Geotermobarometria de granulitos do Cinturão Ribeira na porção norte do estado do Rio de Janeiro: seção Italva (RJ) – Patrocínio do Muriaé (MG)

Tiago da Rocha Karniol¹, Rômulo Machado², Essaïd Bilal³ & Jacques Moutte³

Resumo Este trabalho apresenta um estudo sobre as condições metamórficas de um segmento do Cinturão Ribeira no norte do Estado do Rio de Janeiro, com base em cálculos de pressão e temperatura em granulitos e gnaisses com granada na seção Italva (RJ) - Patrocínio do Muriaé (MG). Os granulitos localizados a oeste de Itaperuna (RJ) apresentam intervalos de temperatura entre 754 e 775°C e de pressão entre 7,9 e 8,6 kbar, enquanto os granulitos localizados a leste de Itaperuna mostraram valores de 702 a 722°C e de 8,0 a 9,1 kbar. Temperaturas e pressões relativamente mais baixas, entre 50 a 100°C e entre 2,0 a 3,0 Kbar, foram obtidas para os gnaisses aluminosos que afloram entre Itaperuna e Italva. Nota-se que os resultados dos cálculos geotermobarométricos são sistematicamente mais elevadas considerando-se o centro dos minerais, com diferenças de até 2,0 Kbar e ao redor de 100° C. Em comparação com os dados disponíveis na literatura, os dados apresentados indicam temperaturas equivalentes e pressões, em média, 2,0 kbar mais elevadas. Considerando-se um gradiente termal médio de 30°/km para as rochas estudadas - valor comum em cinturões granulíticos pré-cambrianos de temperatura ultra-alta (UHT) -, pode-se estimar uma espessura crustal acima de 25 km para os granulitos da região de Itaperuna. Os dados discutidos sugerem a exumação de granulitos em regime transpressivo, relacionado ao processo de extrusão tectônica do segmento estudado.

Palavras-chave: granulitos, transpressão, Cinturão Ribeira, exumação, extrusão.

Abstract *Geothermobarometry of granulites and aluminous gneisses in the Italva - Patrocínio do Muriaé section, northern Rio de Janeiro.* This work focuses on the metamorphic pattern of a segment of the Ribeira Belt in the northern region of the State of Rio de Janeiro based on geothermobarometric analyses carried out on granulites and gneisses with garnet from the Italva (RJ) – Patrocínio do Muriaé (MG) section. Granulites of the western portion from Itaperuna presented intervals of 754–775°C and 7,9–8,6 kbar. However, granulites of the eastern region of Itaperuna showed intervals of 702–722 °C and 8,0–9,1 kbar. Relative lower geothermobarometric conditions – 50 to 100 °C and 2,0 to 3,0 Kbar – were calculated from aluminous gneisses exposed between Itaperuna and Italva. We noted that the intervals of pressure and temperature are mostly higher if we consider mineral nuclei analyses, up to 2,0 Kbar and approximately 100°C. Furthermore, when compared with other studies of the region, our results present about the same temperature and 2,0 Kbar higher. Based on a thermal gradient of 30°/km for the studied rocks, which is common for Pre-Cambrian ultrahigh-temperature (UHT) granulitic belts, we estimate a crustal thickness of at least 25 km for the granulites from Itaperuna region. We suggest in this work that granulites of Itaperuna region were exhumated in transpressive regime related to the process of tectonic extrusion.

Keywords: granulites, transpression, Ribeira Belt, exhumation, extrusion.

INTRODUÇÃO Os cinturões metamórficos pareados (*sensu* Miyashiro 1961) têm sido considerados atualmente como o resultado da justaposição tectônica de terrenos de fácies metamórficas distintas em sistemas orogênicos acrescionários (Brown 1998, 2002 e 2009). Nestes cinturões distinguem-se dois tipos de gradientes termais: um baixo, associado com a região da subducção, e outro alto, associado com a região de retro-arco. Com a evolução da colisão, pode ocorrer uma justaposição de terrenos com gradientes termais contrastantes, entre outras razões, favorecida pela movimentação paralela ao orógeno (Bro-

wn 2009). Em geral, nos cinturões metamórficos fanerozóicos, mais frios, predominam rochas com metamorfismo granulítico de alta a muito alta pressão, enquanto nos cinturões pré-cambrianos, mais quentes, predominam eclogitos de média temperatura e alta pressão e, principalmente, granulitos de alta a muito alta temperatura. Os primeiros apresentam gradiente termal de 150 a 350° C/GPa (entre 4 a 10° C/km), e os últimos de 350 a 750° C/GPa (10 a 20° C/km) e superiores a 750° C/GPa (> 20° C/km), respectivamente (Brown 2006).

A importância de regimes transpressivos e

1 - USP, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica do Instituto de Geociências, São Paulo(SP), Brasil.
E-mail: tikarniol@yahoo.com

2 - USP, Instituto de Geociências e Bolsista Pesquisador do CNPq. São Paulo (SP), Brasil. E-mail: rmachado@usp.br

3 - Centre Sciences des Processus Industriels et Naturels de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines, Saint Étienne, França.
E-mails: bilal@emse.fr, moutte@emse.fr

transtrativos na exumação de diferentes níveis crustais de segmentos orogênicos tem sido reportada por vários autores (Cruz *et al.* 2007, Spotila *et al.* 2007, Furlong & Kamp 2009, entre outros). Tais regimes são ligados a zonas de convergência oblíqua de placas, em cinturões modernos e antigos (Holdsworth *et al.* 1998), como por exemplo na América do Norte (Huddleston *et al.* 1998, Borradaile *et al.* 1998, Teyssier & Tikoff 1998), na Europa e Groelândia (Holdsworth & Strachan 1991, Strachan *et al.* 1992, Le Blanc *et al.* 1996), no Chipre (Swarbrick 1993), no orógeno sul-Alpino na Nova Zelândia (Furlong & Kamp 2009), no cinturão orogênico da costa oeste americana (Spotila *et al.* 2007), no cinturão Badajós-Córdoba na Espanha (Abalos *et al.* 1991), no cinturão Kaoko (Goscombe *et al.* 2003), bem como nos cinturões neoproterozóicos da região sudeste do Brasil (Machado & Endo 1993, Ebert & Hasui 1998, Dehler 2002, Egydio-Silva *et al.* 2002, Dehler *et al.* 2006, Karniol *et al.* 2008, entre outros).

A exumação de segmentos orogênicos em regimes transpressivos é relacionada, geralmente, a zonas de cisalhamento e estruturas em flor-positiva. Este processo também é atribuído ao escape lateral de massa e à extrusão tectônica (Jones *et al.* 1997), como observado nos cinturões Caledonides (Lyberis & Mamby 1999, Harz *et al.* 2001), Alpes (Ratschbacher *et al.* 1991, Mancktelow 1992), Himalaias (Inger 1998) e Ribeira (Vicente *et al.* 2007).

O objetivo principal deste estudo é caracterizar as condições de metamorfismo impostas a um segmento orogênico ao longo da seção Italva (RJ) - Patrocínio do Muriaé (MG), com base em estudos geotermobarométricos. Além disso, visa contribuir à compreensão do papel dos processos de exumação e extrusão tectônica de terrenos granulíticos na articulação de um segmento do Cinturão Ribeira na região norte do estado do Rio de Janeiro.

