

QUIMISMO DAS INCLUSÕES FLUIDAS DE BERILOS DA BORDA LESTE DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA ORIENTAL BRASILEIRA

Gandini A. L.¹, César Mendes J.¹, Bello R. M. S.², Marciano V. R. P. R. O.³, Fuzikawa K.⁴, Pimenta M. A.⁵, Svisero D. P.²

¹ - gandini@degeo.ufop.br - DEGEO/EM/UFOP - Ouro Preto, Estado de Minas Gerais, Brasil

² - IGc/USP - São Paulo, Estado de São Paulo, Brasil

³ - CDTN/CNEN - Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, Brasil

⁴ - IGc/CPMTC/UFMG - Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, Brasil

⁵ - DF/ICEX/UFMG - Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, Brasil

ABSTRACT

Beryl is a common mineral in pegmatites of the Eastern Brazilian Pegmatite Province. Near the eastern margin of this province, pegmatite bodies in the Teixeira de Freitas (Bahia State), Conselheiro Pena (Minas Gerais State) and Pancas (Espírito Santo State) mines were sampled in order to characterize the beryls in simple and complex pegmatites. Fluid inclusion determinations using microthermometry, and micro Raman and infrared spectroscopy suggest both that Ca-rich aqueous solutions were mixed with CO₂-rich fluids during pegmatite crystallization and that the fluids became progressively less oxidizing and more enriched in Li towards the final stages of crystallization.

Foram estudados três corpos pegmatíticos situados nos Municípios de Teixeira de Freitas (Estado da Bahia), Conselheiro Pena (Estado de Minas Gerais) e Pancas (Estado do Espírito Santo), na borda leste da Província Pegmatítica Oriental Brasileira.

A Lavra da Morganita, em Conselheiro Pena, constitui um pegmatito altamente diferenciado, onde as variedades morganita e goshenita são encontradas na zona intermediária interna, enquanto a água-marinha ocorre nas zonas mais externas. Os Garimpos da Vila de Água-Marinha, em Teixeira de Freitas (César Mendes *et al.* 1992) e de Itajobi, em Pancas, estão relacionados a pegmatitos pobremente diferenciados, onde são explotadas a água-marinha e o heliodoro. Na Lavra de Itajobi, também é encontrada a goshenita. A presença das diferentes variedades de berilo condicionadas ao posicionamento no pegmatito, está relacionada a variações no quimismo das soluções originais. Portanto, este trabalho teve como objetivo principal a caracterização dos tipos e das composições químicas das inclusões fluidas presentes em minerais dos diferentes tipos de pegmatitos, visando a compreensão da evolução das soluções envolvidas. Para tanto, as amostras foram analisadas por microtermometria, espectroscopia micro Raman e espectroscopia de absorção no infravermelho. Somente nos berilos de Teixeira de Freitas, foram empregados os três métodos de análise, enquanto que nas amostras de Conselheiro Pena e Pancas, foi utilizada apenas a espectroscopia de absorção no infravermelho, nessa primeira fase.

Antes da obtenção dos dados microtermométricos, as amostras foram observadas ao microscópio petrográfico com o propósito de classificar as inclusões fluidas, quanto à morfologia, número de fases e se primárias, secundárias ou pseudosecundárias.

As inclusões fluidas primárias, nas águas-marinhas de Teixeira de Freitas, foram agrupadas por Bello *et al.* (1996), nos tipos I, II e III. O tipo I constitui-se de inclusões primárias dispostas em alinhamentos paralelos, tanto à direção do eixo *c* quanto ao longo do plano de clivagem basal, ou ainda, distribuídas aleatoriamente ao longo do hospedeiro. As inclusões fluidas desta categoria são, essencialmente, carbônicas (VCO₂/Vtotal ≥ 90%; ThCO₂ entre 24,0 e 26,9°C, para o estado líquido; dCO₂ de 0,68 a 0,74g/cm³), podendo ocorrer em alguns casos uma película de água com prováveis cristais de carbonatos (saturação). As TfCO₂ (-58,0°C e -57,3°C) indicaram que outros voláteis também podem estar dissolvidos na fase CO₂. Neste trabalho são apresentados novos dados de

espectroscopia micro Raman que mostraram a presença de N_2 , a partir do pico de absorção $2.330,3\text{cm}^{-1}$.

