

Contribuições da gamaespectrometria para o estudo da borda leste do Cinturão Granítico Três Córregos, Cerro Azul- PR

Renata Ribas Zanella*, Leonardo Fadel Cury, Fábio Berton, Luís Gustavo de Castro – Programa de Pós-Graduação em Geologia - UFPR

Copyright 2016, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VII Simpósio Brasileiro de Geofísica, Ouro Preto, 25 a 27 de outubro de 2016. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VII SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Abstract

The Três Córregos granitic (Neoproterozoic) belt is one of the most important magmatic records owing to its expressive and tectonic significance, with several plutons developed in a complex evolution and polyphasic tectonic conditions involving variables during their emplacements. The structural pattern of the border of granites and their country rocks suggests distinct stages to the emplacement of different facies in the eastern border, where are recognize São Sebastião and Arrieiros-Cerro Azul granitic units (s.l facies), intrude in metavolcano-sedimentary rocks of Agua Clara formation. For the study of the evolution of the Três Córregos granitic belt and related wall rocks in an integrated approach, this research was developed applying structural and geophysical data interpretation. The eastern portion of Três Córregos Granitic Belt shows a low dip angle magmatic foliation, parallel to foliations observed at wall rocks, suggesting an active low angle tectonics condition during the emplacement. The geophysical data interpretation exhibit that the different magmatic pulses which formed Arrieiros-Cerro Azul facies shows an increase in potassium values, reflecting the migration of magmatic focus towards SE.

Introdução

Grandes quantidades de rochas graníticas foram geradas durante a evolução do Ciclo Brasileiro (Heilbron *et al.*, 2004), destacando-se as alojadas no Cinturão Ribeira Sul, âmbito do Terreno Apiaí. Dentre as intrusões mais expressivas desta região pode-se destacar o Cinturão Granítico Três Córregos (CGTC), um dos maiores e mais importantes complexos ígneos do Neoproterozoico (Prazeres Filho, 2000). O CGTC é um batólito multi-intrusivo com predomínio de granitos tipo-I metaluminosos à fracamente peraluminosos, com assinatura cálcio-alcalina de médio a alto K (Gimenez Filho, 1993; Prazeres Filho, 2000). Variações litológicas, texturais e isotópicas, permitem dividir o CGTC em 7 unidades graníticas, sendo que os granitos cálcio-alcalinicos de médio K, com idades entre 650-620 Ma (tonalitos da Unidade Paina e quartzo monzodioritos da Unidade Apiaí-Guaçu) são tidos como remanescentes do magmatismo pré-colisional, sendo os principais representantes do arco magmático., enquanto os granitos cálcio-alcalinicos a alto K, de idades 620-590 Ma (Unidades Arrieiros-Cerro Azul, Conceição, São Sebastião, Barra do Chapéu-Ribeirão Branco) representam o magmatismo sin a tardi colisional, gerados

em ambiente compressional relacionados à evolução do arco magmático (U-Pb em zircões; Prazeres Filho, 2005).

A Formação Água Clara é uma faixa alongada na direção NE-SW, limitada a norte pela Zona de Cisalhamento Itaipapuã e balizada ao sul pelas zonas de cisalhamento Quarenta-Oitava e Morro Agudo. Composta predominantemente por rochas carbonáticas (mármore puros e impuros), filitos, xistos carbonáticos, quartzitos, metabasitos e anfibolitos, apresenta duas fácies, onde a unidade basal, de natureza vulcanossedimentar, é constituída por quartzo-mica xistos com intercalações de metabásicas, metavulcânicas, quartzitos, metamargas, mármore impuros e metacherts, sendo frequente a intercalação com níveis de formações ferríferas bandadas. A unidade superior é essencialmente carbonática, com mármore foliados, e intercalações de quartzo-mica xistos e quartzitos e calcoxistos granada e epidoto (Marini *et al.*, 1967; Marini, 1970; Siga Jr., 2010; Weber *et al.*, 2004; Pontes, 1982). A deposição desta formação ocorreu em ambiente de plataforma relativamente profunda, com vulcanismo associado. Idades U-Pb em núcleos de zircões das metabásicas indicaram formação mesoproterozóica (ca. 1500 Ma) e em bordas, idades de ca. 590 Ma, representando idades neoproterozóicas para o metamorfismo regional em condições da fácies anfibolito inferior (Weber *et al.*, 2004; Siga Jr., 2010; Siga Jr. *et al.*, 2011; Kops e Ebert, 1993).

