



## Litogeoquímica e geoquímica isotópica de granulitos da região de Arceburgo-Santa Cruz do Prata, MG, sul da Faixa Brasília

Magnólia Barbosa do Nascimento<sup>1,2</sup>; Marcos Aurélio Farias de Oliveira<sup>1</sup>

*Recebido em 17 de outubro de 2011/Aceito em 15 de janeiro de 2013*

<sup>1</sup> Departamento de Petrologia e Metalogenia/IGCE/Unesp; Av. 24 A 1515, Bela Vista, Rio Claro - SP, Fone: (19) 35262802, e-mail: [magbnascimento@yahoo.com.br](mailto:magbnascimento@yahoo.com.br), <sup>2</sup> Departamento de Construção Civil/Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará/IFCE; Av. 13 de Maio 2081, Benfica, CEP – 60040-531, Fortaleza – CE, Fone: (85) 33073605, e-mail: [magnoliab@ifce.edu.br](mailto:magnoliab@ifce.edu.br)

### Resumo

A presente pesquisa apresenta estudos petrográficos, geoquímicos e isotópicos em rochas granulíticas, realizados na região de Arceburgo – Santa Cruz do Prata (MG), na Faixa Brasília (Complexo Guaxupé). A área é composta por rochas metassedimentares (quartzitos foliados), associados a uma suíte charnockítica (charnockitos e enderbites) além de granulitos tonalitos - máficos, biotita gnaiss com granada e biotita muscovita gnaiss com sillimanita. Os minerais essenciais dos litotipos da área são: feldspato potássico perítico, plagioclásio, hiperstênio, diopsídio, hornblenda marrom e biotita vermelha. Granada é observada em litotipos próximos a Zona de Cisalhamento Varginha. Diagramas ETR e multielementos possibilitaram a divisão das amostras em dois grupos geoquímicos (Grupos 1 e 2). Diagramas de classificação sugerem que a evolução do conjunto granulítico se deu partindo de composições mais básicas chegando a composições ácidas, provavelmente por processos magmáticos e de anatexia. Elementos maiores, traços e ETR, sugerem uma fonte única para a sequência de granulitos, com pulsos magmáticos diferentes e modificações posteriores durante o metamorfismo principal de fácies granulito. Dados isotópicos mostram evento ocorrido no Neoproterozóico atribuindo-se a essa época o pico metamórfico na área há aproximadamente  $629.2 \pm 6.1$  Ma.

Palavras-chave: Granulitos, Litogeoquímica, Geoquímica isotópica, Complexo Guaxupé.

### Abstract

This work shows petrographics, geochemistrys and isotopics studies in the granulitic rocks, making in the Arceburgo – Santa Cruz do Prata (MG) region, at the Brasilia Belt (Guaxupé Complex). Occur in the area metasedimentary rocks, charnockites and enderbites, mafic tonalite, garnet-biotite gneiss and sillimate biotite muscovite gneiss. Peritic feldspar, plagioclase, hypersthene, diopside, hornblende and biotite represents the principal mineralogy. In the Varginha Shear Zone porphyroclastes of garnet were also observed. In the REE and SPIDER diagrams two geochemical groups are well defined (Groups 1 and 2). Analyses of these diagrams suggest the evolution from the acid granulitic to basic magmatism probably related with anatexis processes. Major elements, trace and REE, suggesting a single source for the granulitic sequence with different magmatic pulses and subsequent changes along the principal metamorphism in the granulite facies. Isotopic data show event on Neoproterozoic attributing to this time the peak metamorphism in the area for approximately  $629.2 \pm 6.1$  Ma.

**Keywords:** *Granulites, Lithochemistry, Isotopic Geochemistry, Guaxupé Complex.*

## 1. Introdução

A região de Arceburgo – Santa Cruz do Prata (MG), situada na porção sul da Faixa Brasília e, mais especificamente, no Complexo Guaxupé é uma área com elevada complexidade geológica em termos de unidades litoestratigráficas, considerando que as rochas ali existentes na sua maioria são de médio a alto grau metamórfico e sua evolução aos níveis topográficos atuais, é bastante complexa. O Complexo Guaxupé (Oliveira, 1973; Almeida *et al.*, 1976; Zanardo, 1992, 2003) é uma unidade composta por litotipos de alto grau metamórfico da fácies granulito (Del Lama *et al.*, 2000). As principais unidades estratigráficas nos limites do Complexo Guaxupé são: a norte, limitadas pela Zona de Cisalhamento Varginha (ZCV), o Grupo Araxá e o Complexo Barbacena e a sul, limitados pela Zona de Cisalhamento de Ouro Fino, os Complexos Itapira e Amparo e a leste as rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

O trabalho aqui apresentado mostra os resultados de estudos petrográficos, geoquímicos e isotópicos em rochas granulíticas feitos na região que compreende as cidades de Arceburgo e Santa Cruz do Prata em Minas Gerais, com o objetivo de contribuir para um melhor entendimento da dinâmica de evolução na região, utilizando as paragêneses minerais, geoquímica e as relações isotópicas entre esses litótipos.

## 2. Situação geológica e petrográfica

A área de pesquisa está inserida a norte da unidade conhecida como Complexo Guaxupé (Fig. 1). Os litotipos existentes na área de estudo são rochas metamórficas de alto grau subdivididas em dois grupos: Rochas Metassedimentares (quartzitos, biotita gnaiss com granada e biotita muscovita gnaiss) e Granulitos (ortoderivadas) classificadas de acordo com o diagrama Q-A-P de Streckeisen em charnockitos, charnockitos e alaskitos, álcali feldspato charnockitos, granada gnaiss charnockitos, enderbites e granulitos tonalitos -

máficos. Essas rochas constituem faixas alongadas segundo a direção N60°W, com ângulo de mergulho variando entre 25 e 40° para SW. As rochas da série charnockítica são predominantes, com granulitos tonalitos - máficos e enderbites representando as principais ocorrências. Exibem foliação milonítica e bandamento metamórfico bem marcado. As texturas predominantes são do tipo granoblástica ou mais frequentemente blastomiloníticas, com quartzo e feldspato muito deformados e porfiroclastos de feldspato pertítico muito comuns, formando sigmóides. Os minerais essenciais são: feldspato potássico pertítico (mesopertita), plagioclásio (oligoclásio-andesina) antipertítico, hiperstênio, diopsídio, hornblenda e biotita. Para os granulitos máficos, que ocorrem intercalados nos charnockitos e enderbites os minerais principais são ortopiroxênio, clinopiroxênio, hornblenda e plagioclásio (labradorita). Granada foi observada em alguns granulitos (charnockitos e enderbites) e gnaisses encontrados próximos a Zona de Cisalhamento Varginha (ZCV) (Fig. 2 – A, B, C, D, E e F).

O bandamento composicional encontrado na área é marcado pela alternância de níveis charnockíticos, enderbíticos e máficos, uma intensa deformação também é observada nesses litotipos reforçando a mencionada alternância dos níveis litológicos. A espessura desses níveis varia de milimétrica, centimétrica a decamétrica, sendo a estrutura mais observada nas rochas da área, muitas vezes percebidas pelo estiramento de minerais como feldspato e quartzo (Fig. 2 - B). Em afloramentos presentes na área é possível observar dobramentos intrafoliares e sigmóides indicando movimentação dextral (Fig. 3 - L).

