

INCLUSÕES FLUIDAS EM BERILO DO PEGMATITO IPÊ, MUNICÍPIO DE GOVERNADOR VALADARES, MINAS GERAIS, BRASIL

R. M. da S. Bello¹, A. L. Gandini², V. R. P. R. O. Marciano³, K. Fuzikawa⁴, D. P. Svisero¹ & L. A. S. Souza⁵

¹Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, rosabello@uol.com.br

²Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, gandini@degeo.ufop.br

³CPMTC, Universidade Federal de Minas Gerais, israel@gold.com.br

⁴CDTN/Comissão Nacional de Energia Nuclear-BH, kazuo@urano.cdtb.br

⁵CECOR/EBA / Universidade Federal de Minas Gerais, conserv@dedalus.lcc.ufmg.br

ABS

The Ipê pegmatite is situated to the northwest of Minas Gerais State, Brazil, and belongs to the Marilac Pegmatitic Field of the Província Pegmatítica Oriental do Brasil. The essential minerals found were: K-feldspar, quartz, muscovite and biotite. The accessory minerals were: kaolin, albite, apatite, beryl, niobium-tantalite, garnet and tourmaline. The beryl crystals always contained abundant primary and pseudosecondary fluid inclusions, composed essentially by low salinity aqueous solutions. Eutectic temperature data, micro-Raman and infrared Spectroscopy analyses of the inclusions of the samples from the graphic and intermediate zones, and from the substitution body, suggested that the fluids had evolved from systems originally enriched in Na⁺, K⁺, and possibly Fe²⁺ and Fe³⁺ ($\pm \text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$) to Ca-richer solutions, with more abundant CO₂. The fluid homogenization temperatures corroborate this evolution hypothesis and additionally suggest that the inclusions from the graphic and intermediate zones were reequilibrated by later solutions.

RESUMO

O Pegmatito do Ipê, situado à noroeste do Estado de Minas Gerais, Brasil, pertence ao Campo Pegmatítico de Marilac da Província Pegmatítica Oriental do Brasil. Seus minerais essenciais são: feldspato potássico, quartzo, muscovita e biotita. Como acessórios, ocorrem: caulim, albita, apatita, berilo, tântalo-columbita, granada e turmalina. Os cristais de berilo contém um grande número de inclusões fluidas primárias e pseudo-secundárias, compostas essencialmente por soluções aquosas de baixa salinidade. As temperaturas eutéticas e dados de espectroscopia de absorção no infravermelho e micro-Raman de inclusões das amostras das zonas gráfica e intermediária e do corpo de substituição sugerem uma evolução dos fluidos a partir de sistemas com Na⁺, K⁺, e possíveis quantidades de Fe²⁺ e Fe³⁺ ($\pm \text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$), para soluções mais ricas em Ca²⁺, com maiores quantidades de CO₂. As temperaturas de homogeneização corroboram com essa hipótese, também sugerindo que as inclusões das zonas gráfica e intermediária foram reequilibradas pelas soluções posteriores.

INTRODUÇÃO

O Pegmatito do Ipê pertence à Província Pegmatítica Oriental do Brasil, estando localizado no Distrito Pegmatítico de Governador Valadares, no Campo de Marilac, distando 37 km a NW da cidade de Governador Valadares. Situa-se na parte oriental da Faixa Araçuaí em direção a borda leste do Cráton do São Francisco, inserido na folha de Marilac (RIBEIRO, 1997). Encontra-se encaixado concordantemente em quartzo-biotita xistos da Formação São Tomé, integrada ao Grupo Rio Doce (Fig. 1).

Trata-se de um pegmatito de grande porte, de estrutura zonada e morfologia tabular, apresentando comprimento que ultrapassa 200m e altura, na parte aflorante, da ordem de 25 m. É essencialmente constituído por feldspato potássico, quartzo, muscovita e biotita. Os acessórios são representados: caulim, albita, apatita, berilo, tântalo-columbita (Nb≥Ta), granadas e turmalinas (GANDINI *et al.* 2000)

Inúmeros estudos tratam da mineralogia e aspectos geoquímicos e genéticos de vários pegmatitos do Campo de Marilac, entre eles os de WEGNER (1983), CORREIA NEVES *et al.* (1984), MARCIANO (1985), ACHTSCHIN & MARCIANO (1996), RIBEIRO (1997), GANDINI (1999). No caso específico do Pegmatito Ipê, destaca-se o trabalho de ACHTSCHIN *et al.* (1996) que realizaram o mapeamento de detalhe desse corpo. Esse pegmatito tem sido lavrado desde 1940, quando produziu grande quantidade de mica, como mineral estratégico para a II Guerra Mundial.