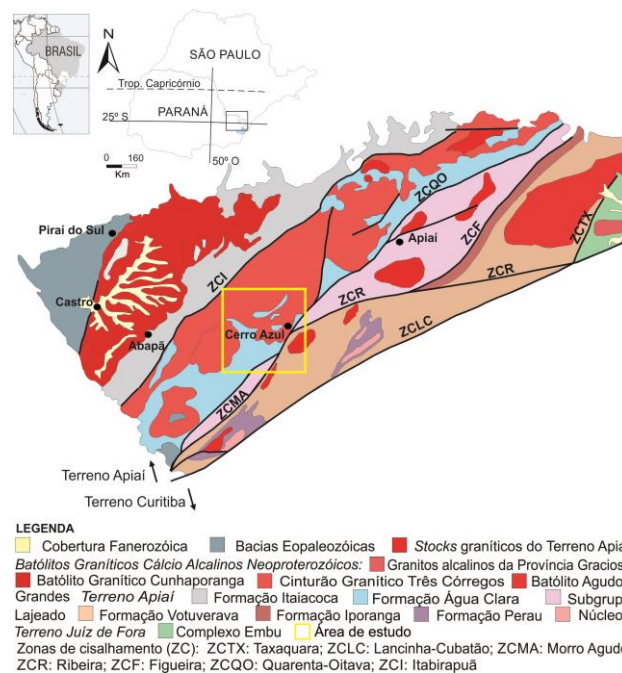


Figura 01- Mapa geológico simplificado do Terreno Apiaí e parte do Terreno Juiz de Fora, com destaque para o Cinturão Granítico Três Córregos e para área de estudo.

Adaptada de Salazar et al., 2008; Prazeres Filho et al., 2003; Cury et al., 2008 e Zanella, 2016.

Metodologia/Problema Investigado

Os metassedimentos encaixantes registram as relações temporais entre intrusão, deformação e metamorfismo, e no caso do estudo do controle tectônico atuante no alojamento de um plúton, permitem separar as forças internas ao plúton das externas (Hutton, 1988). A caracterização e comparação das estruturas e suas condicionantes tectônicas nesse contexto, é de grande importância para o melhor entendimento da cronologia do alojamento do Cinturão Granítico Três Córregos e do metamorfismo de contato das encaixantes. Assim, para este estudo, foram utilizados dados estruturais dos corpos graníticos da borda leste do CGTC e das encaixantes metassedimentares da Formação Água Clara, analisados em conjunto com mapas aerogeofísicos de gamaespectrometria. Os dados aerogeofísicos foram utilizados na identificação da distribuição espacial das unidades geológicas da área, bem como na delimitação das fácies graníticas. Foram utilizados dados areogamaespectrométricos do "Projeto Aerogeofísico Paraná-Santa Catarina" (CPRM, 2011), com levantamentos de altura média de voo de 100 m, linhas de direção N-S com espaçamento de 500 m, e linhas E-W com espaçamento de 10.000 m. O tratamento dos dados foi realizado pelo Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada (LPGA - UFPR).

Resultados

A análise das anomalias do mapa do potássio, supervisionada por dados de campo, evidenciou a separação de duas associações litológicas, com assinaturas geofísicas características e distintas entre si, além de ressaltar a variação faciológica dos termos graníticos. Quando analisados em conjunto com mapas de anomalias CMY e CT, balizados por dados de campo, permitiram traçar o contato do granito com os metassedimentos.

A *Associação Litológica Calciossilicática* apresenta assinaturas geofísicas de anomalias de K com predomínio de valores moderados (0,64-1,19%), sendo composta por litotipos predominantemente silicáticos e calciossilicáticos (quartzito, quartzo-sericita filito, xistos aluminosos com cianita, estauroлита, andaluzita, cordierita, granada, grafita e magnetita, mármores puros e impuros e rochas calciossilicáticas), aflorantes na região de Volta Grande, no norte da área de estudo, configurando uma lasca de metassedimentos de direção geral N60E, em meio ao CGTC, e pelos metassedimentos de direção geral N40W na porção oeste (rio dos Monos).

