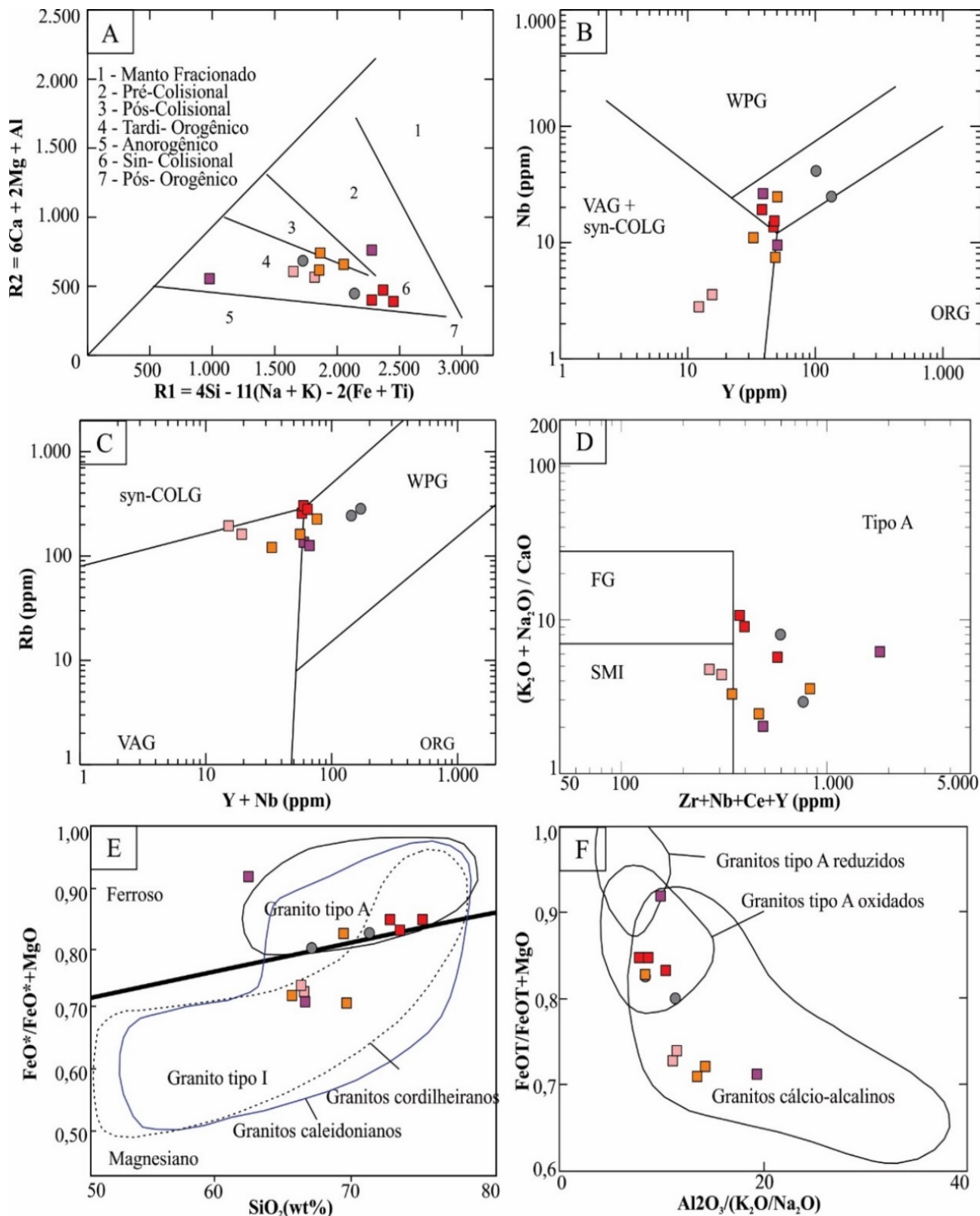
Os valores observados de gálio (Ga) *versus* SiO<sub>2</sub> (Figura 12H) apresentam correlação negativa com o crescente aumento de SiO<sub>2</sub>.

Estes valores estão relacionados à diminuição de minerais ferromagnesianos e consequente dificuldade de assimilação desses elementos por

minerais magmáticos mais fracionados. Nos diagramas R1 *versus* R2 de caracterização de ambiente geotectônico proposto por Batchelor & Bowden (1985) (Figura 13A), as amostras apresentam-se distribuídas nos campos de ambientes tardi- a pós-colisional.

