



P
ARA CONHECER
A TERRA
MEMÓRIAS E NOTÍCIAS
DE GEOCIÊNCIAS
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Lopes, F. C., Andrade, A. I.,
Henriques, M. H., Quinta-Ferreira, M.,
Barata, M. T. & Pena dos Reis, R.
Coordenação

GRANITOS CÁLCIO-ALCALINOS DA REGIÃO DE GOUVEIA
(SE BRASIL): EVIDÊNCIAS PARA ACREÇÃO CRUSTAL
PRECAMBRIANA NO ESPINHAÇO MERIDIONAL

CALC-ALKALINE GRANITES FROM GOUVEIA REGION
(SE BRAZIL): EVIDENCES FOR PRECAMBRIAN CRUSTAL
ACCRETION IN SOUTHERN ESPINHAÇO

T. M. Dussin¹, A. O. Chaves¹, M. L. S. C. Chaves¹

Resumo – Uma série de plútons graníticos acomoda-se nos terrenos gnáissico-migmatíticos da Região de Gouveia, a principal zona de afloramento do embasamento na porção externa da Faixa Araçuaí, um cinturão de dobramentos Neoproterozóico que representa uma das principais unidades geotectônicas do sudeste do Brasil. Os granitos são constituídos por feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, moscovita, biotita e têm hiperstênio normativo. São cálcio-alcálicos, fracamente peraluminosos, mostram baixas concentrações de MgO e CaO, baixas razões FeO/(FeO+MgO) e Fe³⁺/Fe²⁺, e alta razão K₂O/Na₂O. São enriquecidos em Rb, Ba, Th e Ta relativamente a Sr, P, Zr, Ti e elementos terras raras e apresentam anomalia negativa de Nb observada em todas as amostras. São enriquecidos em terras raras leves relativamente aos elementos terras raras pesados e mostram marcantes anomalias negativas de Eu. As feições geoquímicas, petrográficas e as relações de campo indicam que os granitos de Gouveia são similares aos granitos orogênicos gerados em contexto de subducção de placas. Os dados indicam provável relação da gênese de magmas com os estágios tardios da evolução de um orógeno Paleoproterozóico/Transamazônico.

Palavras-chave – Granito; Orogênese Transamazônica; Serra do Espinhaço Meridional; Brasil

Abstract – Granitic plutons intruded gneissic-migmatitic terrains of the Gouveia Region, which is the mainly outcrop zone of the basement in the outer portion of the Neoproterozoic Araçuaí Belt, that occurs in the Southeastern Brazil. The granites are composed of potassium

¹ Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil; tdussin@gmail.com; alochaves@yahoo.com.br; mlschaves@gmail.com

feldspar, plagioclase, quartz, muscovite and biotite, with normative hypersthene. They are calc-alkaline, weakly peraluminous showing low concentrations of MgO, CaO, FeO/(FeO+MgO), Fe³⁺/Fe²⁺ and high K₂O/Na₂O. The rocks are enriched in Rb, Ba, Th and Ta in relation to Sr, P, Zr, Ti and Rare Earth elements, and show negative Nb anomalies in all samples. The granites are also enriched in Light Rare Earth elements in relation to the Heavy Earth elements and show marked negative Eu anomalies. The geochemical and petrographic features and field relations indicate that the studied rocks are similar to orogenic granites generated in plate subduction tectonic context. The data indicate probable relationship of magmagenesis with the later stages of the evolution of a Paleoproterozoic/Transamazonian Orogen.

