

MAGMATISMO DA SERRA DA ALEGRIA, GRUPO AMONGUIJÁ, MACIÇO RIO APA SUDOESTE DO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL.

Antonio Misson GODOY¹, Jefferson Cassu MANZANO², Larissa Marques Barbosa de ARAÚJO³, Laís Paciência GODOY¹

(1) Departamento de Petrologia e Metalogenia- IGCE- UNESP- Univ. Estadual Paulista. Av. 24A, 15151-Bela Vista, CEP. 13 506-900-Rio Claro (SP), Brasil. Endereço eletrônico: mgodoy@rc.unesp.br.

(2) Programa de Pós-Graduação em Geociências- IGCE- UNESP- Univ. Estadual Paulista. Endereços eletrônicos: manzanojc@gmail.com; lais_godoy@hotmail.com.

(3) Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável – UFBA. Rua Prof. José Seabra, s/n, Barreiras (Ba), Brasil. Endereço eletrônico: larissamarquesba@gmail.com.

Introdução
Geologia regional
Geologia local e petrografia
Litogeoquímica
Conclusões
Agradecimentos
Referências bibliográficas

RESUMO - As rochas paleoproterozóicas da sequência magmática da Serra da Alegria estão inseridas no Maciço Rio Apa, no sudoeste do estado do Mato Grosso do Sul. Constituem o segmento norte do Batólito Alumiador e são associadas às rochas da Suíte Plutônica Alumiador do Grupo Amonguijá. Na serra ocorrem duas sequências magmáticas contemporâneas e diferenciadas: uma de composição básica-ultrabásica, de ocorrência marginal e a outra, de composição intermediária-ácida, de ocorrência central. Na parte sul e oeste, dos sopés das escarpas da serra, dominam as rochas constituídas por magnetita gabros, quartzo gabros a leuco gabros, pegmatitos básicos e anortositos. Na região central dominam as rochas de composição monzonítica a monzogranítica, vermelhas, inequigranulares de granulação fina a média, localmente microporfiríticas, granofíricas e isotrópicas. A evolução do magmatismo da Serra da Alegria é possivelmente representada pela interação de magmas máficos e félsicos envolvidos em processos de misturas magmáticas, um de composição subalcalina gerado por derivação mantélica e associado a intensos processos de segregação magmática e, o outro, de composição cálcio-alcalina de alto potássio gerado a partir da fusão de rochas da crosta inferior. São rochas sin-colisionais de um dos eventos ígneos do Arco Magmático Amonguijá.

Palavras-Chave: Litogeoquímica, Grupo Amonguijá, Suíte Plutônica Alumiador, Serra da Alegria.

ABSTRACT - The Paleoproterozoic rocks of the magmatic sequence of Serra da Alegria are inserted in the Apa Massif in the southwest of Mato Grosso do Sul state. Constitute the north segment of Alumiador Batholith and are associated to the Alumiador Plutonic Suite of the Amonguijá Group rocks. In the Serra da Alegria Range occur two differentiated and contemporary magmatic sequences: one with basic-ultrabasic composition and marginal occurrence, and another with acidic-intermediate composition in the central portion. On the west and south portions, the foothills of the escarpment of the sierra, dominate the rocks constituted of magnetite gabbros, quartz gabbros and leuco gabbros, basic pegmatites and anortosites. In the central region dominate reddish rocks with the monzodioritic and monzogranitic composition, inequigranular of middle to fine grained, micro porphyritic locally isotropic and granophyric. The magmatic evolution the Serra da Alegria is possibly represented by an interaction of felsic and mafic magmas involved in magmatic mixing processes, one which subalkaline composition generated by mantle derivation and associated with intense magmatic segregation processes and, the other, with calcium-alkaline composition of high potassium generated from the melting of lower crustal rocks. They represent sin-collisional rocks of one of the igneous events of Amonguijá Magmatic Arc.

Keywords: lithogeochemistry, Amonguijá Group, Alumiador Plutonic Suite, Serra da Alegria.

INTRODUÇÃO

O Maciço Rio Apa corresponde à porção extremo sul do Cráton Amazônico no extremo sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul. O maciço é composto pelas rochas do Complexo Rio Apa, do Grupo Alto Tererê e do Grupo Amonguijá, constituído pelas suítes Plutônica Alumiador e Vulcânica Serra da Bocaina. A leste do maciço afloram as rochas das sequências metavulcano-sedimentares da Faixa

de Dobramento Paraguai, constituídas pelos grupos Cuiabá e Corumbá e, a oeste e norte, ocorre o domínio das coberturas recentes da Bacia Sedimentar do Pantanal.

As rochas da Suíte Plutônica Alumiador afloram no município de Porto Murtinho e constituem o Batólito Alumiador que apresenta forma alongada segundo a direção N-S e seccionado por falhamentos de direção NW, o

que permite compartimentá-lo em quatro segmentos principais de serra (Figura 1A) e o mapa geológico (Figura 1B). O segmento sul é denominado de Serra da Esperança, os centrais de Serra de Alumiador e Serra do Catimbaté e o do norte de Serra da Alegria.

O principal trabalho geológico e geoquímico específico das ocorrências litológicas da Sequência Magmática da Serra da Alegria em escala de 1: 100.000, foi realizado na parte extremo sul da serra por Silva (1998). Estas ocorrências foram descritas no Mapa Geológico do estado do Mato Grosso do Sul em escala 1: 1.000.000 por Lacerda Filho et al. (2006), nos trabalhos de cunho geológico e geoquímico de Godoy et al. (2006, 2009a, b, 2010) e Manzano

et al. (2008, 2012) (Figura 1B) e trabalhos com enfoque geocronológico são devidos a Lacerda Filho et al. (2006), Silva et al. (2008) e Cordani et al. (2010).

Este trabalho tem o propósito de apresentar os dados resultantes da investigação geológica, petrográfica e geoquímica, com enfoque principalmente das rochas da Sequência Magmática da Serra da Alegria, fundamental à compreensão da evolução petrogenética e do ambiente tectônico deste importante episódio magmático, que constitui em um dos últimos eventos magmáticos acrescionários paleoproterozóicos associados à construção do Arco Magmático Amonguijá.

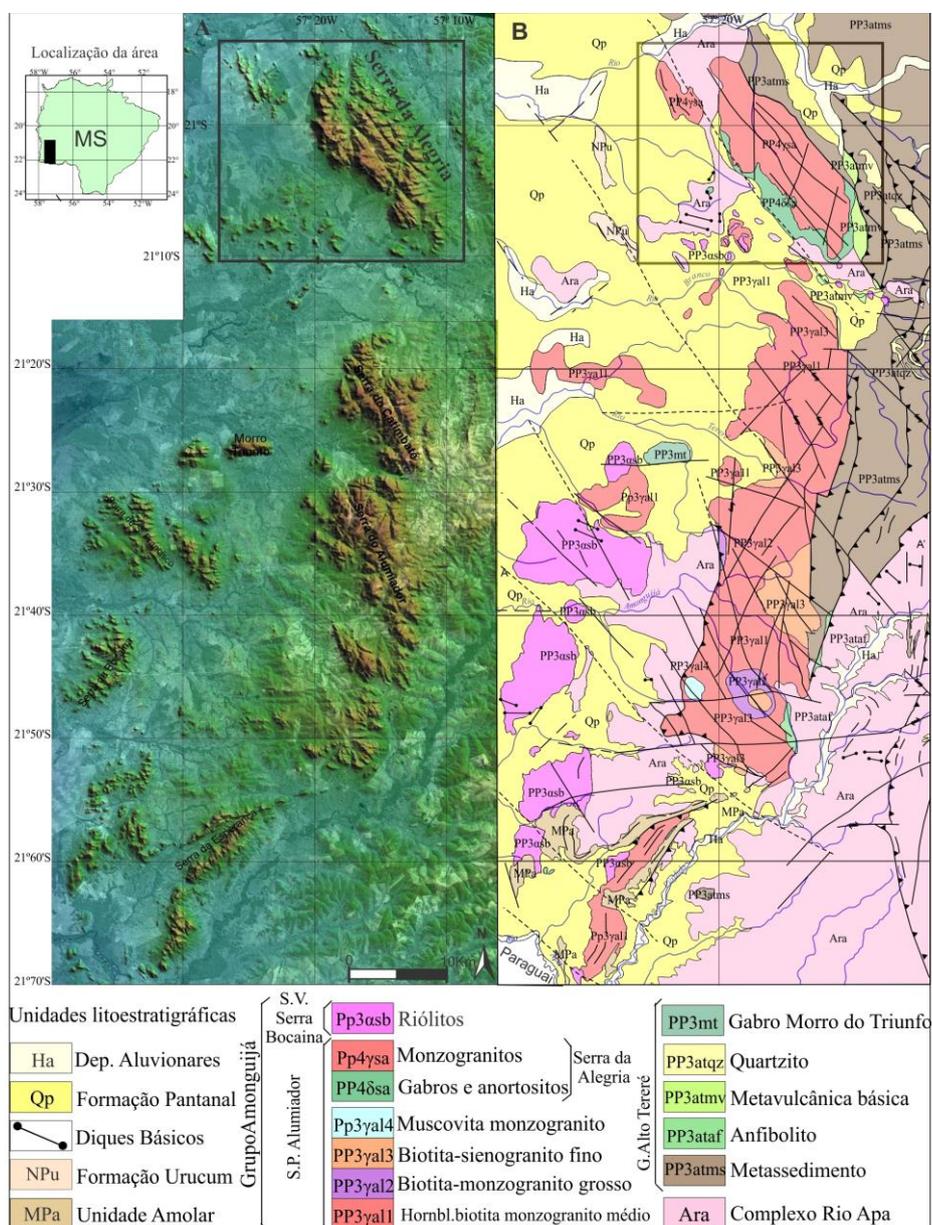


Figura 1. A) Modelo digital de terreno do Batólito Alumiador - Serra da Alegria. B) Mapa geológico com as principais litologias da área (mod. Godoy et al., 2009).

GEOLOGIA REGIONAL

As unidades litoestratigráficas que afloram no Maciço Rio Apa estão definidas pelo Complexo Rio Apa, Grupo Alto do Tererê e Grupo Amonguijá (Godoi et al., 2001), terminologias que serão utilizadas neste trabalho. Lacerda Filho et al. (2006), a partir de interpretações propostas para o Maciço Rio Apa, no sentido geocronológico, denomina esta associação de rochas de Província Rio Apa e a subdivide em três compartimentos geotectônicos distintos: Remanescente de Crosta Oceânica (2,2-1,95 Ga), Arco Magmático Rio Apa (1,95-1,87 Ga), Arco Magmático Amonguijá (1,87-1,75 Ga) e Intrusivas Básicas (1,78 Ga).

A unidade ortoderivada mais antiga do Maciço Rio Apa é constituída predominantemente por hornblenda-biotita gnaisses e, foi definida por Corrêa et al. (1976) como Complexo Basal e, posteriormente, por Araújo et al. (1982) e Godoi et al. (2001), como Complexo Rio Apa.

O Complexo Rio Apa é a unidade individualizada mais antiga na área e é composta por gnaisses e migmatitos ortoderivados de composição ácida a tonalítica, que constituem o Arco Magmático Rio Apa, além de raros anfíbolitos. A presença de intercalações tectônicas de rochas orto- e paraderivadas, sugere-se a sua correlação a um cinturão metamórfico, mais antigo ou contemporâneo, denominado de Cinturão Metamórfico Rio Apa (Godoy et al., 2009a).

Lacerda Filho et al. (2006) utilizam-se do termo Complexo Rio Apa para as rochas pertencentes ao Arco Magmático Rio Apa e apresentam resultados de datações U-Pb em zircões com idade de 1,94 Ga, idade modelo T_{DM} de 2,57 Ga e valores de $\epsilon Nd(t)$ negativos (-6). Cordani et al. (2010) a partir de gnaisses apresentaram resultados de datação U-Pb em zircões com idade de 1,95 Ga, idade modelo T_{DM} de 2,50 Ga e fortes valores de $\epsilon Nd(t)$ negativos (-4,72 a -5,97).

Corrêa et al. (1976) denomina ao conjunto de rochas paraderivadas que ocorrem superior ao Complexo Basal de Associação Metamórfica do Alto Tererê. Godoi et al. (2001) consideram a esta associação, independente do Complexo do Rio Apa e, a denominam de Grupo Alto

Tererê e sendo constituído pelas unidades metavulcânica básica e a metassedimentar, caracterizada por biotita gnaisses fino, micaxistos, quartzitos e gnaisses comumente granatíferos.

Lacerda Filho et al. (2006) adotam o termo Grupo Alto Tererê e consideram a sequência metavulcano-sedimentar como pertencente ao compartimento geotectônico Remanescente de Crosta Oceânica, constituindo a unidade mais antiga da área e apresentando para as rochas metabásicas idade modelo T_{DM} de 2,26 e 2,28 Ga, consideradas próximas às idades de cristalização. Cordani et al. (2010), em gnaisses associados ao Grupo Alto do Tererê, apresentam idade U-Pb de 1,95 Ga, idade modelo T_{DM} de 2,26 Ga e valores de $\epsilon Nd(t)$ positivos (+0,09 a +1,09).