Observa-se nos diagramas Nb versus Y (Figura 13B) e Rb versus Y + Nb (Figura 13C), propostos por Pearce et al. (1984), que os litotipos analisados apresentam padrões de

distribuição relacionados à geração de magma em ambientes de granitos sin- a pós-colisionais de arco vulcânico continental a ambientes intraplaca.



**Figura 13** - Diagramas geoquímicos de classificação de ambientes tectônicos para as amostras do *Stock* São Miguel Arcanjo. Legenda: A) Batchelor & Bowden (1985); B, C) Pearce et al. (1984) (Syn-COLG) – granitoide sin-colisional; (VAG) – granitoide de arco vulcânico; (WPG) – Granitoide intraplaca; (ORG) – granitoide de cadeias oceânicas; D) Whalen et al. (1987) (SMI) médias composicionais dos granitos do tipo S, M e I, (FG) granitos félsicos fracionados, (Tipo A) anorogênicos; E) Frost et al. (2001). F) Dall'Agno, & Oliveira (2007).

No diagrama de classificação ( $K_2O+Na_2O/CaO$  versus  $Zr+Nb+Ce+Y$ ) de Whalen et al. (1987) (Figura 13D), as amostras apresentam-se distribuídas ao longo do campo de granitos tipo A.

As fácies mais diferenciadas e enriquecidas em potássio apresentam caráter shoshonítico e possuem uma classificação de granitos alcalinos e, portanto, nos diagramas geotectônicos são automaticamente induzidos a granitos de ambiente anorogênico intraplaca.

No diagrama  $FeO_t/(FeO_t + MgO)$  versus  $SiO_2$  de Frost et al. (2001) (Figura 13E), as rochas graníticas podem ser correlacionadas aos os granitos tipo I Caledonianos, com alta relação  $K_2O/Na_2O$ . Parte do segmento das amostras analisadas também coincide com o campo dos granitos tipo A.

No diagrama  $FeO_t/(FeO_t + MgO)$  versus  $Al_2O_3/(K_2O/Na_2O)$  de Dall'Agnol & Oliveira (2007) (Figura 13F), com base nas condições de oxidação, a grande maioria das rochas analisadas agrupa-se no campo dos granitos cálcio-alcalinos.

As amostras mais diferenciadas e enriquecidas em potássio também coincidem com o campo dos granitos do tipo A oxidados.

Nos variogramas de multielementos, os elementos traços estão normalizados segundo os valores propostos por Thompson (1982) para os meteoritos condríticos (Figura 14A), enquanto os valores de Crosta Inferior estão normalizados segundo os valores propostos por Weaver & Tarney (1984) (Figura 14B).

Observa-se empobrecimento em Ba, Nb, Sr, P e Ti nas amostras, o que sugere a ocorrência de cristalização fracionada juntamente ao enriquecimento em Rb, K, Zr e Y, relação característica de magmatismo do tipo A pós-colisional a anorogênico de ambiente intraplaca ou de granitos pós-orogênicos tardios com contribuição de segmentos crustais de Tipo I Caledonianos de Pitcher (1983).

No diagrama multielementar os elementos traços estão normalizados segundo os valores de Thompson (1982) para os meteoritos condríticos (Figura 14A), as amostras graníticas analisadas apresentam forte anomalias negativa de Rb, Nb, Ta e Ti.

No diagrama multielementar com elementos traços normalizados segundo os valores da crosta inferior de Weaver & Tarney (1984) (Figura 14B), as amostras graníticas analisadas apresentam um forte empobrecimento dos elementos litófilos de grande raio iônico (LILE), com

anomalias negativas de Rb, Ba, K e Sr em relação aos elementos terras raras leves (LREE).

Destacam-se também anomalias negativas de P, Zr e Ti e altos valores de Th e U, podendo indicar um magma com forte participação crustal.