Keywords – Granite; Transamazonian Orogeny; Southern Espinhaço Hill; Brazil

1 – Introdução

A Região de Gouveia, situada na porção central da Cordilheira do Espinhaço Meridional no estado de Minas Gerais (sudeste do Brasil), tem sido objeto de inúmeros estudos geológicos desde o século XVII. Estes trabalhos investigaram principalmente as sequências metassedimentares Proterozoicas aflorantes na região, em especial o Supergrupo Espinhaço, mas muito pouco se sabe sobre a geologia dos terrenos gnáissico-migmatíticos de idades Arqueanas/Paleoproterozoicas que constituem o embasamento regional. Neste trabalho são apresentados resultados preliminares sobre um estudo petrográfico e geoquímico de metagranitóides intrusivos no complexo basal que afloram na Região de Gouveia (Brasil). Nosso principal objetivo foi a caracterização dessas rochas a fim de subsidiar o entendimento da granitogênese e do contexto tectônico em que ela ocorreu.

2 – Contexto geológico regional

A Região de Gouveia está situada no núcleo de um grande anticlinório que constitui uma das principais áreas de exposição do embasamento da porção externa da Faixa Araçuaí, um cinturão de dobramentos que representa uma das principais unidades geotectônicas do Proterozoico no sudeste do Brasil. A Faixa Araçuaí foi estruturada durante a Orogênese Brasileira no Neoproterozoico/Cambriano, em resposta à colisão entre os crátons São Francisco e Oeste Congo (África) (PORADA, 1989; PEDROSA-SOARES *et al.*, 1992, 2001; ALKMIM *et al.*, 2006).

A geologia do embasamento é mais bem conhecida nas porções leste e a sul do orógeno. Nestas regiões, os dados indicam que os terrenos gnáissico-migmatíticos foram formados a partir da aglutinação de blocos crustais arqueanos no Paleoproterozoico, aproximadamente, entre 2,2 e 2,0 Ga, durante a Orogênese Transamazônica (*e.g.*, TEIXEIRA *et al.*, 1990; NOCE *et al.*, 2007). No Anticlinório de Gouveia, o embasamento é constituído por orto e paragneisses diversamente migmatizados e milonitizados (Fig. 1). O complexo foi invadido por uma série de plútons que variam de metagranitos a metadioritos. Estudos anteriores específicos sobre a gênese e o significado tectônico destas rochas são restritos (HOFFMANN, 1983; CRUZ *et al.*, 2005). Eles indicam condições de solidificação dos granitóides de 660-680°C e aproximadamente 3,5-4,0 kbar.

Duas seqüências supracrustais se sobrepõem ao embasamento na Região de Gouveia: o Supergrupo Paraúna, uma seqüência vulcanosedimentar de idade Arqueana/Paleoproterozóica indeterminada composta por metavulcânicas ultramáficas, máficas e félsicas e por metassedimentos clásticos e químicos; e o Supergrupo Espinhaço, uma seqüência do tipo *rift*, depositada no Estateriano, constituída principalmente por quartzitos com intercalações de filitos, metaconglomerados e rochas metavulcânicas em sua porção basal (e.g., SCHÖLL & FOGAÇA, 1979; MACHADO *et al.*, 1989, DOSSIN *et al.*, 1992).

Na Região do Espinhaço Meridional, os dados existentes são insuficientes para permitir agrupar e associar estruturas e paragêneses metamórficas do embasamento a eventos tectônicos específicos. A Orogênese Brasiliana produziu nesta região encurtamento crustal, com transporte de massas para oeste associado a *thrusts* de escala regional e direção geral norte-sul, afetando seqüências supracrustais e porções do embasamento. As condições metamórficas gradaram de metamorfismo incipiente próximo ao Cráton São Francisco até a fácies granulito na porção oriental da faixa. Em Gouveia, o metamorfismo foi da fácies xisto verde e a deformação associada do tipo rúptil-dúctil com formação de falhas reversas de alto ângulo, e séries de milonitos (DUSSIN *et al.*, 1992; CRUZ *et al.*, 2005). Os registros da Orogênese Brasiliana estão sobrepostos aos registros transamazônicos nas rochas do embasamento e a separação entre eles não é clara, sendo controversas as informações fornecidas pelos indicadores de vergência tectônica e polaridade metamórfica dos eventos mais antigos.