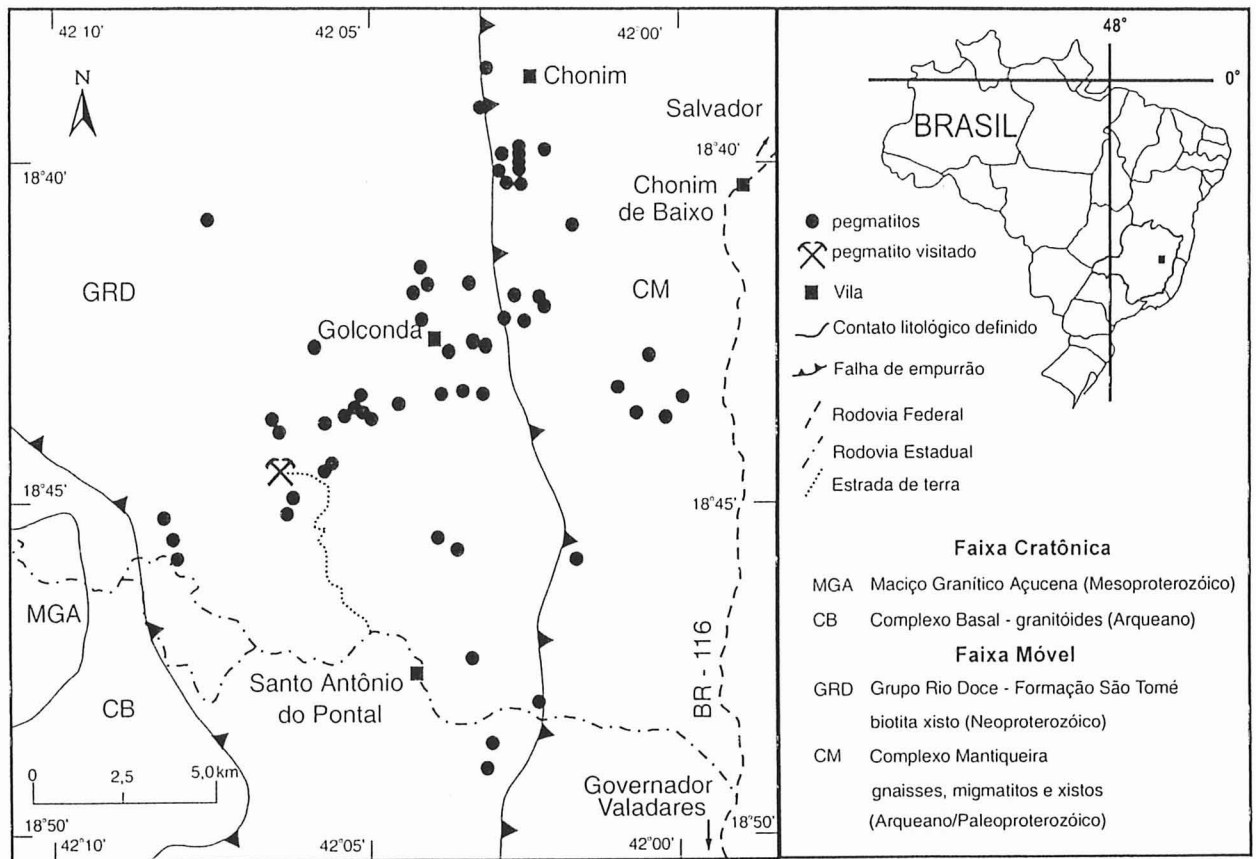


figura 1 - Mapa geológico mostrando a área do Pegmatito do Ipê, além de um conjunto de pegmatitos pertencentes ao Campo de Marilac (Modificado de RIBEIRO, 1997).