CONTEXTO TECTÔNICO REGIONAL O arcabouço estrutural do Cinturão Ribeira na região é caracterizado por um conjunto anastomosado de zonas de cisalhamento com espessuras variadas e direção principal NNE. Tais zonas limitam e contornam inúmeros corpos intrusivos e sugerem a participação de uma fase fluida importante durante a deformação brasileira. Alguns desses corpos apresentam dimensões batolíticas, a exemplo dos maciços Bela Joana, Angelim e Serra dos Órgãos (Fig. 1). Na escala de afloramento, caracterizam-se pela presença de lentes ou bolsões decimétricos de leucogranitos ou charnockitos, às vezes paralelos à foliação principal, ou, ainda, corpos sigmoidais leucograníticos associados às estruturas S-C e S-C'.

A principal estrutura que influenciou este arcabouço estrutural foi o lineamento de Além-Paraíba (Almeida *et al.* 1975, Campanha 1981) ou zona de cisalhamento Paraíba do Sul (Dayan & Keller 1989). Esta estrutura caracteriza-se por uma zona de cisalhamento de alta deformação, de direção NE, metamorfizada nas fácies anfibolito a granulito, exposta a sul-sudeste do Cráton São Francisco (Ebert 1968).

A partir da década de 1960 foi reconhecida uma

estrutura em leque no centro do orógeno que consiste em mergulhos opostos da foliação principal, para SE no flanco noroeste e para NW no flanco sudeste (Ebert 1968). Essa geometria é considerada como um dobramento tardio gerado por um empurrão para NW (Heilbron *et al.* 1991), ou como uma megaestrutura em flor positiva relacionada à deformação transpressiva (Machado & Endo 1993).

Na região abordada neste trabalho, as principais zonas de cisalhamento apresentam direção preferencialmente NNE-SSW e, a sul, na intersecção com o lineamento de Além Paraíba, sofrem uma deflexão para NE-SW, configurando uma estrutura S-C' associada, em escala regional, a um quadro cinemático destrai (Egydio-Silva 1996).

Na seção Itaperuna (RJ) - Muriaé (MG) são descritos indicadores cinemáticos predominantemente destrais, relacionados a uma tectônica transpressiva com fluxo paralelo ao orógeno para SW, considerando o Cráton do São Francisco como uma entidade tectônica estável no Neoproterozóico (Karniol *et al.* 2008). Na região de Laje do Muriaé (RJ) são reconhecidas também estruturas atribuídas a uma tectônica extensional com movimentação de topo para ESE (Karniol *et al.* 2007), o que sugere um quadro com superposição cinemática.

Os dados termobarométricos disponíveis para os granulitos da região de Itaperuna indicam condições metamórficas com temperaturas entre 844 e 887°C e pressões entre 6 e 7 kbar (Oliveira 1981). Estudos realizados em rochas charnoenderbíticas na região de Iconha/ES mostram intervalos de temperatura entre 620 e 750°C e pressão entre 5,3 e 6,9 kbar (Offman & Weber-Diefenbach 1989). Determinações termobarométricas realizadas em gnaisses granulíticos regiões de Três Rios, Miracema e Santo Antônio de Pádua (RJ) forneceram temperaturas entre 807 e 877°C e pressões entre 6 e 6,7 kbar (Porcher 1997). Dehler (2002) obteve, em granitos peraluminosos da região da Serra das Araras, temperaturas entre 800 e 870°C e pressões entre 6 e 6,7 kbar, enquanto Bascou (2002) obteve, para os gnaisses e granulitos de Miracema e Itaocara (RJ), temperaturas entre 700 e 930°C e pressões entre 5 e 6 kbar. Porcher (1997) e Dehler (2002), ao estudarem amostras de zonas de cisalhamento da região, reconheceram condições metamórficas relativamente inferiores, com temperaturas entre 715 e 740°C e pressões entre 4,5 e 5,2 kbar, diferença atribuída à partição da deformação e ao predomínio do cisalhamento simples nestas zonas.

A seção geológica entre Italva (RJ) e Patrocínio do Muriaé (MG), investigada neste artigo, é formada predominantemente por granulitos e representa um trecho favorável à investigação geotermobarométrica, sobretudo em rochas que apresentam granada.

MATERIAIS E MÉTODOS Após a caracterização petrográfica de um conjunto de cerca de 100 lâminas, foram selecionadas 29 amostras para realização das análises geoquímicas por intermédio de microsonda eletrônica. Parte das análises foi realizada com um

Figura 1 - Mapa geológico da área com a localização do perfil estudado entre Itálva (RJ) e Patrocínio do Muriaé (MG) (ver figura 2). Legenda das unidades geológicas: 1- Complexo Juiz de Fora; 2- Suíte Quirino; 3- Suíte Muriaé; 4- Suíte Charnockítica Leopoldina; 5- Complexo Paraíba do Sul; 6- Suíte Galiléia, tonalitos Virgínia Velha, Alto Guandu, Bom Jesus do Galho, Cachoeiro; 7- Suítes Natividade e Varre-Sai, Granito Eugenópolis; 8- Suíte Granítica Serra da Araras; 9- Granitos Morro do Coco e Itaoca, maciços Santa Angélica, Alto Chapéu, Castelo, Rio Novo do Sul e Granitóides tipo-I pós-orogênicos; 10- Suíte Muniz Freire; 11- Suíte Bela Joana; 12- Suíte Caparaó e Charnockitóides; 13- Suíte Angelim; 14- Grupo Dom Silvério; 15- Suíte Desengano; 16- Complexo Piedade; 17- Complexo Rio Negro; 18- Grupo Barreiras; 19- Depósitos quaternários; 20- Zonas de cisalhamento; 21- Rios e lagos. O detalhe abaixo à direita mostra a posição da área em relação às principais estruturas regionais e o Cráton do São Francisco (CSF, em cinza), destacando-se o lineamento de Além Paraíba (a) e a zona de cisalhamento Guaçuí (b). Fonte: CPRM - Serviço Geológico do Brasil - Mapa Geológico do Brasil ao Milionésimo, folhas Rio de Janeiro e Vitória (SF23/SF24).

equipamento JEOL JXA-8600, no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências/USP, em São Paulo, e o restante em um equipamento CAMECA SX-100, no Laboratório de Magmas e Vulcões da Université Blaise Pascal, em Clermont-Férrand, França. Em ambos os laboratórios, foram usados equipamentos estabilizados em uma voltagem de aceleração de 15 kV, com feixe de corrente de 20 nA e espessura do feixe entre 5 e 10 µ.

Foram analisados preferencialmente o centro e borda de minerais sem evidências de desequilíbrio químico, e os resultados formatados de acordo com critérios dos programas utilizados para os cálculos das fórmulas estruturais, bem como para cálculos de pressão e temperatura. Os dados de química mineral foram tratados no programa de uso livre Geoxdraw e no programa Minpet (Richard

1995), e apresentados em diagramas binários e ternários de composição mineral. A abreviação dos minerais segue as recomendações propostas por Kretz (1983).