Os dados geocronológicos disponíveis para rochas pré-Espinhaço são também escassos e mostram resultados controversos. Idades U/Pb sobre zircões indicam idades Arqueanas (intercepto superior de discórdia a *ca.* 2971 Ma) e Paleoproterozóicas (intercepto superior de discórdia a *ca.* 2050 Ma) para rochas atribuídas ao Supergrupo Paraúna (MACHADO *et al.* 1989). As duas determinações mostram impressão de evento metamórfico a 1850 Ma (intercepto inferior das discórdias) demonstrando atuação do evento Transamazônico sobre aquelas rochas.

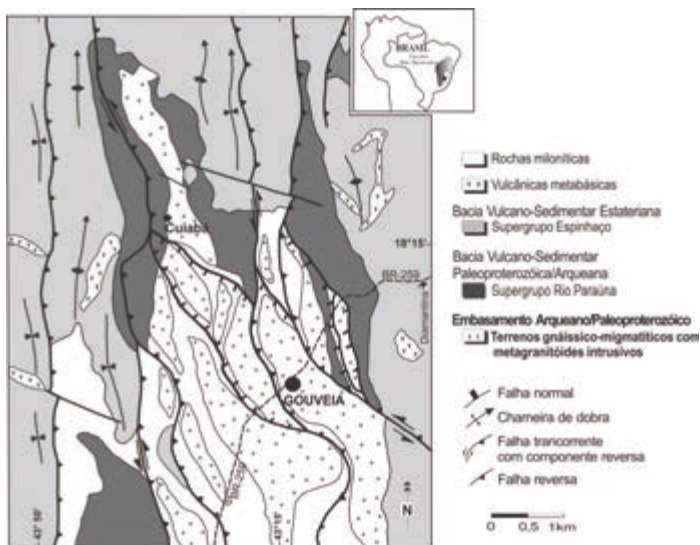


Fig. 1 – Mapa geológico simplificado da Região de Gouveia (modificado de CRUZ *et al.*, 2005).

3 – Metagranitos de Gouveia

244

Metagranitóides de composições diversas intrudem o embasamento gnáissico no Anticlinório de Gouveia na forma de plútons. Afloram de modo esparsos, estando muitas vezes cobertos por espessos solos de alteração. As limitadas exposições têm impedido a individualização de corpos e a determinação das relações de contato entre eles e com as encaixantes gnáissicas. Entretanto, localmente é possível verificar a ocorrência de xenólitos de quartzo-xistos, gnaisses e secundariamente de rochas de composição diorítica. Como suas encaixantes, muitas vezes essas intrusivas são deformadas por falhas reversas de idade Brasileira, que geraram rochas da série milonítica que constituem faixas de direção geral submeridiana. Em zonas de baixo *strain* Brasileiro, entretanto, as texturas ígneas e minerais magmáticos estão bem preservados, e a deformação está normalmente restrita a orientação das micas que é paralela à foliação regional.

Os principais tipos de granitóides aflorantes, classificados com base em suas composições modais, são granitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos e dioritos. Embora essas rochas tenham a mesma deformação e metamorfismo, a análise petrográfica e geoquímica indica a existência de episódios magmáticos distintos, possivelmente relacionados a diferentes contextos tectônicos. Desta forma, neste trabalho apresentamos os resultados do estudo específico da litofácies granítica, a mais diferenciada e de ocorrência predominante na área de estudo.

3.1 – Petrografia

Metagranitos típicos da Região de Gouveia têm granulação média-grossa e textura hipidiomórfica, inequigranular. Localmente são porfiróides, com megacristais de feldspato potássico com orientação de fluxo. São constituídos por feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, moscovita, biotita e têm hiperstênio normativo. O feldspato é em geral microclínio pertítico. Ortoclásio é raro e só presente na matriz dos tipos porfiróides. O plagioclásio é albita-oligoclásio, frequentemente com alteração para sericita ± epidoto. Moscovita e biotita ocorrem como cristais idiomórficos e mostram alteração para sericita e clorita, respectivamente. O quartzo é intersticial aos feldspatos e ocorrem como grãos poligonizados. Magnetita/ilmenita são os acessórios mais comuns. Zircão, titanita e turmalina são ocasionais.