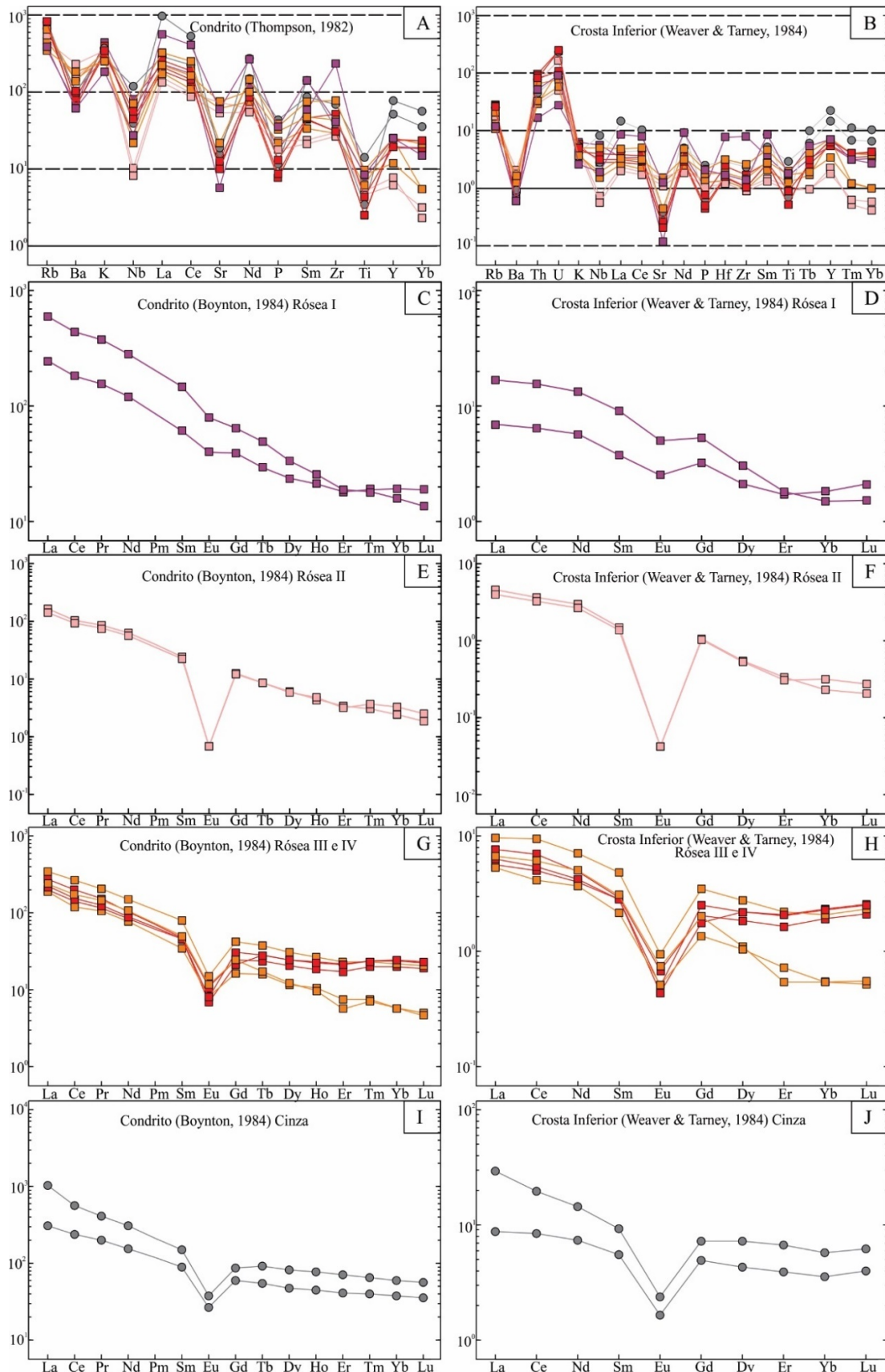
Nos diagramas de elementos terras raras (ETR) as amostras do *stock* foram normalizadas segundo os valores de meteoritos condríticos de Boynton (1984) (Figura 14C, E, G, I) e normalizadas segundo os valores para crosta inferior de Weaver & Tarney (1984) (Figura 14D, F, H, J), apresentam padrão de distribuição muito similar, assimétrico e paralelo, entre as análises das fácies.

Os diagramas de elementos terras raras (ETR) para as amostras do *Stock* São Miguel Arcanjo permitem a identificação de cinco fácies magmáticas distintas (fácies róseas e cinza) que caracterizam um magmatismo comagmático, com valores crescentes de elementos terras raras para as rochas mais diferenciadas e depleção de valores de Eu, das fácies róseas para cinza.

As rochas da fase inicial constituídas pelos litotipos da fácies rósea I - biotita-hornblenda-quartzo monzonito a granodiorito (Figura 14C, Tabela 5) são caracterizadas pelos valores de ETR (612.83 ppm) e o menor grau de fracionamento dos ETR [ $(La/Yb)_N = 25.44$ ], apresentando os maiores valores de Eu = 130.15 e fraca anomalia negativa para Eu, com [ $Eu/Eu^* = 0.47$ ]<sub>N</sub>. Os dados mostram assimetria observada entre a média dos elementos terras raras leves ETRL [ $Ce/Sm$ ]<sub>N</sub> = 2.98 comparado com os elementos terra raras pesadas ETRP [ $Gd/Yb$ ]<sub>N</sub> = 3.05, que indicam um conjunto de rocha analisadas pouco evoluído.