Os cálculos geotermobarométricos foram realizados com base em um banco de dados termodinâmicos internamente consistentes denominado “termobarometria com estimativa do estado de equilíbrio” (TWEEQU, sigla em inglês) (Berman 1991). Esse método considera as reações metamórficas de determinada paragênese mineral, sendo suas curvas plotadas em diagramas P-T para análise visual. São consideradas três premissas elementares: (1) dados termodinâmicos perfeitos, (2) dados de composições perfeitos e (3) equilíbrio químico entre as fases presentes. As curvas resultantes tendem a se cruzar em um ponto único do diagrama P-T, que representa-

ria as condições metamórficas para um dado equilíbrio químico. Os diagramas P-T apresentados foram gerados pela versão *Wintwq*, e os valores de pressão e temperatura, e respectivos erros, através do programa *Winintersex* (ver Berman 1991). Este método permite uma apreciação qualitativa sobre as condições de metamorfismo de uma determinada região, ao contrário daqueles baseados em geobarômetros e geotermômetros específicos, que podem gerar resultados conflitantes, principalmente em relação a granulitos (Bohlen *et al.* 1983, Barbosa 1988).

CARACTERIZAÇÃO LITO-ESTRUTURAL O perfil selecionado para este estudo localiza-se ao longo da rodovia BR-352, paralelo ao Rio Muriaé, no noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Consiste de uma associação de rochas de alto grau metamórfico, com predomínio de granulitos, que são afetados por zonas de cisalhamento dúcteis de médio a alto ângulo associadas com milonitos e granulitos miloníticos de composições ácida a intermediária (Fig. 2). As rochas apresentam uma trama principalmente planar a plano-linear e os indicadores cinemáticos são compatíveis com uma deformação predominantemente transpressiva destal, havendo, porém, domínios onde caracterizou-se um regime transtensional (Karniol *et al.* 2007 e 2008).

Nas porções intermediárias às zonas de máxima deformação são encontradas rochas menos deformadas, que exibem estrutura planar heterogênea, sigmoidal, paralela a um bandamento composicional, cor de caramelo ou esverdeada. São rochas caracterizadas por bandas centimétricas a decimétricas, ricas em minerais máficos e félsicos, associadas a dobras intrafoliais e enclaves anfibolíticos.

No setor leste da seção estudada afloram gnaisses kinzigíticos com estrutura milonítica e protomilonítica, que mostram porfiroclastos de granada (até 3 cm), com trama linear-planar e dobras intrafoliais, apertadas a isoclinais, centimétricas a métricas, sob influência de enclaves de composição básica. A sillimanita ocorre associada aos porfiroclastos de granada, preenchendo sombras de

pressão ou mesmo disseminada na matriz. Neste setor, são observadas também lentes de metacalcários (calcíticos e dolomíticos) e de anfibolitos, além de diques centimétricos de piroxenitos. Algumas dessas lentes, como nas proximidades do município de Italva, apresentam dimensões suficientes para serem explotadas economicamente.

Os charnockitos estão presentes em boa parte dos afloramentos estudados. São corpos de forma lenticular, espessuras centimétrica a métrica e extensões métrica a decamétrica, paralelos à foliação principal, e controlados por zonas de cisalhamento. Ocorrem também como corpos discordantes, intrusivos, de dimensões variáveis. Apresentam cor verde-caramelo, com estrutura maciça, textura inequigranular, com grãos centimétricos de feldspato perítico, associados com minerais máficos como orto e clinopiroxênios, anfibólios e biotita, enquanto que o quartzo raramente está presente.

PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL

Gnaisses Aluminosos Os gnaisses aluminosos ocorrem principalmente na porção leste do perfil e representam parte da sequência metassedimentar do Complexo Paraíba do Sul. Nas proximidades de Italva, essa unidade envolve lentes de metacalcários dobradas relacionadas a depósitos sedimentares de origem plataformal.

São rochas associadas com biotita-sillimanita-granada gnaisses miloníticos a protomiloníticos, com porfiroclastos de granada (1-3 mm) ligeiramente estirados, com inclusões de quartzo e sombras de pressão contendo sillimanita, biotita, quartzo e plagioclásio (Fig. 3A). São comuns também biotita-granada gnaisses, miloníticos, com porfiroclastos de granada (0,5-1 mm), estirados e parcialmente substituídos por biotita (Fig. 3B). A matriz é formada por um agregado quartzo-feldspático, muito fino (0,025-0,5 mm), equigranular, granoblástico, relacionado às porções recrystalizadas.

A granada desses gnaisses, em comparação com a de outras rochas da seção, apresenta teores mais elevados em ferro e mais baixos em cálcio (Fig. 4A), possuindo composição $\text{Alm}_{64-72}\text{Gross}_{4-11}\text{Piropo}_{15-29}\text{Espess}_{3-5}$. O

Figura 2 - Perfil geológico entre os municípios de Italva (RJ) e Patrocínio do Muriaé (MG). Legenda: 1- Complexo Paraíba do Sul; 2- Complexo Paraíba do Sul com rochas carbonáticas; 3- Granito Eugenópolis; 4- Sentido de movimentação tectônica; 5- Zonas de cisalhamento destrais; 6- Foliação paralela ao bandamento composicional; 7- Foliação milonítica. Acima, estão indicados o número dos diagramas PT e das amostras correspondentes apresentados nas figuras 5 a 7.

Figura 3 - Fotomicrografias correspondentes ao domínio dos gnaisses aluminosos (A-B) e dos granulitos (C a F). A- Biotita-sillimanita-granada gnaisse protomilonítico com porfiroclastos de granada com inclusões de quartzo e sombras de pressão compostas por sillimanita, biotita, quartzo e plagioclásio; B- Porfiroclastos de granada parcialmente substituídos por biotita em biotita-granada gnaisse milonítico; C- Textura granoblástica em granulito composto por orto e clinopiroxênio, granada, plagioclásio e hematita; D- Núcleos de ortopiroxênio com bordas de anfibólio; E- Processo de anfibolitização mais intenso, com cristais de ortopiroxênio estirados e parcialmente preservados e anfibólio cristalizado ao longo da foliação principal; F- Quartzo milonito com ribbons de quartzo ao longo de pórfiroclastos de feldspato estirados, com bordas corroídas e matriz granoblástica muito fina associada à recristalização dinâmica.

plagioclásio é de composição oligoclásio/andesina, com teor de An₂₆₋₃₈ (Fig. 4B). A biotita apresenta composição química mais magnesiânica (Fe# entre 0,3 e 0,5), situando-se entre os pólos da flogopita e da eastonita (Fig. 4E).