3.2 – Geoquímica

Nove amostras de metagranitos foram analisadas no SGS GEOSOL Laboratórios (Minas Gerais). Os elementos maiores e alguns traços (Ba, Nb, Sr, Y, Zr) foram analisados por *ICP-OES*. Demais traços e elementos terras raras foram analisados por *ICP-MS*. Os limites de detecção foram em torno 0,01% para os óxidos maiores e 1 ppm para os demais. A precisão das análises está no intervalo de 1-2% do RSD (desvio padrão relativo).

Elementos Maiores

As rochas estudadas classificam-se como granitos quando consideradas suas composições modais ou normativas em diagrama An-Ab-Or (Fig. 2a). Os dados obtidos mostram composições de SiO₂ variando no estreito intervalo de 70 a 77%. As amostras são caracterizadas por

baixas concentrações de MgO (0,22 a 1,14%), CaO (0,24 a 1,47%), TiO₂ (0,18 a 0,52%) e baixas razões FeO/(FeO+MgO) (0,69 a 0,87) e Fe³⁺/Fe²⁺. A razão K₂O/Na₂O varia entre 1,06 e 1,60%. Com relação à concentração relativa de álcalis *versus* alumínio, variam de fracamente peralcalinas a peraluminosas (Fig. 2b). Os metagranitos variam de cálcicos a alcalino-cálcicos, com predomínio das composições cálcio-alcálicas com base no índice álcali-lime modificado (Fig. 2c). A tendência cálcio-alcálica das amostras é confirmada no diagrama AFM (Fig. 2d). Os diagramas de concentrações de elementos maiores *versus* SiO₂ e outros índices de diferenciação (não apresentados) mostram dispersão, não se caracterizando qualquer *trend* claro de fracionamento magmático para as amostras consideradas.

Elementos Traços

Em um diagrama multielementar para elementos traços incompatíveis, os padrões de distribuição obtidos mostram forte inclinação, indicando enriquecimento relativo dos elementos mais incompatíveis Rb, Ba, Th, e Ta (elementos de grande raio iônico – *LILE*), relativamente às concentrações de Nb, P, Zr, Hf, Ti, Y e elementos terras raras (elementos de grande potencial iônico – *HFSE*) (Fig. 3a). Os padrões são caracterizados por expressivas anomalias positivas de Rb e Th e negativas de Nb, Sr, P e Ti. As anomalias de Rb e Th são típicas de envolvimento de um componente crustal na gênese de magmas. A anomalia negativa de Nb é característica de magmas de zonas de subducção. As anomalias de Sr, P, e Ti podem ser atribuídas ao fracionamento de plagioclásio, apatita, e ilmenita/rutilo, respectivamente, durante a petrogênese. Quando comparados a outros granitos, as rochas analisadas mostram padrões de distribuição similares àqueles de granitos orogênicos formados em contexto tectônico de subducção de placas (Fig. 3b). As rochas de Gouveia, entretanto, têm concentrações absolutas mais elevadas de todos os elementos incompatíveis.