Este trabalho, mostra os resultados de estudos microtermométricos de inclusões fluidas (IF) em cristais de berilo da zona gráfica (74 IF), intermediária (47 IF) e de um corpo de substituição (186 IF) do Pegmatito do Ipê, realizados no Instituto de Geociências, USP, por meio de uma platina de marca Chaixmeca, modelo MTM-85. Essas análises, ao lado de dados de Espectroscopia de Absorção no Infravermelho e Micro-Raman, obtidos na Universidade Federal de Minas Gerais, permitiram estabelecer as composições aproximadas dos fluidos, bem como os aspectos de sua evolução, durante a formação do berilo nessas diferentes regiões.

INCLUSÕES FLUIDAS

O estudo dos cristais de berilo revelou, invariavelmente, a presença de um grande número de IF de dimensões variáveis (15 a 50 μm), morfologias regulares (cristais negativos), com orientações paralelas, perpendiculares e inclinadas em relação ao eixo c do hospedeiro. Suas distribuições são indicativas de origem primária, embora também ocorram em planos de fraturas cicatrizadas internas aos cristais, constituindo inclusões pseudo-secundárias. São predominantemente bifásicas (à temperatura ambiente), tendo sido também observadas, algumas vezes, inclusões trifásicas a multifásicas, com fases sólidas ocasionais. A microtermometria mostrou serem constituídas por soluções aquosas de baixa salinidade, enquanto outros métodos de análise evidenciaram a existência de pequenas quantidades de CO_2 e CH_4 (espectroscopia de absorção no infravermelho), ocorrendo o CO_2 em maior quantidade na amostra proveniente do corpo de substituição, e CO_2 e N_2 (Espectroscopia Micro-Raman), apenas em inclusões dos berilos da zona gráfica.

RESULTADOS

Os valores das temperaturas do ponto eutético das soluções (TE) foram determinados com bastante cuidado, por se tratarem de fluidos de baixa salinidade que, de acordo com GOLDSTEIN & REYNOLDS (1994) dificultam a observação desse fenômeno. Assim, esse parâmetro foi

obtido considerando-se as temperaturas em que a fase líquida já se encontrava bastante visível, sendo, portanto, ligeiramente superiores às TE reais.

Zona Gráfica - As TE apresentaram uma ampla faixa de variação, com três intervalos de maiores frequências: a) -25° a -19°C , indicativo dos sistemas $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{KCl}$, podendo ainda conter F ou B em solução (BORISENKO, 1978; CRAWFORD, 1981; DAVIS *et al.*, 1990; SMIRNOV *et al.*, 1999); b) -36° a -30°C , mostrando a presença de sistemas aquosos com $\text{MgCl}_2-\text{NaCl}$, FeCl_3 , $\text{NaCl}-\text{FeCl}_2$ ou $\text{NaCl}-\text{FeCl}_2-\text{FeCl}_3$ (BORISENKO, 1978; CRAWFORD, 1981; DAVIS *et al.*, 1990); c) -43° a -37°C , sugerindo a adição de Ca^{2+} ao sistema, responsável pelos decréscimos das TE (BORISENKO 1978, OAKES *et al.* 1990, entre outros). Deve ser ressaltado que essas faixas de temperatura ocorrem em IF próximas e aparentemente primárias, que deveriam conter fluidos de mesma composição. Os valores das temperaturas de fusão do gelo (Tfg) variaram de $-3,5^{\circ}$ a $-2,0^{\circ}\text{C}$ evidenciando as baixas salinidades das soluções (equivalentes à 3,3/5,6 % em peso do NaCl). As temperaturas de homogeneização do fluido (Thf) situaram-se numa estreita faixa, com um número máximo de medidas entre 200° e 230°C .