Segundo Godoy et al. (2009a) esta associação é constituída predominantemente por rochas paraderivadas, associadas às metabásicas em menores proporções, definindo uma sequência metavulcano-sedimentar em fácies xisto verde alta a anfíbolito baixa, mais jovens que as rochas do Complexo Apa e constituem uma faixa móvel acrescionária ao Arco Magmático Rio Apa denominada de Cinturão de Dobramento Alto do Tererê.

O Grupo Amonguijá, segundo Corrêa et al. (1976), constitui um conjunto plutono-vulcânico ácido subdividido em rochas intrusivas graníticas e micrograníticas do Complexo Basal e rochas vulcânicas ácidas no conjunto de Intrusivas e Extrusivas Ácidas. Nogueira et al. (1978) utiliza o termo Intrusivas Ácidas para este conjunto de rochas. Schobbenhaus & Soares (1979) e Correia Filho et al. (1981) denominam o conjunto plutono-vulcânico de Complexo Amonguijá.

Araújo et al. (1982) propuseram o termo Suíte Intrusiva Alumiador para designar as rochas plutônicas graníticas e, mais raramente, subvulcânicas. Apresentam idades Rb-Sr de 1.600 ± 40 Ma com razão inicial $Si^{87}-Si^{86}$ de $0,707 \pm 0,004$, interpretada como a idade de cristalização das rochas do batólito ígneo, cuja derivação do magma parental é atribuída à refusão de rochas crustais, ou de magmas diferenciados do manto que sofreram contaminação na ascensão.

O conjunto de rochas da Suíte Intrusiva Alumiador e da Suíte Vulcânica Serra da Bocaina foi denominado de Supersuíte Amonguijá (Godoi & Martins, 1999) e de Grupo Amonguijá (Godoi et al., 2001). Lacerda Filho et al. (2006) denominam de Suíte Amonguijá, subdividida em Granito Alumiador e Vulcânicas Serra da Bocaina, constituindo as rochas do Arco Magmático Amonguijá. Silva et al. (2007) definem a Suíte Amonguijá, subdividida em rochas plutônicas como Unidade Alumiador e em rochas vulcânicas como Unidade Serra da Bocaina.

A Suíte Plutônica Alumiador aflora no Batólito Alumiador, que é composto por rochas isotrópicas a fracamente anisotrópicas, leucocráticas, de coloração cinza a rósea, cálcio-alcálicas de alto potássio a shoshonítica, peraluminosas a metaluminosas e constituída por granitos sin- colisionais de arco magmático a pós- colisionais de ambiente de intraplaca (Godoy et al., 2006).

As fácies plutônicas compreendem idade U-Pb em zircão de 1,86 Ga, idade modelo T_{DM} 2,17 Ga e valores de $\epsilon Nd(t)$ negativos (- 0,68), que apontam para um arco juvenil de margem continental com pouca participação de material crustal (Lacerda Filho et al., 2006 e Silva et al., 2007).

Cordani et al. (2010) apresentam resultados U-Pb com idade de 1,84 Ga, idades modelo T_{DM} de 2,50 Ga e valores de $\epsilon Nd(t)$ negativos (- 2,86 a - 5,91), sugerindo uma assinatura isotópica para os protólitos intrusivos com forte participação de material crustal.

O segmento norte do Batólito Alumiador é descrito como Intrusão Diferenciada Gabro-Anortosito-Granofírica da Serra da Alegria por Silva (1998), petrograficamente distinto dos demais segmentos e constituído por granitos, granófiros, gabros, anortositos e ultrabásicas, caracterizando uma série magmática diferenciada com estruturas típicas de complexos estratiformes.

Lacerda Filho et al. (2006) e Silva et al.

(2008) denominam estas rochas de Intrusão Gabro-Anortosítica Serra da Alegria e as excluem do Batólito Alumiador. São agrupadas em corpos máficos toleíticos continentais das Intrusivas Básicas, em razão da idade U-Pb de zircão de 1,79 Ga nos anortosito, idade modelo T_{DM} de 2,51 Ga e valores de $\epsilon Nd(t)$ negativos (- 2,89 a - 4,32), sugestivos de forte contaminação crustal. Cordani et al. (2010) caracterizando os anortositos apresentam idade U-Pb em zircão de 1,8 Ga, idade modelo T_{DM} de 2,50 a 2,64 Ga e valores de $\epsilon Nd(t)$ negativos (- 3,21 a - 4,31).

Godoy et al. (2009a, b) apresentam o magmatismo da Serra da Alegria como um evento distinto, mas contemporâneo aos segmentos central e sul. A idade de 1,78 Ga para as rochas máficas encontra-se perfeitamente concordância com um evento contemporâneo associado ao conjunto ácido.

As rochas vulcânicas da Suíte Vulcânica Serra da Bocaina foram descritas inicialmente como quartzo pórfiros do Amonguijá por Almeida (1964). Segundo Araújo et al. (1982) esta suíte é composta por rochas metavulcânicas de baixo grau, ácidas a intermediárias. Godoi et al. (2001) as classificam como rochas vulcânicas a vulcanoclásticas ácidas, incluindo dacitos, riódacitos, riólitos.

A Suíte Vulcânica Serra da Bocaina (Godoy et al., 2009a, 2010 e Manzano et al., 2008) é constituída por riólitos e variados produtos piroclásticos de composições cálcio-alcálica de alto potássio, peraluminoso e formados em ambiente sin- colisionais de arco magmático.

Lacerda Filho et al. (2006) apresentam para as rochas metavulcânicas idade U-Pb de 1,79 Ga, idade modelo T_{DM} 2,26 Ga e valores de ϵNd negativos (- 2,0). Cordani et al. (2010) em riódacitos indicam idade U-Pb em zircões de 1,8 Ga, idade modelo T_{DM} de 2,26 Ga e valores de $\epsilon Nd(t)$ negativos (- 2,04), o que sugere uma assinatura isotópica do protólito magmático com participação de material crustal.

GEOLOGIA LOCAL E PETROGRAFIA

As rochas da Suíte Plutônica Alumiador afloram no Batólito Alumiador a oeste dos contrafortes da Serra da Bodoquena, constituindo porções de relevos residuais do

Planalto da Bodoquena, inseridas no Domínio da Depressão do Rio Paraguai.

O Batólito Alumiador é caracterizado por um corpo alongado segundo a direção geral N-

S, com exposição da ordem de 180 km². Encontra-se seccionado por zonas transcorrentes com direção predominante NW-SE. Estas zonas permitem a sua compartimentação em quatro grandes segmentos. O segmento sul é denominado de Serra da Esperança, o central, de Serra

Alumiador e Serra do Catimbaté e o do norte, a Serra da Alegria. O mapa geológico apresenta as distribuições das unidades litológicas da Serra da Alegria (Figura 2), mantendo as subdivisões e as terminologias propostas por Godoi et al. (2001).

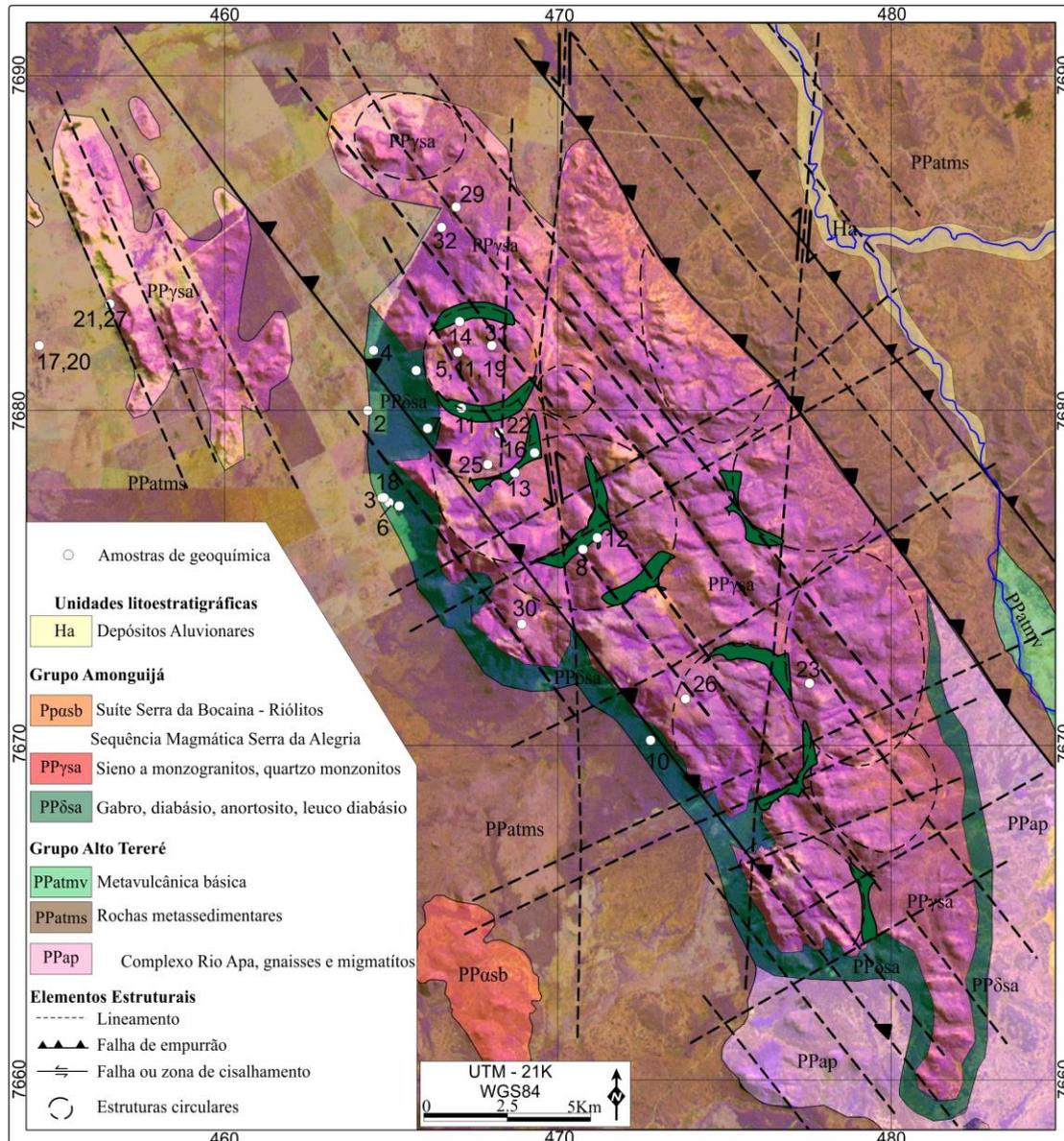


Figura 2. Mapa geológico da Serra da Alegria, sobreposto ao modelo digital de terreno SRTM.

A unidade mais antiga da área é o Complexo Rio Apa, constituído por hornblenda-biotita gnaisses, gnaisses migmatíticos e migmatitos ortoderivados de composição granítica a tonalítica, além de raros anfibolitos e metagranitóides, interdigitados tectonicamente e constituindo-se nas principais variações litológicas do Arco Magmático Rio Apa.

Os gnaisses são rochas leucocráticas de granulação fina a média e podem ser

distinguidos pelas colorações róseas e cinzas, comumente apresentando porfiroclastos centimétricos de feldspato potássico. A estrutura migmatítica encontra-se localmente preservada, mas frequentemente dominam as estruturas gnáissicas, resultado da forte transposição tectônica marcada pela alternância de leitos submilimétricos compostos por hornblenda, biotita e clorita.

Os contatos desta unidade com as rochas

suprajacentes podem ser normais ou tectônicos por meio de falhas de empurrão/inversas, com vergência para oeste a partir de cinturões de cavalgamento, colocando-a, por vezes, sobre as rochas do Grupo Alto Tererê e Amonguijá.

O Grupo Alto Tererê ocorre em exposições na forma de pequenas elevações que se destacam na paisagem nas áreas inundáveis da Planície Pantaneira. Esta unidade metavulcano-sedimentar constitui o Cinturão de Dobramento Alto do Tererê, composto por granada micaxistos e quartzitos micáceos e raramente por biotita gnaisses finos a gnaisses. Em menores proporções rochas metavulcânicas máficas, contituídas por anfíbolitos, anfíbólio xistos e clorita xistos, além das rochas metabásicas do Morro do Triunfo. São rochas comumente granatíferas em fácies xisto verde alta a anfíbolito baixa e evidenciam transporte de SE-NW a E-W, marcado por uma foliação de empurrão destas unidades sobre as rochas do Grupo Amonguijá.