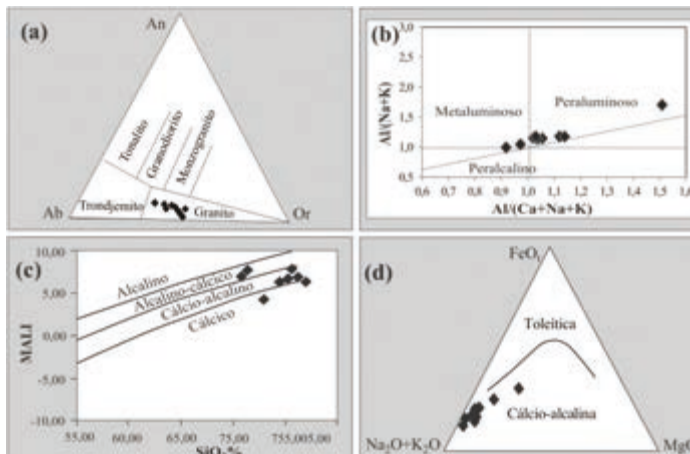


Fig. 2 – Composição química das rochas metagraníticas da Região de Gouveia. a. Diagrama An-Ab-Or de composição normativa em % peso (CIPW) (segundo BARKER, 1979); b. Diagrama de alumina-saturação (segundo MANIAR & PICCOLI, 1989); c. Classificação baseada no índice MALI (Na₂O+K₂O-CaO) *versus* SiO₂ (segundo FROST, 2001). d. Diagrama AFM (segundo IRVINE & BARAGAR, 1971).

Os metagranitos estudados são caracterizados por leve enriquecimento nas concentrações absolutas de elementos terras raras leves e mostram concentrações similares aos valores de normalização de elementos pesados. Existe, entretanto, um forte fracionamento entre elementos leves e pesados, com $La_N/Yb_N \sim 50$ (Fig. 4). Existem marcadas anomalias negativas de Eu, presentes em todas as amostras ($Eu/Eu^* \sim 0,2$). O conteúdo total de terras raras nas amostras analisadas não mostra relação direta com o aumento de SiO_2 , novamente indicando a ausência de um *trend* de diferenciação entre elas. Os baixos teores de elementos terras raras dos granitos de Gouveia estão relacionados à restrita ocorrência de fases acessórias como allanita, titanita, apatita e zircão, como verificado no estudo petrográfico, cujo fracionamento é reconhecido como um importante processo controlador da concentração de terras raras em granitóides.

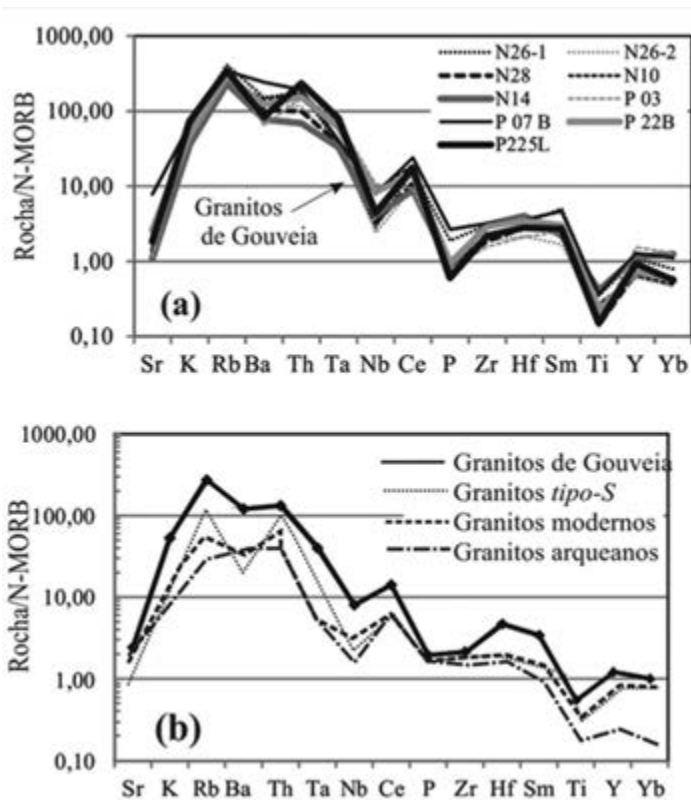


Fig. 3 – (a) Diagrama de elementos traços incompatíveis para metagranitos de Gouveia.
 (b) Diagrama comparativo da média das composições dos metagranitos de Gouveia e de granitos orogênicos formados em contexto tectônico de subducção. Dados normalizados para os valores de N-MORB de MCDONOUGH & SUN (1995). Dados de granitos orogênicos de PITCHER (1993).

