

CARACTERIZAÇÃO DAS INCLUSÕES FLUIDAS DE ESMERALDAS DE MUZO, PACHO, COSCUEZ E YACOPÍ, COLÔMBIA

Rosa Maria da Silveira Bello*

Fernando Helí Romero Ordóñez**

Kazuo Fuzikawa***

Marcos Assunção Pimenta****

Darcy Pedro Svisero*****

Rainer A. Schultz-Güttler*****

* Geóloga, MSc., Dr^a - IGc/USP.

** Geólogo, MSc. - Doutorando no Programa de Pós-Graduação - IGc/USP.

*** Geólogo, Dr. - CDTN/CNEN/BH.

**** Físico, MSc., Dr. - DF/ICEX/UFMG.

***** Geólogo, MSc., Dr., Prof. Livre Docente - IGc/USP.

***** Geólogo, MSc., Dr., Prof. Livre Docente - IGc/USP.

Abstract

Emeralds have been exploited in the central part of the Eastern Andean Range in Colombia. In this paper we present some recent data on the fluid inclusions of emeralds from the localities of Muzo, Pacho, Coscuez and Yacopí. The emerald-greenish beryls are found associated with calcite in vugs, lenses and breccia faults in weakly metamorphosed sedimentary rocks of the Late Cretaceous.

Our studies revealed the presence of abundant fluid inclusions displaying complex compositions. The inclusions contain brines (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} and probably Mg^{2+} and Al^{3+}) as well as variable contents of CO_2 and small amounts of N_2 . The solutions have relatively high densities and salinities (37-44 wt % NaCl equiv.), and were trapped at temperatures of 290-300°C and pressures of 1.2-1.8 Kbar.

The source of NaCl and KCl could be related to the Late Cretaceous evaporites widespread throughout the area around the deposits. In addition, solutions containing these and other salts probably percolated faults of Cretaceous or Tertiary age. Further interactions between country rocks and sulphate-rich and carbonate-rich solutions at shallow depths could have led to the compositions presently observed.

Resumo

Na parte central da Cordilheira Oriental da Colômbia encontram-se mineralizações de esmeralda, de idade terciária, associadas a rochas sedimentares marinhas do Cretáceo Inferior. As esmeraldas ocorrem em bolsões, nódulos e lentes, relacionados a veios de calcita e brechas de falha em pacotes sedimentares pouco metamorfizados, fortemente fraturados, brechados e metassomatizados.

O estudo das inclusões fluidas de esmeraldas de Muzo, Pacho, Yacopí e Coscuez mostrou que suas composições são representadas por salmouras complexas (com Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e, provavelmente, Mg^{2+} e Al^{3+}) e proporções variáveis de CO_2 e pequenas quantidades de N_2 . Trata-se de soluções com densidades relativamente elevadas e salinidades equivalentes a 37-42% em peso de NaCl, aprisionadas em T e P de 290-360°C e de 1,2-1,8 kbar, respectivamente.

A fonte de NaCl e KCl poderia ser encontrada nos corpos evaporíticos do Cretáceo Inferior, amplamente distribuídos na região. Essas soluções teriam sofrido circulação, através de falhamentos relacionados ao Cretáceo ou Terciário, interações com as encaixantes e misturas com águas sulfatadas e carbonatadas de níveis mais elevados, adquirindo as composições atualmente observadas.

Introdução

Os Andes colombianos são representados, na sua maior parte, pelas cordilheiras Ocidental, Central e Oriental, compostas por vários segmentos que sofreram diferentes histórias desde o

Proterozóico até o Cenozóico. As jazidas de esmeralda da Colômbia estão localizadas na parte central da Cordilheira Oriental, definindo dois cinturões estreitos de mineralização, aproximadamente paralelos e separados por uma distância de 110 km (Forero 1987),

denominados de Cinturão Esmeraldífero Ocidental (A) e Oriental (B), ambos abrangendo os Estados de Boyacá e Cundinamarca (Figura 1). O primeiro localiza-se no território de Vásquez-Yacopí, onde se encontram, entre outros, os distritos mineiros de Muzo, Peñas Blancas, Coscuez, Yacopí e Pacho; o segundo situa-se na denominada região do Guavio e compreende as minas de Chivor, Buena Vista, Mundo Nuevo, Vega de San Juan, Gachalá, Las Cruces e El Diamante.