As rochas da fácies rósea II - biotita monzogranito com hornblenda porfirítico (Figura 14E, Tabela 5) são caracterizadas pelos valores de ETR (171.74 ppm) e o menor grau de fracionamento dos ETR [ $(La/Yb)_N = 55.19$ ], apresentando os maiores valores de Eu = 29.57 e fraca anomalia negativa para Eu, com [ $Eu/Eu^* = 0.02$ ]<sub>N</sub>. Os dados mostram assimetria observada entre a média dos elementos terras raras leves ETRL [ $Ce/Sm$ ]<sub>N</sub> = 4.26 comparado com os elementos terra raras pesadas ETRP [ $Gd/Yb$ ]<sub>N</sub> = 4.48.

As rochas das fácies rósea III - hornblenda - biotita monzogranito porfirítico (Figura 14G, Tabela 5) são caracterizadas pelos valores de ETR (348.48 ppm) e o menor grau de fracionamento



**Figura 14** - Diagramas de variograma de multielementos incompatíveis e Elementos Terras Raras para os litotipos do *Stock* São Miguel Arcanjo. Elementos incompatíveis normalizados: A) Valores para meteoritos condrícticos de Thompson (1982) e B) Valores da crosta inferior de Weaver & Tarney (1984), Elementos terras raras normalizados para meteoritos condrícticos de Boynton (1984) das fácies: C) Rósea I, E) Rósea II, G) Rósea III e IV, I) Cinza), Elementos terras raras normalizado pelos valores da crosta inferior de Weaver & Tarney (1984), D) Rósea I, F) Rósea II, H) Rósea III e IV, J) Cinza.

dos ETR  $[(La/Yb)_N = 29.86]$ , apresentando os maiores valores de  $Eu = 68.05$  e fraca anomalia negativa para  $Eu$ , com  $[Eu/Eu^* = 0.18]_N$ . Os dados mostram assimetria observada entre a média dos elementos terras raras leves ETRL  $[Ce/Sm]_N = 3.44$  comparado com os elementos terra raras pesadas ETRP  $[Gd/Yb]_N = 2.98$ .

As rochas da fácies rósea IV – monzogranito com biotita hornblenda porfirítico (Figura 14G, Tabela 5) são caracterizadas pelos valores de ETR (314.10 ppm) e o menor grau de fracionamento dos ETR  $[(La/Yb)_N = 10.40]$ , apresentando os maiores valores de  $Eu = 59.22$  e fraca anomalia negativa para  $Eu$ , com  $[Eu/Eu^* = 0.14]_N$ . Os dados mostram assimetria

observada entre a média dos elementos terras raras leves ETRL  $[Ce/Sm]_N = 3.55$  comparado com os elementos terra raras pesadas ETRP  $[Gd/Yb]_N = 1.22$ .

As rochas da fase final constituídas pelos litotipos da fácies cinza – hornblenda-biotita monzogranito cinza fino (Figura 14I e Tabela 5) são caracterizadas pelos valores de ETR (804.92 ppm) e o menor grau de fracionamento dos ETR  $[(La/Yb)_N = 12.78]$ , apresentando os maiores valores de  $Eu = 156.41$  e fraca anomalia negativa para  $Eu$ , com  $[Eu/Eu^* = 0.21]_N$ . Os dados mostram assimetria observada entre a média dos elementos terras raras leves ETRL  $[Ce/Sm]_N = 3.20$  comparado com os elementos terra raras pesadas ETRP  $[Gd/Yb]_N = 1.52$ .

## CONCLUSÕES

A região de ocorrência do *Stock* São Miguel Arcanjo está inserida no Bloco Cotia, no Terreno Apiaí e é constituída principalmente por rochas neoproterozoicas da unidade metavulcanossedimentar do Grupo Votuverava, pertencente ao Supergrupo Açungui.

As rochas intrusivas de composição granítica do *stock* constituem corpos mais diferenciados e relacionados à evolução da granitogênese do Batólito Granítico Agudos Grandes. O corpo granítico exposto apresenta cerca de 36 km<sup>2</sup>, disposto segundo a direção geral NE-SW resultante das deformações impostas pela Zona de Cisalhamento Taxaquara.