As rochas do Grupo Amonguijá constituem os litotipos do Arco Magmático Amonguijá e são caracterizadas por um conjunto plutono-vulcânico de natureza ácida, definido pela Suíte Plutônica Alumiador e Suíte Vulcânica Serra da Bocaina. Os segmentos sul e centrais do batólito compreendem basicamente a Suíte Plutônica Alumiador, caracterizada por quatro tipos petrográficos principais: a fácies hornblenda-biotita sieno- monzogranito médio, biotita sieno- monzogranito grosso, biotita monzogranito gráfico e moscovita monzogranito.

São litotipos leucocráticos com variedades desde hololeucocrático a localmente melagranitóides, de coloração variando em tons de cinza, mas predominando a coloração rósea a vermelha. Localmente apresentam enclaves centimétricos de composições dioríticas e granodioríticas. As texturas são porfiríticas e inequigranulares grossas, mas também são comuns termos litológicos aplíticos e pegmatóides.

As rochas são isotrópicas a levemente foliadas, mas às vezes apresentam uma orientação de fluxo magmático. Esta foliação se expressa principalmente nas áreas marginais ao batólito, associado às zonas de falhas de empurrão, responsável pelo cavalgamento, e inversão tectônica das unidades mantendo o

transporte tectônico para NW em direção ao Rio Paraguai ou restrita às zonas de cisalhamento NW-SE, como um processo evolutivo deformacional final, em níveis mais rasos.

O segmento norte denominado de Serra da Alegria, constitui-se na principal elevação exposta dentro dos sedimentos quaternários da Bacia do Pantanal e ocorre orientado segundo a direção NW. Sua ocorrência é marcada no contato oeste, por um relevo escarpado, definido pelos contrafortes erosivos da Serra da Alegria (Figura 3A), conseqüente reativação dos falhamentos de direção NW. Já o contato leste encontra-se com relevo menos íngreme e parcialmente recoberto pelos sedimentos da Bacia do Pantanal, que gradam em direção da serra principal.

Quanto à segmentação espacial apresentada pelas rochas do Batólito Alumiador, o segmento norte, a Serra da Alegria, apresenta uma evolução distinta e independente em razão das diferenças de composições, texturas e evoluções, além da ausência de correlações de campo, mas constituindo um evento magmático contemporâneo aos demais segmentos do batólito.

A evolução do magmatismo da Serra da Alegria é representada por duas séries magmáticas contemporâneas, mas independentes, uma série básica-ultrabásica e a outra série intermediária-ácida que se encontram envolvidas em processos de misturas magmáticas e contaminações crustais.

Uma série é definida pelas intrusões plutônicas de rochas diferenciadas cumuláticas de composição básicas-ultrabásicas, ocorrendo principalmente dispostas lateralmente ao conjunto ácido, no contato oeste nas áreas marginais externas e sopés da serra e localmente em áreas internas e, a outra, diferenciada de composição intermediária-ácida ocorrendo principalmente as áreas centrais mais íngremes da serra e no contato leste da serra.

Nas porções dos sopés das escarpas da serra, principalmente na parte oeste e sul ocorrem extensos afloramentos na forma de paredões e grandes matações de rochas da sequência básica diferenciada, além de blocos rolados menores de rochas graníticas microporfiríticas a faneríticas finas das partes mais íngremes da serra. Estas intrusões afloram entre o contato das rochas

encaixantes do Complexo Rio Apa e do Grupo Alto do Tererê e o conjunto ácido dominante do batólito.

A sequência gabro-anortosítica da Serra da Alegria constitui um corpo cumulático de caráter estratiforme, gerado inicialmente por diferenciação magmática durante a ascensão de magmas do manto superior. O magma de composição gabróide é alojado em uma câmara magmática em níveis crustais mais rasos. É seguido por processos de cristalização fracionada por segregação gravítica, resultando da flutuação dos plagioclásios e segregação de cumulos ferro-magnesianos, permitindo assim a geração de grande variedade de litotipos distintos.

A parte inferior exposta da intrusão é constituída por mela gabros a raros piroxenitos, que gradam por fracionamento de plagioclásio para tipos como leuco gabro, quartzo-gabro e gabro e para anortositos no topo da escarpa. Associada às rochas gabróides menos diferenciadas da base é frequente a ocorrência de bolsões de mela pegmatitos básicos, enquanto para o topo, mais diferenciado, são mais frequentes leuco pegmatitos básicos. Veios residuais centimétricos enriquecidos principalmente em plagioclásio e segregações dos minerais máficos são comuns, além de ocorrer localmente veios aplíticos de composição quartzo-feldspática, resultando em diferenciados finais a partir do enriquecimento residual em quartzo e feldspatos. Os contatos das rochas ocorrem de forma abrupta ou contínua por transições composicionais.

As rochas são inequigranulares grossas e isotrópicas constituídas por gabro (Figura 3B) que grada em direção ao topo para variedades leucocráticas de gabro e quartzo gabro (Figura 3C), ou gradam na base para rochas melanocráticas de granulação grossa a pegmatóides (Figuras 3D, E).

Algumas variedades de rochas gabróides apresentam enriquecidas em magnetita, comuns na parte basal da sequência e, podem ocorrer sob a forma disseminada (Figuras 3F, G) ou constituindo feições de acamamento e/ou bandamento, podendo atingir porcentagens acima de 30 % de magnetita.

A magnetita possui forma eudral e ocorre, comumente, associada a pequenas inclusões de sulfeto (pentlandita). Em razão destas rochas

ortocumuláticas apresentarem enriquecimento em minerais opacos e máficos, a sequência basal exposta desta sequência assume uma maior importância metalogenética. A figura 3H apresenta o contato brusco entre o magnetita gabro e anortositos.

Os conjuntos de gabros apresentam uma grande variação nas porcentagens dos seus minerais. Sendo composto principalmente por plagioclásios (andesina/labradorita) que comumente apresentam forte alteração para filossilicatos incolores (sericita) e epidoto/clinozoizita. Contem também clinopiroxênio (augita/diopsídio) como agregados reliquias parcialmente uralitizados e pseudomorfos de clino- a ortopiroxênio constituem massa de agregados de filossilicatos microcristalinos verdes (biotita, clorita e actinolita), hornblenda alterando-se em calcita, epidoto, clinozoizita, biotita, clorita e actinolita e restos de olivinas serpentinizadas.

Ocorrem raros grãos de quartzo intersticiais e feldspato alcalino. Os minerais acessórios são apatita, titanita, rutilo e zircão, minerais opacos, magnetitas primárias distribuídas sob a forma de cristais anedrais a subedrais. Os minerais secundários, frequentemente esqueletiformes são dispersos na rocha resultantes da alteração dos piroxênios e raras ilmenitas.

Os anortositos são rochas isotrópicas e leucocráticas brancas a cinzas. Estão presentes principalmente na forma homogênea e equigranular de granulações média a grossa (Figura 3I), heterogênea e inequigranulares a pegmatóides (Figura 3J) e bandada ou acamada. Quando presente os acamamentos/bandeamentos magmáticos são definidos por concentrações de minerais opacos e máficos (Figura 3H). Estas rochas apresentam-se recortadas por veios de espessura milimétrica de quartzo, epidoto e clorita de cores esbranquiçadas em fraturas de várias direções.

A mineralogia principal é constituída por andesina/labradorita (> 90%) intensamente alterada para filossilicatos incolores, epidoto e clinozoizita e raros pseudomorfos de piroxênio e olivina, constituindo massa de agregados de actinolita, clorita, serpentina e minerais opacos. Os minerais acessórios presentes são constituídos por apatita, titanita, rutilo, magnetita e minerais opacos.

As rochas da sequência magmática, de composição intermediária-ácida da Serra da Alegria, ocorrem principalmente sob a forma de blocos e matacões, e afloram nas altitudes mais elevadas e de relevo intensamente acidentado da serra. Nestas áreas encontram-se preservados os restos das matas nativas das fazendas de agropecuária, sendo na parte oeste da fazenda Regina e na parte leste da fazenda Santa Otília, o que dificulta a circulação na parte central da serra.

Na parte central do corpo, o conjunto magmático principal é caracterizado pelas intrusões circulares menores de composição ácida atribuída a episódios magmáticos sincrônicos e repetitivos na acreção da área do batólito constituídos por microgranitos. Parte destas intrusões encontra-se em menores proporções, parcialmente circundadas por rochas subvulcânicas básicas, na forma de pequenos corpos, posicionados na base dos picos mais elevados de composição ácida (Figura 2). Associado a este conjunto básico encontra-se intrudido por fácies aplíticas e pegmatíticas de composição ácida.

Nestas intrusões é comum a ocorrência de diabásios, mesocráticos, de cor cinza a negra, maciços, equigranulares de granulação fina a média (Figura 3K). Ocorrem, às vezes, feições porfiríticas e a presença de diversos subtipos de leuco diabásios equigranulares a porfiríticos (Figura 3L), resultantes da intensidade no processo de diferenciação magmática. Notam-se associadas feições pegmatíticas e veios residuais finos tanto de composição básica como ácida.

Na área central da serra dominam os diferenciados intermediários-ácidos que são constituídos por sieno- a monzogranitos, com raras composições granodioríticas, vermelhos, hololeucocráticos, equi- a inequigranulares de granulações fina a média e média a grossa, localmente microporfiríticos, granofíricos e isotrópicos (Figura 3M, N).

As rochas ácidas gradam para as rochas intermediárias, menos diferenciadas e constituídas por quartzo monzonitos, quartzo sienitos e quartzo monzodioritos de coloração vermelha. Estas variedades litológicas intermediárias também estão preservadas na forma de enclaves de composição quartzo monzodioríticas disseminadas no conjunto

ácido.

Os monzogranitos de granulação fina são geralmente mais ácidos, diferenciados e granofíricos e apresentam uma tendência local a composições sienograníticas. O conjunto intermediário-ácido apresenta distinção petrográfica das suas rochas quanto às porcentagens de minerais essenciais presentes, sendo composto por microclínio, comumente pertítico, com formas subeudrais de hábito tabular, porém dominando as formas com bordas corroídas e ovaladas. O oligoclásio ocorre como grãos subédricos, parcialmente alterados, moderadamente zonados, com núcleos saussuritizados. As texturas granofíricas são frequentes e variam de intensidades nas diversas rochas.

Parte dos cristais de quartzo apresenta-se frequentemente com feições de corrosão das suas bordas gerando arredondamentos dos grãos. O mineral máfico é raro e é constituído por biotita sob a forma de finas placas subeudrais, ou apresentam-se aglutinadas, alterando-se comumente para clorita, além da ocorrência local de pseudomorfos de hornblenda reliquiares transformadas em cloritas. Os minerais acessórios comuns são zircão, titanita, allanita e apatita e minerais opacos.

Á oeste, nas imediações da serra da Alegria e proximidades das maiores ocorrências das rochas da sequência de rochas básicas-ultrabásica ocorrem intrusões ácidas. Estas intrusões apresentam composições mais enriquecidas em minerais máficos e texturas reforçam os processos envolvidos de mistura e contaminações magmáticas. São corpos constituídos por variedades composicionais e texturais inequigranulares a levemente porfiríticos, de matriz grossa de mela monzogranitos geralmente mais enriquecidas em minerais máficos (Figura 3O).

Localmente, ocorrem intrusões de variedades de microgranitos porfiríticos de matriz fina, composição monzogranítica e caracterizada por apresentar localmente fenocristais de feldspato potássio ovalados e manteados, constituindo texturas do tipo *rapakivi*, sejam elas bem definidas, homogêneas em todo o contorno ou irregulares e descontínuas (Figura 3P).

Nestas variedades, os cristais de quartzo

apresentam-se em duas frações, uma, frequentemente com feições de corrosão das suas bordas e arredondamentos dos grãos, definindo o quartzo globular, e na outra parte predomina a forma anedral intersticial.

O conjunto central deste magmatismo apresenta características texturais de rochas subvulcânicas ácidas e básicas, que corroboram para que estes episódios magmáticos constituam uma fase final do magmatismo da Serra da Alegria e do Batólito Alumiador, instalando-se

em níveis crustais mais rasos e em condições de maior estabilidade.

Observa-se neste conjunto litológico uma fraca anisotropia associada a um processo de hidratação da mineralogia, a partir de processos de uralitização, sericitização, saussuritização e cloritização. Estas feições definem paragêneses metaígneas estáveis para a fácies dos xistos verdes baixa, resultantes do processo metamórfico regional e final superimposto de idade neoproterozóica.