Zona intermediária - As TE também variam amplamente, embora exista uma concentração principal de medidas entre -35° e -41°C , indicativas da presença de íons Ca^{2+} , Fe^{2+} e Fe^{3+} ($\pm\text{Mg}^{2+}$), ao lado do Na^+ , K^+ , e Cl^- nas soluções aquosas, de acordo com os autores mencionados anteriormente. As Tfg entre $-3,5^{\circ}$ e $-2,5^{\circ}\text{C}$, indicam também salinidades baixas, (equivalentes à 4,1/4,9 % em peso do NaCl). As Thf situaram-se, principalmente, entre 180° e 220°C , nas inclusões primárias e entre 130° a 210°C , nas pseudo-secundárias, sendo esses valores ligeiramente inferiores aos obtidos para o caso da zona gráfica.

Corpo de Substituição - As TE das inclusões primárias apresentam dois intervalos de maior frequência, situados entre -23° e -19°C , indicativos dos sistemas $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$, podendo conter F e B, e entre -47° e -39°C , que sugerem a presença adicional de Ca, Fe e/ou Mg nas soluções (BORISENKO, 1978; CRAWFORD, 1981; DAVIS *et al.*, 1990; SMIRNOV *et al.*, 1999). Nas inclusões pseudo-secundárias, a TE variou essencialmente de -47° a -39°C , mostrando, a maior importância do Ca, além do Fe e Mg (BORISENKO, 1978; OAKES *et al.*, 1990). As Tfg, nos dois casos, situaram-se entre $-4,0^{\circ}$ e $-2,5^{\circ}\text{C}$, sendo as salinidades equivalentes à 4,1/6,4 % em peso do NaCl. As Thf das inclusões primárias variaram de 180° a 220°C , e mostram um espalhamento bem maior, de 100° a 270°C , no caso das pseudo-secundárias.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os valores mais baixos de TE obtidos, bem como as marcantes diferenças observadas, ao invés de representar os sistemas mencionados, também poderiam ser decorrentes de metaestabilidade, devido ao aumento da pressão interna das inclusões com o resfriamento, como discutem GOLDSTEIN & REYNOLDS (1994). No entanto, poucos foram os casos em que houve o desaparecimento da bolha de vapor com o resfriamento, causando aumento da pressão interna. Assim, os valores de TE das inclusões das amostras das zonas gráfica, intermediária e do corpo de substituição, sequencialmente cristalizados, parecem sugerir uma evolução a partir de sistemas aquosos contendo Na^+ , K^+ , com possíveis quantidades de Fe^{2+} e Fe^{3+} , para soluções mais ricas em Ca^{2+} . É digno de nota que, enquanto nas inclusões primárias do berilo do corpo de substituição as TE definem duas faixas distintas ($-23^{\circ}/-19^{\circ}\text{C}$ e $-47^{\circ}/-39^{\circ}\text{C}$), nas pseudo-secundárias, dispostas em fraturas internas que seccionam as anteriores e que representam fluidos relativamente mais evoluídos, as TE praticamente limitaram-se ao intervalo $-47^{\circ}/-39^{\circ}\text{C}$, tornando evidente a importância do Ca^{2+} . Essa evolução também é evidenciada pela presença de albita (com até 10% da molécula anortita) no corpo de substituição, a qual é ausente na zona gráfica e ocorre em pequenas proporções na zona intermediária (GANDINI, 1999). Além disso, os resultados das análises por Espectroscopia no Infravermelho e Micro-Raman mostraram que nos fluidos mais evoluídos também é mais marcante a presença do CO_2 . Desse modo, o aporte das soluções mais evoluídas teria modificado, em proporções variáveis, as inclusões originais, principalmente aquelas com maiores dimensões e dispostas paralelamente ao eixo c do berilo, nas quais haveria maior facilidade de escape e troca de fluidos.

A sobreposição dos valores de Thf das inclusões primárias, nos três casos, também mostra a importância da ação dos fluidos posteriores, referentes às amostras do corpo de substituição, no sentido de modificar e reequilibrar os previamente aprisionados nos cristais de berilo das zonas gráfica e intermediária. Assim, atualmente existem poucos registros das condições originais, os quais são apenas indicados pelas ligeiras diferenças em Thf entre as duas últimas zonas. Por outro lado, a extensa faixa de valores de Thf das inclusões pseudo-secundárias parecem ser consequência de modificações posteriores ao aprisionamento, por meio de processos, às vezes evidentes, de escape de fluidos e estrangulamento.

