

DISCUSSÃO DOS DADOS PETROGRÁFICOS E GEOTERMOMETRIA DOS PARAGNAISSES PELÍTICOS DO COMPLEXO VÁRZEA DO CAPIVARITA PRÓXIMOS A ENCRUZILHADA DO SUL, RS

Elisa O. da Costa^{1*}, Maria de F. Bitencourt², Giuseppe B. De Toni¹

1. Estudante do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);
2. Professora do Instituto de Geociências da UFRGS;

Resumo

O Complexo Várzea do Capivarita (CVC) é uma das unidades do embasamento do Batólito Pelotas, na porção leste do Escudo Sul-rio-grandense. Dentre as litologias que compõem o CVC encontram-se paragneisses pelíticas cujas condições geotermobarométricas são controversas. Os objetivos deste trabalho são: (1) caracterizar e discutir as feições petrográficas dos paragneisses pelíticos do CVC; e (2) modelar as condições geotermobarométricas registradas por meio de pseudosseções coerentes com a interpretação petrográfica. A discussão dos dados petrográficos permitiu concluir a existência de um domínio composicional (DC) em desequilíbrio com a paragênese principal (PP). Com dados de geoquímica de rocha total e química mineral construíram-se pseudosseções distintas para o DC e PP, as quais registram 830 a 850 °C e 2,6-3 kbar, e 800-810 °C e ~4,5 kbar, respectivamente.

Palavras-chave: Modelagem Termodinâmica; Petrologia Metamórfica; Batólito Pelotas.

Trabalho selecionado para a JNIC: UFRGS

Introdução

O Complexo Várzea do Capivarita (CVC) aflora principalmente nos arredores de Encruzilhada do Sul (Fig. 1). É parte do embasamento do Batólito Pelotas no Escudo Sul-rio-grandense e congrega ortogneisses tonalíticos, paragneisses pelíticos e calciossilicáticos, além de sienitos sintectônicos. As litologias metamórficas do CVC foram intercaladas tectonicamente durante o Ciclo Brasileiro/Pan-africano em regime transpressivo e registram paragêneses típicas da fácies granulito, há cerca de 650 Ma (U-Pb em zircão; Martil, 2016).

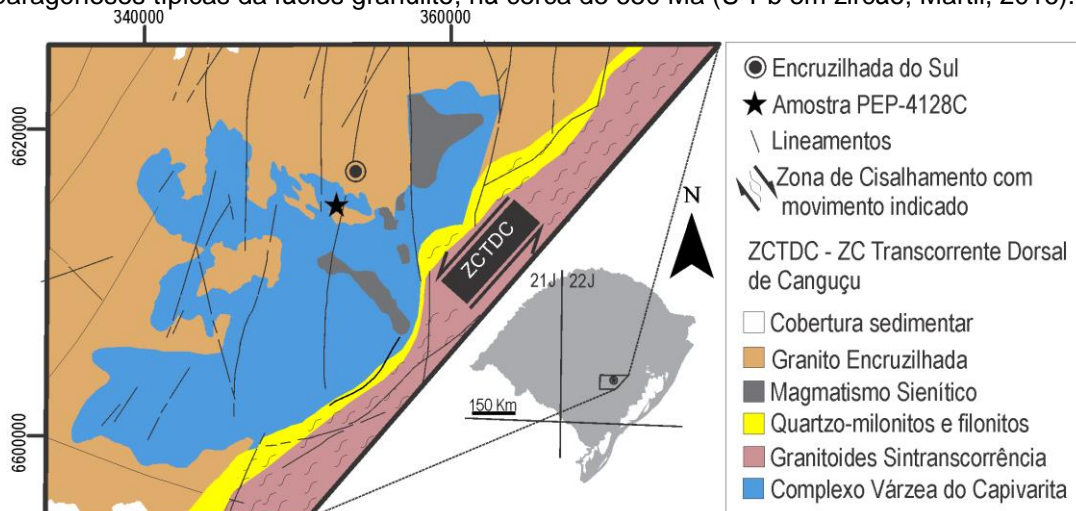


Figura 1: Mapa geológico da região de Encruzilhada do Sul mostrando as unidades geológicas e a localização da amostra estudada.