As rochas apresentam coloração rósea e cinza e são constituídas predominantemente por litotipos plutônicos hololeucocráticos de composição monzogranítica, granulação média a grossa, equi- a inequigranulares a porfiríticos e isotrópicas a localmente anisotrópicas. Rochas hololeucocráticas, equigranulares, de coloração cinza e granulação fina a média ocorrem localmente.

As rochas são constituídas por cinco variedades de fácies, definidas como biotita-hornblenda monzonito a granodiorito, biotita monzogranito com hornblenda porfirítico, hornblenda-biotita monzogranito porfirítico, monzogranito com biotita e hornblenda porfirítico e hornblenda-biotita monzogranito cinza fino, além de pegmatitos e aplitos.

A mineralogia é constituída por quartzo, microclínio, oligoclásio e albita recristalizada nas bordas, anfibólio (edenita e ferroedenita) e

biotita (flogopita e siderofilita). Sugere-se que as rochas foram originadas de fontes distintas, evidenciadas pela divisão dos minerais biotita e anfibólio em dois grupos bem distintos

Os minerais acessórios são caracterizados por titanita, apatita, rutilo, alanita, zircão e minerais opacos. Os minerais de alteração presentes são biotita, clorita, sericita, epidoto, turmalina, hidróxidos e óxidos de ferro.

As análises litogeoquímicas posicionaram as rochas do *stock* no intervalo amplo de 61 e 75% de SiO<sub>2</sub>, entre termos composicionais litológicos intermediários a ácidos. Para termos ácidos, a maioria das análises apresenta valores acima de 65% SiO<sub>2</sub>. As rochas com teores superiores a 70% SiO<sub>2</sub> representam os litotipos mais diferenciados do *stock*.

As rochas estão associadas às estruturas transtensivas da Zona de Cisalhamento Taxaquara, durante o final do evento colisional da Orogênese Ribeira, e caracterizam o arranjo final geotectônico de estabilização do Terreno Apiaí.

As litologias apresentam caráter peraluminoso e pertencem à série cálcio-alcalina de alto potássio a shoshonítica. Quanto à assinatura geoquímica, as rochas do *stock* São Miguel Arcanjo podem correlacionar-se a granitos tipo I Caledoniano, gerados em ambiente sin- com tendência a tardi- e pós-colisional de arco vulcânico continental, tendo sua gênese durante e a conclusão de sua diferenciação no final do evento colisional do Arco Magmático Ribeira.



## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio à bolsa de Iniciação Científica, proc. nº: 101120/2024-9.