As mineralizações são de idade terciária e encontram-se associadas a rochas sedimentares pouco metamorfizadas, do Cretáceo Inferior. A esmeralda ocorre, de modo geral, em bolsões, nódulos e lentes, freqüentemente relacionados a veios de calcita e brechas de falha em folhelhos carbonosos e piritosos, siltitos e rochas carbonáticas. Os pacotes sedimentares que contêm as mineralizações encontram-se muito fraturados, brechados e metassomatizados através de feldspatização e carbonatação.

Esses depósitos têm sido objeto de várias publicações, com hipóteses controversas no tocante à sua gênese. Nos últimos anos esses estudos foram intensificados, havendo, atualmente, muitos trabalhos (Giuliani et alii, 1992; Ordóñez et alii, 1992; Ordóñez, 1993; Cheilletz et alii, 1994, entre outros) que têm permitido maior

aproximação das suas condições de formação.

Na tentativa de fornecer alguma contribuição para o esclarecimento dos aspectos genéticos desses depósitos, são apresentados, nesse trabalho, os resultados de estudos detalhados envolvendo as inclusões fluidas em esmeraldas de Muzo, Pacho, Yacopí e Coscuez.

Inclusões Fluidas

O estudo dos cristais de esmeralda dos vários depósitos mostrou a presença de um grande número de inclusões fluidas, trifásicas ou polifásicas à temperatura ambiente, com orientações e morfologias diversas. São compostas por quantidades variáveis de soluções salinas, $\text{CO}_{2(l)}$, $\text{CO}_{2(g)}$, podendo conter uma ou mais fases sólidas. Em muitos casos, as inclusões contêm proporções volumétricas de 75% de solução salina, cerca de 10-15% de $\text{CO}_{2(g)}$, menos de 3% de $\text{CO}_{2(l)}$ e 12 a 20% de sólidos de saturação (halita e/ou silvita e, ocasionalmente, calcita). As inclusões podem ser paralelas, perpendiculares ou inclinadas em relação ao eixo c do cristal hospedeiro, ou ainda constituir grupos isolados preenchendo fraturas cicatrizadas posteriores. Apresentam desde morfologias bem regulares, constituindo cristais negativos, até bastante irregulares, havendo, em muitos casos, feições indicativas de fenômenos de escape e estrangulamento. Suas dimensões variam de poucas μm até 0,4 mm.

Microtermometria

As medidas microtermométricas mostraram inclusões fluidas com homogeneização parcial marcada pela expansão da fase CO_2 , em temperaturas situadas na faixa de 180 a 240°C, antes da homogeneização total (Figura 2), caracterizada pelo desaparecimento dos cristais de halita e/ou silvita, ocorrido entre 290 e 360°C, aproximadamente, embora algumas inclusões não tenham homogeneizado até 400°C.

As temperaturas de fusão do CO_2 ($T_f\text{CO}_2$) apresentaram, muitas vezes, valores inferiores a -56,6°C, indicando a presença de outros voláteis junto ao CO_2 , tendo sido identificado o N_2 por meio da espectroscopia microrraman, na maioria das amostras estudadas (Ordóñez, 1993). A homogeneização do CO_2 , onde esse componente pode ser observado pela microtermometria, ocorreu em temperaturas variando principalmente entre 20,6 e 23,0°C, permitindo a determinação das densidades médias desse componente (dmCO_2). Nas amostras de Muzo e Pacho, a homogeneização do CO_2 ocorreu para o estado gasoso, estando as dmCO_2 situadas em torno de 0,2 g/cm³. No caso de Coscuez e Yacopí, o CO_2 foi detectado somente por espectroscopia microrraman, indicando apenas que suas densidades são baixas.

