

**ESTUDOS PETROGRÁFICOS, MINERALÓGICOS E
MICROTHERMOMÉTRICOS DA ESMERALDA DO
GARIMPO DE CAPOEIRANA, NOVA ERA, MINAS
GERAIS.**

Souza, Juarez Leal de
(DEGEO/UFOP)

Svisero, Darcy Pedro
(IG/USP)

Mendes, Júlio César
(DEGEO/UFOP)

Valarelli, José Vicente
(IG/USP)

Bello, Rosa Maria da Silveira
(IG/USP)

ABSTRACT

Petrographic investigations in the area of the Capoeirana emerald deposit, Minas Gerais, revealed two main lithostructural units: one represented by gneissic rocks of granitic composition belonging to the Basement Complex, and the other, composed of a highly weathered metasedimentary-metavolcanic sequence represented by metapelitic schists, some types of amphibolites, schists derived from ultramafic rocks, and quartzites. Subordinately, quartz and pegmatoid veins appear near the contacts with the gneissic rocks. The emerald mineralization is dominantly concentrated within the intercalations of meta-ultramafic schists (biotites) near the contacts of the pegmatoids veins.

Microthermometric studies of the fluid inclusions of the emerald indicate that its crystallization occurred, probably, in the ranges of 2000bar and 450°C as minimum conditions, and 2750bar and 600°C as maximum conditions. This data suggest that the mineralization solutions have had a late hydrothermal-pneumatolytic nature with low pressure, what is in agreement with the paragenesis talc + tremolite + carbonate + biotite-phlogopite + chlorite of the emerald wall rocks.

Characteristics of colour, refractive indices, specific gravity are referred in this paper too, as well as optical studies of solid and fluid inclusions.

INTRODUÇÃO

O garimpo de esmeralda de Capoeirana, descoberto acidentalmente em julho de 1988 por trabalhos de garimpeiros, está localizado no Município de Nova Era, Minas Gerais, distando, em linha reta, 8,5km a noroeste da referida cidade (Fig. 1). O acesso principal, a partir de Belo Horizonte, é feito através das rodovias BR-262 e BR-381 até à cidade de Nova Era, seguindo-se depois por cerca de 10km pela estrada não pavimentada que liga Nova Era a Itabira, até atingir o garimpo nas proximidades da Fazenda Capoeirana.

Ressalta-se como aspecto interessante da mineralização da esmeralda no Estado de Minas Gerais uma região onde aparece uma série de ocorrências dessa gema, as quais incluem São Domingos do Prata, Nova Era, Itabira, Brejaúba (Município de Santa Maria de Itabira), Esmeralda de Ferros e Cubas, todas bordejando o extremo sudeste do Cráton do São Francisco (Fig. 1). A observação deste fato vem caracterizar a existência de uma província esmeraldífera no Estado de Minas Gerais iniciando-se ao norte de Rio Casca e estendendo-se até as proximidades de Guanhães. Historicamente, a primeira ocorrência de esmeralda em Minas Gerais teve lugar no Município de Santana dos Ferros (Cunha 1961), descoberta em 1920. As descobertas mais recentes e verdadeiramente importantes, em termos econômicos, são representadas pela jazida de Itabira, descoberta em 1978 (Bastos 1981, Sauer 1982, Mendes et al. 1985, Souza et al. 1987, Souza 1988) e pelo Garimpo de Capoeirana, Nova Era, descoberto em 1988 (Souza et al. 1989, Epstein 1989).

Apresentaremos neste trabalho uma síntese das investigações petrográficas realizadas na área do depósito de Capoeirana, bem como também aspectos da mineralização, da mineralogia da esmeralda e dados microtermométricos das inclusões fluidas. É válido assinalar, entretanto, que os trabalhos de campo efetuados na região vêm complementar o mapeamento litológico já elaborado por Souza (1988) nas adjacências da jazida de esmeralda de Itabira ou Mina Belmont.

GEOLOGIA REGIONAL

Conforme Schorscher et al. (1982), a geologia regional básica dessa região, é representada pelo embasamento cratônico arqueano composto por terrenos gnaíssico-migmatíticos de caráter polimetamórfico e poligenético, incluindo rochas graníticas do tipo "Granito Borrachudo"; pelo cinturão de rochas verdes arqueanas (*greenstone belt*) do Supergrupo Rio das Velhas; por metassedimentos do Proterozóico Inferior pertencentes ao Supergrupo Minas; e por metassedimentos do Proterozóico Médio, essencialmente quartzíticos, pertencentes ao Supergrupo Espinhaço.