A foliação gnáissica de baixo a médio ângulo e paralela ao bandamento metamórfico é marcada principalmente pela orientação dos minerais planares (biotita), prismáticos (anfíbólio) e por minerais ou agregados formados por megacrístais de feldspatos e quartzo estirados. É caracterizada por baixos a médios ângulos de mergulho e alternância entre esses mergulhos (foliação Sn). Nas proximidades da Zona de Cisalhamento Varginha (ZCV) a foliação exibe

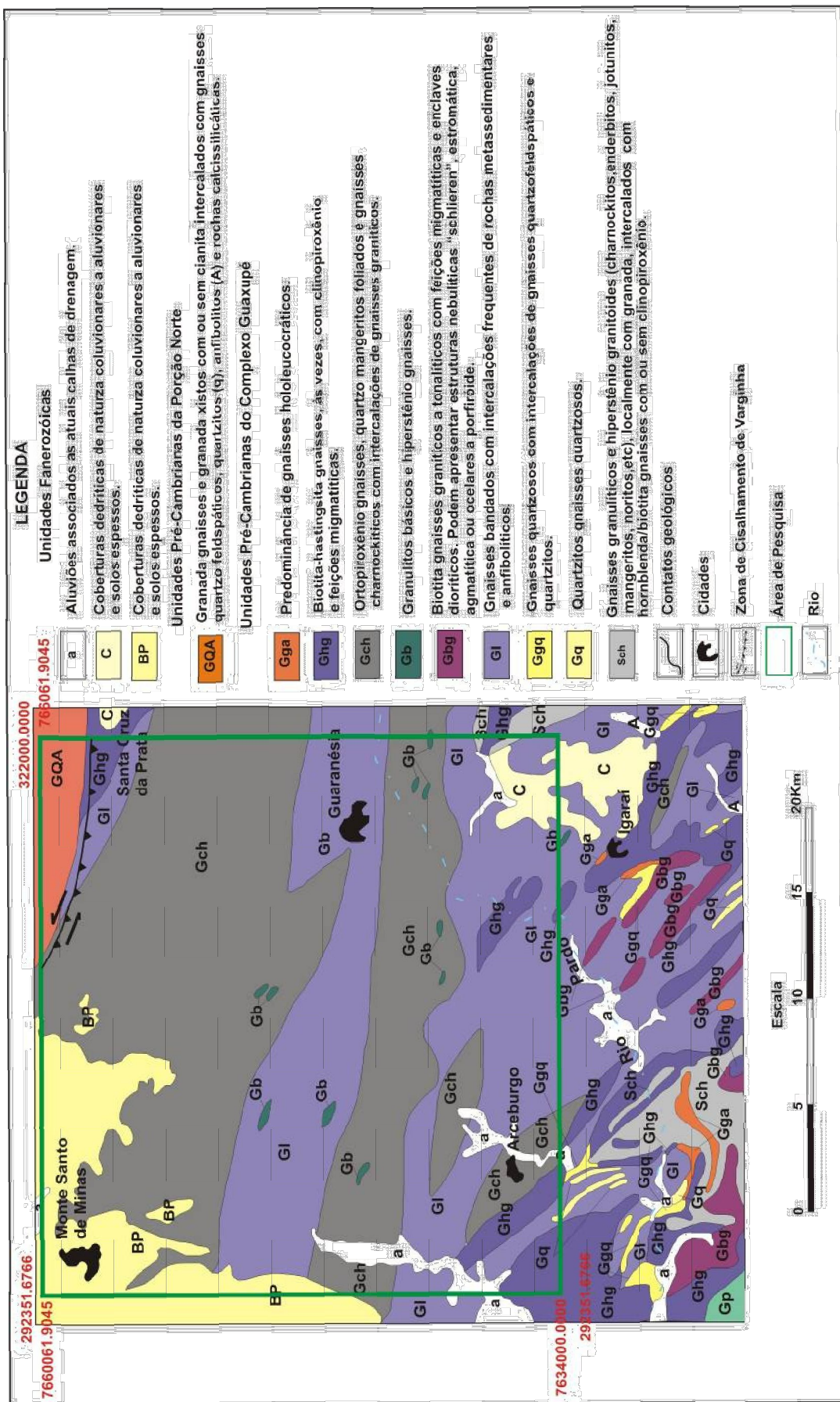


Fig. 1 - Mapa geológico esquemático parcial com a localização da área de pesquisa no Complexo Guaxupé. Fonte: Zanardo - 2003.

mergulhos de médio a alto ângulo, mas que não chegam a tornar as rochas nas proximidades verticalizadas (Fig. 3 - M).

Feição estrutural importante presente na área é a Zona de Cisalhamento Varginha (ZCV) localizada na porção nordeste da área, delimitada pelo surgimento de litotipos com a presença de granada na composição mineralógica e aumento do mergulho das foliações (Figura 03 – G, H, I e J).

Segundo a literatura, a Zona de Cisalhamento Varginha (ZCV) separa as rochas granulíticas do Complexo Guaxupé e as rochas metassedimentares pertencentes ao Grupo Araxá, com direção aproximada WNW/ESE. Alguns litótipos encontram-se milonitizados, mostrando assim a intensa deformação ocorrida na região próxima a ZCV (Fig. 3 - M).



**Fig. 2 – A: Quartzito feldspático exibindo estrutura bandada e intercalações de níveis com concentração de quartzo (MAG 44 - 297300/7638047). B: Charnockito exibindo bandamento composicional marcado principalmente pelos minerais quartzo-feldspáticos (quartzo e feldspato) (MAG 17 - 297596/7647960). C: Amostra de mão de charnockito e alaskito do ponto MAG 39, exibindo bandamento marcado por minerais máficos. D: Amostra macroscópica de álcali feldspato charnockito do ponto MAG 25 mostrando leve orientação. E: Amostra macroscópica de enderbite exibindo bandamento bem marcado (gnaissificação) (MAG 05). F: Amostra de mão de granulito tonalito - máfico pertencente ao afloramento 06 exibindo estruturação bem marcada (MAG 06 - 314710/7645874).**

Feição estrutural importante presente na área é a Zona de Cisalhamento Varginha (ZCV) localizada na porção nordeste da área, delimitada pelo surgimento de litotipos com a presença de granada na composição mineralógica e aumento do mergulho das foliações (Figura 03 – G, H, I e J). Segundo a literatura, a Zona de Cisalhamento Varginha (ZCV) separa as rochas granulíticas do Complexo Guaxupé e as rochas metassedimentares pertencentes ao Grupo Araxá, com direção aproximada WNW/ESE. Alguns litótipos

encontram-se milonitizados, mostrando assim a intensa deformação ocorrida na região próxima a ZCV (Fig. 3 - M).

### 3. Litogeoquímica

Foram analisadas 14 (quatorze) amostras para Elementos Maiores, Menores e Elementos Terras Raras (ETR), correspondentes aos seguintes litotipos coletados na área: Biotita Gnaiss com granada (MAG 59), Charnokitos (MAG - 17;

MAG – 50), Charnockitos e alaskitos (MAG 39), Álcali feldspato charnockito (MAG 03 e 24), Enderbitos (MAG – 05, MAG – 14; MAG – 21; MAG - 70), Granulitos tonalíticos - máficos (MAG 06, MAG – 11 MAG – 55, MAG 60).

As referidas amostras foram, separadas (após análise petrográfica) e preparadas levando em consideração à heterogeneidade exibida no bandamento composicional tomando-se assim todos os cuidados necessários. A análise foi feita via Fluorescência de Raios X (FRX) no Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências e

Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Rio Claro (LABOGEO), para determinação de elementos maiores e traços, conforme metodologia descrita em Nardy et al., 1997. Após os resultados das análises químicas feitas no LABOGEO – DPM – IGCE as amostras foram enviadas ao Activation Laboratories no Canadá para a análise dos elementos traços e ETR, obtidas por ICP-MS. Sendo utilizados posteriormente os dados de elementos maiores do LABOGEO – DPM – IGCE e os elementos traços e ETR das análises feitas no Canadá.