## REFERÊNCIAS

- ALGARTE, J.P.; MARTINS, A.J.M.; MORGENTHAU, A.; DAITX, E.C.; ANDRADE Jr, F.S.; BATOLLA Jr, F.; FERREIRA, F.J.F.; PINTO, G.G.; CUNHA, H.C.S.; DRUMOND, J.B.V., RODRI-GUES, J.C.; YAMAMOTO, K.; KAEFER, L.Q.; CHIEREGATI, L.A.; PINHO FILHO, W.D.; ADDAS, W. **Projeto Sudeste do Estado de São Paulo**. Relatório Final. São Paulo: DNPM/ CPRM, 1973.
- ALMEIDA, F.F.M. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro: **Boletim DNPM/DGM**, v. 241, 38 p., 1967.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, 1977, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Sociedade Brasileira de Geologia, 1977, p. 363-391
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S.; BISTRICH, C.A. **Mapa Geológico do estado de São Paulo em escala 1:500.000**. Nota explicativa. São Paulo, IPT, Monografias 6, v. 1, 126 p., 1981.
- BASEI, M.A.S.; SIGA JUNIOR, O.; KAULFUSS, G.A.; CORDEIRO, H.; NUTMAN, A.; SATO, K.; CURY, L.F.; PRAZERES FILHO, H.J.; PASSARELLI, C.R.; HARARA, O.M.; REIS NETO, J.M.; WEBER, W. "Geochronology and isotope geochemistry of Votuverava and Perau Mesoproterozoic Basins, Southern Ribeira Belt, Brazil". In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY (Short Papers), IV, 2003, São Paulo. **Expanded Abstract...**São Paulo: USP-IG, 2003.
- PRAZERES FILHO, H.J. **Caracterização geológica e petrográfica do Batólito Granítico Três Córregos (PRSP): geoquí-mica isotópica (Nd-Sr-Pb), idades (IDTIMS/SHRIMP) e  $\delta^{18}O$  em zircão**. São Paulo, 2005. 207 p. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- BATCHELOR, R.A. & BOWDEN, P. Petrogenetic interpretation of granitic rock series using multicationic parameters. **Chemical Geology**, v. 48, n. 1, p. 43-55, 1985.
- BETTENCOURT, I.; FULFARO, V.J.; GIRARDI, V.A.V.; PETRI, S. Geologia da Folha de Capão Bonito, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, 1971, São Paulo. **Boletim de Resumos...**São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971, p. 94.
- BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L.; PONÇANO, W.L.; CAMPANHA, G.A.C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M.A.; STEIN, D.P.; MELO, M.S.; CREMINI, O.A. **Mapa geológico do Estado de São Paulo em 1: 500.000**. IPT/Pró-Minério, São Paulo, v. 2, 1981.
- BOYNTON, W.V. Geochemistry of the rare Earth elements: meteorite studies. In: HENDERSEN, P. (Org.). **Rare earth element geochemistry**. Elsevier Amsterdam, p. 63- 114, 1984
- CAMPANHA, G.A.C. **Tectônica Proterozoica no Alto e Médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná**. São Paulo, 1991. 296 p. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo.
- CAMPANHA, G.A.C. **O papel do sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira**. São Paulo, 2002. 105 p. Tese (Livre-Docência), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- CAMPANHA, G.A.C. & SADOWSKI, G.R. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apiá Domain). **Precambrian Research**, v. 98, p. 31-51, 1999.
- CAMPANHA, G.A.C.; FALEIROS, F.M.; BASEI, M.A.S.; TASSI-NARI, C.C.G.; NUTMAN, A.P.; VASCONCELOS, P.M. Geoche-mistry and age of mafic rocks from the Votuverava Group, southern Ribeira Belt, Brazil: Evidence for 1490 Ma oceanic back-arc magmatism. **Precambrian Research**, v. 266, p. 530-550, 2015.
- CHIEREGATI, L.A.; SILVA, A.A.G.P.; OSTAFIUC, G.B.; MOTA FILHO, J.; ALEGRI, V.; SILVA, V.A.; SILVA, M.E.; FRANCISCONI, Ó.; YAMATO, A.A.; ALGARTE, J.P.; CÓ, A.E O.; MINORELLI, D.; GOUVEIA, J.C.; SHIMAMOTO, R.Y. **Projeto Integração Geológica da Região Metropolitana de São Paulo. Relatório de Integração Geológica**. Relatório Final. São Paulo: CPRM, 1991.
- CORDANI, U.G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; BASEI, M.A.S. Crustal evolution of the South American platform. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds.) **Tectonic Evolution of South America**, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2000, p. 19- 40.
- CPRM-Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto Agudos Grandes: relatório preliminar de pesquisa**, DNPM nº 820.802/85. São Paulo: CPRM, 29 p., 1989.
- DALL'AGNOL, R. & OLIVEIRA, D.C. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites. **Lithos**, v. 93, p. 215-233, 2007.
- DEBON, F. & LE FORT, P. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. **Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences**, v. 73, n. 1, p. 135-149, 1983.
- DEBON, F.; LE FORT, P.; SABATÉ, P. Uma classificação química-mineralógica das rochas plutônicas comuns e suas associações, método e aplicações. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 18, n. 2, p. 122-133, 1988.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. **Rock forming minerals**. Londres, Longman, 558 p., 1963.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. **An introduction to the rock-forming minerals**. Harlow, Essex, England: New York, NY: Longman Scientific & Technical, 696 p., 1992.
- EL BOUSEILY, A.M. & EL SOKKARY, A.A. The Relation between Rb, Ba and Sr in Granitic Rocks. **Chemical Geology**, v. 16, n. 1, p. 207-219, 1975.
- FALEIROS, F.M. **Evolução de terrenos tectono-metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR)**. São Paulo, 306 p., 2008. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências- Universidade de São Paulo.
- FARIA, G.L. & GODOY, A.M. Rochas Graníticas Tipo-S do Stock Pilar do Sul, sudeste do Estado de São Paulo. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 43, n. 1, p. 127 - 155, 2024
- FIORI, A.P. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui, PR. **Boletim IG-USP. Série Científica**, v. 23, p. 55-74, 1992.
- FIORI, A.P. Evolução geológica da bacia Açungui. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 42, p. 7-27, 1994.
- FROST, B.R.; BARNES, C.G.; COLLINS, W.J.; ARCULUS, R.J.; ELLIS, D.J.; FROST, C.D.A. Geochemical Classification for Granitic Rocks. **Journal of Petrology**, v. 42, n. 11, p. 2033-2048, 2001.
- GODOY, A.M. **Caracterização Faciológica, Petrográfica e Geoquímica dos Maciços Sorocaba e São Francisco, SP**. São Paulo, 1989. 221 p. Tese (Doutorado), Instituto de