A *Associação Carbonato-silicática*, cujas assinaturas geofísicas são caracterizadas por predomínio de valores muito baixos de K (-0,02 – 0,58%) (figura 2A-B), é composta predominantemente por rochas carbonáticas (mármores calcíticos puros e mármores impuros, intercalados a xistos compostos por biotita, muscovita, quartzo, plagioclásio, silimanita, clorita, opacos e carbonato), localizadas na região do Alto Açungui. O

contato entre as duas associações é marcado por zonas de cavalgamento.

Com relação aos metassedimentos são observadas no mapa do potássio assinaturas distintas para as formações Água Clara e Votuverava. A Fm. Votuverava, a leste da Zona de Cisalhamento Morro Agudo, apresenta valores de potássio no espectro 1,13-2,47%, enquanto os constituintes da Fm. Água Clara mostram percentagens relativamente mais baixas (-0,02-1,19%)

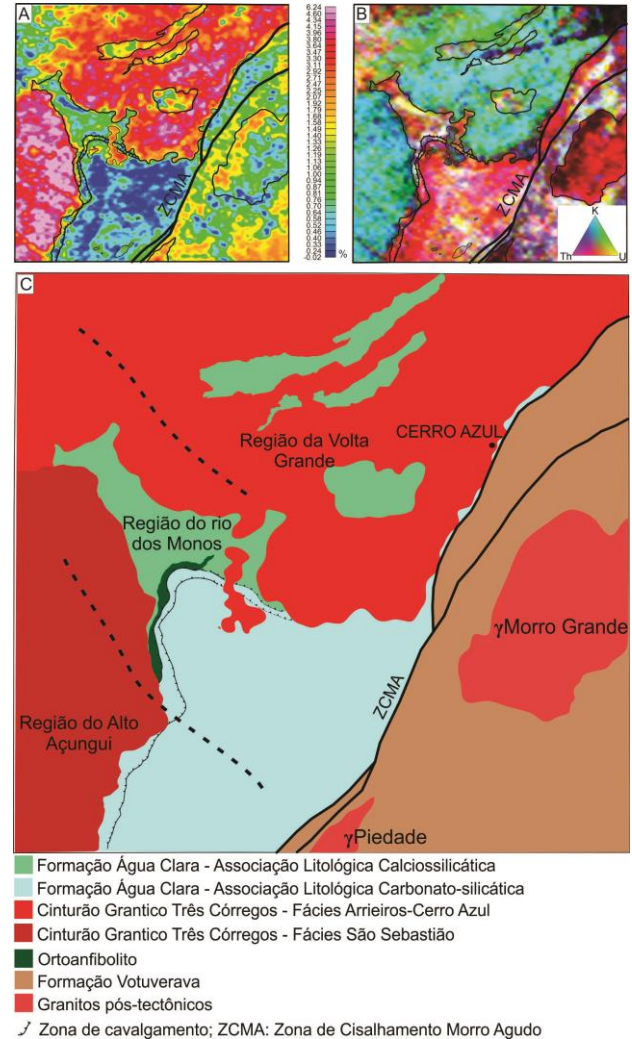


Figura 02- Mapa esquemático com as associações litológicas propostas. A) Mapa aerogamaespectrométrico de anomalia de potássio (%), com sobreposição dos principais contatos e estruturas; B) Mapa aerogamaespectrométrico de anomalia da composição ternária CMY dos mapas K, eU, eTh, com sobreposição dos principais contatos e estruturas; C) Mapa geológico simplificado, com as associações litológicas propostas e divisão faciológica do CGTC. Adaptada Zanella, 2016.

Na região estudada o CGTC é representado pelas fácies graníticas São Sebastião e Arrieiros-Cerro Azul (segundo a proposta de Prazeres Filho, 2000 e 2005) cartografadas com base em variações composicionais e texturais. A fácies São Sebastião aflora na porção sudeste da área