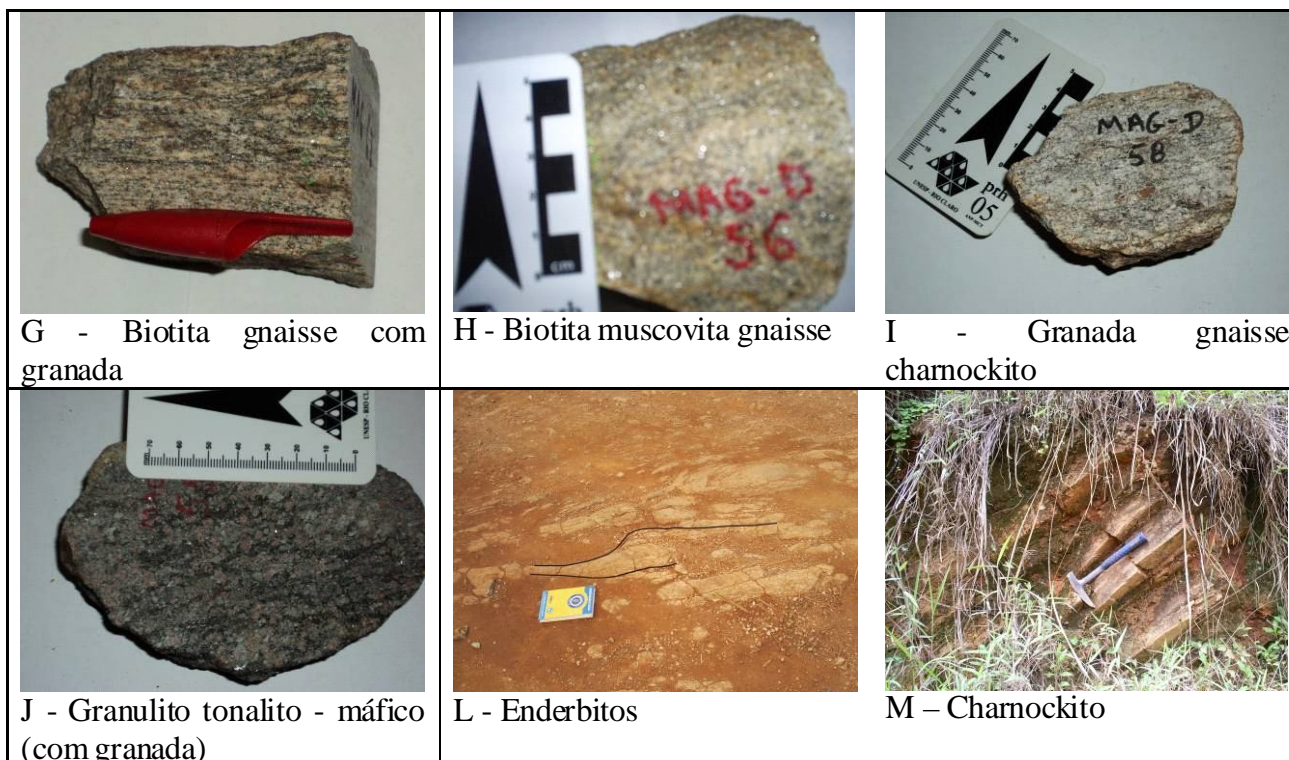


Fig. 3 – G: Amostra macroscópica de biotita gnaissse com granada do ponto MAG 62 encontrado próximo a ZCV mostrando forte orientação e deformação na rocha. H: Amostra de mão do biotita muscovita gnaissse pertencente ao ponto MAG 56 mostrando a grande quantidade de muscovita presente na amostra bem como elevado grau de alteração. I: Amostra macroscópica de granada gnaissse charnockito mostrando o leve bandamento presente na rocha (MAG 58). J: Amostra macroscópica do granulito tonalito - máfico com granadas encontrado no ponto MAG 55 mostrando aspecto mais maciço e grande quantidade de granada. L: Restos de estruturas sigmóidais presentes na porção centro-norte da área em enderbitos com movimentação destal (norte) (MAG 82 - 310962/7648135). M: Foliação com mergulho de mais alto ângulo encontrada na área próximo a ZCV em charnockitos (Sn – 19/50 – MAG 85 - 309653/7653983).

Os dados obtidos foram tratados e geraram diagramas geoquímicos utilizando o programa MINPET, L. R. Richard (1988 - 1995), com os cálculos efetuados pelo programa foram gerados diagramas binários de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{MgO}$  versus os demais

elementos maiores e de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{MgO}$  versus alguns elementos menores, diagramas de classificação geoquímica, tectônica e diagramas ternários (AFM). Os elementos traços e terras raras foram usados para a construção de diagramas multielementos

(Spiders) e ETR, com a finalidade de conhecer e separar grupos com assinatura geoquímica semelhante usando como referência dados da crosta inferior e superior.

A análise desses elementos possibilitou uma melhor caracterização dos protólitos e ambiente tectônico. Dados de análises litogeoquímicas em elementos maiores revelaram tendência nos gráficos  $\text{SiO}_2 \times \text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2 \times \text{MnO}$ ,  $\text{SiO}_2 \times \text{CaO}$ , com destaque para os granulitos tonalitos - máficos, formando isoladamente um conjunto que corresponde a rochas de composição básica a ultrabásica ( $\text{SiO}_2$  entre 46,03 a 49,07%) de afinidade toleítica.  $\text{SiO}_2$  versus  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ , exibe correlação negativa (Fig. 4). Esta relação não é nítida para  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que se apresentam dispersos, sendo as amostras do Grupo 1 (um) mais enriquecidas em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Correlação

positiva é encontrada entre  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Rb}$ , principalmente com o Grupo 1 que mostra enriquecimento maior de  $\text{Rb}$  em relação ao Grupo 2, confirmando o que foi observado com relação aos ETRs (Figs. 4 e 5). No diagrama  $\text{SiO}_2 \times \text{P}_2\text{O}_5$ , as amostras do Grupo 1 (um) intermediárias a ácidas mostram correlação negativa e as amostras do Grupo 2 (dois) correlação positiva (Figura 04). O Ba apresenta dois comportamentos em relação aos Grupos de amostra 1(um) e 2 (dois). O Grupo 1 (um) possui teores mais elevados, porém, diminuem com o aumento da sílica e o Grupo 2 (dois) tem teores menores e correlação positiva, ou seja, aumentam com a sílica. O Y mostra dispersão dos pontos com relação às amostras do Grupo 1 (um) e uma correlação positiva com as amostras do Grupo 2 (dois) (Fig. 5).