Granulitos com granada A ocorrência de granulitos com granada não é uniforme ao longo perfil e limita-se, em geral, a setores restritos. Estão presentes prin-

Figura 4 - Diagramas composicionais dos minerais utilizados nos cálculos geotermobarométricos para os conjuntos de granulitos com granada e gnaisses aluminosos, discutidos no texto. A- Composição da granada expressa no diagrama almandina-grossulária-piropo; B- Plagioclásio em albíta-anortita-ortoclásio; C- Ortopiroxênio em enstatita-ferrosilita-wolastonita; D- Clino-piroxênio com os extremos Mg-Fe-Ca e D- Biotita em flogopita-annita-siderofilita-eastonita. Símbolos e amostras correspondentes indicados.

principalmente na região de Laje do Muriaé, Patrocínio do Muriaé e Itaperuna e, para leste da última cidade, apresentam limite gradacional com os gnaisses aluminosos.

Em termos petrográficos, constituem-se basicamente de (cpx)-opx-gd-plg±anf±bio±kf granulitos, e, como minerais acessórios, destacam-se titanita, apatita, ilmenita, zircão e, raramente, clorita, esta última como mi-

neral de alteração. Predomina textura granoblástica, equigranular, fina a média, com minerais em geral bem cristalizados (Fig. 3C). Contêm porfiroclastos (1 a 5 mm) de quartzo - por vezes com padrão de extinção tipo tabuleiro de xadrez -, normalmente estirados, além de plagioclásio antipertítico, granada, piroxênio e anfibólio, que podem apresentar extinção ondulante. Esses porfiroclastos são

envolvidos por uma matriz fina (0,01 a 0,8mm), equigranular, granoblástica, composta basicamente por quartzo, feldspato, biotita e, eventualmente, piroxênio e anfibólio.

Nestas rochas, a granada possui composição menos férrica ($\text{Alm}_{59-69}\text{Gross}_{18-22}\text{Piropo}_{9-20}\text{Espess}_{2-8}$), sendo portanto mais pobre em moléculas de almandina (Fig. 4A) e o plagioclásio possui composição predominantemente andesina (An_{25-44}) (Fig. 4B). O ortopiroxênio é da série enstatita-ferrossilita, com composição em Fe ligeiramente superior ao Mg (Fig. 4C). Já o clinopiroxênio é cálcio-magnesiano, situando-se predominantemente no campo do diopsídio, com apenas uma amostra, situada marginalmente no campo da augita (Fig. 4D). A biotita dessas rochas é muito semelhante quimicamente a dos gnaisses aluminosos e apresenta Fe# entre 0.35 e 0.5 (Fig. 4E).

Granulitos sem granada Em alguns afloramentos localizados às margens de zonas de cisalhamento, observam-se granulitos félsicos com uma estrutura planar incipiente ou até ausente, com porfiroclastos de piroxênio circundados por coroas submilimétricas de anfibólio (Fig. 3D), indicando uma textura relacionada com metamorfismo retrógrado neste setor do perfil. Essas rochas consistem predominantemente de (cpx)-opx-anf granulitos que contém eventualmente biotita e ilmenita. Lateralmente, podem apresentar porfiroclastos de ortopiroxênio estirados com variados graus de transformação para anfibólio (Fig. 3E).

Nas zonas de cisalhamento desenvolvem-se rochas com uma trama milonítica contendo porfiroclastos de quartzo e de feldspato estirados, *ribbons* de quartzo submilimétricos, que podem se estender ao longo de toda a seção delgada (Fig. 3F). Isoladamente, estas rochas podem apresentar porfiroclastos de piroxênio estirados, associados ou não com anfibólio e biotita.

As paragêneses destas rochas não são favoráveis para cálculos de temperatura e pressão, já que a ocorrência de pares cpx-opx é relativamente restrita e, onde existe, não forneceram resultados significativos com a metodologia empregada neste trabalho. Além disso, a ausência da granada dificulta sua caracterização geotermobarométrica, razões pelas quais não foram consideradas nos cálculos apresentados a seguir.

ESTIMATIVAS DE PRESSÃO E TEMPERATURA A seguir, são apresentados os resultados dos cálculos de pressão e temperatura em diagramas P-T para os conjuntos de gnaisses aluminosos - amostras STX113 e 105A, e de granulitos com granada - amostras STX 63C, 73, 78B, 98B e 100A (ver localização na Fig. 2).

Gnaisses Aluminosos As análises realizadas a partir do centro dos minerais apresentam valores de temperatura ao redor de 748°C e pressão de 7.0 kbar (Fig. 5A), ou ao redor de 680°C e de 6.5 kbar (Fig. 5C). São valores relativamente superiores aqueles obtidos para as bordas dos mesmos minerais, que mostram um reequilíbrio ao redor de 672°C e 6.7 kbar (Fig. 5B) e 607°C e 5.8 kbar (Fig. 5D).

Granulitos com granada Para amostras STX100A e 98B, correspondentes a dois afloramentos localizados a leste de Itaperuna (Fig. 2), os cálculos de temperatura e pressão em granulitos com granada mostram resultados compatíveis com alto grau metamórfico em paragêneses definidas por opx-gd-plg-qz e cpx-gd-bio-plg-qz, respectivamente. As análises efetuadas no centro dos grãos forneceram pressões de 9,2 a 9,3 kbar e temperaturas entre 748 e 800 °C (Figs. 6A e 6C). Já as análises realizadas a partir das bordas dos grãos mostraram valores de temperatura e pressão ligeiramente mais baixos, de 702 a 722°C e de 8.1 a 9.1 kbar (Figs. 6B e 6D).

No setor situado entre Itaperuna e Laje do Muriaé, granulitos constituídos opx-gd-bio-plg-qz, correspondentes às amostras STX63 e 73B (Fig. 2), forneceram resultados que não permitem definir um campo de estabilidade entre as fases minerais envolvidas (Fig. 7A) e valores de 783 °C e 8.5 kbar (Fig. 7C), considerando-se o centro dos minerais. Com os dados correspondentes à borda dos minerais, nestas mesmas amostras, pode-se definir um intervalo aproximado de 754 a 775°C e de 7,9 e 8,6 kbar (Figs. 7B e 7D).

Já a amostra STX78B, referente a um granulito com cpx-opx-gd-bio-plg-qz de um afloramento localizado a leste de Laje do Muriaé (Fig. 2), forneceu resultados que indicam condições metamórficas em torno de 770°C e 8.7 kbar (Fig. 7F), contudo, apresentam erros mais elevados. A exemplo das amostras do restante da seção, as condições de pressão e temperatura obtidas a partir dos dados químicos são mais elevadas no centro do que na borda dos grãos (Fig. 7E). Contudo, em razão de incertezas mais elevadas, esta amostra pode ser considerada de menor valor interpretativo.

DISCUSSÃO A seção estudada entre Italva (RJ) e Patrocínio do Muriaé (MG), caracteriza-se por uma associação de gnaisses aluminosos com sillimanita e granada e intercalações de metacalcários, principalmente no seu trecho leste, próximo à Italva, e ortognaisses, granulitos, charnockitos e leucogranitos no restante da seção. São rochas seccionadas por zonas de cisalhamento de espessuras variadas, onde se desenvolvem milonitos e granulitos miloníticos com estrutura tipicamente fitada. Os dados estruturais mostram que a deformação ocorreu em regime transpressivo, com fluxo tectônico subparalelo ao orógeno, para SW, além de um domínio marcado por uma tectônica extensional com uma trama estrutural desenvolvida em condições de alto grau metamórfico, compatível com movimentação de topo para ESE (Karniol *et al.* 2007 e 2008).