As inclusões do *tipo II*, apresentam morfologias regulares e estão dispostas paralelamente ao eixo *c* do berilo. Caracterizam-se, quimicamente, pela presença de soluções aquosas salinas, com proporções variáveis de fases sólidas, e CO_2 (V_{CO_2}/V_{total} de 40 a 90%; $ThCO_2$ entre 21,0 e 30,0°C, para o estado gasoso; $dCO_2 \cong 0,20$ a $0,30\text{g/cm}^3$). As temperaturas do ponto eutético das soluções aquosas revelaram a presença de Ca^{2+} , Na^+ e, provavelmente, Al^{3+} . Nas inclusões onde o CO_2 é menos denso, ocorrem maiores proporções de sólidos, entre eles a calcita, identificada por espectroscopia micro Raman (pico = $1.085,2\text{cm}^{-1}$), e a halita, devido a formação do $NaCl \cdot 2H_2O$. As $TfCO_2$ baixas (entre -58,0 e -57,4°C), indicaram a presença de outros voláteis, tendo sido identificado o nitrogênio a partir da espectroscopia micro Raman. Bello *et al.* (1996) discutiram que as variações de V_{CO_2}/V_{total} são indicativas de aprisionamento a partir de um sistema heterogêneo de fluidos, conforme considerações de Roedder (1984, 1992), o que já havia sido observado nas inclusões fluidas presentes nas turmalinas e berilos do Pegmatito de Tanco, Canadá (Thomas *et al.* 1988; Thomas & Spooner 1992). Para explicar as extremas variações nas densidades do CO_2 aqueles autores sugeriram que adicionalmente devem ter ocorrido misturas de fluidos mais ricos em CO_2 com soluções aquosas salinas, contendo quantidades relativamente elevadas de íons Ca^{2+} , além de Na^+ , Cl^- e outros. A halita, observada como mineral de saturação em algumas inclusões fluidas, pode estar presente mesmo em soluções com excesso de íons Ca^{2+} e pequenas quantidades de Na^+ , sem necessariamente haver a precipitação do $CaCl_2$ sólido (Fuzikawa 1985). A interação dessas soluções teriam ocasionado a precipitação de $CaCO_3$, com um decréscimo na dCO_2 original e, também a de hidratos de cálcio e sódio, a partir do excesso de Ca^{2+} restante da formação da calcita, explicando assim a maior abundância de carbonato nas inclusões que possuem fase aquosa mais desenvolvida e o CO_2 praticamente nulo.

Novas análises por micro Raman, realizadas nas fases aquosa e carbônica de inclusões dos *tipos I e II*, mostraram espectros que confirmaram a presença de H_2O e CO_2 , mesmo naquelas onde este último componente não pode ser detectado por microtermometria devido às suas baixas densidades.

As inclusões do *tipo III* possuem morfologias regulares e orientações paralelas ao eixo *c* do cristal, semelhantes às do *tipo II*. São muito ricas em sólidos ($V_{sólidos}/V_{total} \geq 90\%$), representados por cristais finos e birrefringentes ou com aspectos granulares, exibindo, em alguns casos, uma bolha de vapor deformada, constituindo prováveis *melt inclusions*. Essas inclusões ocorrem ou em grupos isolados, ou associadas às do *tipo II*, sugerindo relações de contemporaneidade, onde o aprisionamento teria acontecido a partir de duas fases imiscíveis coexistentes, ou seja, um fundido silicático junto a um fluido aquo-carbônico (Bello *et al.* 1996). A hipótese da existência de vários estágios de imiscibilidade durante a cristalização dos pegmatitos tem sido frequentemente considerada (Smith 1948, Jahns & Burnhan 1969, Roedder 1992, entre outros), devendo ser enfatizado que a presença de fusões alumino-silicáticas coexistentes com fluidos aquo-carbônicos foi observada por Thomas *et al.* (1988) nos vários estágios de cristalização do Pegmatito de Tanco.