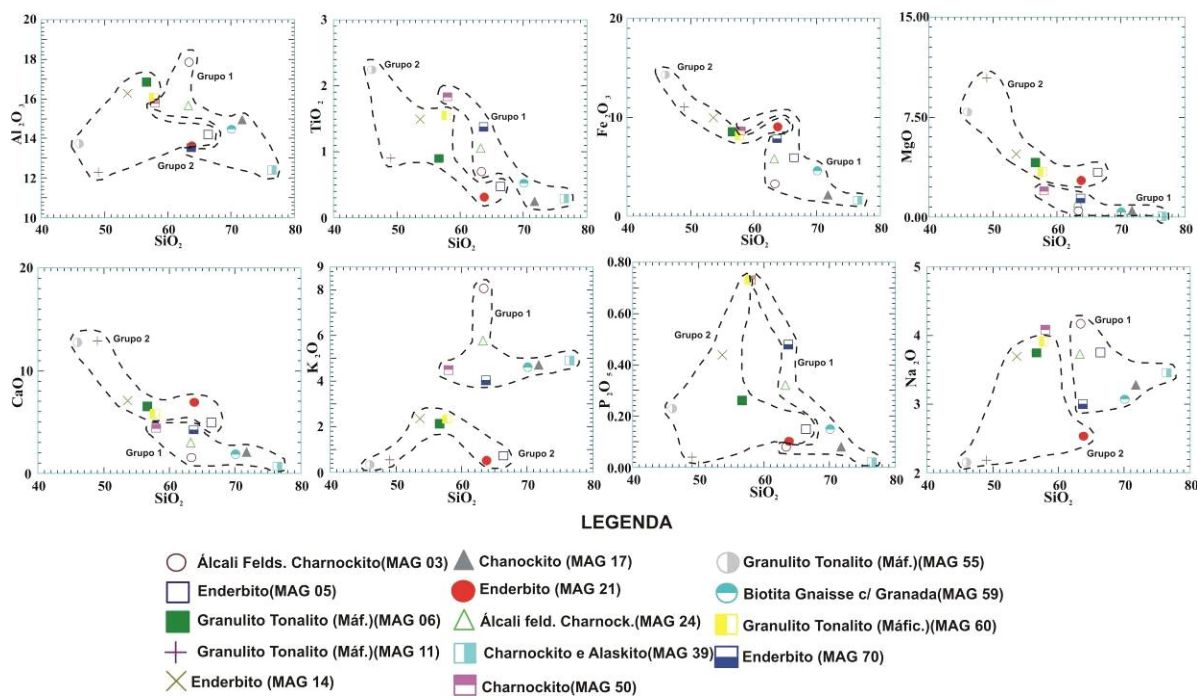


Fig. 4 - Diagramas binários de  $\text{SiO}_2$  versus  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  para as amostras da área de estudo.

Os diagramas de classificação química mostram que parte das rochas da área caem no campo das rochas toleíticas com a maioria no campo das cálcio-alcálicas (Fig. 6). Parte das amostras de composição intermediária apresenta tendência alcalina (charnockitos e álcali feldspato charnockitos – MAG 50, 03 e 24 – Grupo 1). As demais amostras, com composição variando de ácida até

básica são subalcalinas (rochas dos Grupos 1 e 2). Pelo diagrama de Winchester & Floyd 1977, que trata da classificação de rochas magmáticas, pode ser observado um alinhamento, saindo do campo dos basaltos, com amostras que apresentam composição mais básica (MAG 55 e MAG 11 – granulito tonalito – máfico, indo até o campo dos riolitos, onde termos intermediários (MAG 14, 21 e

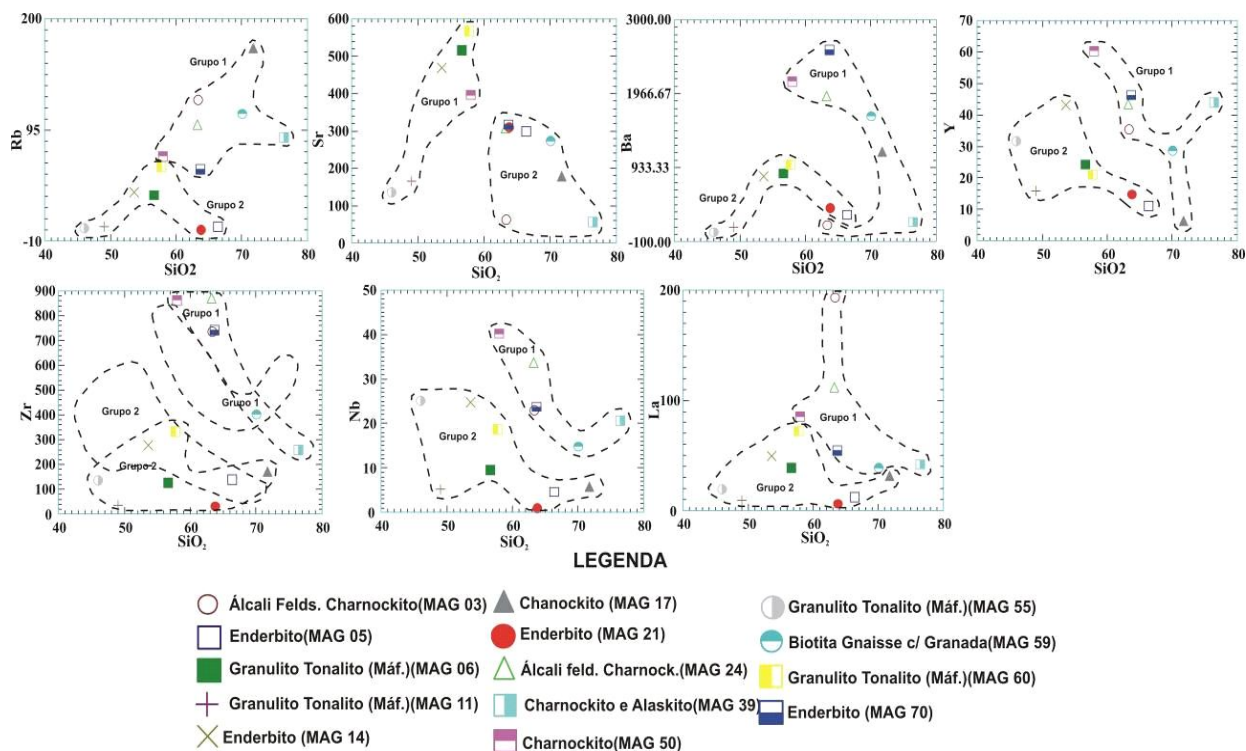


Fig. 5 – Diagramas binários de  $\text{SiO}_2$  versus Ba, Rb, Sr, Zr, Nb, La e Y para as amostras da área de estudo.

70 - enderbite, 06 e 60 – granulito tonalito - máfico, 50 - charnockito, 03 e 24 – álcali feldspato charnockito), evoluem para termos mais ácidos (MAG 05 - enderbite, 59 – biotita gnaiss com granada, 17 - charnockito, 39 – charnockitos e alaskitos. Esse alinhamento sugere uma evolução dessas rochas, provavelmente por processos magmáticos, com forte interação com processos de anatexia tendo, como protólito as rochas do Grupo 2 de composição variando de básicas a ácidas chegando à composição final com rochas de composição intermediária a ácida do Grupo 1. Os diagramas utilizados para ambientes não são conclusivos, pois não foram construídos para esse tipo de rocha. Fornecem apenas indicações dos possíveis ambientes de origem dessas rochas. A amostra MAG 21 chama atenção por seu comportamento distinto em todos os diagramas. O diagrama de classificação de ambientes de formação de magmas com base nas razões de Ta/Yb e Th/Yb, demonstra que as amostras plotadas, na sua maioria, caem no campo dos ambientes de manto empobrecido (Grupo 2, segundo diagramas ETRs) e podem representar assinatura geoquímica do protólito (Fig. 8).

A classificação proposta no diagrama de classificação de ambientes de formação de magmas é baseada nas razões de elementos pesados e imóveis Ta/Yb e Th/Yb, levando a sugerir que o ambiente do protólito dessas rochas seja ortoderivado, tomando como base principalmente as amostras do Grupo 2 (MAG 05, 06, 11, 14, e 21), que apresentam assinatura geoquímica, segundo diagramas ETRs e multielementos do protólito. O fato de algumas amostras se situarem fora das classificações propostas pelo diagrama (MAG 03 e 17) pode ser explicado pelo fato dessas amostras terem sido formadas a partir de uma crosta retrabalhada por fusão parcial, onde a mobilização dos elementos leves e pesados tenha ocorrido afetando assim as razões desses elementos (Fig. 8).