Os paragneisses pelíticos do CVC foram descritos por diversos autores (Gross *et al.*, 2006; Bom *et al.*, 2014). São rochas de de granulação fina a média e bandamento milimétrico irregular, com eventuais feições de fusão parcial (L). A paragênese é composta por quartzo (Qz), plagioclásio (Pl), K-feldspato (Kfs), biotita (Bt), granada (Gt), cordierita (Crd), sillimanita (Sil) e hercinita (Hc).

Trabalhos acerca das condições de pressão e temperatura do CVC obtiveram resultados diversos. Gross *et al.* (2006) utilizaram o *software* THERMOCALC, o qual calcula as condições de equilíbrio para diferentes pares de geotermômetros (Gt-Bt, Gt-Crd, Bt-Crd, Hc-Crd), e obtiveram condições de 730-800 °C e 3-4 kbar. Já com base na reação $Gt + Crd + Sil = Hc + Qz$, Bom *et al.* (2014) estimam condições de 850-1000 °C e 6-10 kbar, enquanto Philipp *et al.* (2013) indicam condições de 720-820 °C e 8-9 kbar pela interpretação de a paragênese ser composta por Gt-Crd-Sil-Bt.

Devido à divergência dos dados da literatura à cerca das condições de pressão e temperatura, justifica-se a necessidade de revisitar a petrografia desta unidade e estimar suas condições geotermobarométricas a partir de outra abordagem. Assim, os objetivos deste trabalho são: (1) caracterizar e discutir as feições petrográficas dos paragneisses pelíticos do CVC com base em trabalhos teóricos da literatura; e (2) modelar as

condições geotermobarmétricas registradas por meio de pseudosseções coerentes com a interpretação petrográfica.

Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho se deu em três etapas: (1) seleção da amostra; (2) caracterização petrográfica e revisão bibliográfica; e (3) obtenção dos dados geoquímicos e construção da pseudosseção. A seleção da amostra foi feita dentre aquelas coletadas durante o mapeamento geológico realizado por UFRGS (2010). A amostra PEP-4128C foi selecionada porque contém toda a mineralogia descrita na literatura para os paragneisses pelíticos do CVC.

A caracterização petrográfica foi feita em microscópio Olympus BX51, e o registro fotográfico foi obtido com a câmera Olympus UE30 e *software* AnalySISgetIT® versão 5.2. A principal feição textural observada é a relação de inclusão de cristais de hercinita em cristais de cordierita, cuja composição foi determinada em microsonda eletrônica por meio de mapa composicional qualitativo. Além da procura por feições semelhantes à mencionada, a revisão bibliográfica também foi direcionada para trabalhos de modelagem para litologias similares às do CVC.

A geoquímica de rocha total foi obtida em equipamento RIX2000 da Rigaku do Laboratório de Fluorescência de Raios-X do Instituto de Geociências (IGEO) da UFRGS com parâmetros 50 kV e 50mA. Dados de química mineral foram obtidos na microsonda Cameba SX50 do IGEO-UFRGS, sob condições analíticas de 15nV e 15nA. Mapas composicionais qualitativo e quantitativo foram também obtidos por microsonda eletrônica.

A pseudosseção é um diagrama de fases construído para a composição específica da litologia de interesse. O cálculo da pseudosseção é feito no pacote de *softwares* Perple_X (Conolly, 2005). Para a construção da pseudosseção da paragênese principal foi utilizada a geoquímica de rocha total da amostra PEP-4128C, e para a construção da pseudosseção do domínio composicional foi utilizado o resultado do mapa composicional quantitativo. Dados de química mineral foram utilizados para se plotar isopletras dos valores de X_{An} de plagioclásio, X_{Mg} de cordierita, hercinita e biotita, e X_{Gros} , X_{Sp} , X_{Py} e X_{Alm} de granada, os quais servem para restringir ainda mais as condições de pressão e temperatura registradas na litologia estudada.