Nos diagramas de PEARCE *et al.* (1984), discriminantes de compartimentos tectônicos de geração e *emplacement* de magmas graníticos, os dados divergem entre uma ambiência

de arco vulcânico e intraplaca (Fig. 5). Baixos valores de Rb/Ta caracterizam as amostras como granitos intraplaca no diagrama de HARRIS *et al.* (1986) (Fig. 6a). Os dados indicam um contexto de arco continental de relativa maturidade para todas as amostras no diagrama de BROWN *et al.* (1984) (Fig. 6b).

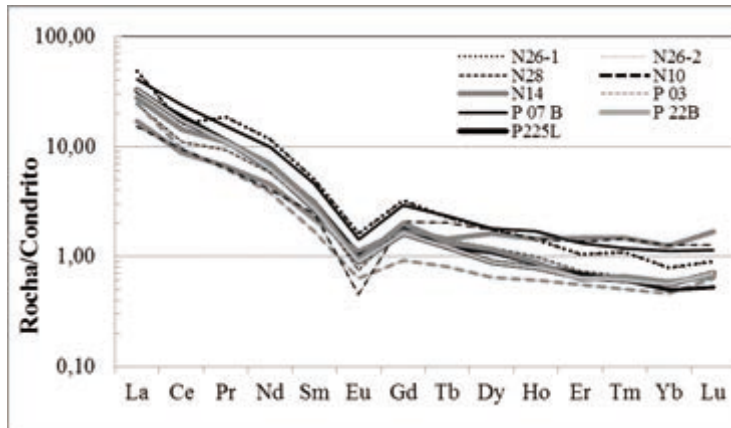


Fig. 4 – Diagrama de elementos terras raras para metagranitos de Gouveia.
Dados normalizados para os valores de N-MORB de MCDONOUGH & SUN (1995).

3.3 – Petrogênese

As características geoquímicas dos granitos – caráter peraluminoso das amostras, baixos conteúdos de Ca, Mg, Fe^{3+}/Fe^{2+} , Nb, Sr e elevados K_2O/Na_2O , Rb, Ba, Th e Ta – atestam a natureza cálcio-alcalina dos magmas e gênese vinculada a um ambiente orogênico. Em seu conjunto, os dados sugerem uma gênese de magmas por fusão crustal (granitos tipo S). Os dados não registram a ocorrência de processos de cristalização fracionada nem *mixing* de magmas derivados do manto na evolução magmática.

As composições geoquímicas obtidas são similares às de granitos orogênicos formados em contexto de subdução de placas. Assim, a hipótese mais provável é de que magmas graníticos foram formados por fusão crustal num ambiente de arco magmático continental, tendo incorporado na sua ascensão porções de encaixantes metassedimentares constituintes do embasamento, que ocorrem localmente como xenólitos.

4 – Considerações finais

A geoquímica dos granitos reflete a composição das fontes e o *trend* de evolução magmática. Em Gouveia, diferenças composicionais entre os granitos estudados são sugestivas de filiação à magmas distintos, possivelmente originados por diferentes taxas de fusão de fontes de mesma composição ou de fontes com composições distintas. Esta heterogeneidade é, aliás, uma característica dos ambientes de convergência tectônica.