Há consenso entre os autores de que o arcabouço estrutural neste setor da Província Mantiqueira foi o resultado de uma colisão oblíqua durante o Ciclo Brasileiro, responsável pela instalação de um regime transpressivo na região (Dayan & Keller 1989, Machado & Endo 1993, Ebert & Hasui 1998, Dehler 2002, Egydio-Silva *et al.* 2002, Dehler *et al.* 2007, entre outros). A existência do fluxo tectônico paralelo aos orógenos em várias regiões do mundo tem sido relacionada com ambientes de colisão oblíqua (Vauchez *et al.* 1993, Nor-

Figura 5 - Diagramas de pressão e temperatura para os paragnaisses localizados na porção oriental da seção. São indicadas a numeração das amostras e a posição dos minerais analisados (localização na figura 2). Ver discussão no texto. Legenda das curvas de reações dos diagramas 5C e 5D. 1- $3 \text{ Sd} + 6 \text{ bQz} + 2 \text{ Gr} + \text{Alm} = 3 \text{ Ann} + 6 \text{ An}$; 2- $9 \text{ Sd} + 12 \text{ bQz} + 2 \text{ Py} + 4 \text{ Gr} = 6 \text{ Ann} + 12 \text{ An} + 3 \text{ Eas}$; 3- $12 \text{ bQz} + 4 \text{ Gr} + 9 \text{ Eas} + 2 \text{ Alm} = 12 \text{ An} + 6 \text{ Phl} + 3 \text{ Sd}$; 4- $6 \text{ bQz} + 2 \text{ Gr} + 3 \text{ Eas} + \text{Alm} = \text{Ann} + 6 \text{ An} + 2 \text{ Phl}$; 5- $3 \text{ Eas} + 2 \text{ Alm} = 2 \text{ Py} + 3 \text{ Sd}$; 6- $3 \text{ Alm} + 3 \text{ Eas} + 2 \text{ Gr} + 6 \text{ bQz} = 2 \text{ Py} + 6 \text{ An} + 3 \text{ Ann}$; 7- $6 \text{ bQz} + \text{Py} + 2 \text{ Gr} + 3 \text{ Eas} = 6 \text{ An} + 3 \text{ Phl}$; 8- $3 \text{ Sd} + 6 \text{ bQz} + \text{Py} + 2 \text{ Gr} = 2 \text{ Ann} + 6 \text{ An} + \text{Phl}$; 9- $\text{Phl} + \text{Alm} = \text{Ann} + \text{Py}$ e 10- $3 \text{ Sd} + 6 \text{ bQz} + 3 \text{ Py} + 2 \text{ Gr} = 2 \text{ Alm} + 6 \text{ An} + 3 \text{ Phl}$.

thrup & Burchfiel 1996, entre outros), de forma análoga ao que tem sido proposto na parte central da Província Mantiqueira na região do Rio de Janeiro (Dehler 2002, Karniol *et al.* 2007). Além disso, a presença desse tipo de fluxo tem sido usada para explicar a extrusão tectônica (longitudinal e oblíqua) em vários segmentos da referida província (Dehler 2002, Vicente *et al.* 2007).

Os trabalhos de modelagem disponíveis sobre transpressão e alguns estudos realizados em orógenos transpressivos mostram a importância do fluxo vertical na extrusão tectônica da crosta inferior na parte central desses cinturões, como resultado do componente contracional relacionado com a convergência oblíqua

de placas (Sanderson & Marchini 1984, Fossen *et al.* 1994, Teyssier *et al.* 1995, Jones *et al.* 1997, Fossen & Tikoff 1998, Goscombe *et al.* 2007, entre outros).

Estruturas extensionais são descritas em vários cinturões orogênicos do mundo e são relacionadas, temporal e espacialmente, a um contexto tectônico compressivo (Royden & Burchfield 1987, Dewey 1988, Wheeler & Butler 1993). Tais estruturas têm sido também reconhecidas em várias regiões da Província Mantiqueira, havendo, porém, divergências com relação às suas idades. Na sua porção central, no Cinturão Ribeira, os granitos pós-colisionais, com idades no intervalo de 520 a 480 Ma, foram relacionados a um

Figura 6 - Diagramas de pressão e temperatura para os granulitos com granada localizados no trecho a leste de Itaperuna (localização na figura 2). São indicadas a numeração das amostras e a posição dos minerais analisados. Ver discussão no texto.

regime extensional ou ao colapso extensional do edifício orogênico (Heilbron *et al.* 2004, Machado 1997). Já na sua porção setentrional, no Orógeno Araçuai, tais estruturas têm sido relacionadas ao colapso do orógeno e associadas ao magmatismo granítico pós-colisional - suítes G4 e G5 (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000), desenvolvido no intervalo de 535 - 490 Ma.

Na parte sul da Província Mantiqueira Central - no Cinturão Granítico Costeiro de Basei *et al.* 2000 - ocorrem granitos do tipo-A, pós-orogênicos, pertencentes a Suíte Serra do Mar, que têm sido relacionados a uma fase tectônica extensional, com idades entre 570 e 540 Ma (Vlach *et al.* 1990, Janasi & Ulbrich 1991) e também mais antigas, entre 594 e 580 Ma (Siga Jr. *et al.* 1999, Basei *et al.* 2000, Janasi *et al.* 2001). Na região de Cajati, divisa de São Paulo com o Paraná, têm sido caracterizadas estruturas extensionais com movimentação de topo para ESE, associadas com zonas de cisalhamento direcionais e oblíquas (Dehler *et al.* 2000, 2006). Estes últimos autores consideraram o desenvol-

vimento destas estruturas como contemporâneo ao das estruturas contracionais. Datações Ar/Ar em rochas da região mostram que a deformação extensional foi ativa entre 600 e 580 Ma, intervalo mais antigo do que tem sido proposto para outros setores da Província Mantiqueira (Machado *et al.* 2007).

Os dados discutidos sugerem dois intervalos distintos de instalação de regime extensional na Província Mantiqueira: um mais novo (~520 a 480 Ma), relacionado ao colapso do edifício orogênico (Machado 1997, Heilbron *et al.* 2004, Marshak *et al.* 2006), e outro, mais antigo (entre 600 e 580 Ma), considerado contemporâneo ao das estruturas contracionais (Dehler *et al.* 2007, Karniol *et al.* 2007, Machado *et al.* 2007).

Recentemente, foram descritas na região de Itaperuna, norte do Estado do Rio de Janeiro, estruturas extensionais dúcteis, desenvolvidas sob condições de fácies granulito, contemporâneas a estruturas contracionais e relacionadas a um regime transpressivo, que foi marcado por um fluxo tectônico paralelo ao orógeno

Figura 7 - Diagramas de pressão e temperatura para os granulitos com granada localizados entre Itaperuna e Laje do Muriaé (localização na figura 2). São indicadas a numeração das amostras e a posição dos minerais analisados. Ver discussão no texto.

(Karniol et al. 2007).