de estudo, sendo caracterizada pelo predomínio de ocorrências de composições monzograníticas a quartzo monzoníticas, ambas de textura predominantemente porfírica em meio a matriz média a grossa, de textura hipidiomórfica. A fácies Arrieiros-Cerro Azul, de ocorrência predominante na área, apresenta predomínio de monzogranitos porfíricos em matriz idiomórfica média a grossa, caracterizado pela coloração castanho avermelhada, sendo comumente encontrados termos de composição sienogranítica, granodiorítica, diorítica, monzonítica e quartzo monzonítica. Os padrões geofísicos característicos de cada fácies diferem entre si nos valores de K, sendo a fácies São Sebastião caracterizada por assinatura geofísica com valores significativamente mais elevados (4,15-6,24%) que a Arrieiros-Cerro Azul. Esta por sua vez apresenta uma variação interna nos valores de anomalia de K, onde observa-se um incremento em K nas rochas graníticas de NW para SE, sendo encontrados na porção NW valores extremamente baixos (-0,02-1,49%), com incremento na porção central (2,25-3,30%), chegando a valores com 6,24% de potássio na porção SE.

Nos mapas de anomalias CMY ressalta-se a composição geoquímica distinta dos granitos do Cinturão Granítico Três Córregos, representado com anomalias significativas de K e U, e do granito Morro Grande, representado por forte anomalia de Th.

No âmbito da análise estrutural, os dados foram distribuídos e tratados em três diferentes setores com situações geológicas distintas, sendo o limite dos setores caracterizado por variações percebidas no comportamento geológico-estrutural, e não por estruturas físicas mapeáveis. O setor da Volta Grande é caracterizado por foliações metassedimentares (S₁ e S₂) e por foliação granítica de fluxo magmático (S_g - orientação de fenocristais e máficos da matriz) com direções subparalelas para N55E, com mergulhos 40-70° para SE e NW para as foliações S₁ e S₂ e mergulhos em média de 20° para S_g (figura 3A).

Já o Setor Rio dos Monos é fortemente condicionado por dobramento de eixo NW, com a distribuição dos dados das foliações S₁ e S₂ em uma guirlanda, onde nos flancos predominam direções médias N40W, com mergulhos baixos para NE e SW, e na região de charneira predomina planos de foliação com direção N50E, e mergulhos moderados (40°) para NW (figura 3B), configurando um padrão estrutural divergente em relação aos outros dois setores. A orientação de fenocristais apresenta predomínio para N50W, também com valores baixos de ângulo de mergulho (entre 5° e 30°). Nesse setor, há o predomínio de planos de foliação magmática também com direção média N50W e baixos valores de mergulho, porém, próximo ao contato com os metassedimentos, os planos da foliação apresentam valores elevados de mergulho (entre 60° e 80°).

Por fim, no Setor Alto Açungui predominam direção de foliação S₁ com máximos em N55E/60NW e máximos da foliação S₂ em N70E/40NW (figura 3C). O padrão da orientação dos fenocristais nesse setor apresenta predomínio de direções NS a N30E, com baixos valores

de mergulho (média 20°). O mesmo predomínio é observado na direção da foliação, contudo, os valores de mergulhos são mais elevados, com caimentos para NW (figura 3C).

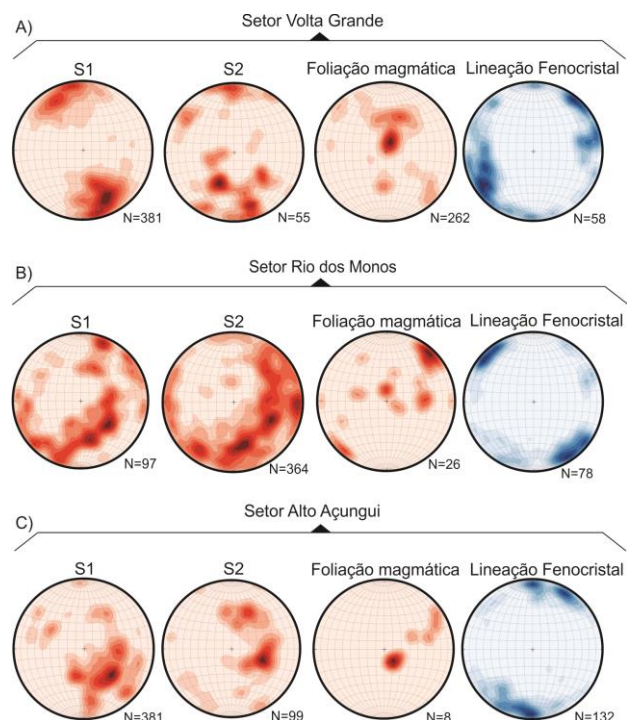


Figura 3: Diagramas Schmidt-Lambert de igual área, das foliações S₁ e S₂ observadas nos metassedimentos da Formação Água Clara, e da lineação mineral originada pela orientação de fenocristais de K-feldspato e foliação de fluxo magmático observadas nos granitos, A) no Setor Volta Grande; B) Setor Rio dos Monos; e em C) Setor Alto Açungui.