Em termos estratigráficos, o Garimpo de Capoeirana está situado, portanto, em área recoberta por rochas pertencentes à "Seqüência de Paragneisses" basal do Supergrupo Minas da região de Nova Era, definida por Schorscher (1975, in Schorscher & Guimarães 1976). Segundo esse autor, essa seqüência é constituída por metarcósios a metagrauvacas com intercalações concordantes de micaxistos e quartzitos micáceos. Subordinadamente aparecem ainda rochas anfíbolíticas e intercalações de xistos metaultramáficos e veios pegmatóides, sendo essas últimas litologias as responsáveis pelas mineralizações esmeraldíferas da região.

PETROGRAFIA DA REGIÃO DO GARIMPO

O levantamento litológico realizado na área do Garimpo de Capoeirana revelou, conforme se observa na Figura 2, a presença de dois conjuntos litológicos distintos representados, respectivamente, por rochas granitóides gnaíssificadas (gneisses graníticos indiferenciados) e por um pacote de rochas supracrustais de características vulcano-sedimentar, profundamente intemperizadas e parcialmente encaixadas nas litologias granitóides (Souza 1988).

GNAISSES GRANÍTICOS INDIFERENCIADOS

O conjunto de rochas gnaíssicas, representado em mapa sob a forma de maciços indiferenciados (Fig. 2), é composto por dois tipos petrográficos distintos, os quais foram designados de gnaíse granítico lenticular (*flaser*), correspondente ao granitóide do tipo Borrachudo (Dorr & Barbosa 1963, Schorscher et al. 1982), e de gnaíse granítico não lenticular.

GNAÍSE GRANÍTICO LENTICULAR (*flaser*): esse tipo litológico, já descrito por alguns autores mais antigos (Freyberg 1932, Schneiderhöhn 1935) tem, nas adjacências de Itabira, as suas ocorrências típicas. Dorr & Barbosa (1963) denominaram-nas de Granito Borrachudo, onde foram consideradas como rochas ígneas potássicas, de origem não metamórfica, mais jovens do que as rochas do Supergrupo Minas. Posteriormente, Schorscher (1975, in Schorscher et al. 1982) descreve uma outra ocorrência situada a SE da cidade de Itabira também como rocha granítica do tipo Granito Borrachudo. No conjunto essas ocorrências todas foram consideradas por aquele autor como rochas graníticas pertencentes ao Complexo Basal da região do Quadrilátero Ferrífero *lato sensu*.

Na região do Garimpo de Capoeirana, essa rocha caracteriza-se por apresentar uma coloração cinza-clara, foliação distinta, estrutura linear bem definida e uma textura granoporfiroblástica média a grosseira. A mineralogia básica é representada por quartzo, feldspato alcalino perfitico, plagioclásio (oligoclásio) e biotita, aparecendo anfibólio em proporções menores. Fluorita, clinozoisita-epídoto, allanita, moscovita, clorita, carbonato, zircão, titanita, granada, apatita e opacos representam a mineralogia acessória. Em termos modais, o quartzo constitui a fase mais abundante (30-60%), seguido depois por feldspato alcalino (19-40%), plagioclásio (3-38%) e biotita (0,3-10%). O anfibólio varia de traços até cerca de 8%, predominando, entretanto, os valores mais baixos. Em termos petrográficos, a litologia em pauta é representada predominantemente por um biotita gnaisse com anfibólio, e muito raramente por gnaisse com biotita e biotita-anfibólio gnaisse. A representação modal desse gnaisse no triângulo Q-FA-P de Streckeisen (1967) corresponde predominantemente à composição granítica (campos 3a e 3b) e aos granitóides ricos em quartzo.

GNASSE GRANÍTICO NÃO LENTICULAR: esse gnaisse caracteriza-se por apresentar coloração cinza-clara ligeiramente rósea, foliação pouco desenvolvida, estrutura linear distinta e uma textura granular fina a média. Merece destaque, entretanto, a ocorrência freqüente de veios pegmatóides e pegmatíticos berilíferos nesse tipo litológico, os quais aparecem preferencialmente sob a forma de segregações acompanhando as direções da foliação. A ocorrência desse tipo de gnaisse, limitada a uma faixa estreita bordejando parte do gnaisse granítico do tipo Borrachudo na região nordeste da Figura 2, vem constituir uma das litologias importantes envolvidas na mineralização da esmeralda do Garimpo de Capoeirana, tendo em vista ser o componente fornecedor dos fluidos berilíferos mineralizantes.