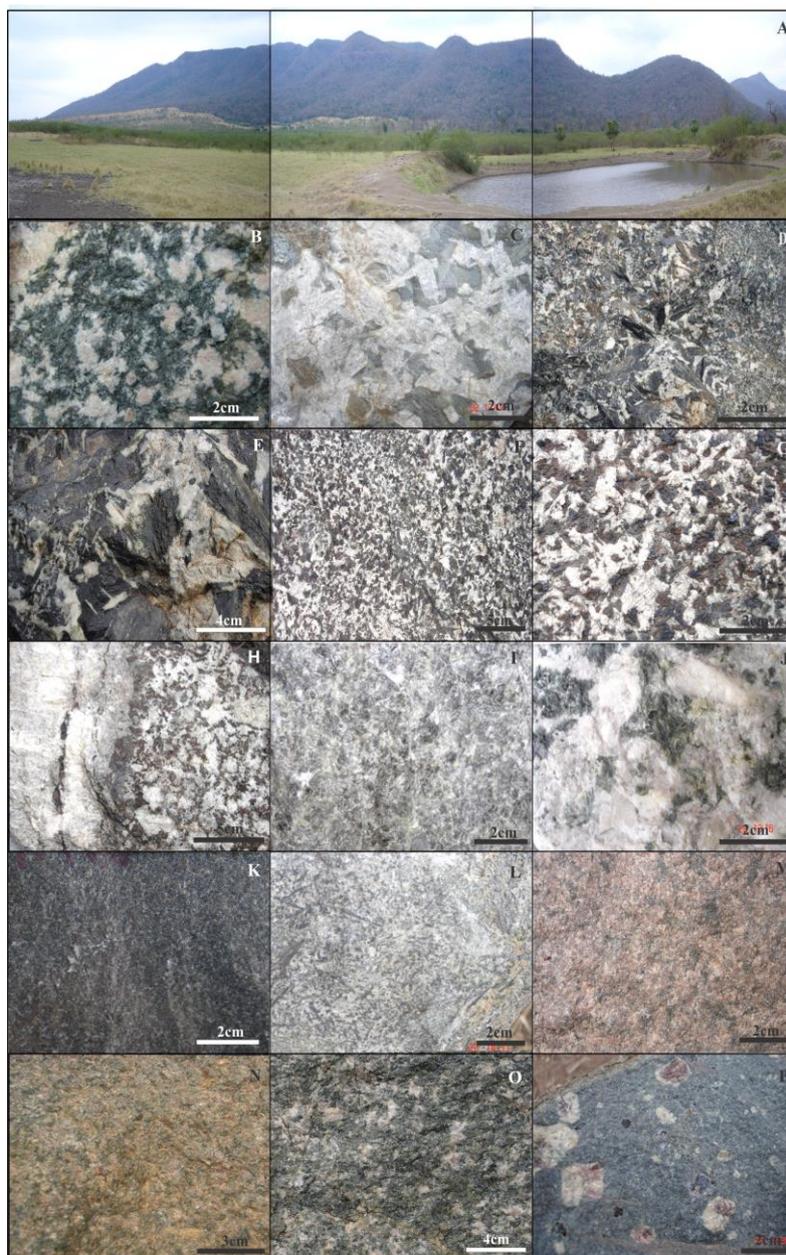


Figura 3. Fotografias da geomorfologia e dos principais tipos petrográficos da Sequência Magmática da Serra da Alegria: A) Destaque geomorfológico; B) gabro; C) leuco gabro; D, E) pegmatito gábrico; F, G) magnetita gabro; H) contato entre o magnetita gabro e anortosito; I, J) anortosito; K) diabásio; L) leuco diabásio; M, N) monzogranitos de granulação fina a média; O) mela monzogranito e P) microgranito de composição monzogranítica e textura porfírica e rapakivi.

A Suíte Vulcânica Serra da Bocaina, na área aparece na forma de ocorrências menos

expressivas e localizadas que também são observadas pelo relevo destacado em relação aos sedimentos da Bacia Sedimentar do Pantanal. É constituída por uma diversidade composicional e textural de rochas subvulcânicas (riólitos e microgranitos), vulcânicas (riólitos porfiríticos e fluxos de

lava), e vulcanoclásticas predominantemente ácidas que constituem os termos mais representativos. Essa sequência magmática contém tipos como álcali - riólito a riólito, incluindo em menores proporções riodacito, andesito e dacito.

LITOGEOQUÍMICA

As análises químicas foram realizadas no LABOGEO-IGCE/UNESP-Rio Claro, sendo utilizados Fluorescência de Raios X para os elementos maiores (concentração em %), através de pastilha fundida em meio borato e para os elementos traços (concentração em ppm), através de pastilha prensada e ICP-AES para os elementos de terras raras, segundo os

padrões de rotina do laboratório (Malagutti et al., 1988). As análises encontram-se enumeradas na tabela 1 e os trabalhos prévios de cunho geoquímico da região encontram-se descritos parcialmente em Silva (1998), Lacerda Filho et al. (2006) e Godoy et al. (2006 e 2009b).

Tabela 1. Tabela com os dados geoquímicos das amostras da Suíte Plutônica Alumiador-Sequência Magmática da Serra da Alegria. Legenda dos diagramas geoquímicos: gabro (□), anortosito (△), diabásio (■), intermediárias (▲), monzogranito (●) e monzogranito fino (○).

Grupo Amongujá - Suíte Plutônica Alumiador (Serra da Alegria)												
	Gabro (□)					Anortosito (△)		Diabásio (■)				
	APA 1	APA 2	REG 3	APA 4	APA 5	REG 6	APA 7	APA 8	APA 9	REG 10	APA 11	APA-12
SiO ₂	45,51	46,96	57,83	49,77	51,54	53,24	53,34	45,28	45,39	47,44	48,52	48,92
TiO ₂	2,83	1,28	1,08	1,69	1,27	0,11	0,08	2,71	2,58	2,49	1,84	3,32
Al ₂ O ₃	15,56	16,22	24,02	12,01	16,29	27,98	27,77	15,76	15,39	13,12	22,28	12,77
Fe ₂ O ₃	15,4	13,2	7,52	14,1	11,9	1,33	1,24	15,9	15,7	18,3	7,33	14,9
MnO	0,24	0,21	0,1	0,23	0,2	0,02	0,02	0,2	0,24	0,2	0,12	0,21
MgO	6,56	7,79	1,88	6,64	4,61	0,49	0,32	5,13	5,05	4,93	2,81	5,08
CaO	9,43	9,53	12,9	11	7,97	12,2	12,5	8,61	8,55	8,98	10,1	6,21
Na ₂ O	2,27	2,39	2,49	2,5	3,19	3,74	3,78	3,02	1,96	2,55	2,41	2,79
K ₂ O	1,03	0,71	0,26	0,87	0,3	0,23	0,35	0,4	1,3	0,79	1,71	2,01
P ₂ O ₅	0,36	0,22	0,08	0,17	0,34	0,02	0,02	0,47	0,46	0,35	0,2	1,61
LOI	0,81	1,57	2,21	0,97	2,37	0,65	0,59	2,55	3,38	0,86	2,65	2,18
Total	100	100,02	100	100,01	100	99,99	100,01	100	99,99	100,01	100,01	100,01
Cr	138	165	174	167	134	153	111	79	83	187	132	58
Cu	45	103	106	113	22	13	16	46	70	236	60	8
Ni	54	116	25	53	62	15	7	39	53	62	36	17
Zn	89	104	59	80	94	14	10	96	97	100	63	114
Ba	520	358	147	319	305	91	106	486	593	574	710	898
Rb	37	27	17	30	17	11	16	22	45	27	52	56
Sr	312	371	574	314	376	742	701	351	307	358	486	168
Zr	149	116	85	107	138	55	52	186	185	129	103	343
Y	28	27	15	27	29	2	1	34	38	30	20	68
Nb	14	7	6	6	7	1	1	12	13	8	6	14
La	18,52	8,79	5,51	10,31	20,22	1,57	1,78	25,24	27,86	16,95	10,61	45,95
Ce	36,88	18,89	11,64	22,86	40,18	2,72	2,29	52,62	50,5	16,31	22,27	107,7
Nd	24,32	13	6,68	15,81	23,96	1,51	1,5	34,08	36,07	22,8	13,48	65,18
Sm	5,43	3,38	1,49	13,97	5,24	0,2	0,14	7,89	8,55	5,3	2,95	15,7
Eu	2,24	1,36	0,94	1,58	2,07	0,59	0,61	2,63	2,65	1,83	1,34	44,9
Gd	5,44	3,75	1,29	4,25	5,24	0,29	0,23	7,6	8,42	5,13	3,04	16,6

Dy	4,86	4,13	0,92	4,41	5,01	0,25	0,17	7,24	8,32	4,74	2,99	16,8
Er	2,47	2,42	0,38	2,52	2,81	0,15	0,09	3,72	4,31	2,65	1,61	9,06
Yb	2,18	1,87	0,25	2,25	2,66	0,14	0,09	3,21	3,63	2,4	1,57	8,11
Lu	0,32	0,25	0,03	0,34	0,38	0,02	0,01	0,45	0,48	0,35	0,23	1,24
[La/Yb]N	5,73	3,13	14,86	3,09	5,12	7,56	13,33	5,30	5,17	4,76	4,56	3,82
Eu/Eu*	0,09	0,09	0,15	0,09	0,09	0,55	0,76	0,08	0,07	0,08	0,10	0,07
Ce/Sm	1,64	1,36	1,89	1,39	1,85	3,28	3,95	1,61	1,43	1,71	1,82	1,66
Gd/Yb	2,01	1,62	4,16	1,52	1,59	1,67	2,06	1,91	1,87	1,72	1,56	1,65

Grupo Amongujá - Suíte Plutônica Alumiador (Serra da Alegria)

	Diabásio (■)				Rocha Intermediária (▲)					Monzogranito Fino (○)		
	APA 13	APA 14	APA 15	APA 16	APA 17	REG 18	APA 19	APA 20	APA 21	REG 22	APA 23	APA-24
SiO₂	49,76	49,58	49,9	49,9	53,4	55,32	61,04	63,97	65	66,51	72,73	73,48
TiO₂	0,91	1,14	1,14	0,56	1,66	0,73	1,36	0,91	0,57	0,84	0,54	0,33
Al₂O₃	22,5	20,82	16,91	24,54	15,42	13,88	13,32	13,52	15,54	12,87	12,32	12,45
Fe₂O₃	7,24	8,82	11,6	5,15	14,3	10	11,9	7	5,2	7,89	3,91	3,16
MnO	0,11	0,14	0,19	0,01	0,37	0,15	0,26	0,24	0,1	0,21	0,1	0,06
MgO	1,89	2,86	5,22	1,96	4,75	7,08	0,94	2,66	1,28	0,7	0,34	0,1
CaO	10,9	11,1	10,3	10,4	8,54	8,62	3,59	3,01	2,27	2,6	1,41	1,15
Na₂O	3,53	2,3	1,4	2,32	0,45	1,89	3,94	0,13	3,22	3,94	3,57	3,59
K₂O	0,87	0,44	0,01	2,35	0,01	1,49	2,66	3,74	4,27	3,77	4,65	4,54
P₂O₅	0,23	0,21	0,15	0,12	0,27	0,08	0,37	0,19	0,2	0,19	0,08	0,3
LOI	2,19	2,64	3,22	2,58	0,95	0,74	0,58	4,65	1,67	0,5	0,16	0,84
Total	99,99	100	100,01	99,99	100	99,99	100,01	100,02	100,01	100,01	100,02	100,01
Cr	140	157	281	137	208	397	71	86	125	101	161	180
Cu	55	67	64	35	53	79	16	51	36	14	9	7
Ni	18	41	64	29	53	91	4	47	6	6	9	5
Zn	53	74	85	50	98	68	139	81	59	111	85	85
Ba	323	161	32	842	141	346	1165	845	1777	1145	1281	1215
Rb	34	22	13	70	14	46	58	112	118	83	143	142
Sr	495	467	339	519	347	200	219	82	486	247	153	63
Zr	112	113	118	88	146	109	175	159	193	224	333	414
Y	22	21	27	14	36	23	42	47	22	74	52	56
Nb	6	7	6	5	8	7	13	7	8	13	14	15
La	11,76	12,02	12,28	6,58	22,46	14,4	42,77	2,11	35,29	70,61	56,7	61,82
Ce	24,37	25,57	24,08	12,91	36,9	29,83	95,72	4,26	68,87	106,7	123,4	124,4
Nd	15,31	15,1	15,2	8,6	27,71	14,6	53,62	2,39	30,15	69,02	55,49	60,2
Sm	3,54	3,41	3,71	1,91	6,43	3,24	11	0,89	5,66	14	11,1	11,9
Eu	1,4	1,43	1,43	1,01	2,08	1,11	3,81	0,38	1,6	4,35	2,23	2,1
Gd	3,48	3,47	4,06	1,94	6,91	3,31	10	1,03	4,52	14,6	9,71	10,1
Dy	3,46	3,39	4,49	1,9	7,24	3,61	9,08	1,33	3,91	13	9,49	9,98
Er	1,9	1,88	2,53	1,07	3,95	2,09	4,87	0,73	2,18	7,37	5,46	5,78
Yb	1,58	1,7	2,4	0,99	3,83	2,07	4,73	1,01	2,13	3,32	5,44	5,84
Lu	0,22	0,25	0,35	0,15	0,55	0,3	0,72	0,14	0,31	0,99	0,86	0,87
[La/Yb]N	5,02	4,77	3,45	4,48	3,95	4,69	6,10	1,41	11,17	14,34	7,03	7,14
Eu/Eu*	0,09	0,09	0,08	0,12	0,07	0,08	0,08	0,09	0,07	0,07	0,05	0,04
Ce/Sm	1,66	1,81	1,57	1,63	1,38	2,22	2,10	1,16	2,94	1,84	2,68	2,52
Gd/Yb	1,78	1,65	1,37	1,58	1,46	1,29	1,71	0,82	1,71	3,54	1,44	1,40