Os dados termobarométricos apresentados mostram valores de pressão e temperatura sistematicamente mais elevados a partir do centro dos minerais do que das bordas, com diferenças de pressões de até 2,0 Kbar e de temperaturas ao redor de 100°C. Os granulitos situados a oeste de Itaperuna mostram valores de pressão levemente mais baixos (1,0 a 2,0 Kbar) do que aqueles situados a leste desta cidade. Em comparação com os dados disponíveis na literatura, os resultados obtidos neste trabalho para os granulitos mostram valores de temperaturas equivalentes, porém com pressões em geral mais altas, entre 2,0 a 3,0 kbar, considerando o centro dos minerais, e entre 1,0 a 2,0 kbar, considerando a borda dos mesmos (Fig. 8).

Os gnaisses aluminosos que afloram no trecho entre Itaperuna e Italva forneceram temperaturas e pressões significativamente mais baixas do que as obtidas nos granulitos, entre 50 a 100°C e entre 2,0 a 3,0 Kbar, respectivamente. A condição bária de geração destas rochas é comparável a de granulitos reportados na literatura (Fig. 8), fazendo supor que as análises destes últimos são das bordas dos minerais ou que elas foram realizadas em amostras que apresentavam reequilíbrio metamórfico, total ou parcialmente, sob condições

de pressões mais baixas do que as do pico metamórfico.

Os dados geoterbarométricos obtidos neste trabalho situam os granulitos da região de Itaperuna no campo dos granulitos com associações minerais de temperatura ultra-alta (UHT), próximo ao limite com o campo de granulitos de pressão alta e eclogitos de temperatura média e alta pressão (EHP) no diagrama de classificação de cinturões metamórficos de Brown (2006), cujo limite é marcado pelo aparecimento da cianita em substituição a sillimanita nas paragêneses metamórficas. Estes granulitos apresentam gradiente termal aparente entre 20 e 35°/km (raramente > 40°/km), valores estes comuns em granulitos pré-cambrianos (ver figura 2, Brown 2006). Considerando-se um gradiente termal médio de 30°/km para os granulitos estudados, pode-se estimar uma espessura crustal acima de 25 km para os granulitos da região de Itaperuna.

CONCLUSÕES Os dados geoterbarométricos obtidos para os granulitos do norte fluminense – entre Laje do Muriaé, Itaperuna e Italva – mostram valores de temperatura e pressão compatíveis com o campo dos granulitos de temperatura ultra-alta (UHT) da classificação de cinturões granulíticos de Brown (2006). Estes granulitos são tipicamente pré-cambrianos e foram desenvolvidos sob condições de gradiente termal aparente entre 20 e 35°/km (ver Brown 2006). Os dados apresentados sugerem um caminho P-T-t horário para os granulitos estudados, sob condições de uma crosta com espessura superior a 25 km, sendo depois exumados e reequilibrados sob condições de temperatura e pressão mais baixas, respectivamente, ao redor de 100° C e entre 2 a 3 kbar, conforme indicado pelos valores obtidos nas bordas dos minerais.

Os valores bários mais elevados (9,2 a 9,3 Kbar) obtidos neste trabalho referem-se a amostras de granulitos coletados a leste de Itaperuna, que são relativamente mais altos daqueles fornecidos pelos granulitos que afloram a oeste de Itaperuna (7,9 a 8,6 Kbar), sugerindo para aquela região a existência de uma crosta ligeiramente mais espessa durante o pico do metamorfismo em fácies granulito. Constata-se ainda que os valores de pressão obtidos nesses granulitos são ligeiramente mais elevados (2,0 a 3,0 kbar) do que os disponíveis na literatura para granulitos da região. Por outro lado, os valores de temperatura dessas rochas são relativamente mais baixos (entre 50 a 100°C).

Já os dados geoterbarométricos dos gnaisses aluminosos que afloram a leste de Itaperuna são sistematicamente mais baixos do que dos granulitos, com pressões variáveis de 1,0 a 3,0 kbar e temperaturas até aproximadamente 100°C, valores que são compatíveis com os reportados na literatura para os granulitos da região. Tais diferenças podem ser devidas a análises realizadas nas bordas dos grãos ou mesmo em amostras que apresentavam reequilíbrio metamórfico após o pico do metamorfismo. A maior expressão dos gnaisses aluminosos a leste de Itaperuna e os dados geotermométricos obtidos neste artigo sugerem uma taxa de exumação menor nesse setor em relação à porção ocidental da seção, onde predominam amplamente as exposições de

Figura 8 - Diagrama sintético da evolução P-T com base nos intervalos de pressão e temperatura calculados neste estudo (ver figuras 5 a 7), em comparação com os dados disponíveis na literatura. A seta cinza-escura indica a evolução P-T para os granulitos e a seta cinza-clara para os gnaisses. Ver discussão no texto.

granulitos, com os gnaisses sendo subordinados.

Por fim, considera-se que a exumação dos granulitos do norte fluminense se deu em regime transpressivo e com fluxo tectônico paralelo a oblíquo ao orógeno, condição cinemática favorável para extrusão tectônica (paralela a oblíqua), conforme previsto nos trabalhos clássicos de modelagem sobre transpressão (Sanderson & Marchini 1984, Teyssier *et al.* 1995, Jones *et al.* 1997, Fossen & Tikoff 1998, entre outros), processo que tem sido descrito recentemente em diferentes segmentos da estrutura divergente do vale do rio Paraíba do Sul no Rio de Janeiro (Dehler 2002, Vicente *et al.* 2007). Um

aspecto cinemático inerente a modelagem sobre cinturões transpressionais é a presença na sua parte central de um componente de movimento vertical que promove a extrusão da crosta inferior, favorecendo assim a exposição de terrenos granulíticos. Outro aspecto importante a ser investigado na região é o papel desempenhado pelas estruturas extensionais na exumação de segmentos granulíticos da Província Mantiqueira, particularmente as mais antigas (600 a 580 Ma), uma vez que elas têm sido consideradas recentemente por alguns setores como contemporâneas as estruturas contracionais e relacionadas ao regime transpressivo (Dehler *et al.* 2007, Machado *et al.* 2007, Karniol *et al.* 2007).