No que se referem às mineralogias essencial e acessória, essa rocha é de tudo semelhante ao gnaisse granítico lenticular (*flaser*) diferindo apenas por mostrar uma textura não porfiroblástica e um conteúdo mais elevado em plagioclásio (10-26%) e mais baixo em biotita (<5%). Petrograficamente, pode ser classificado como um gnaisse leucocrático a hololeucocrático com biotita exibindo composição predominantemente granítica. A representação modal desse gnaisse no triângulo de Streckeisen (1967) mostrou uma composição restrita essencialmente aos campos dos granitos 3a e 3b.

SEQÜÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR

Litologicamente, essa seqüência é composta por um pacote de rochas de aspecto xistoso ou às vezes gnáissico, profundamente alterado, representado por intercalações centimétricas a métricas sucessivas de xistos metapelíticos e anfibolitos com xistos derivados de rochas metavulcânicas. Subordinadamente aparecem ainda veios de quartzo e veios pegmatóides de natureza quartzo-feldspática intensamente caulinizados, cuja ocorrência torna-se mais freqüente junto aos contatos falhados entre a seqüência e os gnaisses graníticos indiferenciados adjacentes.

XISTOS METAPELÍTICOS: três tipos petrográficos distintos de xistos metapelíticos foram identificados e descritos no âmbito da seqüência vulcano-sedimentar, sendo estes respectivamente classificados como moscovita-quartzo xisto com biotita, moscovita-biotita-quartzo xisto com granada e estauroлита, e moscovita-biotita-cordierita-plagioclásio-clorita xisto com sillimanita. Em conjunto, essas litologias mostram-se profundamente intemperizadas onde as colorações variam desde os matizes esbranquiçados, nos termos ricos em moscovita, até tonalidades róseas amarela-

das nos termos mais ricos em biotita. Mostram, ainda, uma xistosidade bem definida pela presença abundante de minerais micáceos e uma textura a qual pode ser descrita como lepidoblástica heterogranular fina a média com sinais de intensa cataclase. Em termos de ocorrência, os xistos metapelíticos, juntamente com os anfibolitos, são as litologias mais frequentes e abundantes da sequência supracrustal (Fig. 2).

XISTOS DE METAULTRAMÁFICAS (BIOTITITOS): essas rochas ocorrem como intercalações centimétricas a métricas associadas especialmente aos anfibolitos, tendo os seus domínios localizados nas porções próximas aos contatos da sequência supracrustal com os gnaisses graníticos indiferenciados (Fig. 2). Petrograficamente, são representados por xistos ricos em biotita/flogopita e cromita, estando presente subordenadamente quartzo recristalizado. Berilo verde (esmeralda) é o acessório principal, aparecendo geralmente sob a forma de porfiroblastos grosseiros com orientação prismática disposta paralelamente à xistosidade. A textura é tipicamente lepidoblástica (Fotomicrografia 1), apresentando às vezes alguns níveis quartzosos de feição granoblástica acompanhando a xistosidade da rocha. Características de intensa deformação mecânica, evidenciadas pela presença de inúmeras microdobras, são também observadas.

A mica preta foi identificada através da difração de raios X revelando um comportamento roentgenográfico intermediário entre biotita e flogopita. Opticamente mostra pleocroísmo distinto ($X = \text{castanho amarelo}$ do pálido e $Y = Z = \text{castanho amarelado}$), extinção paralela à clivagem e caráter biaxial negativo com $2V$ quase nulo. O mineral opaco, também identificado através da difração de raios X, é essencialmente representado por cromita granular. Além do aspecto arredondado mais frequente, exhibe formas subédricas a euédricas perfeitas com seções quadráticas e triangulares (Fotomicrografia 1). Geneticamente, essa cromita pode ser considerada como um importante legado deixado pela rocha ultramáfica original, tendo em vista que tal mineral desempenha um papel importante na mineralização esmeraldífera ocorrente nesse tipo de xisto.