A análise dos diagramas ETR e Multielementos demonstra que as amostras podem ser separadas em (dois) grupos geoquímicos, correspondendo a duas assinaturas geoquímicas, podendo ser avaliadas como consequência da geração e evolução em períodos e ambientes crustais com características distintas (Fig. 7). O Grupo 1 (MAG 03 e 24 - álcali feldspato charnockito; MAG 17 e 50 - charnockito; MAG 59

-biotita gnaiss com granada; MAG 70 – enderbite), tende à se alinhar melhor a crosta superior e apresenta características de magma mais evoluído, com fracionamento  $(La/Yb)_N = 10$  e  $52$  para charnockito e álcali feldspato charnockito e  $(La/Yb)_N = 10$  para charnockito e alaskitos. Com relação à amostra MAG 17  $(La/Yb)_N = 36$  a mesma apresenta comportamento distinto, pois é pobre em ETR pesados em função do provável fracionamento dos minerais zircão e apatita. Com relação à mostra MAG 03 observa-se enriquecimento em Th, La e Ce. Este comportamento estaria relacionado a algum mineral acessório ou ao próprio feldspato. Desse grupo as amostras MAG 03 e 24 - álcali feldspato

charnockito, MAG 50 - charnockito, MAG 59 - biotita gnaiss com granada e MAG 70 - enderbite mostram enriquecimento em ETRs leves e pesados em relação à crosta superior o que pode indicar que essas rochas são mais evoluídas que a amostra MAG 17 (charnockito) que mostra empobrecimento nesses elementos. Com relação às anomalias de Eu as amostras MAG 03 (álcali feldspato charnockito), MAG 59, MAG 70 mostram anomalias negativas.

As amostras MAG 17, MAG 24 e MAG 50 mostram uma leve anomalia positiva em Eu em relação à crosta superior. Possivelmente estariam associadas à fusão da crosta com formação de diatexitos ricos em plagioclásio e provável fracionamento do mesmo.

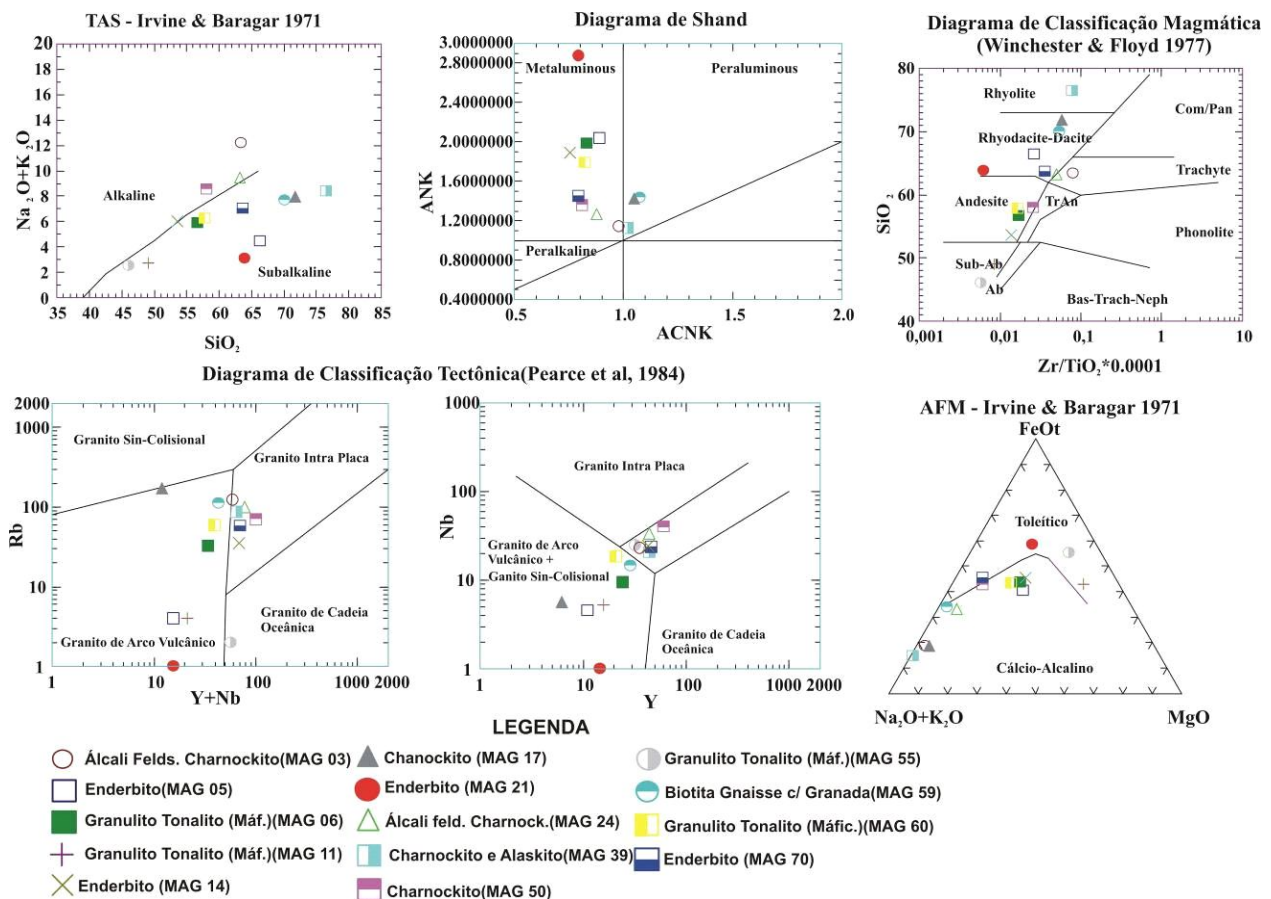


Fig. 6 – Diagramas de classificação geoquímica e classificação de ambientes geotectônicos.

Os diagramas Spider demonstraram que todas as amostras têm uma tendência de alinhamento com a crosta superior para o grupo 1 (Fig. 7). As amostras MAG 50 e MAG 70 (enderbite) exibem empobrecimento nos elementos incompatíveis de raios grandes (LILE) como Rb, Th, U, e Pb.

Segundo Passchier *et al.*, 1993, estes elementos podem ter sido removidos das rochas quando elas residiam na crosta inferior, provavelmente durante metamorfismo de alto grau e por meio da ação de fases fluidas de vapor ou de fusões, seriam transportadas para a crosta superior



onde se concentrariam. As amostras MAG 17 (charnockito), MAG 24 (álcali feldspato charnockito), MAG 59 (biotita gnaiss com granada e MAG 70 (enderbito), mostram enriquecimento em

alguns metais de transição como Cr, Ni e Zn provavelmente por assimilação de protólito básico/ultrabásico. A amostra MAG 03 (álcali feldspato charnockito) exibe leve enriquecimento em Th, La e Ce