Grupo Amongujá - Suíte Plutônica Alumiador (Serra da Alegria)

	Monzogranito Fino (○)		Monzogranito (●)							
	APA 25	APA 26	APA 27	APA 28	APA 29	APA 30	APA 31	APA 32	APA 33	APA 34
SiO₂	73,79	74,96	66,11	69,74	71,5	73	74,03	74,54	77,16	77,6

TiO ₂	0,33	0,37	0,55	0,29	0,53	0,53	0,34	0,33	0,14	0,13
Al ₂ O ₃	12,27	11,72	15,38	15,76	12,66	12,3	12,64	12,33	12,35	12,1
Fe ₂ O ₃	3,35	3,44	4,23	2,43	5,04	3,81	3,15	3,21	0,83	0,96
MnO	0,08	0,07	0,13	0,06	0,16	0,11	0,07	0,09	0,02	0,04
MgO	0,15	0,18	1,29	0,85	0,3	0,45	0,19	0,11	0,11	0,07
CaO	1,03	0,77	2,91	2,7	1,34	1,08	0,78	0,8	0,45	0,52
Na ₂ O	3,47	3,51	3,26	3,75	3,79	3,52	3,26	3,29	3,19	3,35
K ₂ O	4,72	4,92	4,31	3,31	4,25	4,65	4,91	4,7	5,29	5,06
P ₂ O ₅	0,03	0,04	0,19	0,11	0,06	0,08	0,03	0,03	0,01	0,01
LOI	0,78	0,02	1,64	1,01	0,38	0,48	0,62	0,58	0,46	0,16
Total	100,02	99,99	100	100,01	100,01	100,01	100,01	100	100	100
Cr	167	236	89	181	102	130	148	144	167	176
Cu	6	9	34	377	10	8	7	9	5	2
Ni	5	4	8	8	4	3	5	6	5	4
Zn	88	82	62	52	106	83	83	91	8	15
Ba	1286	1384	1808	1022	1563	1256	1227	1372	135	130
Rb	134	156	117	137	106	143	161	149	303	295
Sr	55	77	471	533	162	151	61	71	9	6
Zr	402	408	187	128	287	303	410	389	76	83
Y	55	57	24	6	49	53	56	68	27	31
Nb	17	17	7	4	12	14	16	16	10	9
La	63,58	60,26	35,29	28,51	58,26	56,87	62,26	73,53	31,05	31,43
Ce	125,2	125,9	68,87	44,29	117,2	118,4	126,5	143,3	58,81	58,62
Nd	60,11	58,31	30,15	18,7	58,76	57,05	59,11	67,44	17,23	17,3
Sm	11,9	11,8	5,66	2,57	11,8	11,3	11,3	13,5	2,71	2,82
Eu	2,24	2,05	1,6	0,94	3,71	2,35	2,07	2,5	0,53	0,52
Gd	10,3	10,1	4,52	1,59	10,5	9,6	10	11,7	2,22	2,41
Dy	9,93	9,97	3,91	0,94	9,55	9,36	9,77	11,4	2,85	3,05
Er	5,67	5,68	2,18	0,49	5,23	5,58	5,57	6,48	2,34	2,56
Yb	5,57	5,72	2,13	0,51	5,11	5,4	5,55	5,81	3,45	3,49
Lu	0,84	0,91	0,31	0,09	0,83	0,78	0,84	0,86	0,54	0,55
[La/Yb]N	7,70	7,10	11,17	37,69	7,69	7,10	7,56	8,53	6,07	6,07
Eu/Eu*	0,04	0,04	0,07	0,10	0,07	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04
Ce/Sm	2,54	2,58	2,94	4,16	2,39	2,52	2,69	2,56	5,24	5,02
Gd/Yb	1,49	1,42	1,71	2,52	1,66	1,43	1,46	1,63	0,52	0,56

Nos diagramas do tipo Harker (1909) (Figuras 4A a 4H) são identificadas para a Sequência Magmática da Serra da Alegria duas grandes sequências magmáticas, uma de composição básica-ultrabásica, e a outra intermediária-ácida. Na sequência básica-ultrabásica permite-se definir duas unidades cogenéticas: uma, em que o tendência de diferenciação é definida por gabros diferenciados para anortositos e pelos diabásios subalcalinos e, a outra, definida por gabros e diabásios magnesianos.

A sequência intermediária-ácida apresenta uma tendência de diferenciação bem marcante, apresentando-se negativa para Al₂O₃, TiO₂, CaO, Fe₂O₃ e MgO e positiva para Na₂O e K₂O.

As rochas básicas são caracterizadas por gabros, anortositos e diabásios dispostos no intervalo 45 a 53% SiO₂ e são constituídas por

duas variedades principais: os das rochas básicas holo- a leucocráticas que são caracterizadas por leuco gabros a leuco gabros pegmatíticos, anortositos homogêneos e heterogêneos a bandados e leuco diabásios apresentando geralmente teores mais elevados de SiO₂, Al₂O₃ e CaO e teores mais baixo de Fe₂O₃ e MgO e os das rochas básicas leuco- a mesocráticas que são caracterizadas por gabros a mela gabros, mela gabros pegmatíticos e os diabásios apresentando no geral teores inversos para estes dois conjuntos de elementos.

O agrupamento das rochas intermediárias apresenta litotipos dispostos no intervalo 54 a 65% SiO₂. O agrupamento das rochas ácidas apresenta as amostras variando no intervalo 65 a 76% SiO₂ caracterizando uma sequência de rochas ácidas e diferenciadas. Neste segmento os valores superiores a 72% SiO₂ são

representados por rochas graníticas granofíricas.

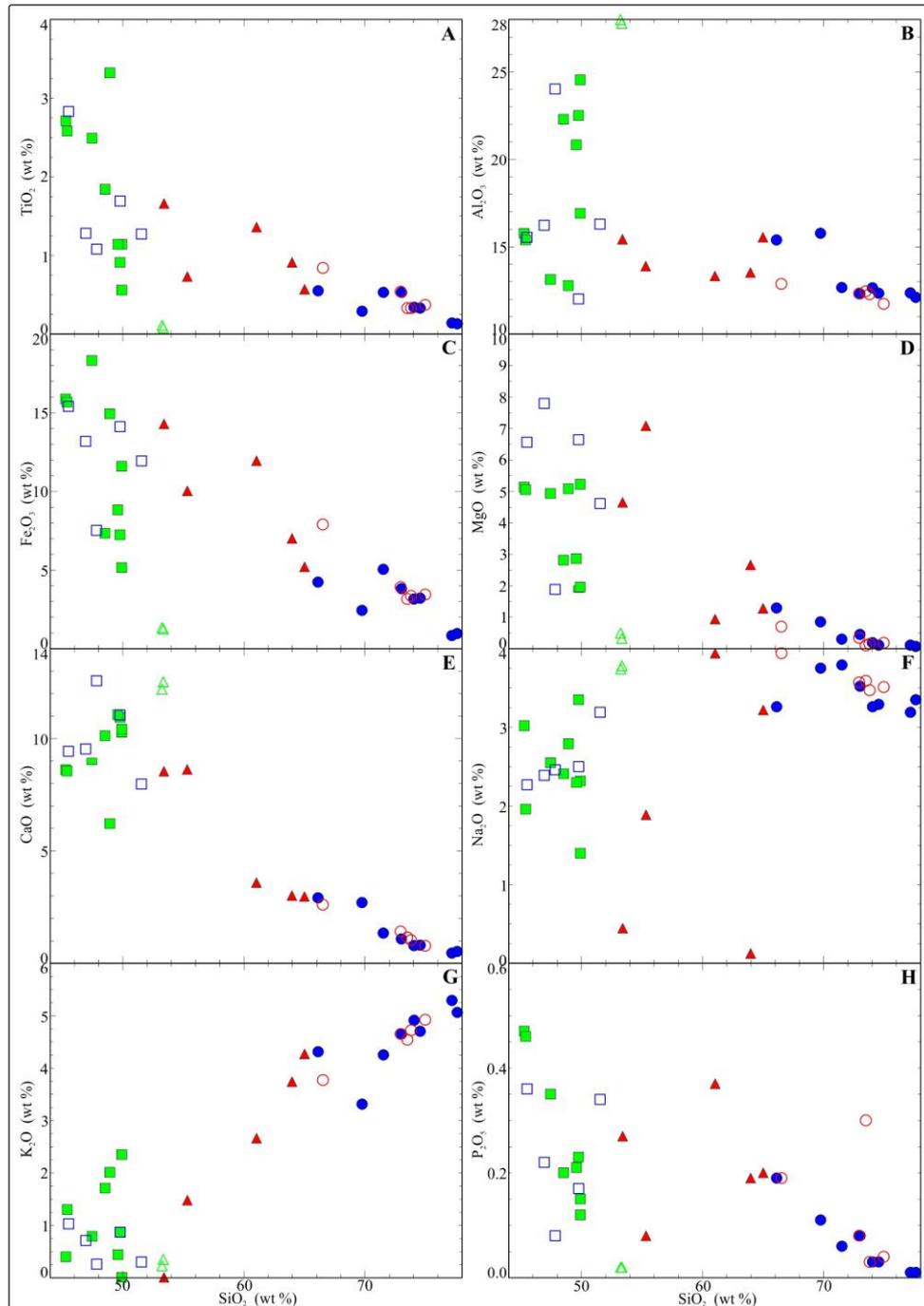


Figura 4. Diagramas de variação de elementos maiores do tipo Harker (1909).

No diagrama de rochas efusivas da figura 5A os correspondentes plutônicos para as rochas básicas são classificadas predominantemente como gabro e diabásio, sendo que as amostras de anortosito são levemente mais enriquecidas em SiO_2 , apresentando composições transicionando de leuco gabro a monzogabro.

As rochas intermediárias apresentam composições variando de diorito, granodiorito a sienito e as rochas ácidas são correspondentes aos granitos, mas com variações para

composições granodioríticas.

No diagramas da figura 5B as amostras posicionam-se predominantemente em dois agrupamentos dos gabros e diabásios de composição subalcalina e os do gabro, diabásio e anortositos de composição andesítica, mais enriquecidos em sílica e álcalis. A sequência intermediária-ácida apresenta composição variando de dioritos, granodioritos e granitos.

No diagrama da figura 5C, as amostras básicas distribuem-se como quartzo

monzogabro, quartzo gabro, gabro e tonalito, as rochas intermediárias como quartzo monzonito, granodiorito e tonalito e as rochas ácidas como monzogranito e granodiorito.

No diagrama da figura 5D, as amostras pertencem à série cálcio-alcalina, apresentando uma distribuição contínua com aumento gradativo em potássio entre as séries de médio e alto potássio para as rochas graníticas mais diferenciadas.

Quanto à saturação em alumínio, observa-se no diagrama da figura 5E, que os litotipos intermediários-ácidos apresentam caráter metaluminoso a peraluminoso e no diagrama da figura 5F define-se uma sequência de rochas classificadas como leucogranitos peraluminosos à biotita (campo III) e as maiores variedades de litotipos estão distribuídos como leucogranitos metaluminosos à biotita e hornblenda (campo IV).