Discussão e Conclusões

A Associação Litológica Calciossilicática é caracterizada no mapa de anomalia de K com valores relativamente mais elevados que a Associação Litológica Carbonato-silicática, refletindo a predominância de mármores calcíticos constituintes desta unidade, cuja assembleia mineral é representada por poucos minerais ricos em K.

Os valores mais elevados das anomalias de K encontrados na fácies São Sebastião são condizentes com as análises geoquímicas e isotópicas das rochas desta unidade realizada por Prazeres Filho (2005), que propõe idades de cristalização próximas para as duas fácies, mas posiciona a intrusão da fácies São Sebastião como posterior a Arrieiros-Cerro Azul. O aumento dos valores de potássio em direção à borda sudeste da fácies Arrieiros-Cerro Azul indica uma migração do foco magmático para SE.

Assim, admite-se que a história evolutiva da colocação da borda leste do CGTC se dá inserida no contexto de fechamento de uma bacia com granitogênese em ambiente de arco magmático, expressa através de sucessivos estágios intrusivos em meios aos

metassedimentos da Formação Água Clara. O primeiro pulso de instalação da fácies Arrieiros-Cerro Azul apresenta valores muito baixos de potássio, intrudido de maneira concordante à orientação NE dos metassedimentos, seguido de novo pulso também com direção NE, originando a paleoborda B1 (figura 4C).

A orientação NW observada nos contatos do granito com as encaixantes na região dos rios dos Monos tem sua origem relacionada a uma variação local na tensão, resultado da busca de abertura de espaço durante a colocação dos monzogranitos porfiríticos da fácies São Sebastião. A instalação dessas rochas é penecontemporânea a novo pulso magmático da Arrieiros-Cerro Azul (fácies com valores de potássio mais elevados), tendo esses corpos atuado como anteparo, resultando no encurtamento da faixa metassedimentar existente entre elas (figura 4D). Nessa região, a foliação magmática de fluxo observada nas duas fácies graníticas apresentam valores de mergulho elevado ($\sim 70^\circ$), concordante com os contatos entre as rochas graníticas e suas encaixantes, bem como com arranjo estrutural característico dos metassedimentos nesse setor.

Os corpos alongados de metassedimentos com direção NE observados no Setor Volta Grande, não são considerados como restos de teto pendentes (*roof pendant*) englobados e desorientados durante o crescimento da câmara magmática. Estes corpos frequentemente apresentam forte controle estrutural, concordante com o arranjo estrutural dos metassedimentos localizados fora do contexto das lascas, bem como espessas intercalações com ejeções e corpos graníticos tabulares, sugerindo que esses corpos foram desconectados por ação tectônica durante a ascensão magmática, aprisionados entre a paleobordas B2 e B3 da fácies Arrieiros-Cerro Azul (figura 4D).

A última fase de colocação da fácies Arrieiros-Cerro Azul (B4; figura 4E) não apresenta indícios de controle estrutural, evidenciado pela geometria arredondada do corpo de metassedimento englobado pelo granito, sem orientação concordante com o arranjo NE característico da área de estudo, sendo este caracterizado como um *roof pendant*.

A evolução da colocação da fácies Arrieiros-Cerro Azul é marcada pelo desenvolvimento de novas bordas à medida que novos pulsos magmáticos se instalam, cada um com maior porcentagem de potássio que o anterior, configurando um padrão de paleobordas graníticas (figura 4B, D, E), com migração para SE, acompanhada pelo incremento de potássio.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Paraná, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, do Departamento de Geologia, por toda a infraestrutura ofertada para o desenvolvimento da pesquisa, ao Laboratório de Análise de Bacias (LABAP-UFPR) e ao Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR-UFPR) por todo o apoio logístico para a realização dos trabalhos de campo. Agradecem também

ao Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada (LPGA-UFPR) pela liberação e tratamento dos dados aerogeofísicos.