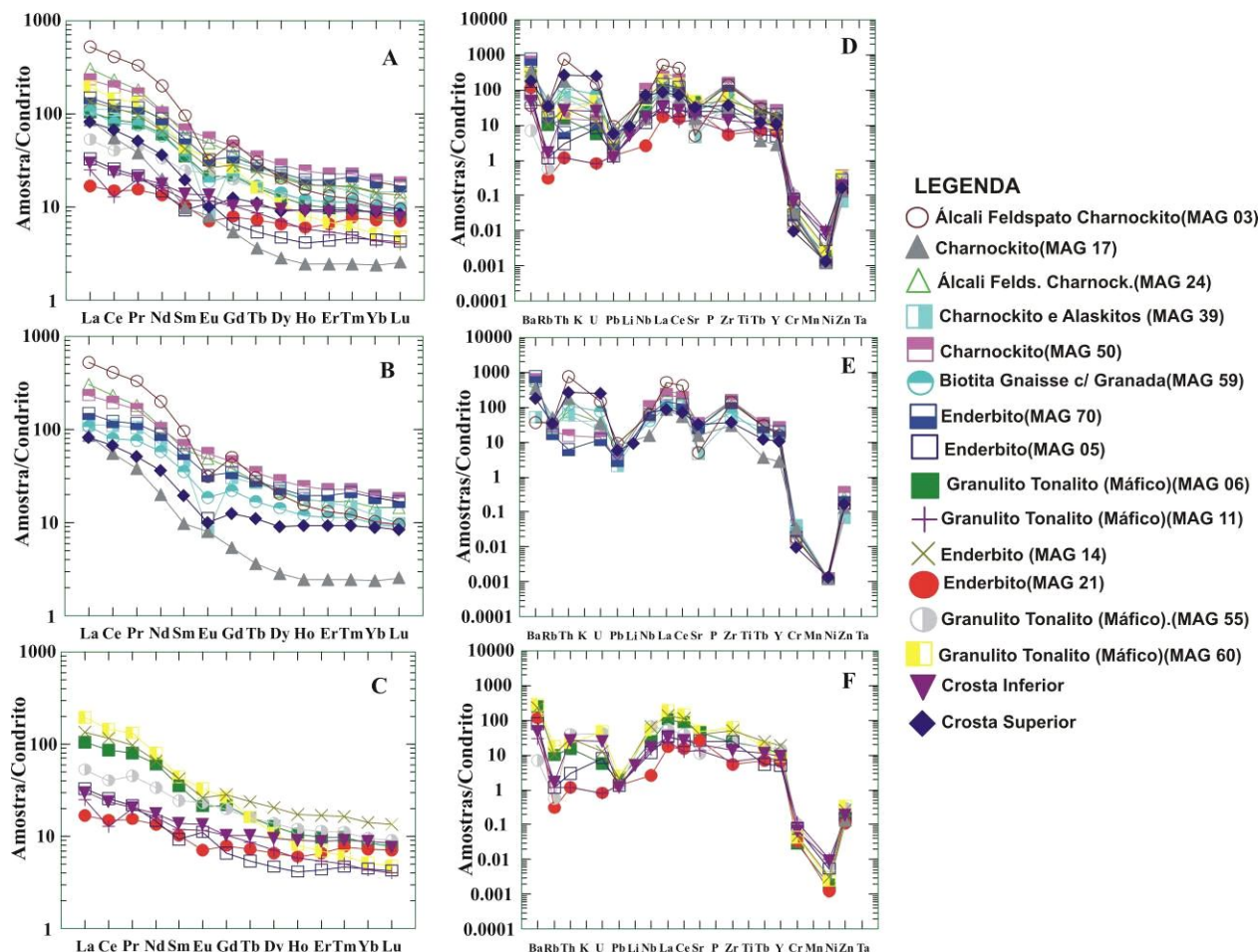


Fig. 7 – Diagramas ETR e Multielementos com todas as amostras e as crostas inferior e superior plotadas (Normalizadas pelo condrito de Sun 1979). A – Todas as amostras (ETR); B – Amostras alinhadas a crosta superior (ETR); C – Amostras alinhadas a crosta inferior (ETR), D – Todas as amostras (Multielementos); E – Amostras alinhadas a crosta superior (Multielementos); F – Amostras alinhadas a crosta inferior (Multielementos).

O Grupo 2 (MAG 05 – enderbito; MAG 06, 11, 55 e 60 - granulito tonalito - máfico; MAG 14 e 21 – enderbito), alinharam-se melhor à crosta inferior. Os granulitos tonalitos - máficos e enderbitos são mais empobrecidos em ETRs leves e pesados em relação a crosta inferior. As amostras MAG 14, MAG 55 exibem enriquecimento em ETRs leves e pesados em relação à crosta inferior. A amostra MAG 06 possui enriquecimento em ETRs leves alinhando-se a crosta superior com relação aos ETRs pesados. A amostra MAG 60 exibe

enriquecimento em ETRs leves e empobrecimentos em ETRs pesados sendo melhor seu alinhamento com a crosta inferior em relação aos ETRs leves. Anomalias negativas de Eu são verificadas nas amostras MAG 14 e 21 que devem possuir menor razão K/Rb, sendo essas rochas maiores concentradoras de Rb e menores de Sr. O fracionamento dos ETR da amostra MAG 05 principalmente do Eu pode ser explicado pelo fracionamento do plagioclásio. As amostras MAG 14 e MAG 21 exibem razão K/Rb em torno de 1.

Diagramas Spider (Multielementos) apresentam tendência de alinhamento com a crosta inferior para todas as amostras do Grupo 2 (Fig. 7). As amostras MAG 11 e MAG 14 exibem empobrecimento em elementos incompatíveis de íons grandes (LIL) principalmente nos elementos Th e U, com exceção das amostras MAG 11 e 55 todas as outras mostram enriquecimento em Ba em relação à crosta inferior. A amostra MAG 21 é empobrecida em todos os elementos com exceção do Ba. MAG 60 mostra enriquecimento em alguns metais de transição como Cr, Ni e Zn. MAG 06 - granulito tonalito - máfico e MAG 05 – enderbito, mostram empobrecimento nos elementos incompatíveis de raios grandes (LILE)

como Rb, Th, U, e Pb, segundo a literatura estes elementos podem ser removidos das rochas quando elas residiam na crosta inferior, provavelmente durante metamorfismo de alto grau e por meio da ação de fases fluidas de vapor ou de fusões, seriam transportadas para a crosta superior onde se concentrariam. Embora rochas do grupo charnockito apresentem características ora de crosta superior e ora de crosta inferior isso não significa que as mesmas tenham sido transportadas de um nível crustal para outro, mas sim que suas afinidades geoquímicas assumiram características diferentes, sendo as de crosta superior mais evoluídas que as de crosta inferior (Fig. 7).

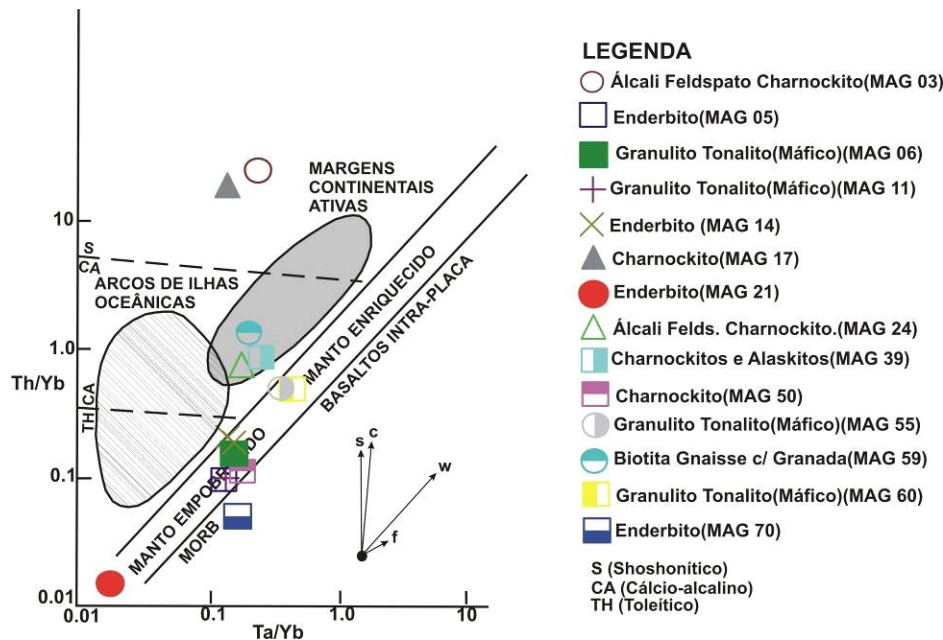


Fig. 8 – Diagrama de variação Th/Yb versus Ta/Yb que mostra a diferença entre basaltos relacionados a subducção e basaltos oceânicos derivados de fontes esgotadas (MORB) e enriquecidas (OIB). Pearce, 1983.