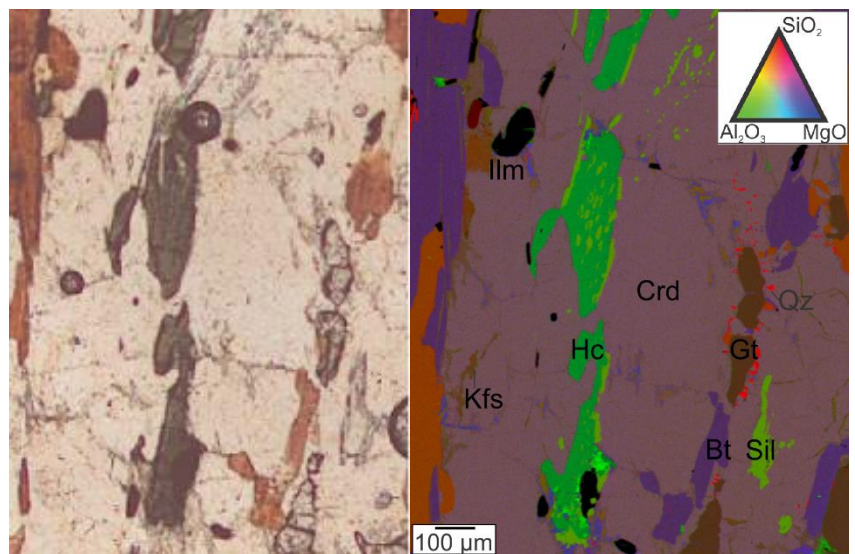
Resultados e Discussão

A divergência encontrada na literatura sobre os dados geotermobarmétricos do CVC induziu a procura das mesmas feições petrográficas e suas respectivas interpretações. Skagseth (2016) modelou por meio de pseudosseção as condições de pressão e temperatura dos paragneisses pelíticos do Gnaiss Chafalote, no Uruguai, a qual é uma unidade análoga ao CVC. A autora modelou a primeira pseudosseção utilizando geoquímica de rocha total, mas não foi observado nenhum campo com toda a paragênese descrita para o litologia, visto que nenhum campo teria Hc estável.

O equilíbrio entre Hc e Qz é tipicamente associado a altas temperaturas, assim como interpretado por Bom *et al.* (2014). Entretanto, Seifert & Schumacher (1986), por meio de modelagens termodinâmicas, mostram que a composição do espinélio é controlada pela pressão. Logo, os espinélios do CVC (Hc) que têm X_{Mg} entre 0,1 e 0,13 estariam relacionadas com pressões de 3,5-5 kbar, mais coerentes com os resultados de Gross *et al.* (2006).

Os resultados de Skagseth (2016) e a observação dos cristais de Hc estarem sempre inclusos em Crd permitem interpretar a presença de domínio composicionais sub-saturados em sílica em desequilíbrio com a paragênese principal (Tajčmanová *et al.*, 2007). A paragênese do domínio composicional foi definida por meio do mapa composicional, onde não foram observados cristais de Qz em equilíbrio (Fig. 2). Assim, definiu-se a paragênese principal (PP), composta por Gt-Bt-Qz-Pl-Kfs-Op-Sil-Crd-L, e a paragênese do domínio composicional (DC), composta por Crd-Sil-Hc-Ilm-Gt-Bt-Pl-Kfs-L.

Figura 2: A fotomicrografia à esquerda mostra a região do domínio composicional onde foi feito o mapa composicional qualitativo, o qual pode ser observado à direita. Ambas as imagens estão na mesma escala.