Referências

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). 2011. Projeto Aerogeofísico Paraná-Santa Catarina (PR,SC,SP). Comunicado sobre a disponibilização de dados digitais aerogeofísicos (Magnetometria e Gamaespectrometria). Brasília, Ministério de Minas e Energia.

Cury et al (04 co-authors), 2008. Aspectos tectônicos das intrusões dos granitos do Cerne, Passa Três e Rio Abaixo, sudeste do Pré-Cambriano paranaense. Estudo baseado em datações ^{39}Ar - ^{40}Ar em micas. Revista do Instituto de Geociências – USP, 8(1):87-104.

Gimenez Filho, A. 1993. Evolução do Complexo Granítico Três Córregos. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil.

Hutton, D.H.W. 1988. Granite emplacement mechanisms and tectonic controls: inferences from deformation studies. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, 79:245-255.

Kops, P.T. & Ebert, H.D. 1993. Aspectos geológicos das Formações Antinha, Votuverava e Água Clara na Região de Voturuvo dos Cláudios, Estado do Paraná. Proceedings 5th South Brazilian Geological Symposium, Curitiba (PR), vol 5:3-4.

Marini, O. J. 1970. Geologia da Folha de Rio Branco do Sul. Tese de doutorado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Rio Claro, Brasil.

Marini, O. J.; Trein, E.; Fuck, R. A. 1967. O Grupo Açungui no estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências, Série Especial, 23:43-104.

Pontes, J. B. 1982. Geologia e potencialidades econômicas da Formação Água Clara (PR). Proceedings 32nd Brazilian Geological Congress, Salvador (BA), Brazil, vol 3:1002-1016.

Prazeres Filho, H. J. 2000. Litogeoquímica, geocronologia (U-Pb) e geologia isotópica dos complexos graníticos Cunhaporanga e Três Córregos, estado do Paraná. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil.

Prazeres Filho, H. J. 2005. Caracterização geológica e petrogenética do Batólito Granítico Três Córregos (PR-SP): Geoquímica isotópica (Nd-Sr-Pb), idades (ID-TIMS/SHRIMP) e $\delta^{18}\text{O}$ em zircão. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil.

Prazeres Filho et al (04 co-authors), 2003. Litoquímica, geocronologia U-Pb e geologia isotópica (Sr-Nd-Pb) das rochas graníticas dos batólitos Cunhaporanga e Três Córregos na porção sul do Cinturão Ribeira, estado do Paraná. Revista do Instituto de Geociências – USP, 3:51-70.

Siga Jr., O. 2010. Geocronologia da porção sul do Terreno Apiaí: Implicações Tectônicas. Tese de Livre Docência em Mineralogia e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil.

Siga Jr et al (06 co-authors), 2011. Calimyan (1.50-1.45 Ga) magmatic records in Votuverava and Perau sequences, south-southwestern Brazil: zircon ages and Nd-Sr isotopic geochemistry. *Journal of South American Earth Science*, 32:301-308.

Weber et al (05 co-authors), 2004. A formação Água Clara na região de Araçaíba - SP: Registro U-Pb de uma

bacia mesoproterozóica. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, 4:101-110.

Zanella, R.R. 2016. Aspectos estruturais e metamórficos da borda leste do Cinturão Granítico Três Córregos - PR. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Brasil.