Para as análises isotópicas foram selecionadas 7 (sete) amostras (MAG 03, MAG 06, MAG 17, MAG 21, MAG 24, MAG 39 e MAG 50). Foram obtidos dados dos isótopos para interpretação petrogenética e idades modelo Sm, Nd e Sr com o objetivo de obter informações sobre a evolução do protólito. Além destas determinações também foram feitas medidas de U/Pb em zircão de duas amostras (MAG 03 – álcali feldspato charnockito e MAG 06 – granulito tonalito - máfico) buscando informações a cerca da idade de metamorfismo e possíveis heranças dos protólitos

nos processos anteriores. As análises foram realizadas no Laboratório de Geocronologia/Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – UNB, utilizando o espectômetro de massa Finnigan MAT 262. Segundo método ICP-MS (Laser Ablation). O cálculo das idades modelo foi efetuado através do software Isoplot/Ex (versão 2.47). Além do Sm/Nd foram determinados também os dados da razão inicial de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  para as mesmas amostras.

Os dados da análise isotópica para  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  e  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  e as amostras estão relacionados na Tab. 1.

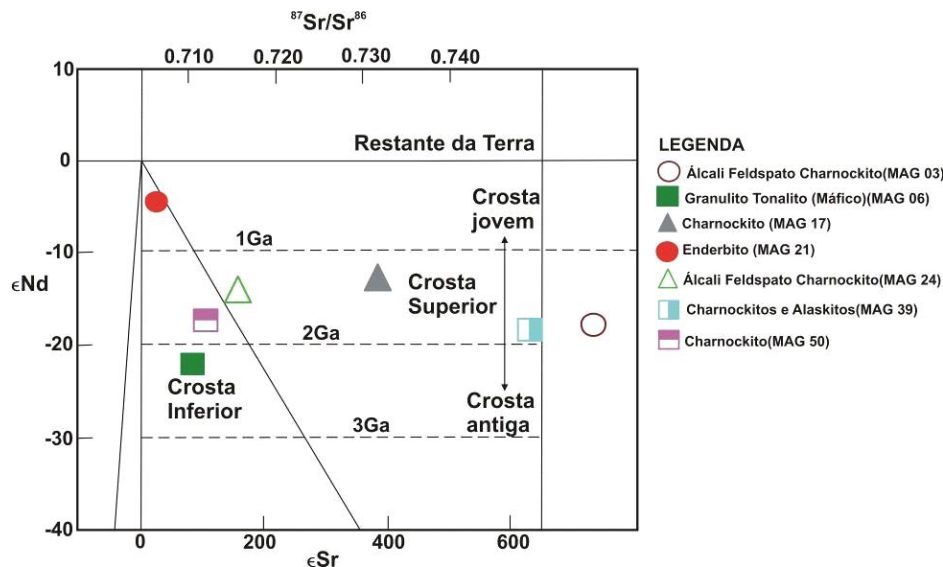


Fig. 9 – Diagrama de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  versus  $\epsilon_{\text{Nd}(0)}$  mostrando as idades relativas das rochas crustais e a confirmação da assinatura geoquímica com a crosta inferior e superior pelas amostras da área (DePaolo & Wasserburg, 1979).

Tab. 1 – Valores obtidos com as análises de  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  e  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

Amostra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ( $\pm 1\sigma$ )	$\epsilon_{\text{Nd}(0)}$	$T_{\text{DM}}$ (Ga)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
MAG 03	17,192	110,093	0,0944	0,511763+/-13	-17,08	1,62	0.7562
MAG 06	7,639	41,133	0,1123	0,511576+/-	-20,72	2,19	0.7113
MAG 17	2,294	15,171	0,0914	0,511937+/-	-13,67	1,37	0.7312
MAG 21	2,279	9,357	0,1472	0,512409+/-	-4,46	1,44	0.7050
MAG 24	14,005	84,783	0,0999	0,511774+/-	-16,86	1,69	0.7153
MAG 39	10,444	49,146	0,1285	0,511705+/-	-18,19	2,38	0.7496
MAG 50	15,112	80,447	0,1136	0,511779+/-	-16,77	1,91	0.7120

Os valores de  $\epsilon_{\text{Nd}(0)}$  apresentam-se negativos e variaram de  $-4,46$  a  $-20,72$ , o mesmo acontecendo com os valores de  $\epsilon_{\text{Nd}(T)}$  que variam de  $-0,67$  a  $-14,26$  (granulito tonalito – máfico), calculados para a idade de metamorfismo (600 Ma) podendo assim indicar que o conjunto de rochas da área permaneceu em ambiente crustal por um longo período, além de intenso retrabalhamento crustal. A amostra MAG 21 apresenta valor de  $\epsilon_{\text{Nd}(T)}$  de  $-0,44$  podendo indicar possivelmente a presença de material juvenil por ocasião do evento metamórfico (Fig. 9).

As duas amostras escolhidas para fazer a datação em zircão pelo método U/Pb por Laser Ablation apresentam composição básica (MAG 06

– granulito tonalito - máfico) e intermediária (MAG 03 – álcali feldspato charnockito), esperando-se assim um resultado que mostre além do pico metamórfico da área as possíveis heranças dos processos anteriores ao pico metamórfico.

Análise isotópica de U/Pb para a amostra de composição mais básica, granulito tonalito - máfico – MAG 06, mostra evento ocorrido no Neoproterozóico, relacionando a essa época o pico metamórfico da área a aproximadamente  $629.4 \pm 6.1$  Ma, enquanto o valor obtido para a amostra MAG 03 é de  $638.4 \pm 4.8$  Ma (Figs 10 e 11). As idades  $T_{\text{DM}}$  obtidas para essas amostras variam de 1,37 a 2,29 Ga.

O valor mais antigo encontrado para as amostras MAG 06 e MAG 03 de 2,29 Ga aproximadamente pode sugerir a idade mínima de formação do protólito. Pela figura 12, além da idade principal observam-se mais dois alinhamentos: um que indica idade máxima de 2000 Ma e outro com idade máxima de aproximadamente 2500 Ma (zircão com herança de eventos mais antigos), que pode indicar uma história complexa desse protólito.

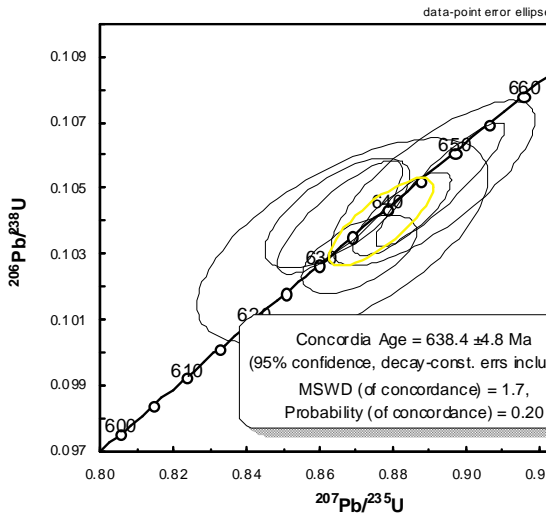


Fig. 10 - Diagrama concórdia U/Pb da amostra MAG 03 – Álcali Feldspato Charnockito, mostrando a idade do metamorfismo obtida com datação em U/Pb em zircão.