Com a geoquímica de rocha total foi construída a pseudosseção e nela se delimitou um grande intervalo de condições de pressão e temperatura. Com os dados de química mineral plotaram-se as isopletras dos teores de X_{Mg} de Crd (0,56-0,59) e Bt (0,38-0,42), X_{An} de Pl (0,26-0,31) e X_{Alm} (0,77-0,78) de Gt, para restringir as condições da PP, a qual registrou 800-810 °C e ~4,5 kbar (Fig. 3a). Já a pseudosseção do DC foi

construída utilizando o resultado quantitativo da área do mapa composicional, onde se encontrou um campo com a paragênese descrita estável. Os teores de X_{Mg} de Crd (0,56-0,59) e Hc (0,11-0,13), X_{Alm} de Gt (0,77-0,82) e o volume de Sil (1-5%) foram usadas para restringir as condições geotermobarométricas do DC, o qual registrou 830 a 850 °C e 2,6-3 kbar (Fig. 3b).

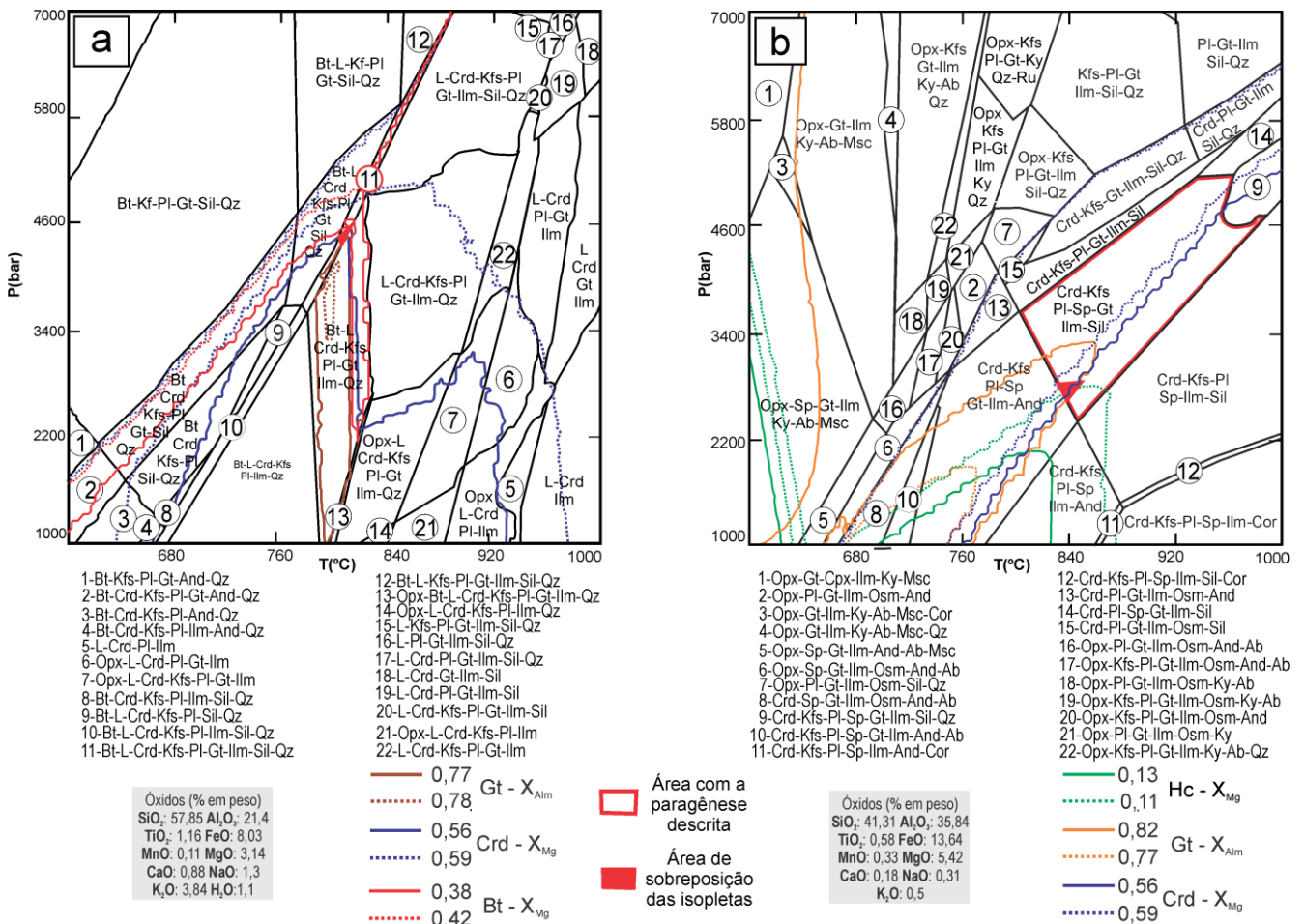


Figura 3 a) Pseudosseção para a paragênese principal, construída a partir da geoquímica de rocha total, e isopletas, plotadas com dados de química mineral. Em vermelho observam-se as áreas com a paragênese descrita e onde se sobrepõe as isopletas. **b)** Pseudosseção do domínio composicional, construída a partir do resultado do mapa composicional quantitativo, e isopletas plotadas, plotadas com dados de química mineral. Em vermelho observam-se as áreas com a paragênese descrita e onde se sobrepõe as isopletas.

Conclusões

Por meio da caracterização petrográfica é possível determinar que os paragneisses pelíticos do CVC apresentam duas paragêneses (PP e DC) que estão em desequilíbrio entre si. Dados geoquímicos da rocha total e do domínio composicional permitiram construir pseudosseções onde se observaram intervalos de pressão e temperatura nos quais cada paragênese é estável. Tais intervalos foram restringidos com o uso de isopletas para teores de diferentes elementos em cada mineral. Assim, a amostra PEP-4128C registra condições de 800-810 °C e ~4,5 kbar, para rocha total, e 830 a 850 °C e 2,6-3 kbar no domínio composicional delimitado. Este resultado é coerente com os dados petrográficos obtidos neste trabalho.