A fase aquosa das inclusões fluidas possui salinidades extremamente elevadas, constituindo soluções do tipo Na-K-Ca-Cl, sendo o Cl⁻ o íon dominante. As temperaturas eutéicas (T_e) são invariavelmente baixas, situando-se entre -65 e -60°C, no caso de Pacho, Coscuez e Yacopí, e entre -60 e -48°C, nas amostras de Muzo. Esses valores sugerem a presença dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e mesmo do Al^{3+} , ao lado do Na^+ e K^+ , estes dois últimos indicados pela

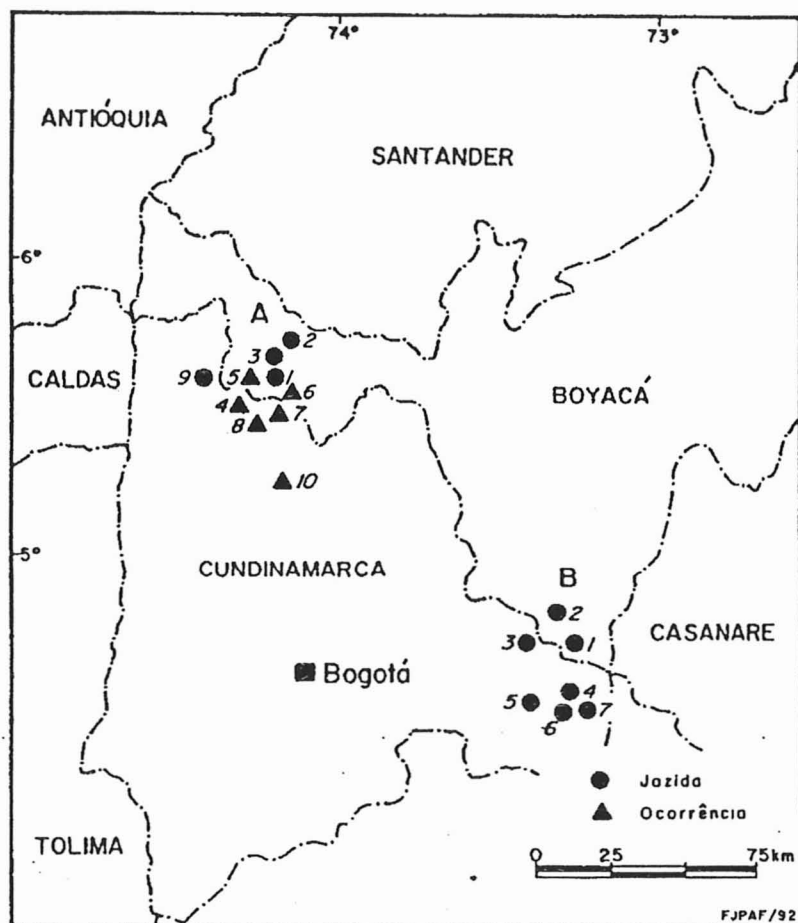


Figura 1 - Localização das principais jazidas e ocorrências de esmeralda da Colômbia. **Cinturão Esmeraldífero Ocidental (A):** 1- Muzo, 2- Peñas Blancas, 3- Coscuez, 4- La Calichona, 5- La Corona, 6- Cooper, 7- Pénjamo, 8- Aposentos, 9- Yacopí, 10- Pacho. **Cinturão Esmeraldífero Oriental (B):** 1- Chivor, 2- Buena Vista, 3- Mundo Nuevo, 4- Vega de San Juan, 5- Gachalá, 6- Las Cruces, 7- El Diamante. (Extraído de Ordóñez et alii, 1994).