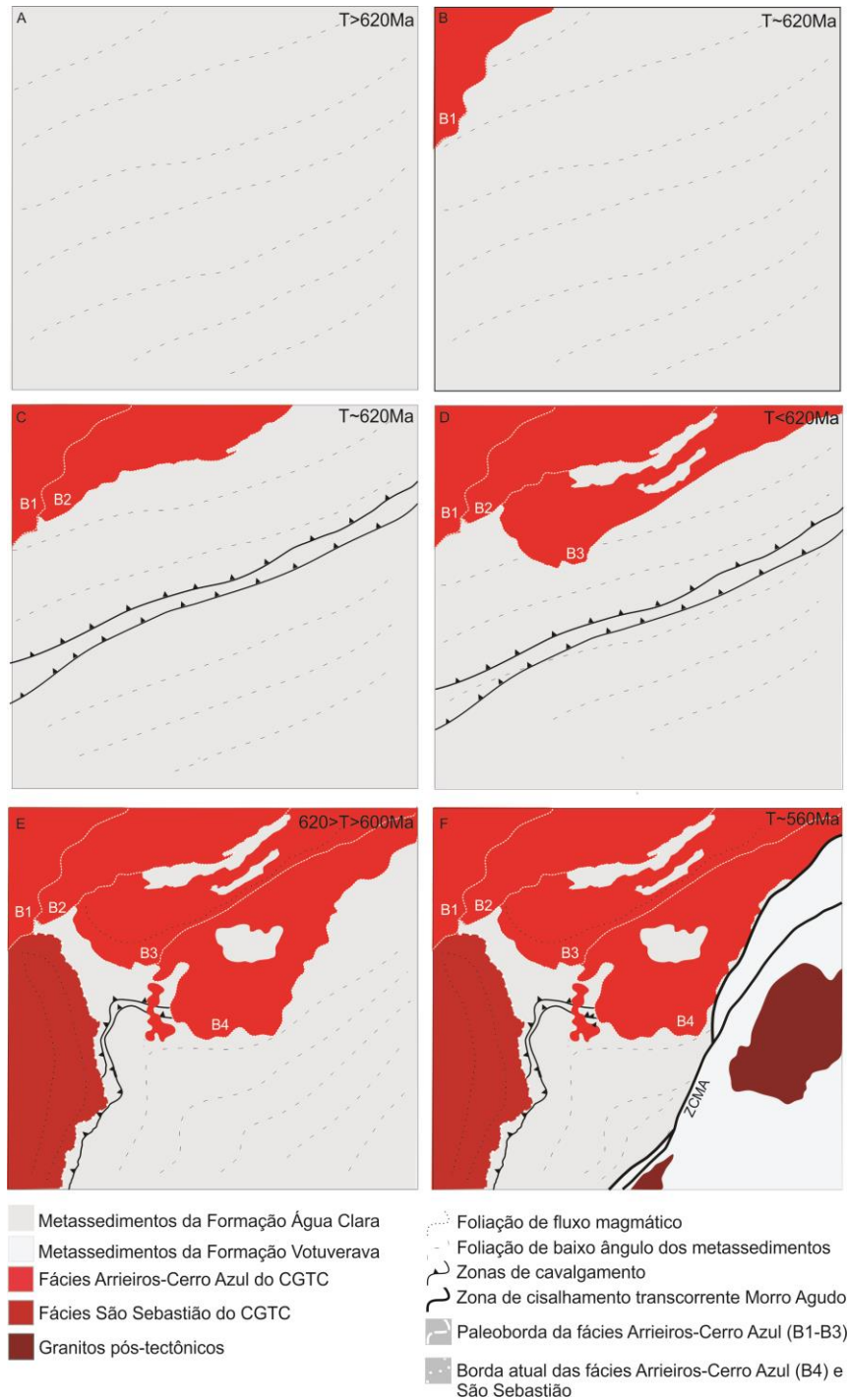


Figura 4: Modelo de evolução da colocação multi-intrusiva das fácies Arrieiros-Cerro Azul e São Sebastião na borda leste do Cinturão Granítico Três Córregos. A) Arranjo estrutural da Formação Água Clara antes da intrusão; B) estágios iniciais da colocação da fácies Arrieiros-Cerro Azul, concordante com o padrão estrutural das encaixantes, e com assinaturas geofísicas de baixo potássio; C) Novo pulso da fácies Arrieiros-Cerro Azul, configurando paleoborda B₁ e borda B₂, com pequeno incremento nos valores de potássio, penecontemporâneo ao desenvolvimento das zonas de cavalgamento, com vergência para SE; D) Novo pulso magmático, com novo estágio de colocação da fácies Arrieiro-Cerro Azul, configurando B₂ como paleoborda, e a estruturação das lascas de metassedimentos em meio aos granitos; E) Estágios finais da colocação da fácies Arrieiros-Cerro Azul, com fraca atuação de condicionante tectônica, ressaltada pelo formato oval do corpo de metassedimento (roof pendant, considerada como penecontemporânea à colocação da fácies São Sebastião. A instalação de tais corpos resulta no encurtamento dos metassedimentos localizados entre eles, com geração do dobramento com eixo NW observado no Setor Rio dos Monos; F) Desenvolvimento da Zona de Cisalhamento Morro Agudo.