Dados adicionais obtidos a partir do estudo microtermométrico de amostras de heliodoro da Lavra de Vila de Água-Marinha mostraram a presença de inclusões fluidas ligeiramente distintas das discutidas anteriormente. Trata-se de inclusões fluidas aquo-carbônicas contendo invariavelmente fases sólidas, porém em menores proporções em relação às do *tipo II*, constituídas por cristais de carbonato detectado pela espectroscopia micro Raman e, possivelmente, halita. Observou-se, ainda, relações volumétricas, V_{CO_2}/V_{total} , inferiores àquelas apresentadas pelas inclusões do *tipo II*,

estando situadas aproximadamente entre 25 e 45%. Além disso os valores das temperaturas relativas ao ponto eutético das soluções aquosas, obtidos até o presente, parecem sugerir a presença adicional de alumínio e lítio. Suas morfologias são bastante regulares (cristais negativos alongados), encontrando-se dispostas tanto perpendicularmente ao eixo *c* do cristal hospedeiro como paralelamente ao mesmo. Alguns dados de ThCO_2 , que variaram ao redor de 25°C , tendo a homogeneização ocorrido para o estado gasoso, indicaram $d\text{CO}_2$ de, aproximadamente, $0,25\text{g/cm}^3$. Em algumas inclusões onde os processos de fusão e de homogeneização do CO_2 , não foram observados, esse composto foi detectado por espectroscopia micro Raman, que mostrou também a presença de N_2 associado.

Amostras de berilos das três lavras foram analisadas por espectroscopia de absorção no infravermelho. Tal metodologia teve como objetivo identificar a presença de outros voláteis dissolvidos nas fases fluidas e que não foram detectados pelos dois métodos anteriores. Para a obtenção dos espectros de infravermelho, as amostras foram pulverizadas, tendo sido adicionado KBr , na proporção de 1:100, confeccionando-se pastilhas após a sua homogeneização e prensagem.

Os berilos dessas lavras (9 amostras) mostraram uma variação nas proporções dos componentes químicos das inclusões fluidas. Mesmo em cristais de um único corpo, tal variação é muito clara, o que indicaria uma mudança na composição das soluções pegmatíticas. De um modo geral, as bandas de absorção do CO_2 não foram muito bem caracterizadas nas amostras estudadas.

Na água-marinha e no heliodoro da Lavra da Vila de Água-Marinha, o CH_4 ocorre em proporções semelhantes, enquanto que na Lavra da Morganita esse componente só foi registrado na água-marinha, não ocorrendo nas variedades goshenita e morganita. A evolução do CH_4 foi claramente observada nas variedades de berilo da Lavra de Itajobi, onde a intensidade das bandas desse composto aumenta na seguinte seqüência: goshenita, água-marinha de coloração azul clara, água-marinha de coloração azul mais intensa e heliodoro.

As bandas relativas ao CO_3 (1.455 e 873cm^{-1}) foram observadas na água-marinha e no heliodoro da Vila de Água-Marinha e, apesar de muito fracas, são mais nítidas na última variedade.

Nos espectros de absorção no infravermelho dos vários berilos estudados, puderam, ainda, ser observadas as bandas de 3.690 e 1.590cm^{-1} , aproximadamente, típicas da água do tipo I e as de 3.600 e 1.630cm^{-1} referentes a água do tipo II (Wood & Nassau 1968). No entanto, água do tipo I não foi registrada no heliodoro da Vila de Água-Marinha enquanto que a do tipo II não foi identificada na goshenita de Itajobi.

Além do berilo, a turmalina e o quartzo do Pegmatito da Vila de Água-Marinha, também foram analisados a partir de espectroscopia de absorção no infravermelho. Tal análise visou caracterizar o zoneamento desse pegmatito. No espectro de absorção no infravermelho relativo à turmalina negra pertencente à zona mural, foi observada uma banda característica do OH^- na região de 3.611cm^{-1} ; além de bandas registradas em 3.408 e 1.632cm^{-1} que mostram, respectivamente, o estiramento e a deformação da água de absorção. Outra banda registrada (2.358cm^{-1}) indica a presença de CO_2 . Quanto ao quartzo, algumas variedades tais como o leitoso (encontrado na zona mural), o hialino (zona intermediária) e o róseo (núcleo), também tiveram seus espectros de absorção no infravermelho registrados. Observou-se que as bandas da água de absorção nas três amostras, foram diminuindo de intensidade do espécime leitoso em direção ao róseo. As bandas de 2.965 e 2.860cm^{-1} do CH_4 só foram registradas no cristal róseo.