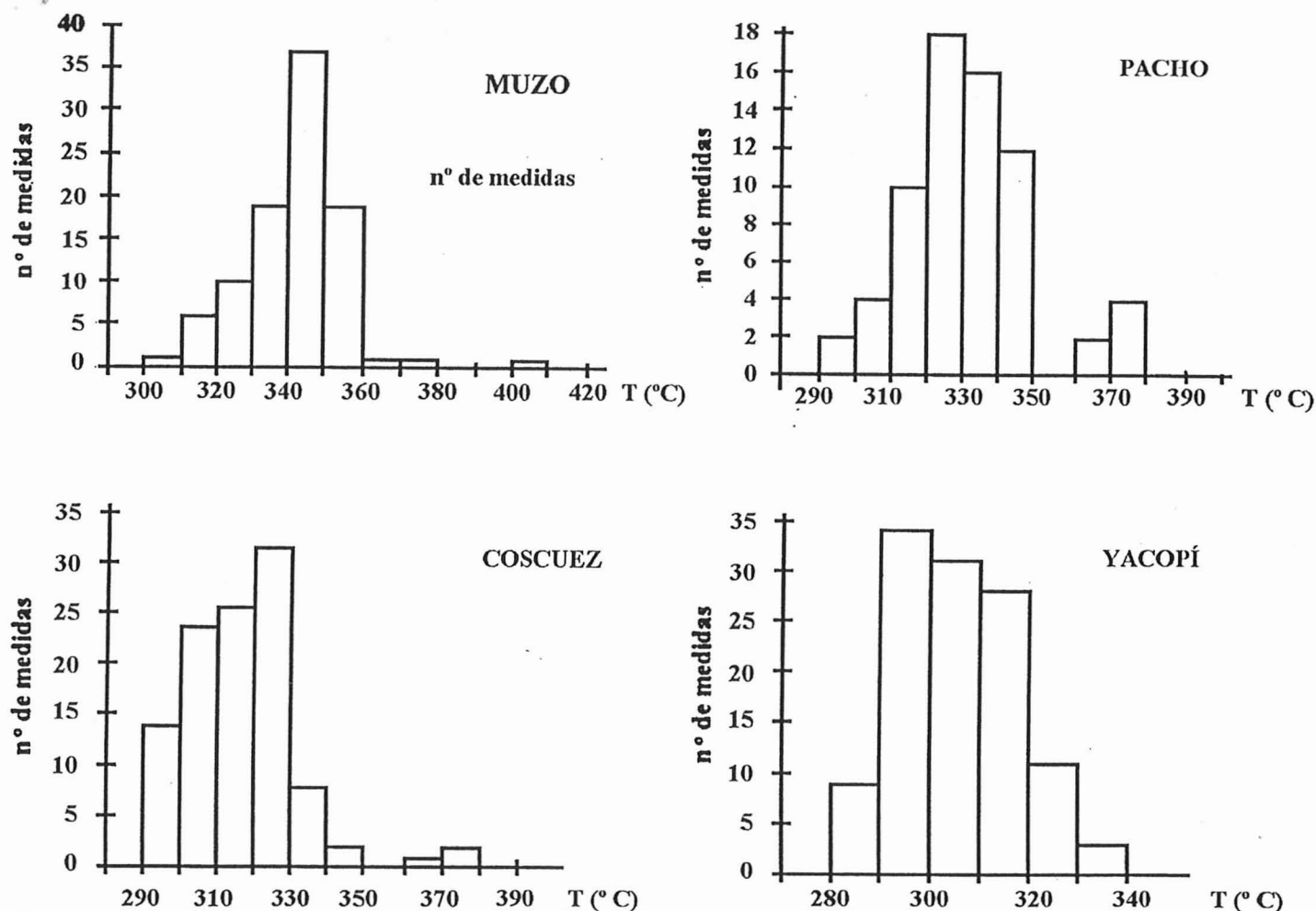


Figura 2 - Frequência das temperaturas de dissolução dos sólidos de saturação das inclusões fluidas das esmeraldas de Muzo, Pacho, Coscuez e Yacopí (Colômbia).

existência de halita e silvita, como minerais de saturação. Estudos realizados por microscopia eletrônica de varredura, através da análise dos produtos resultantes da evaporação das soluções aquosas saturadas, obtidas com a abertura das inclusões, confirmaram a presença de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} (Ordóñez et alii, 1994). Também podem estar presentes sulfatos e carbonatos.