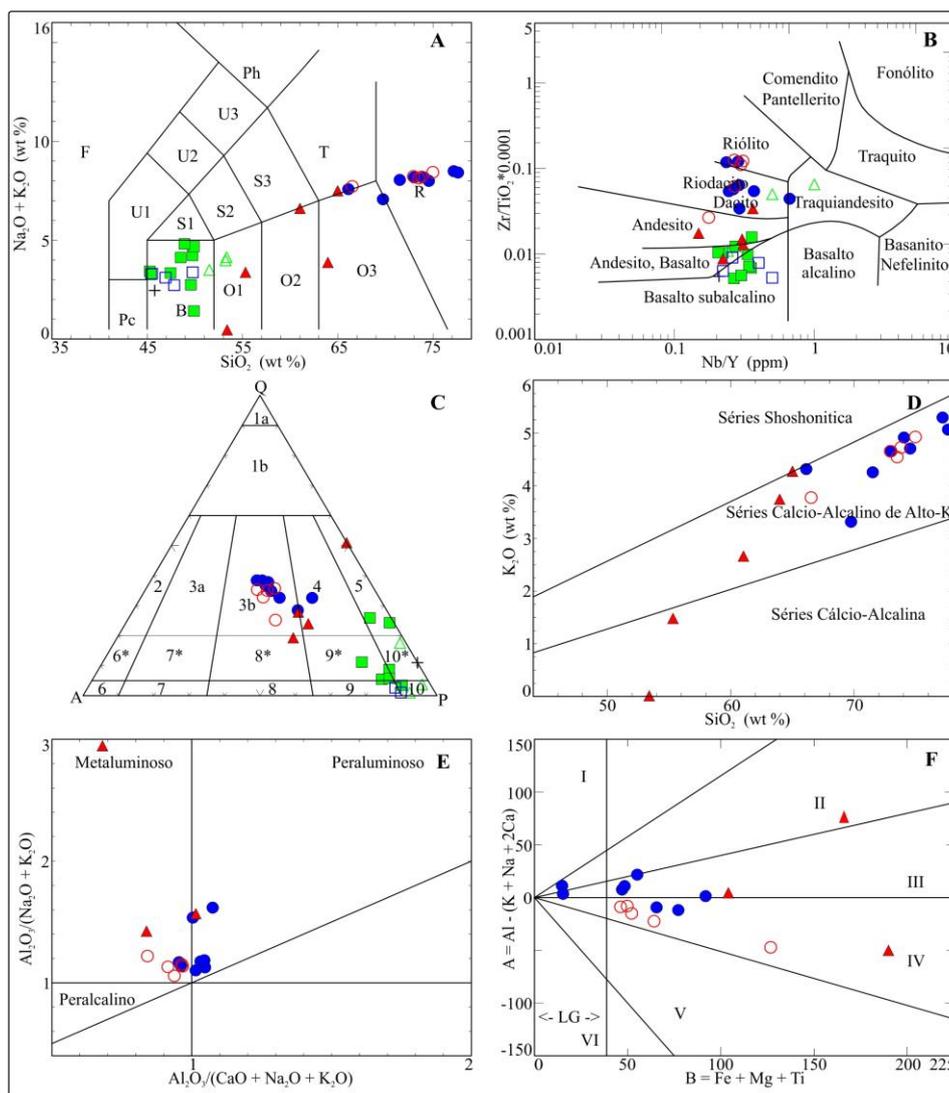


Figura 5. Diagramas de classificação. **A)** Le Maitre (1989), **B)** Winchester & Floyd (1977), **C)** Le Maitre (1989), **D)** Taylor (1976), **E)** Maniar & Picolli (1989), **F)** Debon & Le Fort (1983).

Para as rochas básica- ultrabásicas mantélica distribuem no diagrama da figura 6A e as amostras de gabro constituem um agrupamento de litotipos de quimismo subalcalino ou toleítico e o anortosito apresenta uma tendência cálcio-alcalina mais enriquecida em álcalis. O diabásio distribui em dois agrupamentos: os de quimismo toleítico, semelhantes aos magmas iniciais e o outro, mais diferenciado e

enriquecido em álcalis.

No diagrama das figuras (6B e 6C) as amostras de gabros e diabásios são na maioria coincidentes ao campo dos basaltos de composição subalcalinas, mas apresentam litotipos mais diferenciados de tendência alcalina, enquanto as rochas anortosíticas pelos valores de sílica são posicionadas fora dos limites dos diagramas.

No diagrama da figura 6D as amostras das suítes plutônicas constituídas pelo gabro apresentam composições Fe-toleíticas e os anortositos composições mais cálcio-alcálicas, enquanto o diabásio estão dispostos no diagrama com uma tendência diferenciada mais ampla; Fe-toleíticas a alcalina.

No diagrama da figura 6E, verifica-se que as amostras de gabro e anortosito distribui principalmente no campo composicional dos basaltos toleíticos de arco de ilha, enquanto o diabásio apresenta-se com uma distribuição mais ampla, no campo composicional do

basalto toleítico de arco de ilha e/ou basalto alcalino de ilha oceânica.

No diagrama da figura 6F o gabro apresenta característica de basaltos alcalinos intraplaca, enquanto o basalto apresenta tendência cálcio-alcálica a alcalina de ambiente de intraplaca. O diagrama da figura 6G reforça para o gabro o caráter de basalto toleítico de arco vulcânico a basalto toleítico de ambiente de intraplaca. No diagrama da figura 6H observa-se que as amostras da sequência básica-ultrabásica apresentam-se com caráter de rochas geradas em ambiente intraplaca.

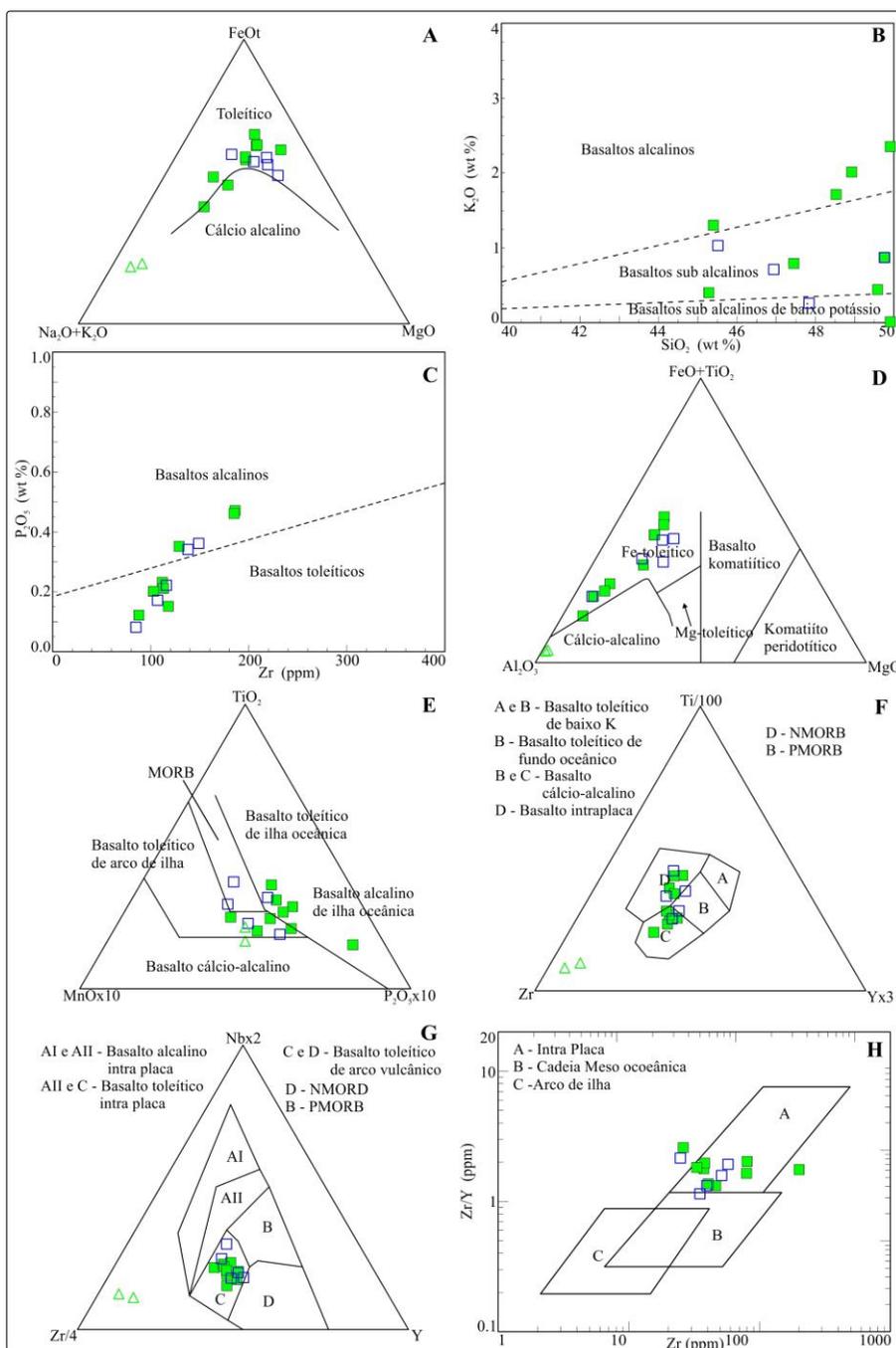


Figura 6. Diagramas de classificação tectônica. **A)** Irvine & Baragar (1971), **B)** Middlemost, (1975), **C)** Pearce (1975), **D)** Jensen (1976), **E)** Mullen (1983), **F)** Pearce & Can (1973), **G)** Meschede (1986), **H)** Pearce & Norry (1979).

Os dados geoquímicos do magmatismo intermediário-ácido quando projetados nos diagramas das figuras (7A, 7B), permitem classificar as rochas como pertencentes a uma suíte magmática com características dominantes de granitos sin- a pós- colisionais. Essa suíte seria formada em ambiente de arco magmático, com alguns litotipos mais tardios, com afinidades de granito pós-oro-genicos a anorogênico de ambiente intraplaca, constituindo eventos magmáticos intrusivos da formação do Arco Magmático Amonguijá.

No diagrama da figura 7C as rochas são classificadas como pertencentes a um evento magmático predominantemente sin- a tardi-colisional e apresentando tipos intermediários com características resultantes do fracionamento de material mantélico (tipo M). Sugerindo que este conjunto de rochas possa ser resultante de processo de mistura de magmas ácidos e básicos. Para as rochas ácidas

o diagrama da figura 7D evidenciam o caráter de granitos sin- a pós- oro-genicos.

Na classificação com base nas condições de oxidação (Figura 7E) as amostras apresentam-se predominantemente no campo de granitos que apresentam-se com maiores teores de ferro em relação a magnésio e com o maior número dos granitos mais diferenciados, individualizados no campo dos granitos sin-colisionais do tipo I e coincidentes com os granitos anorogênicos do tipo A.

O resultado obtido no diagrama da figura 7F evidencia que as análises caracterizam a compatibilidade das rochas com os granitos sin-colisionais do tipo I de arco magmático, transicionando para granitos mais enriquecidos em álcalis, mais tardios e sendo classificados como anorogênicos do tipo A, de ambiente intraplaca, e/ou gerados no final de estabilização crustal.

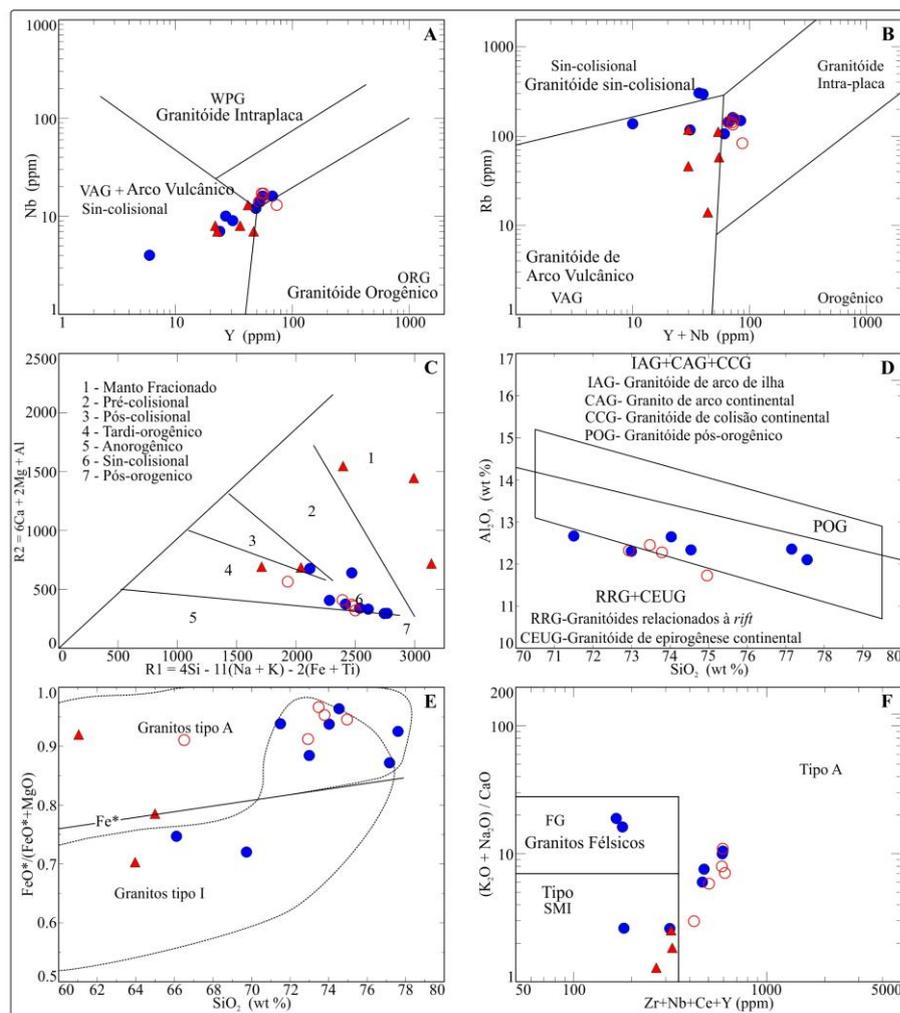


Figura 7. Diagramas geoquímicos de ambiente tectônico. **A)** Batchelor & Bowden (1985), **(B e C)** Pearce et al. (1984), **(D)** Maniar & Picolli (1989), **(E)** Frost et al. (2001) e **(F)** Whalen et al. (1987)-SMI: médias composicionais dos granitos dos tipos S, M, I e FG: granitos félsicos fracionados e tipo A anorogênicos.