Com base nos dados microtermométricos relativos às inclusões dos *tipos I, II e III*, Bello *et al.* (1996) sugeriram que teria inicialmente ocorrido o desenvolvimento de soluções ricas em CO_2 , caracterizadas pelas inclusões fluidas *tipo I*, que apresentam maiores $d\text{CO}_2$. Com a evolução da

cristalização teriam se formado soluções aquosas ricas em Ca^{2+} , que ao interagirem com os fluidos carbônicos, levariam à formação da calcita, tendo sido nessa etapa aprisionadas as inclusões do *tipo II*. A associação das inclusões dos *tipos II* e *III* sugeriram a presença de *melts* silicáticos durante o desenvolvimento do sistema pegmatítico. Os dados microtermométricos adicionais mostraram a evolução dos fluidos, no sentido de um enriquecimento em lítio em direção às zonas mais internas do pegmatito, cuja presença foi fortemente evidenciada pelas temperaturas eutéticas das soluções aquosas das inclusões presentes em heliodoro. Adicionalmente, os dados de espectroscopia micro Raman e de absorção no infravermelho nos minerais das várias zonas pegmatíticas, permitiram sugerir que há uma variação química muito grande entre os estágios iniciais e finais da cristalização dos três sistemas pegmatíticos, ou seja, passa-se gradativamente para um sistema redutor, o que é enfatizado pela presença do CH_4 .

AGRADECIMENTOS: A realização da fase de campo deste trabalho, se tornou possível graças ao apoio dado pela Fundação Gorceix (uma entidade ligada à Escola de Minas de Ouro Preto). Rosa Maria S. Bello e Kazuo Fuzikawa agradecem ao CNPq pelo auxílio prestado através de Bolsa de Pesquisa - Proc. nº 303872/85-3 (NV) e nº 350860/94-7, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- Bello R.M.S.; Fuzikawa K.; Gandini A.L.; Dantas M.S.S.; Mano E.S.; Svisero D.P.; César Mendes J. (1996) Caracterização e composição química das inclusões fluidas em berilos da Vila de Água-Marinha, Município de Teixeira de Freitas, Bahia. Bol. Res. Exp. 39º Congr. Bras. Geol., v. 7, p. 490-492.
- César Mendes J.; Bello R.M.S.; Souza M.M. DE; Gandini A.L.; Fuzikawa K.; Svisero D.P. (1992) Dados mineralógicos e microtermométricos preliminares dos berilos gemológicos de Vila de Água-Marinha, Município de Teixeira de Freitas, Bahia. Bol. Res. Exp. 37º Congr. Bras. Geol., v. 2, p. 113-114.
- Fuzikawa K. (1985) Inclusões fluidas: métodos usuais de estudo e aplicações. In: CONTRIBUIÇÕES À GEOLOGIA E PETROLOGIA. Belo Horizonte, SBG/CBMM, p. 29-44. (Boletim Especial).
- Jahns R.H. & Burnham C.W. (1969) Experimental studies of pegmatite genesis: I. A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. Econ. Geol., 64(8): 843-864.
- Roedder E. (1984) Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy, 12: 1-644.
- Roedder E. (1992) Fluid inclusion evidence for immiscibility in magmatic differentiation. Geochim. Cosmochim. Acta, 56: 5-20.
- Smith F.G. (1948) Transport and deposition of the non-sulphide vein minerals. III. Phase relations at the pegmatite stage. Econ. Geol., 43: 535-546.
- Thomas A.V.; Bray C.J.; Spooner E.T.C. (1988) A discussion of the Jahns-Burnham proposal for the formation of zoned granitic pegmatites using solid-liquid-vapour inclusions from the Tanco Pegmatite, S. E. Manitoba, Canada. Trans. Royal Soc. Edinburgh, Earth Sci., 79: 299-315.
- Thomas A.V. & Spooner E.T.C. (1992). The volatile geochemistry of magmatic H_2O - CO_2 fluid inclusions from the Tanco zoned granitic pegmatite, southeastern Manitoba, Canada. Geochim. Cosmochim. Acta, 56: 49-65.
- Wood D.L. & Nassau K. (1968) The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy. Amer. Mineral., 53: 777-800.