As salinidades das soluções aquosas em termos equivalentes à porcentagem em peso do NaCl foram determinadas, de modo aproximado, através das temperaturas de dissolução dos sólidos de saturação (Tds) (Figura 2). Considerando-se os intervalos de maiores frequências de medidas para cada jazida, no diagrama de solubilidade do NaCl em soluções aquosas, discutido por Shepherd et alii (1985), foram obtidos os seguintes resultados: Muzo: Tds entre 330 e 360°C com salinidades equivalentes a 40-42% em peso do NaCl; Pacho: Tds entre 310 e 350°C e salinidades equivalentes a 39-42% em peso do NaCl; Coscuez: Tds entre 300 e 330°C e salinidades equivalentes a 38-40% em peso do NaCl; Yacopí: Tds entre 290 e 320°C e salinidades equivalentes a 37-39% em peso do NaCl.

As salinidades podem ainda ser determinadas, com maior aproximação, através dos sistemas $\text{H}_2\text{O}+\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$ e $\text{H}_2\text{O}+\text{KCl}+\text{CaCl}_2$, estudados experimentalmente por Vanko et alii (1988) e por Bergman e Kuznetsova (1959), respectivamente, embora ainda existam imprecisões devido à presença do CO_2 e de

outros componentes não considerados por esses autores. Utilizando-se esses sistemas foram, até o presente, obtidas, de modo geral, variações de 32 a 38% em peso de NaCl e de 2 a 11% em peso de CaCl_2 , no primeiro caso, e entre 45 a 49% em peso de KCl e 9 a 14% em peso do CaCl_2 , no segundo (Ordóñez et alii, em preparação).

Para a determinação da densidade total dos fluidos foram utilizadas equações de estado dos sistemas $\text{H}_2\text{O}+\text{NaCl}$ e $\text{H}_2\text{O}+\text{NaCl}+\text{CO}_2$ (Brown, 1989), que forneceram valores aproximados variando entre 1,10 e 1,20 g/cm³.

As pressões reinantes durante o aprisionamento das inclusões fluidas podem ser estimadas, utilizando-se as Tds, que representam as temperaturas de homogeneização total, e as temperaturas de homogeneização relativa às fases fluidas ($T_{h\text{parcial}}$), a partir do modelo proposto por Solovova et alii (1992) para o sistema $\text{H}_2\text{O}+\text{NaCl}$. Por esse processo foram obtidas, até o presente, pressões variando entre 1,2 e 1,8 kbar (Ordóñez et alii, em preparação). Esses intervalos são relativamente coerentes aos resultados determinados por Hall (1976), Giuljani et alii (1992) e Cheilletz et alii (1994), apesar das imprecisões decorrentes da simplificação do sistema.

Considerações Finais

A análise das inclusões fluidas das esmeraldas das várias jazidas mostrou serem estas constituídas por soluções aquosas

salinas, com proporções variáveis de CO_2 , além de pequenas quantidades de N_2 , apresentando densidades relativamente elevadas. Os estudos microtermométricos indicaram, numa primeira aproximação, que o aprisionamento das inclusões e, portanto, a cristalização da esmeralda das várias jazidas, ocorreu em temperaturas de 290 a 360°C e pressões da ordem de 1,2 a 1,8 kbar.

O caráter altamente salino das inclusões fluidas presentes nas esmeraldas de todas as jazidas estudadas indica que existiram relações entre as soluções mineralizantes e os corpos evaporíticos do Cretáceo Inferior, amplamente distribuídos nos Estados de Boyacá e Cundinamarca. Os resultados obtidos sugerem que o fluido mineralizante poderia ter sido originado a partir de águas conatas marinhas, acumuladas junto aos sais precipitados nas bacias sedimentares; essas soluções teriam migrado até níveis profundos, através de falhamentos relacionados a eventos tectônicos do Cretáceo ou Terciário, e incorporado o berílio, proveniente da lixiviação das rochas do embasamento (Ordóñez, 1993). Adicionalmente, a presença de mineralizações polimetálicas de Pb, Zn, Ag e Cu, nas formações sedimentares que contêm as esmeraldas, parece indicar misturas das soluções originais com águas sulfatadas e carbonatadas provenientes de níveis mais elevados, além de interações com as rochas encaixantes e incorporação de outros elementos químicos, que modificaram suas características iniciais, levando-as a adquirir as composições determinadas nesse estudo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Dr. José Vicente Valarelli, do IGc-USP, por sua freqüente colaboração na realização dos estudos microtermométricos, e ao CNPq, pelo auxílio prestado, através de Bolsas de Pesquisa, à Dr^a Rosa Maria da Silveira Bello (Processo nº 303872/85-3 - RN) e ao Dr. Kazuo Fuzikawa (Processo nº 300045/92-1).