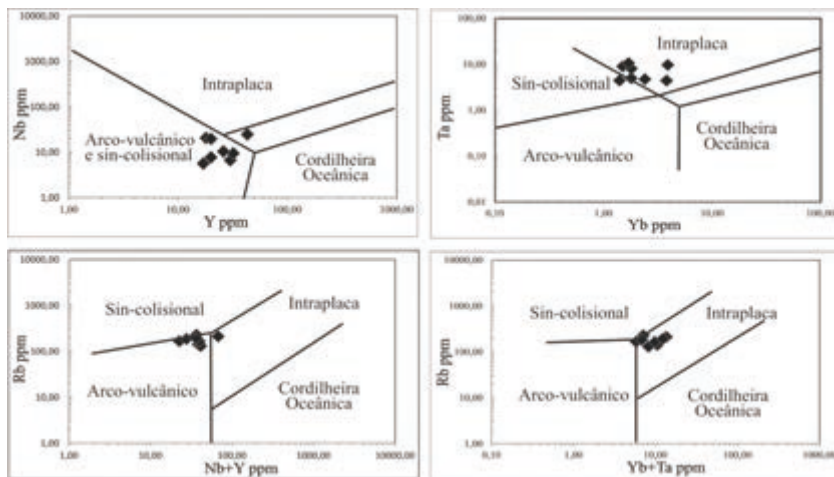


Fig. 5 – Diagramas de discriminação tectônica de PEARCE *et al.* (1984) para os metagranitos de Gouveia.

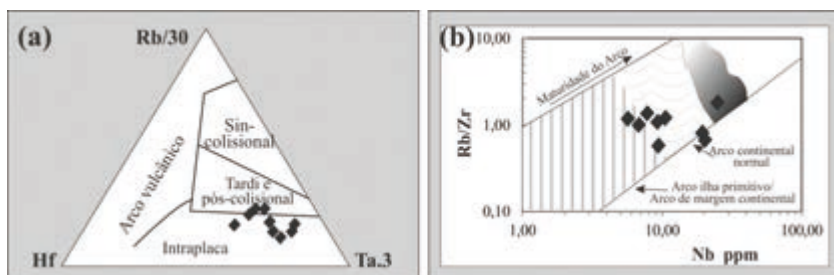


Fig. 6 – Diagramas de discriminação tectônica de (a) HARRIS *et al.* (1986) e (b) BROWN *et al.* (1984) para os metagranitos de Gouveia.

Inexistem dados geocronológicos que indiquem a idade de cristalização dos metagranitos estudados. Entretanto, as características petrográficas e geoquímicas, bem como as evidências de campo, em especial, a ausência de qualquer modificação de textura primária ou feição de deformação no estado sólido nas porções de baixo *strain* Brasileiro, indicam tratar-se de corpos de ocorrência tardia, com vinculação provável à Orogênese Transamazônica.

Os dados disponíveis indicam semelhança entre as rochas de Gouveia e granitos de arcos vulcânicos continentais ou intraplaca. É possível que as diferentes litofácies granitóides, discriminadas no campo e no estudo petrográfico, em conjunto com andesitos orogênicos recentemente caracterizados na região (CHAVES *et al.*, *in press*), representem estágios distintos da evolução de um arco magmático vinculado a um orógeno Paleoproterozoico/Transamazônico na região.

Agradecimentos – Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio financeiro e ao Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo apoio logístico e infraestrutura oferecidos, em particular ao Departamento de Geologia, ao Centro de Geologia *Eschwege* e ao Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa. Aos alunos agradecemos a grande contribuição na coleta de amostras e de dados.