- Geociências-Universidade de São Paulo.
- GODOY, A.M. **Estudos Geológicos das Rochas Granitoides e Metamórficas e suas Aplicações como Rochas Ornamentais e de Revestimento**. Rio Claro, 2003. 243 p. Tese (Livre Docência), Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista.
- GODOY, A.M.; VIEIRA, O.A.R.P.; ARAÚJO, L.M.B.; GODOY, D.F. Geologia, Geoquímica e Química Mineral dos *Stocks* Graníticos *Rapakivi* Campina do Veado e Santa Blandina, sudoeste do estado de São Paulo. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 40, n. 2, p. 307-338, 2021.
- HARKER, A. **The Natural History of Igneous Rocks**. London, Methuen, 384 p., 1909.
- HARRIS, N.B.W.; PEARCE, J.A.; TINDLE, A.G. Geochemical characteristics of collision zone magmatism. In: COWARD, M.P., RIES, A.C. (Eds.). **Collision Tectonics**. Geological Society of London. Special Paper, v. 19, p. 115-158, 1986
- HASUI, Y. **Tectônica da área das Folhas de São Paulo e Pilar do Sul, São Paulo**. São Paulo. 1973. 190 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- HASUI, Y. A grande Colisão Pré-Cambriana do Sudeste brasileiro e a Estruturação Regional. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 29, n. 2, p. 141-169, 2010.
- HASUI, Y. Sistema Orogênico Mantiqueira. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.A.; BARTORELLI, A. (Org.) **Geologia do Brasil**. São Paulo, Beca, p. 331- 372, 2012.
- HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. Evolução Geológica do pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 6, p. 182 – 200, 1976.
- HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A.F. Província Mantiqueira. Setor Central. In: ALMEIDA, F.F. & HASUI, Y. (Eds). **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo, p. 308-344, 1984.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. Os Granitos e Granitoides da Região de Dobramentos Sudeste nos Estados de São Paulo e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. **Anais...**Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 1978, p. 2579-2593
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. The Ribeira Folder Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 4, p. 257-266, 1975.
- HASUI, Y.; TASSINARI, C.C.G.; SIGA JÚNIOR, O.; TEIXEIRA, W.; ALMEIDA, F.F.M.D.; KAWASHITA, K. Datações Rb-Sr e K-Ar do centro-norte do Brasil e seu significado geológico-geotectônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Balneário de Camboriú, 1980. **Anais...** Balneário de Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1980, v. 5, p. 2659-2667.
- HEILBRON, M.; SOARES, A.C.P.; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.A. Província Mantiqueira. In: **Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Ed. DECA, 2004, p. 203-234.
- HENNIES, W.T.; HASUI, Y.; PENALVA, F. O Falhamento Transcorrente de Taxaquara. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 21, 1967, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 1967. p. 159-168
- JANASI, V.A.; LEITE, R.J.; VAN SCHMUS, W.R. U-Pb chronostratigraphic of the granitic magmatism in the Agudos Grandes Batholith (west of São Paulo, Brazil) - implications for 142 the evolution of the Ribeira Belt. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, p. 363-376, 2001.
- KRETZ, R. Symbols for rock-forming minerals. **American mineralogist**, v. 68, n. 1-2, p. 277-279, 1983.
- LAMEYRE, J. & BOWDEN, P. Plutonic rock types of series: Discrimination of various granitoids series and related rocks. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 14, n. 1-2, p. 169-186, 1982.
- LEAKE, B.E.; WOOLEY, A.R.; ARPS, C.E.S.; BIRCH, W.D.; GILBERT, M.C.; GRICE, J.D.; HAWTHORNE, F.C.; KATO, A.; KISCH, H.J.; KRIVOVICHEV, V.G.; LINTHOUT, K.; LAIRD, J., MANDARINO, J.A.; MARESCH, W.V.; NICKEL, E.H.; ROCK, N.M.S.; SCHUMACHER, J.C., SMITH, D.C.; STEPHENSON, N.C.N.; UNGARETTI, L.; WHITTAKER, E.J.W.; YOZHI, G. Nomenclature of amphiboles: Report of Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association. Commission on New Minerals and Mineral Name. **American Mineralogist**, v. 82, p. 1019-1037, 1997.