Referências Bibliográficas

- BERGMAN, A.G.; KUZNETSOVA, A. The solubility diagram for the ternary system $\text{H}_2\text{O-KCl-CaCl}_2$ from the temperature of complete freezing to 300°C. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, v.4, n.1, p. 80-84, 1959.
- BROWN, P.E. FLINCOR: a fluid inclusion data reduction and exploration program. In: PACROFI, II. Prog. with Abstr., P. 14, 1989.
- CHEILLETZ, A.; FÉRAUD, G.; GIULIANI, G.; RODRIGUEZ, C.T. Time-pressure and temperature constraints on the formation of colombian emeralds: An $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser microprobe and fluid inclusion study. *Economic Geology*, v. 89, p.361-380, 1994.
- FORERO, H. Esmeraldas. In: INGEOMINAS. *Recursos Minerales de Colombia*. Bogotá, 1987. p. 567-605. (Publicaciones Geológicas Especiales, Tomo II).
- GIULIANI, G.; SHEPPARD, S.M.F.; CHEILLETZ, A.; RODRIGUEZ, C. Fluid inclusions and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic geochemistry contribution to the genesis of emerald deposits in the oriental Cordillera of Colombia. *Académie des Sciences (Paris) Comptes Rendus*, v.314, série II, p. 269-274, 1992.
- HALL, M. La mineralogia y la geoquímica de las vetas esmeraldíferas de Muzo (Boyacá). *Informe Colciencias*, s/n, 326p, 1976.
- ORDÓÑEZ, F.H.R. *Mineralogia, inclusões fluidas e gênese de esmeraldas das jazidas de Chivor, Coscuez, Muzo, Pacho e Yacopí, Colômbia*. São Paulo: 1993. 134 p. (Dissertação de Mestrado - IGc-USP, inédito).
- ORDÓÑEZ, F.H.R.; BELLO, R.M.S.; SVISERO, D.P.; FUZIKAWA, K.; SCHULTZ-GÜTTLER, R.A. Inclusões fluidas nas esmeraldas de Muzo, Pacho e Yacopí, Colômbia. In: JORNADAS CIENTÍFICAS, II, 1992. São Paulo. *Boletim IG-USP*. São Paulo, IG, 1992. Publ. Espec. n.12, p.83-85.
- ORDÓÑEZ, F.H.R.; ROCHA, E.B.; BELLO, R.M.S.; FUZIKAWA, K.; SVISERO, D. Inclusões cristalinas e fases sólidas associadas às inclusões fluidas em esmeraldas da Colômbia. *Revista Escola de Minas*, v. 47, n. 2, p. 128-133, 1994.
- SHEPHERD, T.; RANKIN, A.; ALDERTON, D.H. *A practical guide to fluid inclusions studies*. Glasgow: Blackie & Sons Limited, 1985. 239 p.
- SOLOVOVA, I.; GIRNIS, A.; GRUZHOVA, A.; NAUMOV, B. Magmatic salt inclusion in East Pamir Alkali basalt minerals. *Geochemistry International*, v. 29, n. 8, p. 64-74, 1992.
- VANKO, A.D.; BODNAR, R.J.; STERNER, S.M. Synthetic fluid inclusions: VIII. Vapor-saturated halite solubility in part of the system $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$, with application to fluid inclusions from oceanic hydrothermal system. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 52, p. 2451-2456, 1988.

Artigo recebido em 30 de março de 1995