Quanto à distribuição dos elementos traços apresentada nos diagramas da figura 8, observa-se que a de Rb, que encontra-se normalmente contida em feldspato potássico e biotita, é muito baixa na sequência básica- ultrabásica. Nos diagramas de Rb (Figura 8A) e (Figura 8B) a sequência ácida- intermediária apresenta uma leve correlação positiva do Rb com a sílica e potássio para as rochas mais diferenciadas. Os valores acima de 300 ppm de Rb, associam-se às rochas mais enriquecidas em biotita, que contém expressivos valores de potássio.

Para a sequência ácida- intermediária em relação Sr no diagrama da figura 8C observa-se uma correlação negativa com o aumento da sílica. Portanto, sugere-se um processo de fracionamento magmático envolvendo principalmente os feldspatos com aumento de feldspato potássico a partir da segregação de plagioclásio e, com consequente empobrecimento de Sr do líquido magmático, disponível para as fases mais diferenciadas.

O diagrama da figura 8D em relação ao Sr mostram para a sequência básica- ultrabásica uma correlação positiva com o cálcio,

evidenciando para as rochas anortosíticas uma associação direta com o aumento de plagioclásio a partir do fracionamento magmático.

Os valores de Ba nos diagramas da figura 8E, 8F reforçam a sua associação mais facilmente aos feldspato potássicos e à biotita, além de plagioclásio intermediário, sendo observada uma correlação positiva para as rochas ácidas mais diferenciadas.

Os valores de Zr (Figura 8G), de Y (Figura 8H) e de Nb (Figura 8I) para as rochas da sequência básica- ultrabásica mostram uma leve correlação negativa para as rochas mais diferenciadas com o consequentemente empobrecimento de minerais ferromagnesianos, indicando que o fracionamento magmático consumiu o Zr, Y e Nb, diminuindo as suas concentrações nos líquidos finais.

Para a sequência intermediária- ácida observa-se uma nítida correlação positiva contrária ao processo evolutivo do magma, provavelmente refletindo a presença de fases cumuláticas ricas nesses elementos devido à misturas e contaminações crustais.

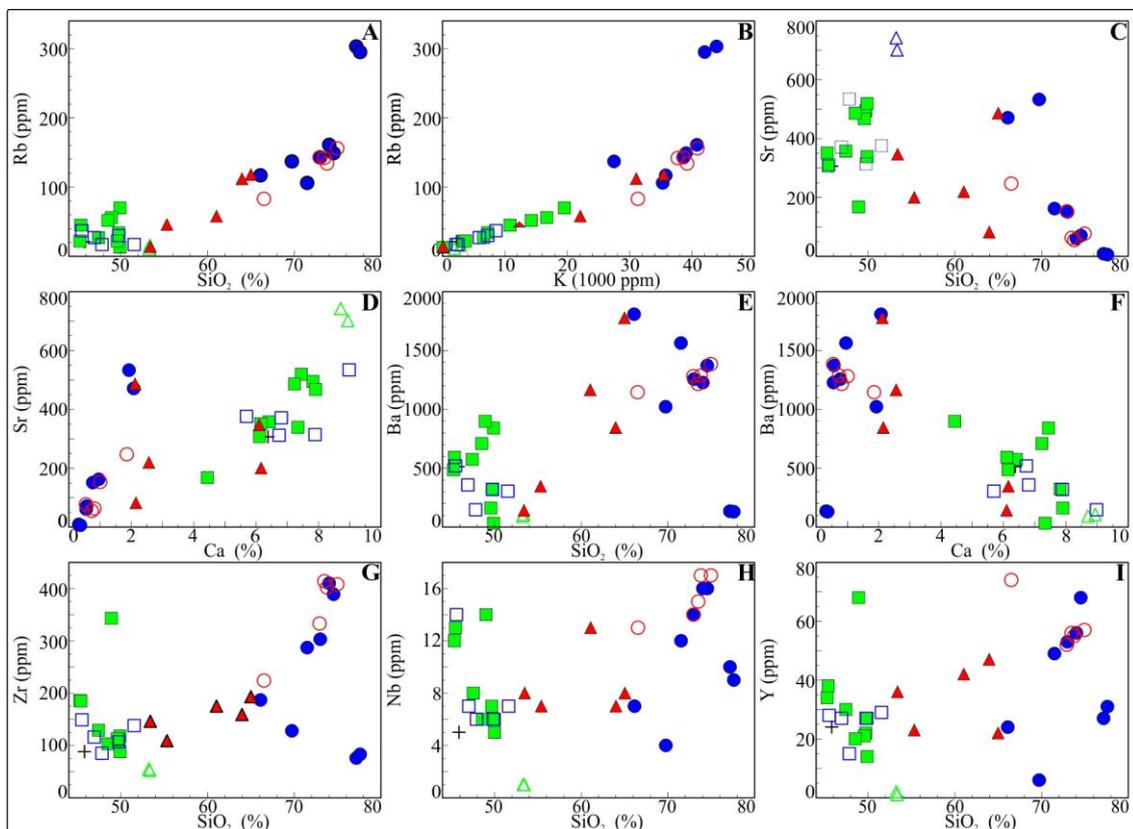


Figura 8. Diagramas binários para elementos menores.

No diagrama de multielementos, os elementos incompatíveis para as rochas básica-ultrabásica estão normalizados segundo os valores de Boynton (1984) para meteoritos condríticos (Figura 9A). Observa-se que os litotipos exibem um empobrecimento em Ba, Nb e Ti e enriquecimento em Rb, Sr e Zr evidenciando processos de fracionamento envolvendo os plagioclásios e minerais máficos.

Para as rochas anortosíticas os elementos traços apresentam-se valores no geral empobrecidos à exceção dos valores de Rb, Sr e Zr. Estas apresentam-se com fortes anomalias positivas em função da segregação e enriquecimento de plagioclásios para as fases mais diferenciadas, sugerindo que este processo magmático ocorrer em câmara magmática e, geralmente em níveis crustais rasos.

Os elementos incompatíveis para as rochas intermediárias-ácidas, normalizados segundo os valores de Boynton (1984) para meteoritos condríticos (Figura 9B) indicam que a maioria dos litotipos exibe empobrecimento em Nb, Sr e Ti e enriquecimento em Ba, Rb, e Zr, evidenciando processos de fracionamento envolvendo principalmente os feldspatos e máficos.

No diagrama de elementos terras raras para as rochas básica-ultrabásica, normalizados segundo os valores de Boynton (1984) para meteoritos condríticos (Figura 9C) e segundo os valores de Weaver & Tarney (1984) para a crosta inferior (Figura 9E), observa-se uma grande similaridade e paralelismo no comportamento de distribuição das amostras para cada agrupamento definido.

Os valores de distribuição dos elementos (Figura 9E) discriminados para os gabros apresentam um padrão de distribuição total mais enriquecido em $[La/Yb=6,39]_N$, leves anomalias de Eu, com $[Eu/Eu^*=0,10]_N$ e um padrão de distribuição simétrico, paralelo e sub-horizontal entre os litotipos, definido pelo valor de $Ce/Sm=1,62$ em relação ao valor de $Gd/Yb=2,18$.

A exceção é somente para uma amostra de gabro que apresenta redução acentuada de elementos terras raras pesadas, reflexo de uma maior redução dos minerais ferromagnesianos.

As análises dos elementos terras raras

(Figura 9E) para os anortositos evidencia um padrão de distribuição total, com valores, mais empobrecido em $[La/Yb=10,45]_N$, fortes anomalias positivas de Eu, com $[Eu/Eu^*=0,66]_N$ e um padrão de distribuição assimétrico e paralelo entre os litotipos, definido pelo valor de $Ce/Sm=3,62$ em relação ao valor de $Gd/Yb=1,87$.

Para o diabásio os valores dos elementos de terras raras (Figura 9E) discriminados apresentam um padrão de distribuição com valores mais amplo, apresentando $[La/Yb=4,59]_N$, fracas anomalias negativas de Eu, com $[Eu/Eu^*=0,09]_N$ e um padrão com simétrico e paralelo definido por $Ce/Sm=1,65$ em relação ao valor de $Gd/Yb=1,68$. Este padrão de distribuição é condizente com a possibilidade de constituírem magmas diferenciados a partir dos magmas básicos iniciais.

Os diagramas de elementos terras raras das rochas intermediárias-ácidas normalizadas segundo os valores de Boynton (1984) para meteoritos condríticos (Figura 9D) e segundo os valores de Weaver & Tarney (1984), para a crosta inferior (Figura 9F), encontram-se mais enriquecidos em elementos e mostram grandes similaridades e paralelismos na distribuição dos dois grandes agrupamentos de rochas mais enriquecidas nos elementos terras raras.

O padrão de distribuição dos elementos terras raras (Figura 9F) discriminado para as rochas intermediárias apresenta $[La/Yb=5,46]_N$, fraca anomalia negativa a levemente positiva de Eu, com $[Eu/Eu^*=0,08]$, e leve assimetria e forte paralelismo da distribuição das amostras, definida pelo braço $Ce-Sm=1,96$ em relação ao $Gd-Yb=1,40$.

O comportamento dos elementos terras raras (Figura 9F) discriminadas para as rochas das rochas ácidas encontra-se condizente com a evolução a partir da diferenciação das rochas intermediárias.

Os monzogranitos apresentam valores $[La/Yb=11,49]_N$, forte anomalia negativa de Eu, com $[Eu/Eu^*=0,06]$, e assimetria definida por $Ce-Sm=3,44$ em relação ao $Gd-Yb=1,44$ e os monzogranitos finos apresentam valores $[La/Yb=8,66]_N$, anomalia negativa de Eu, com $[Eu/Eu^*=0,05]$, e assimetria definida por $Ce-Sm=2,43$ em relação a $Gd-Yb=1,86$.

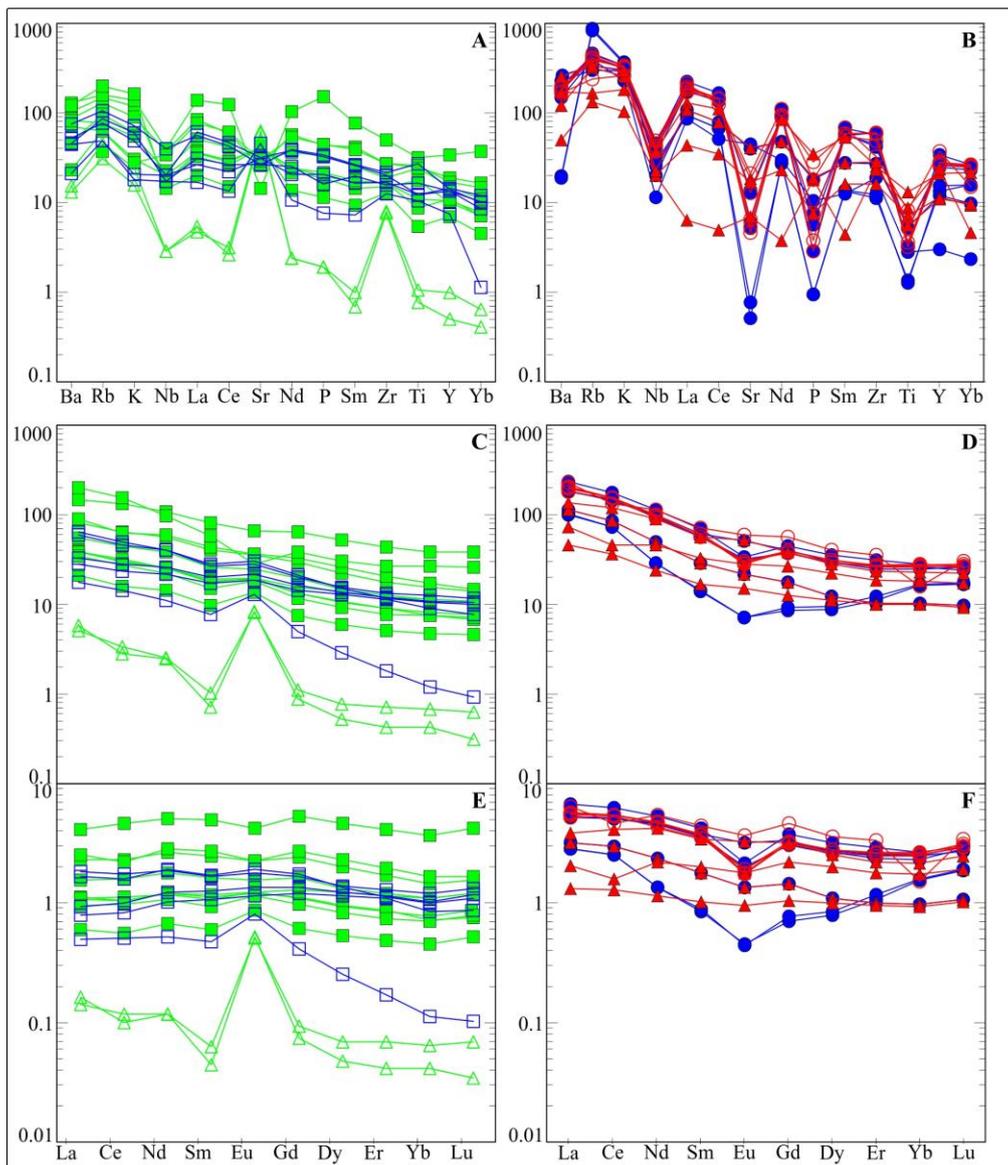


Figura 9. Diagramas de elementos incompatíveis (Spider) normalizados segundo os valores de Boynton (1984) para meteoritos condríticos. **A)** rochas básicas, **B)** rochas intermediárias-ácidas. Diagramas de elementos terras raras normalizadas segundo os valores de Boynton (1984) para meteoritos condríticos. **C)** rochas básicas, **D)** rochas intermediárias-ácidas. Diagramas de elementos terras raras normalizadas segundo os valores de Weaver & Tarney (1984) para a crosta inferior, **E)** rochas básicas e **F)** rochas intermediárias-ácidas.