Referências Bibliográficas

- ALKMIM, F. F., MARSHAK, S., PEDROSA-SOARES, A. C., PERES, G. G., CRUZ, S. C. P. & WHITTINGTON, A. (2006) – Kinematic evolution of the Aracuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Res.*, 149, p. 43-64.
- BARKER, F. (1979) – Trondhjemites: definition, environment and hypotheses of origin. In: F. Barker (eds.) *Trondhjemites, dacites and related rocks*. Amsterdam, Elsevier, p. 1-12.
- BROWN, G. C., THORPE, R. S. & WEBB, P. C. (1984) – The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. *J. Geol. Soc. London*, 141, p. 413-426.
- CHAVES, A. O., DUSSIN, T. M., RENGER, F. E. & CHAVES, M. L. S. C. – Petrografia e litogeoquímica de magmatismo traqui-andesítico na região de Gouveia (MG): implicações genéticas e tectônicas (*in press*).
- CRUZ, S. C. P., ALKMIM, F. F. & LAGOIRO, L. E. (2005) – Zonas de cisalhamento do núcleo do anticlinório de Gouveia, Cordilheira do Espinhaço, MG: geometria, cinemática e processos deformacionais/metamórficos. *Rev. Bras. Geociências*, 35, p. 441-452.
- DUSSIN, I. A., DUSSIN, T. M. & CHAVES, M. L. S. C. (1990) – Compartimentação estratigráfica do Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: Os grupos Diamantina e Conselheiro da Mata. *Rev. Bras. Geociências*, 20, p. 178-186
- DUSSIN, I. A., DUSSIN, T. M., CHARVET, J. & CHEMALE JR., F. (1992) – Tectonique du Protérozoïque Supérieur au sud-est du Craton São Francisco (Minas Gerais, Brésil). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 315, p. 629-636.
- FROST, B. R., BARNES, C. G., COLLINS, W. J., ARCULUS, R. J., ELLIS, D. J. & FROST, C. D. (2001) – A geochemical classification for granitic rocks. *J. Petrology*, 42, p. 2033-2048.
- HARRIS, N. B. W., PEARCE, J. A. & TINDLE, A. G. (1986) – Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward, M. P. & Ries, A. C. (eds). *Collision Tectonics*. Geol. Soc. Spec. Pub., 19, p. 67-81.
- HOFFMANN, C. (1983) – The Archean peraluminous Gouveia Granite: its structures, geochemistry and phase petrology (Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil). *N. Jb. Min.*, 2, p. 359-371.
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. (1971) – A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canad. J. Earth Sciences*, 8, p. 523-548.
- MACHADO, N., SCHRANK, A., ABREU, F. R., KNAUER, L. G. & ALMEIDA ABREU, P. A. (1989) – Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na serra do Espinhaço Meridional. *Anais V Simp. Geol. Minas Gerais*, Belo Horizonte, 10, p. 171-174.
- MANIAR, P. D. & PICCOLI, P. M. (1989) – Tectonic discrimination of granitoids. *GSA Bulletin*, 101, p. 635-643.
- MCDONOUGH, W. F. & SUN, S. (1995) – The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120, p. 223-253.
- NOCE, C. M., PEDROSA-SOARES, A. C., SILVA, L. C. & ALKMIM, F. F. (2007) – O embasamento arqueano e paleoproterozóico do Orógeno Araçuaí. *Geonomos*, 15, p. 17-23.
- PEARCE, J. A., HARRIS, N. B. W. & TINDLE, A. G. (1984) – Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrology*, 25, p. 956-983.
- PEDROSA-SOARES, A. C., NOCE, C. M., WIEDEMANN, C. M. & PINTO, C. P. (2001) – The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Res.*, 1-4, p. 307-323.

- PEDROSA-SOARES, A. C. P., NOCE, C. M., VIDAL, P. H., MONTEIRO, R. L. B. P. & LEONARDOS, O. H. (1992) – Toward a new model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) – West Congolian (SW Africa) Belt. *J. South Am. Earth Sci.*, ½, p. 22-47.
- PITCHER, W.S. (1993) – The Nature and Origin of Granite. Blackie Acad. Professional, London, 321 p.
- PORADA, H., (1989) – Pan-African rifting and orogenesis in southern to equatorial Africa and Eastern Brazil. *Precambrian Res.*, 44, p. 103-136.
- SCHÖLL, W. U. & FOGAÇA, A. C. (1979) – Estratigrafia da Serra do Espinhaço na Região de Diamantina. *Atas I Simp. Geol. Minas Gerais*, Diamantina, 1, p. 55-73
- TEIXEIRA, W., DOSSIN, I. A., DOSSIN, T. M. SALVADOR, E. D., SIGA JR, O. & SATO, K. (1990) – Interpretação do contexto geotectônico do embasamento na borda leste do sistema Espinhaço, Região de Guanhães e Gouveia-MG, com base numa integração do seu conjunto geocronológico U/Pb, Rb/Sr e K/Ar. *Anais do XXXVI Cong. Bras. Geol.*, Natal, 6, p. 2711-2722.