Os resultados geotermobarométricos obtidos, considerando a relação de 3,5 km/kbar, indicam que o CVC foi exumado de uma profundidade de ~16 km até ~2,6 km sob condições aproximadamente constantes de temperatura. Com estas condições de metamorfismo de baixa pressão e alta temperatura obtêm-se estimativas de geotermas muito acima das condições de equilíbrio da crosta continental em áreas tectonicamente estáveis na natureza.

Duas hipóteses poderiam justificar as condições geotérmicas anômalas do CVC: (i) são fluxos anômalos de calor do manto ou (ii) resultam de processos de advecção, como ascensão de magmas.

A primeira hipótese, segundo alguns autores (Harris & Holland, 1984; Fowler *et al.*, 2015), baseia-se na possibilidade da ocorrência deste tipo de metamorfismo (baixa P/alta T) em ambientes convergentes previamente estendidos. Entretanto, durante o empilhamento de fatias crustais, que provavelmente foi o mecanismo de exumação do CVC, o complexo estaria mais distante do manto. Assim, o fluxo anômalo de calor do manto deveria aumentar para manter a mesma condição de temperatura em condições mais rasas, ou a exumação teria que ser muito rápida.

A segunda hipótese é embasada na correlação espacial entre processos metamórficos e ígneos em muitos cinturões orogênicos (Lux *et al.*, 1986; Collins & Vernon, 1991). Whitney *et al.* (2018) discutem, com base em modelagens termais, condições de decompressão de domos de migmatitos e obtêm dados que

mostram que mesmo sob altas taxas de exumação, rochas dentro de diápiros manteriam condições de descompressão isotérmicas. Já Teyssier & Whitney (2002) discutem o desenvolvimento de feedback positivo entre descompressão e fusão por desidratação. Neste caso, um aumento na flutuabilidade (*buoyancy*) devido ao aumento da fração de fusão geraria descompressão isotérmica devido à ascensão diapírica da crosta parcialmente fundida. Esta hipótese explica mais eficientemente a exumação isotérmica do CVC devido ao caráter migmatítico do mesmo, e também devido ao contexto geológico do complexo no interior do Batólito Pelotas.