CONCLUSÕES

O Maciço Rio Apa é caracterizado por processos de evolução crustal marcados por acresções de crosta juvenil, sendo que a última adição de terrenos paleoproterozóicos deve-se à construção do Arco Magmático Amonguijá, constituído pelas rochas do Grupo Amonguijá, identificado através das suítes Plutônica Alumiador e Vulcânica Serra da Bocaina.

A sequência magmática da Serra da Alegria constitui o conjunto litológico do segmento norte do Batólito Alumiador e é representada por duas séries magmáticas diferenciadas independentes, envolvidas em processos de

mistura e contaminação.

A fase de composição básica- ultrabásica é constituída pelas intrusões plutônicas de rochas diferenciadas cumuláticas dispostas lateralmente ao conjunto ácido e por rochas subvulcânicas básicas localizadas no interior do corpo ácido.

A fase de composição intermediária-ácida domina a região central do batólito e é composta por várias intrusões circulares menores de composição ácida atribuídas a episódios magmáticos sincrônicos e repetitivos na acresção de corpos circulares do batólito

constituídos principalmente por microgranitos, parcialmente circundadas em menores proporções, por rochas sulvulcânica da sequência básica.

As rochas subvulcânicas de composição intermediária-ácida e o diabásio constituem uma fase final do Batólito Alumiador, o magmatismo da Serra da Alegria, instalando-se em níveis crustais mais rasos e em condições de maior estabilidade crustal.

A evolução magmática da Serra da Alegria sugere a geração a partir de dois magmas sin- a pós- orogênico. Um magma mantélico primário, diferenciado, de composição básica, que aliado a processos de diferenciação por cristalização e segregação fracionada, gera variedades de rochas básicas-ultrabásicas

constituídas em ambientes de arco vulcânico ou arco magmático.

O outro magma de composição intermediária-ácida é gerado por fusão de rochas da crosta inferior que a partir de processos de diferenciação magmática, provavelmente das rochas intermediárias. As fácies de composições ácidas, cálcio-alcálicas de alto potássio e peraluminosas, definem um ambiente tectônico sin- a pós-colisionais de arco magmático.

Nos litotipos da Serra da Alegria observam-se paragêneses metaígneas estáveis para a fácies dos xistos verdes baixo, resultante do processo metamórfico regional superimposto, de idade neoproterozóica.

AGRADECIMENTOS

Ao apoio da FAPESP (proc. n^o: 05/60371-6) e ao CNPq (proc. n^o: 301302/2006-5).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F.F.M. de. Geologia do centro oeste matogrossense. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineração**, p. 215-137, 1964.
2. ARAÚJO, H.J.T.; NETO, A.S.; TRINDADE, C.A.H.; PINTO, J.C.A.; MONTALVÃO, R.M.G.; DOURADO, T.D.C.; PALMEIRA, R.C.B.; TASSINARI, C.C.G. **Geologia**. MME/SG. Projeto RadamBrasil, Levantamento dos Recursos Naturais. Folha SF. 21–Campo Grande. Rio de Janeiro, v. 28, p. 23-124, 1982.
3. BATCHELOR, R.A. & BOWDEN, P. Petrogenetic interpretation of granitic rock series using multicationic parameters. **Chemical Geology**, v. 48, p. 43-55, 1985.
4. BOYNTON, W.V. Cosmo chemistry of the rare-earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. **Rare-Earth Elements Geochemistry**. Elsevier. Amsterdam, p. 63-114, 1984.
5. CORDANI, U.G.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; COUTINHO, J.M.V.; RUIZ, A.S. The Rio Apa Craton in Mato Grosso do Sul (Brazil) and northern Paraguay: Geochronological Evolution, Correlations and Tectonic Implications for Rodinia and Gondwana. **American Journal of Science**, v. 310, p. 981–1023, 2010.
6. CORRÊA, J.A.; CORRÊA FILHO, F.C.L.; SCISLEWSKI, G.; CAVALLON, L.A.; CERQUEIRA, N.L.S.; NOGUEIRA, V.L. **Projeto Bodoquena**–Relatório Final, Conv. MME/DNPM/CPRM – Superintendência Regional de Goiânia, 1976.
7. CORREIA FILHO, F.C.L.; MARTINS, E.G.; ARAÚJO, E.S. Projeto Rio Apa: área I. Goiânia: CPRM, 2v. Conv. CODESUL/CPRM, 1981.
8. DEBON, F. & LE FORT, P. A chemical-mineralogical classification of the common plutonic rocks and associations. **Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences**, v. 73, p. 135-149, 1983.
9. 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. 40, p. 261-293, 2001.
10. GODOI, H.O. & MARTINS, E.G. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil** -PLGB: Folha SF.21, Campo Grande: escala 1:500.000. Brasília: CPRM, 1999.
11. GODOI, H.O.; MARTINS, E.G.; MELLO, C.R.; SCISLEWSKI, G. **Geologia**. MME/SG. Projeto RadamBrasil. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folhas Corumbá (SE. 21-Y-D), Aldeia Tomázia, (SF. 21-V-B) e Porto Murtinho (SF. 21-V-D), Mato Grosso do Sul, escala 1: 250.000, 2001.
12. GODOY, A.M.; RUIZ, A.S.; MANZANO, J.C.; ARAÚJO-RUIZ, L.M.B.; MONTANO, L.F.; SOUSA, M.Z.A.; BATATA, M.E.F.; SILVA, M.V.V.; BALDIM, I.; LIMA, G.A. Aspectos petrográficos e litogeoquímicos da Suíte Intrusiva Alumiador, Maciço Rio Apa, sul do Cráton Amazônico-MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XLIII, 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 2006, p. 79.
13. GODOY, A.M.; MANZANO, J.C.; ARAÚJO, L.M.B.; SILVA, J.A. Contexto Geológico e Estrutural do Maciço Rio Apa, sul do Cráton Amazônico–MS. **Geociência**, v. 28, n. 4, p. 485–499, 2009 (a).
14. GODOY, A.M.; MANZANO, J.C., ARAÚJO, L.M.B. de; SILVA, J.A. da; CHAGURI, G.F. Sequência Magmática Serra da Alegria, sul do Cráton Amazônico-MS. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, IX, 2009, São Paulo. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, IX, 2009, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2009, CD-ROM, (b).
15. GODOY, A.M.; RUIZ, A.S.; MANZANO, J.C.; ARAÚJO, L.M.B., SILVA, A.J. da. Suíte Vulcânica Serra da Bocaina, Grupo Amongujá, Maciço Rio Apa – MS. **Geociências**, v. 29, n. 4, p. 519-535, 2010.
16. HARKER, A. **The Natural History of Igneous Rocks**. London, Methuen, 384p., 1909.
17. IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. A guide to the

- chemical classification of the common volcanic rocks. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 8, p. 523-48, 1971.
18. JENSEN, L.S. A new cation plot for classifying subalkaline volcanic rocks. Ontario Division of Mines, Misc Paper 66. 19.76.
19. LACERDA FILHO, J.W.; BRITO, R.S.C.; SILVA, M.G.; OLIVEIRA, C.C. DE; MORETON, L.C.; MARTINS, E.G.; LOPES, R.C.; LIMA, T.M.; LARIZZATTI, J.H.; VALENTE, C.R. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso do Sul**. Programa integração, atualização e difusão de dados de geologia do Brasil. Conv. MME/CPRM-MS. 121 p., 2006.
20. LAMEYRE, J. & BOWDEN, P. Plutonic Rock Types Series: Discrimination of Various Granitoid Series and Related Rocks. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 14, p. 169-186, 1982.
21. MALAGUTTI, M.I.A.; BAHIA FILHO, O.; MORENO, M.M.T.; NARDY, A.J.R. Determinação de elementos terras raras e ítrio em rochas silicáticas por ICP-AES com separação em resina trocadora de íons. **Geochimica Brasiliensis**, 12(1/2), p. 75-80, 1998.
22. MANIAR, P.D. & PICOLLI, P.M. Tectonic Discrimination of Granitoids. **Geological Society of America Bulletin**, v. 101, p. 635-643, 1989.
23. MANZANO, J.C.; GODOY, A.M.; ARAÚJO, L.M.B. de; SILVA, J.A. da. Vulcanismo do Grupo Amonguijá, Suíte Serra da Bocaina, Maciço Rio Apa, Sul do Cráton Amazônico-MS. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 4, 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Geologia**, 2008, CD-ROM.
24. MESCHÉDE, M. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeites with the Nb-Zr-Y diagram. **Chemical Geology**, v. 16, p. 207-218, 1986.
25. MIDDLEMOST, E.A.K. The basalt clan. **Earth Science Reviews**, v. 11, p. 337-364, 1975.
26. MIDDLEMOST, E.A.K. **Magma and magmatics rocks. An Introduction to Igneous Petrology**. Longman, London, 206 p. 1985.
27. MULLER, E.D. MnO/TiO₂, P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 62, p. 53-62, 1983.
28. NOGUEIRA, V.L.; OLIVEIRA, C.C.; FIGUEIREDO, J.A.; CORRÊA FILHO, F.C.L.; SCISLEWSKI, N.G.; SOUZA, M.R.; MORAES FILHO, J.C.R.; LEITE, E.A.; SOUZA, N.B.; SOUZA, J.O.; CERQUEIRA, N.L.S.; VANDERLEI, A.A.; TAKASCHI, A.T.; ABREU FILHO, W.; ROSITO, J.; OLIVATTI, O.; HAUSEN, J.E.P.; GONÇALVES, G.N.D.; RAMALHO, R.; PEREIRA, L.C.B. **Projeto Bonito-Aquidauana**: Relatório Final. DNPM-CPRM-DGM, Goiania, v. 14, 1978.
29. PEARCE, J.A. Basalt geochemistry used to investigate past tectonic environments on Cyprus. **Tectonophysics**, v. 25, p. 41-67, 1975.
30. PEARCE, J.A. & CANN, J.R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 19, p. 290-300, 1973.
31. PEARCE, J.A. & NORRIS, M.J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. **Contribution Mineral Petrology**, v. 69, p. 33-47, 1979.
32. 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, p. 956-983, 1984.
33. PEACOCK, M.A. Classification of igneous rocks series. **Journal Geology**, v. 39, p. 54-67, 1931.
34. SCHOBENHAUS FILHO, C. & SOARES, L.A. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**. Folha Corumbá (SE. 21). Brasília, DNPM, 1979.
35. SILVA, E.L. **Geologia da região da Serra da Alegria, extremo sul do Cráton Amazônico, município de Porto Murtinho-MS**. São Paulo, 1998, 147 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
36. SILVA, M.G.; BRITO, R.S.C.; LACERDA FILHO, J.V. Rochas graníticas do complexo Rio Apa e da Suíte Amonguijá, Mato Grosso do Sul: evidências de terrenos acrescionários paleoproterozóicos, na porção sudoeste do cráton Amazônico. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO OESTE, X, 2007, Pirenópolis. **Anais... Pirenópolis: Sociedade Brasileira de Geologia**, 2007. CD-ROM.
37. SILVA, M.G.; BRITO, R.S.C.; LACERDA FILHO, J.V. Magmatismo básico-ultrabásico na Província Rio Apa, MS: implicações tectônicas e metalogenética. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XLIV, 2008, Curitiba. **Anais... Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia**, 2008, CD-ROM.
38. WEAVER, B. & TARNEY, J. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. **Nature**, v. 310, p. 575-57, 1984.
39. 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.
40. WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. **Chemical Geology**, v. 20, p. 325-343, 1977.

*Manuscrito recebido em: 25 de Maio de 2012
Revisado e Aceito em: 16 de Setembro de 2014*