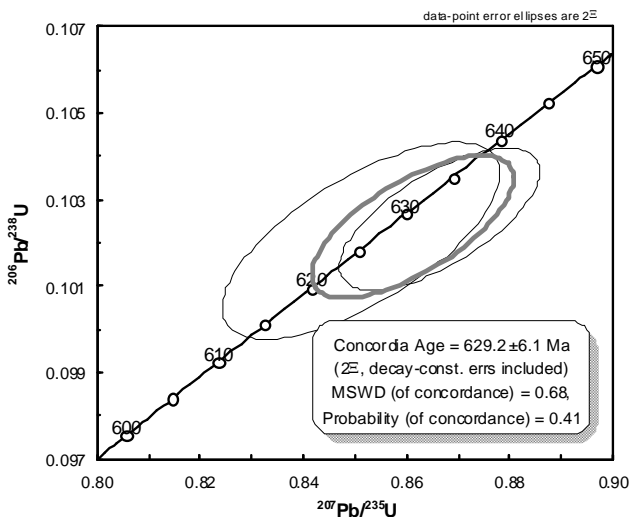


Fig. 11 - Diagrama concórdia U/Pb da amostra MAG 06 – Granulito Tonalito (Máfico), mostrando a idade do metamorfismo obtida com datação em U/Pb em zircão.

sendo considerado um evento importante em 2000 Ma e proveniência de rochas Arqueanas (Fig. 12). Esse fato pode ser confirmado pelos resultados de Sm/Nd, que chegam a 2,29 Ga.

Janasi (2002) retrata a existência de valores de  $T_{DM}$  de 1,2 - 1,5Ga – na região ao sul do Complexo Guaxupé e interpreta como sendo possível material crustal mais novo e/ou podendo corresponder a misturas de material derivado da

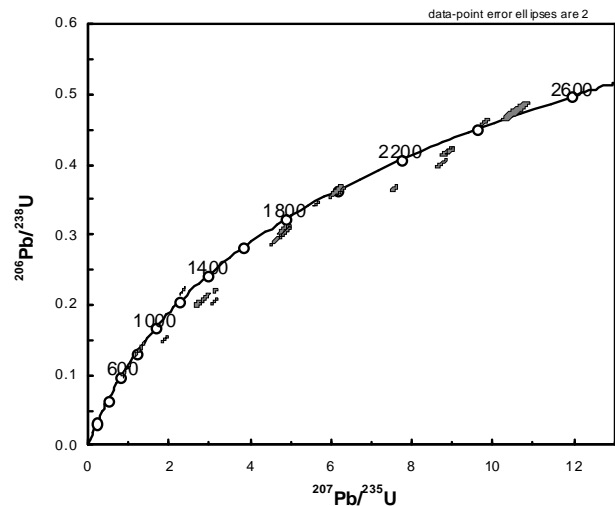


Fig. 12 – Diagrama concórdia U/Pb da amostra MAG 06 – granulito tonalito - máfico, mostrando heranças de eventos anteriores.

## 5. Discussão

As rochas encontradas na região de Arceburgo – Santa Cruz do Prata (MG) são representadas por metassedimentos associados a tipos da suíte charnockítica (charnockitos e alaskitos, charnockitos, álcali feldspato charnockitos, enderbitos) além de granulitos tonalitos - máficos e granada gnaisses. As rochas da suíte charnockítica revelam a presença de duas assinaturas geoquímicas podendo ser avaliadas como consequência da geração e evolução em períodos e ambientes crustais com características distintas.

A partir do comportamento dos elementos maiores, traços e ETR, para as amostras, pode-se sugerir uma fonte única para a seqüência estudada, com pulsos magmáticos diferentes. Posteriormente modificações podem ter sido acarretadas por processos de anatexia, ocorridos durante o

metamorfismo principal de fácies granulito. O comportamento das amostras sugere cogeneticidade mostrada nos *trends* regulares observados nos diagramas de Harker e aponta para uma suíte magmática diferenciada, indicada nos diagramas AFM e  $K_2O \times Na_2O \times CaO$ , e que pouco foi obliterada pelo metamorfismo. As amostras com características toleíticas (MAG 11, 21 e 55) representam material mais primitivo dentro do conjunto de rochas presentes na área.

Os dados isotópicos mostram evento ocorrido no Neoproterozóico atribuindo-se a essa época o pico metamórfico na área há aproximadamente  $629.2 \pm 6.1$  Ma, registrado na amostra MAG 06. Dois alinhamentos foram observados, um indicando idade máxima de 2000 Ma e um outro com idade máxima de aproximadamente 2500 Ma, podendo indicar que o protólito teve uma história complexa, sendo considerado um evento importante em 2000 Ma e proveniência de rochas Arqueanas, fato esse que pode ser confirmado pelos resultados de Sm/Nd, que chegam a 2,29 Ga.

Os valores de  $\epsilon_{ND(0)}$  variaram de -4,46 a 20,72 e  $\epsilon_{ND(T)}$  de -0,67 a 14,26, calculados para a idade de metamorfismo (600 Ma), apresentando-se negativos podendo assim indicar que o conjunto de rochas da área permaneceu em ambiente crustal por um longo período, além de intenso retrabalhamento crustal. Valores de  $T_{DM}$  entre 1,4 e 1,7 Ga indicam presença de crosta juvenil e/ou mistura de crosta continental antiga com crosta continental juvenil (neoproterozóica).

### Agradecimentos

A realização desse estudo foi possível graças aos auxílios do CNPq/PIBIC e FAPESP (processo 06/58128-9) aos quais os autores expressam sua gratidão.

### Referências Bibliográficas

Almeida, F. F. M. de 1976. The System of Continental Rifts Bordering the Santos Basin, Brazil. An. Acad. brasil. Ciênc., 48(Supl.):15-26.

Del Lama, E. A.; Zanardo, A.; Oliveira, M. A. F.; Morales, N. 2000. Exhumation of high pressure granulite of Guaxupé Complex, Southeastern Brazil. Geological Journal, 35:231-249.

De Paolo, D. J.; Wasserburg, G. J. (1979) Petrogenetic mixing models and Nd-Sr isotopic patterns. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 43, p. 615-627.

Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8: 523-548.

Janasi, V. A. 2002. Elemental and Sr-Nd isotope geochemistry of two Neoproterozoic mangerite suites in SE Brazil: implications for the origin of the mangerite-charnockite-granite series. Precambrian Research, 119: 301-327.

Ludwig K.R. (2001a), Users' manual for Isoplot/Ex version 2.47. A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Berkeley Geochronology Center Special ...

Oliveira, M. A. F. 1973. Petrologia das rochas metamórficas da região de São José do Rio Pardo, SP. Rev. Bras. Geoc., 3(4): 257-278.

Passchier, C.W., tem Brink, C.E., Bons, P.D. & Sokoutis, D. (1993). Delta-objects as a gauge for stress sensitivity of strain rate in mylonites. Earth and Planetary Science Letters, 120, 239-245.

Pearce, J. A. (1983). Role of the cub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins, In Hawkesworth, C. J. and Norry, M. J. eds., Continental basalts and mantle Xenoliths, 230-250, Shiva, Nantwich, Cheshire, U.K.

Pearce, J. A., Harris, N. W. & Tindle, A. G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology 25, 956-983.

Richard L.R. 1995. Minpet Software. Mineralogical and Petrological data processing system. Versão 2.02.

Zanardo, A.; Szabó, G. A. J.; Cândia, M. A. F.; Oliveira, M. A. F. de. 1992. Os corpos metaltramáficos da Serra das Águas Claras, Município de Itapira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos...São Paulo: SBG, v. 1, p.460.

Zanardo, A. 2003. Pesquisa geológica e de matérias-primas cerâmicas do centro nordeste do Estado de São Paulo e vizinhanças. Sistematização crítica da produção técnico-científica. Tese de Livre Docência. Instituto

de Geociências e Ciências Exatas – Campus de Rio Claro – SP. p.283.

Winchester, J. A. & Floyd, P. A. (1977). Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20, 325–343.