Conforme registrado nos metapelitos do Complexo Várzea do Capivarita, o evento colisional responsável pela aglutinação da porção sudoeste do supercontinente Gondwana há cerca de 650 Ma atingiu condições de alta-T/baixa-P, levando à sua exumação via descompressão isotérmica.

Referências bibliográficas

Bom, F. M.; Philipp, R. P., Zvirtes, G. Evolução metamórfica e estrutural do Complexo Várzea do Capivarita, Cinturão Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul, RS. **Pesquisas em Geociências**, 41(2): 131-153. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

Collins, W. J. & Vernon, R. H. Orogeny associated with anticlockwise PTt paths: Evidence from low-P, high-T metamorphic terranes in the Arunta inlier, central Australia. **Geology**, v. 19, n. 8, p. 835-838, 1991.

Connolly, J.A.D. Computation of phase equilibria by linear programming: a tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 236, n. 1, p. 524-541, 2005.

Fowler, A., Hassen, I., Hassan, M. Tectonic evolution and setting of the Sa'al Complex, southern Sinai, Egypt: A Proterozoic continental back-arc rift model. **Journal of African Earth Sciences**, v. 104, p. 103-131, 2015.

Gross, A. O. M. S., Porcher, C. C., Fernandes, L. A. D., & Koester, E. Neoproterozoic low-pressure/high-temperature collisional metamorphic evolution in the Varzea do Capivarita Metamorphic Suite, SE Brazil: thermobarometric and Sm/Nd evidence. **Precambrian Research**, v. 147, n. 1, p. 41-64, 2006.

Harris, N. B. W. & Holland, T. J. B. The significance of cordierite-hypersthene assemblages from the Beitbridge region of the central Limpopo Belt; evidence for rapid decompression in the Archean? **American Mineralogist**, v. 69, n. 11-12, p. 1036-1049, 1984.

Lux, D. R., Deyoreo, J. J., Guldotti, C. V., Decker, E. R. Role of plutonism in low-pressure metamorphic belt formation. **Nature**, v. 323, n. 6091, p. 794, 1986.

Martil, M. M. D. **O magmatismo de Arco Continental Pré-Colisional (790 Ma) e a reconstituição espaço-temporal do regime transpressivo (650 Ma) no Complexo Várzea do Capivarita, Sul da Província Mantiqueira**. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 167f, 2016.

Philipp, R. P., Massonne, H. J., & de Campos, R. S. Peraluminous leucogranites of the Cordilheira Suite: A record of Neoproterozoic collision and the generation of the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 43, p. 8-24, 2013.

Seifert, F. & Schumacher, J.C. Cordierite-spinel-quartz assemblages: a potential geobarometer. **Bulletin of the Geological Society of Finland** (58)1: 95-108. 1986.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Mapeamento Geológico 1:25 000 de parte das folhas Encruzilhada SH-22-Y-A-VI-2 (MI2997/2) e Passo das Canas SH22-Y-A-III-4 (MI2984/4), RS**. Porto Alegre, UFRGS, 1 vol., 2 mapas, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, 2010.

Tajčmanová, L., Konopásek, J., Connolly, J.A.D. Diffusion-controlled development of silica-undersaturated domains in felsic granulites of the Bohemian Massif (Variscan belt of Central Europe). **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 153, n. 2, p. 237-250, 2007.

Teyssier, C. & Whitney, D. L. Gneiss domes and orogeny. **Geology**, v. 30, n. 12, p. 1139-1142, 2002.

Whitney, D. L., Teyssier, C., Fayon, A. K. Isothermal decompression, partial melting and exhumation of deep continental crust. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 227, n. 1, p. 313-326, 2004.