AGRADECIMENTOS

R. M. da S. Bello agradece ao CNPq (Processo 303872/85-3); V. R. P. R. O. Marciano e A. L. Gandini, a Finep e Capes ao suporte financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHTSCHIN, A.B.; COSTA, K. de V. & REIS, L.B. (1996) - Controle litoestrutural do Pegmatito Ipê. *Trabalho de Graduação*, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 90 pp.
- ACHTSCHIN, A.B. & Marciano, V.R.P.R.O. (1996) - Utilização do berilo na caracterização genética de corpos pegmatíticos da faixa Sabinópolis - Governador Valadares, MG. Belo Horizonte, *V Semana de Iniciação Científica - Pró-Reitoria de Pesquisa*, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 201 pp.
- BORISENKO, A.S. (1978) - Study of the salt composition of solutions of gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric method. *Geologiya i Geofizika*, 18(8), pp. 11-19.
- CORREIA NEVES, J.M.; MONTEIRO, R.L.B.B. & DUTRA, C.V. (1984) - Composição química de berilos pegmatíticos do Brasil e seu significado petrológico e metalogenético. *Revista Brasileira de Geociências*, 14(3), pp. 137-146.
- CRAWFORD, M.L. (1981) - Phase equilibria in aqueous fluid inclusions. In: HOLLISTER, L.S. & CRAWFORD, M.L. (Eds.), *Fluid inclusions: applications to petrology*. Mineralogical Association of Canada, Calgary, 6: 75-100 (Short Course, handbook).
- DAVIS, D.W.; LOWESTEIN, T.K. & SPENCER, R.J. (1990) - Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in the systems NaCl-H₂O, NaCl-KCl-H₂O, NaCl-MgCl₂-H₂O and NaCl-CaCl₂-H₂O. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54: 591-601.
- GANDINI, A.L. (1999) - Aspectos da mineralogia, geoquímica, gênese e potencialidade econômica do Campo Pegmatítico de Marilac, Minas Gerais. *Tese Doutorado*, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 261 pp.
- GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; BELLO, R.M.S. & SVISERO, D.P. (2000) - Ipê Pegmatite. In: CÉSAR-MENDES, J. & GANDINI, A.L. (Eds.), *Field Trip Guide - Guide to the major colored gemstone deposits in the vicinity of Belo Horizonte*, Minas Gerais, Brazil, *International Geological Congress 31*, Boletim de Resumos, Rio de Janeiro, SBG., pp. 36-40.
- GOLDSTEIN, R.H. & REYNOLDS, T.J. (1994) - Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *Society for Sedimentary Geology*, Tulsa, 199 pp. (SEPM - Short course 31).
- MARCIANO, V.R.P.R.O. (1985) - Contribuição ao estudo da mineralogia e geoquímica de pegmatitos da região de Governador Valadares, Minas Gerais. *Dissertação Mestrado*, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 213 pp.
- OAKES, C.S.; BODNAR, R.J. & SIMONSON, J.M. (1990) - The system NaCl-CaCl₂-H₂O. I. The ice liquidus at 1 atm total pressure. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54: 603-610.
- RIBEIRO, J.H. (coord) (1997) - Projeto Leste - MG, Folha Marilac SE.23-Z-B-VI - Escala 1:100.000. Belo Horizonte, SEME/COMIG/CPRM, 48 pp.
- SMIRNOV, S.Z.; PERETYAZHKO, I.; PROKOFIEV, V.; ZAGORSKY, V.; SHEBANIN, A.P. & GORYAINOV, S. (1999) - Daughter sassolite (H₃BO₃) in fluid inclusions: the first evidence of natural fluids with high boron acid content. (Abstract), *ECROFI XV, European Current Research on Fluid Inclusions*, Abstracts and Program, GeoForschungsZentrum Postdam, Germany, pp. 283-285.
- WEGNER, R. (1983) - Spurenelemente in granipegmatischen in bundesstaat Minas Gerais, Brasilien, unter besonderer berücksichtigung der feldspäte. *Tese Doutorado*, Universidade de Albert-Ludwigs, Freiburg, 154 pp.