Referências

- Abalos B., Gil Ibarguchi J.I., Eguíluz L. 1991. Cadomian subduction/collision and Variscan transpression in the Badajoz-Córdoba shear belt, southwest Spain. *Tectonophysics*, **199**:51-72.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Carneiro C.D.R. 1975. Lineamento de Além-Paraíba. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, **47**:575.
- Barbosa J.S.F. 1988. Principais geobarômetros utilizados em granulitos: análise dos resultados de um exemplo do sul da Bahia – Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, **18**:162-169.
- Bascou J.F.L. 2002. *Relações entre microestruturas, mecanismos de deformação e propriedades físicas em rochas de alto grau de metaforfismo: estudo de alguns eclogitos e granulitos*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo/Université de Montpellier, 193 p.
- Basei M.A.S., Siga Jr. O., Masquelin H., Harara O.M., Reis Neto J.M., Porta F.P. 2000. The Dom Feliciano Belt and the Rio de la Plata Craton: tectonic evolution and correlation with similar provinces of southwestern Africa. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, SBG, p. 311-334.
- Berman R.G. 1991. Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique, with petrological applications. *Can. Miner.*, **73**:338-344.
- Bohlen S.R., Wall V.J., Boettcher A.L. 1983. Geobarometry in granulites. In: S.K. Saxena (ed.) *Kinetics and equilibrium in mineral reactions*, Advances in physical geochemistry. New York, Springer-Verlag, p. 141-172.
- Borradaile G.J., Werner T., Dehls J.F., Spark R.N. 1993. Archean regional transpression and paleomagnetism in northwestern Ontario, Canadá. *Tectonophysics*, **220**:117-125.
- Brito-Neves B. B. 1999. The Cambro-Ordovician of the Borborema Province. *Geol. USP Ser. Cient.*, **29**:175-193.
- Brown M. 1998. Unpairing metamorphic belts: *P-T* paths and a tectonic model for the Ryoke Belt, southwest Japan. *J. Metam. Geol.*, **16**:3-22.
- Brown M. 2002. Plate margin processes and 'paired' metamorphic belts in Japan. Comment on "Thermal effects of ridge subduction and its implication for the origin of granitic batholith and paired metamorphic belts" by H. Iwamori. *Earth and Plan. Sci. Letters*, **199**:483-492.
- Brown M. 2006. Duality of thermal regimes is the distinctive characteristic of plate tectonics since the Neoproterozoic. *Geology*, **34**:961-964.
- Brown M. 2009. Metamorphic patterns in orogenic systems and the geological record. In: Cawood P.A. & Kröner A. (eds.) *Earth Accretionary Systems in Space and Time*. London, Spec. Publ. Geol. Soc., 318, p. 37-74.
- Campanha G.A.C. 1981. O lineamento Além Paraíba na área de Três Rios (RJ). *Rev. Bras. Geoc.*, **11**: 159-171.
- Cruz L., Fayon A., Teyssier C., Weber J. 2007. Exhumation and deformation processes in transpressional orogens: The Venezuelan Para Península, SE Caribbean-South America plate boundary. In: Till A.B., Roeske S.M., Sample J.C., Foster D.A. (eds.) *Exhumation associated with strike-slip fault systems*. The Geological Society of America Special Paper, p. 149-165.
- Dayan H. & Keller J.V.A. 1989. A zona de cisalhamento do Rio Paraíba do Sul nas vizinhanças de Três Rios (RJ): uma análise da deformação dada por algumas feições estruturais. *Rev. Bras. Geoc.*, **19**:494-506.
- Dehler N.M. 2002. *Extrusão tectônica oblíqua em regime transpressivo no Cinturão Paraíbaides, RJ*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 170 p.
- Dehler N.M., Machado R., Vasconcelos C.S. 2000. Tectônica extensional oblíqua no sul do estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, **30**:699-706.
- Dehler N.M., Machado R., Dehler H., McReath I., Nummer A. 2006. Kinematics and geometry of structures in the southern limb of the Paraíba do Sul divergent structural fan, SE Brazil: a true transtensional shear. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, **78**:1-17.
- Dehler N.M., Machado R., Fassbinder E. 2007. Shear structures in the Serra do Azeite shear zone, southeastern Brazil: Transtensional deformation during regional transpression in the central Mantiqueira province (Ribeira belt). *Journal South Am. Earth Sci.*, **23**:176-192.
- Ebert H. 1968. Ocorrências de fácies granulíticas no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, **40**:215-229.
- Ebert H. D. & Hasui Y. 1998. Transpressional tectonics and strain partitioning during oblique collision between three plates in the Precambrian of south-east Brazil.

- In: Holdsworth R.E., Strachan R.A., Dewey J.F. (eds.) *Continental transpressional and transtensional tectonics*. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., **135**:231-252.
- Egydio-Silva M. 1996. *Zona de cisalhamento de alta temperatura – o lineamento de Além-Paraíba (RJ). Petrografia de plagioclásio – Anisotropia sísmica – Reologia da litosfera continental*. Tese de Livre-Docência, Universidade de São Paulo, 226 p.
- Egydio-Silva M., Vauchez A., Bascou J., Hippert J.F. 2002. High temperature deformation in the neoproterozoic transpressional Ribeira Belt, southeast Brazil. *Tectonophysics*, **352**:203-224.
- Furlong K.P. & Kamp P.J.J. 2009 (no prelo), The Lithospheric geodynamics of plate boundary transpression in New Zealand: Initiating and emplacing Subduction along the Hikurangi margin of New Zealand, and the Tectonic evolution of the Alpine Fault system. *Tectonophysics* (aceito, sem data de publicação).
- Goscombe B., Hand M., Gray D., Mawby J. 2003. The Metamorphic Architecture of a Transpressional Orogen: the Kaoko Belt, Namibia. *J. Petrol.*, **44**:679-711.
- Harz E.H., Andresen A., Hodges K.V., Martin M.W. 2001. Syncontractional extension and exhumation of deep crustal rocks in the east Greenland Caledonides. *Tectonics*, **20**:58-77.
- Heilbron M., Valeriano C.M., Almeida J.C.H., Tupinambá M. 1991. A Megassinformal do Paraíba do Sul e sua implicação na compartimentação tectônica do setor central da Faixa Ribeira. In: SBG, Simp. Geol. Sud., 2, *Atas*, p. 519-527
- Heilbron M., Pedrosa-Soares A.C., Campos Neto M., Silva L.C., Trouw R.A.J., Janasi V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: Mantesso-Netto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. (eds.) *Geologia do continente sulamericano – evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, São Paulo, Beca, p.203-234.
- Holdsworth R.E. & Strachan R.A. 1991. Interlinked system of ductile strike-slip and thrusting formed by Caledonian sinistral transpression in northeastern Greenland. *Geology*, **19**:510-13.
- Holdsworth R.E., Strachan R.A., Dewey J.D. 1998. Preface. In: Holdsworth R.E., Strachan R.A., Dewey J.F. (eds.) *Continental Transpressional and Transtensional Tectonics*. London, Spec. Publ. Geol. Soc., 135.
- Hudleston P.J., Schultz-Ela, D.D., Southwick D.L. 1988. Transpression in an Archean greenstone belt, northern Minnesota. *Can. J. Earth Sci.*, **25**:1060-1068.
- Inger S. 1998. Timing of an extensional detachment during convergent orogeny: New Rb/Sr geochronological data from the Zaskar shear zone, northwestern Himalaya. *Geology*, **26**: 223-226.
- Janasi V.A. & Ulbrich H.H.G.J. 1991. Late Proterozoic granitoid magmatism in the State of São Paulo, southeastern Brazil. *Prec. Res.*, **51**:351-374.
- Janasi V.A., Leite R.J., van Schmus W.R. 2001. U-Pb chronostratigraphy of the granitic magmatism in the Agudos Grandes Batholith (W of São Paulo, Brazil) – implications for the evolution of the Ribeira Belt. *J. South Am. Earth Sci.*, **14**:363-376.
- Jones R.R., Holdsworth R.E., Bailey W. 1997. Lateral extrusion in transpression zones: the importance of boundary conditions. *J. Struc. Geol.*, **19**:1201-1217.
- Karniol T.R., Machado R., Vicente L.C. 2007. Tectônica extensional no cinturão Paraíba do Sul no noroeste do Rio de Janeiro: análise estrutural na seção Itaperuna (RJ) - Muriaé (MG). *Rev. Bras. Geoc.*, **37**:625-636.
- Karniol T.R., Machado R., Dehler N.M. 2008. Transpressive dextral shear in the Italva-Itaperuna section, northern state of Rio de Janeiro. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, **80**:565-577.
- Kretz R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *Am. Min.*, **68**:277-279.
- Leblanc D., Gleizes G., Roux L., Bouchez J.L. 1996. Variscan dextral transpression in the French Pyrenees: new data from the Pic des Trois-Seigneurs granodiorite and its country rocks. *Tectonophysics*, **261**:331-345.
- Lyberis N. & Mamby G. 1999. Continental collision and lateral escape deformation in the lower and upper crust: An example from Caledonide Svalbard. *Tectonics*, **18**:40-63.
- Machado R. 1997. *Litogeoquímica e tectônica dos granitóides neoproterozóicos do Cinturão Paraíba do Sul no Estado do Rio de Janeiro*. Tese de Livre-Docência, IG/USP, 215p.
- Machado R. & Endo I. 1993. A megaestrutura em flor positiva do Vale do Rio Paraíba do Sul no Rio de Janeiro e suas implicações tectônicas regionais. In: SBG, Simp. Nac. Est. Tect., 4, *Anais*, p. 208-213.
- Machado R., Dehler N.M., Vasconcelos P. 2007. ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages (600-570 Ma) of the Serra do Azeite transtensional shear zone: evidence for syncontractional extension in the Cajati área, southern Ribeira belt. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, **79**:713-723.
- Mancktelow N.S. 1992. Neogene lateral extension during convergence in the Central Alps: Evidence from interrelated faulting and backfolding around the Simplonpass (Switzerland). *Tectonophysics*, **215**:295-317.
- Marshak S., Alkmim F., Whittington C., Pedrosa-Soares A.C. 2006. Extensional collapse in the Neoproterozoic Araçuaí orogen, eastern Brazil: a setting for reactivation of asymmetric crenulation cleavage. *J. Struc. Geol.*, **28**:129-147.
- Miyashiro A. 1961. Evolution of metamorphic belts. *J. Petrol.*, **2**:277-311.
- Northrup C.J. & Burchfiel B.C. 1996. Orogen-parallel transport and vertical partitioning of strain during oblique collision. *Journal Structural Geology*, **18**:1231-1244.
- Offman R. & Weber-Diefenbach K. 1989. Two zoned complexes in the Iconha region, Espírito Santo, Brazil: a geochemical characterization of an intrusive series. *Zentralblatt für Geologie u. Paläontologie*, **1**:704-718
- Oliveira M.A.F. 1981. Granulitos da faixa Paraíba do Sul: caracteres químicos dos piroxênios e valores geotermobarométricos. *Rev. Bras. Geoc.*, **11**:222-226.
- Pedrosa-Soares A.C. & Wiedemann-Leonardos C.M. 2000. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, eastern Brazil. In: Cordani U.G., Milani