- LEITE, R.J. **Petrogênese e geocronologia U-Pb do magmatismo granítico tardi a pós-orogênico no Batólito Agudos Grandes-SP**. São Paulo, 2003. 218 p. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- LEITE, J. Jr.; HEAMAN, L.M.; JANASI, V.A.; MARTINS, L.; CREASER, R.A. The late- to pos-orogenic transition in the Neoproterozoic Agudos Grandes Granite Batholith (Apiá Domain, SE Brazil): Constraints from geology, mineralogy, and U-Pb geochronology. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 23, p. 193-212, 2007.
- MANIAR, P.D. & PICOLLI, P.M. Tectonic Discrimination of Granitoids. **Geological Society of America Bulletin**, v. 101, p. 635-643, 1989.
- MIDDLEMOST, E.A.K. **Magma and magmatic rocks: An Introduction to Igneous Petrology**. Longman, 266 p., 1985
- PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B.W.; TINDLE, A.G. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. **Journal of Petrology**, v. 25, n. 1, p. 956-983, 1984.
- PERROTTA, M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; FOMES, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, J.V. **Mapa geológico do Estado de São Paulo, 1:750.000**. Programa Geologia do Brasil, CPRM, São Paulo, 2005.
- PITCHER, W.S. Granite type and tectonic environment. In: HSU KENETH, J. (ed.) **Mountain building processes**. Acad. Press. London. cp. I- 3, p. 19-40, 1983
- SILVA, A.T.S.F.; CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K.; PINHO FILHO, W. D. **Projeto Santos - Iguape; relatório final de geologia**. São Paulo, convênio DNPM/CPRM, 1977.
- SILVA, A.T.S.F.; FRANCISCONI, O.; GODOY, A.M.; BATOLLA Jr, F. **Projeto integração e detalhe geológico no vale do Ribeira: Relatório Final de integração geológica**. São Paulo: DNPM/CPRM, 1981.
- SPEER, J.A. Micas in igneous rocks. In: BAILEY S.W. (eds.) **Micas**. Review in Mineralogy, 13, Washington, Mineralogical Society of America, p. 299-356, 1984.
- STRECKEISEN, A. To each plutonic rock its proper name. **Earth-Science Reviews**, v. 12, p. 1-33, 1976.
- TASSINARI, C.C.G. **As Idades das Rochas e dos Eventos Metamórficos da Porção SE do Estado de São Paulo e sua Evolução Crustal**. São Paulo, 1988. 236 p. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- TASSINARI, C.C.G.; BARBOUR, A.P.; DAITX, E.C.; SATO, K. Aplicação dos isótopos de Pb-Sr na determinação da natureza das fontes das mineralizações de chumbo do Vale do Ribeira - SP e PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. Natal, 1990. **Anais...**Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, n. 3, p. 1254-1266, 1990.
- TAYLOR, W.P. Intrusion and differentiation of granitic magma at high level in the crust: The Puscao Pluton, Lima Province, Peru. **Journal of Petrology**, v. 17, n. 2, 194-218, 1976.
- THOMPSON, R.N. Magmatism of the British Tertiary volcanic province. **Journal of Geology**, v. 18, n. 1, p. 49- 107, 1982.
- VLACH, S.R.F.; JANASI, V.A.; VASCONCELLOS, A.C.B.C. The Itú Belt: associated calc alkaline and aluminous a-type

- late Brasiliano granitoids in the states of São Paulo and Paraná, southern Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. **Anais...**Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 4, p. 1700-1711, 1990.
- WEAVER, B. & TARNEY, J. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. **Nature**, v. 310, n. 1, p. 575-577, 1984.
- WERNICK, E.; GALEMBECK, T.M.B.; GODOY, A.M.; HERMANN, P.K. Geochemical variability of the Rapakivi Itu Province, State of São Paulo, SE Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 69, n. 3, p. 395-413, 1997.
- WERNICK, E. The Pluriserial Ribeira Magmatic System 590, SE/S Brazil and Uruguay. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, SP, v. 28, n. 4, p. 533-542, 1998.
- WERNICK, E. Arc-related Rapakivi Granites from the Ribeira Fold Belt, SE Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 20-24, 2000.
- WHALEN, J.W.; CURRIE, K.L.; CHAPPEL, B.W. A-Type Granites: Geochemical Characteristics, Discrimination and Petrogenesis. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 95, p. 407-419, 1987.

*Submetido em 25 de setembro de 2024*

*Aceito para publicação em 19 de novembro de 2024*