- E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, p. 265-286.
- Porcher C.C. 1997. *Relações entre metamorfismo e deformação na Faixa Ribeira: Regiões de Três Rios e Santo Antônio de Pádua (RJ)*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 315 p.
- Ratschbacher L., Frisch W., Linzer H., Merle O. 1991. Lateral extrusion in the eastern Alps, part II: Structural Analysis. *Tectonics*, **10**:257-271.
- Richard L.R. 1995. *Minpet Software*. Mineralogical and Petrological data processing system. Versão 2.02. Copyright 1988-1995.
- Royden L. H. & Burchfield B. C. 1987. Thin-skinned N-S extension within the convergent Himalayan region: gravitational collapse of a Miocene topographic front. In: Coward M.P., Dewey J.F., Hancock P.L. (eds.) *Continental Extensional Tectonics*. Geological Society of London, Special Publication, **28**:611-619.
- Sanderson D.J. & Marchini W.R.D. 1984. Transpression. *J. Struc. Geol.*, **6**:449-458.
- Siga Jr O., Basei M.A.S., Sato K., Citroni S.B., Reis Neto J.M., Weber W., Lima P.S., Sproesser W.M. 1999. Post-Orogenic magmatism and sedimentation in Neoproterozoic extensional regimes in the Brazilian Southern Region. In: Simp. Sud. Geol. Isot. 2, *Actas*, p. 367-370.
- Spotila J.A., House M.A., Niemi N.A., Brady R.C., Oskin M., Buscher J.T. 2007. Patterns of bedrock uplift along the San Andreas fault and implications for mechanisms of transpression. In: Till A.B., Roeske S.M., Sample J.C., Foster D.A. (eds.) *Exhumation associated with strike-slip fault systems*. The Geological Society of America Special Paper, p. 15-33.
- Strachan R.A., Martin M.W., Friderichsen J.D. 2001. Evidence for contemporary yet contrasting styles of granite magmatism during extensional collapse of the northeast Greenland Caledonides. *Tectonics*, **20**:458-473.
- Swarbrick R.E. 1993. Sinistral strike-slip and transpressional tectonics in an ancient oceanic setting: the Mamonia Complex, southwest Cyprus. *Jour. Geol. Soc.*, **150**:381-392.
- Teyssier C. & Tikoff B. 1998. Strike-slip partitioned transpression of the San Andreas fault system: a lithospheric scale approach. In: Holdsworth R.E., Strachan R.A., Dewey J.F. (eds.) *Continental Transpression and Transtension Tectonics*. Geological Society of London, Special Publication, **135**:143-158.
- Teyssier C., Tikoff B., Markley M. 1995. Oblique plate motion and continental tectonics. *Geology*, **23**: 447-450.
- Vaucher A., Babaie H.A., Babaie A. 1993. Orogen-parallel tangential motion in the Late Devonian-Early Carboniferous southern Appalachians Internides. *Can. J. Earth Sci.*, **30**:1297-1305.
- Vicente L.C., Dehler N.M., Machado R.M., Karniol T.R. 2007. Extrusão tectônica e transporte lateral de massa na porção central do cinturão Paraíba do Sul, seção Três Rios – Matias Barbosa (RJ/MG). *Rev. Bras. Geoc.*, **37**:281-292.
- Vlach S.R.F., Janasi V.A., Vasconcellos A.C.B.C. 1990. The Itu Belt: associated calcalkaline and aluminous A-type late Brasiliano granitoids in the states of São Paulo and Paraná, southern Brazil. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 36, *Anais*, p. 1700-1711.
- Wheeler J. & Butler R.W.H. 1993. Evidence for extension in the western Alpine orogen: the contact between the oceanic Piemonte and overlying continental Sesia units. *Earth Planet. Sci. Letters*, **117**:457-474.

Manuscrito ID 12674

Submetido em 24 de outubro de 2008

Aceito em 11 de setembro de 2009