O quartzo, por seu turno, aparece segundo níveis milimétricos preferenciais orientados de acordo com a xistosidade da rocha. Nesses níveis mostra-se geralmente xenomórfico com perfis subarredondados ou ligeiramente irregulares, podendo constituir, por vezes, um mosaico granoblástico com junções triplíplices típico da recristalização metamórfica.

ANFIBOLITOS: três tipos litológicos básicos de anfibolitos foram identificados na sequência supracrustal, os quais correspondem petrograficamente a um talco-clorita-tremolita/actinolita anfibolito com cromita e os outros dois a um quartzo anfibolito com granada, sendo que o segundo e terceiro tipos diferem apenas pelo aspecto textural. Geneticamente, esses três tipos de anfibolitos são respectivamente derivados de rochas metaultramáficas, metatufos e metaígneas básicas.

O primeiro tipo de anfibolito encontra-se preferencialmente restrito à porção oeste da sequência nas proximidades dos contatos com os granitóides adjacentes. Os outros dois tipos constituem as litologias mais abundantes nas porções centro-leste e sudeste da sequência vulcanosedimentar (Fig. 2). Nesses locais, eles podem formar pacotes relativamente espessos, de até algumas dezenas de metros de espessura, porém aparecendo sempre como intercalações intimamente associadas.

QUARTZITOS: petrograficamente são caracterizados por apresentarem uma textura granolepidoblástica média a grosseira, foliação distinta e evidências de deformação mecânica. A mineralogia dominante é representada por quartzo (85-95%) e moscovita (3-12%), cujos termos variam localmente de moscovita quartzitos a quartzitos moscovíticos. A mica branca está em grande parte incluída no quartzo e aparece orientada paralelamente à xistosidade externa, indicando recristalização pós-tectônica do quartzo. A mineralogia acessória é representada apenas por traços de biotita, cianita, turmalina e zircão.

Com relação aos veios de quartzo, as amostras coletadas revelaram um aspecto sacaroidal típico, fraturamento intenso e domínios de subgrãos apresentando contornos irregulares, reentrantes ou denteados. As seções delgadas dessas amostras, quando vistas sob aumento maiores, mostram ainda a presença de diminutas inclusões fluidas trifásicas do tipo líquido-líquido-gás constituídas, possivelmente, por H_2O e CO_2 líquidos e $H_2O + CO_2$ voláteis, tendo em vista as suas característica de transparência e relevo. As manifestações pegmatóides mais expressivas em termos volumétricos são encontradas no interior dos gnaisses graníticos não lenticular, próximas às linhas de falha. No interior da sequência são em geral escassas, tornando-se mais frequentes à medida que se aproxima dos contatos falhados com as rochas granitóides, indicando uma remobilização a partir dos granitóides adjacentes. Na região do Garimpo de Capoeirana a fase pegmatítica, já intensamente intemperizada, ocorre geralmente formando ramificações estreitas pelo preenchimento de fissuras preexistentes ou constituindo pequenos bolsões. As investigações petrográficas revelaram a presença de quartzo e allofana (argilomineral) como constituintes minerais mais abundantes. Acessoriamente foram observados cristais de berilo incolor relativamente desenvolvidos no interior da massa quartzo-feldspática alterada, o que vem confirmar a grande abundância de berílio nos fluidos pegmatóides ocorrentes nessa região.

A ESMERALDA DE CAPOEIRANA

Serão apresentadas neste capítulo as principais propriedades físicas da esmeralda de Capoeirana, além de procedermos a um estudo detalhado das inclusões fluidas nela contidas através da microtermometria.

MORFOLOGIA DOS CRISTAIS: as esmeraldas do Garimpo de Capoeirana são encontradas predominantemente sob a forma de pequenos fragmentos medindo, em geral, entre 1 e 3cm. Quanto ao hábito, os cristais são preferencialmente subidiomórficos, sendo constituídos exclusivamente pela combinação do prisma hexagonal {10.0} com o pinacóide basal {00.1}. Os espécimes aparecem sob a forma de monocristais isolados ou em grupos de poucos cristais constituindo agregados irregulares.

COR E PLEOCROÍSMO: nas esmeraldas de Capoeirana as cores predominantes são o verde ligeiramente azulado e o verde-grama. O pleocroísmo é do tipo distinto sendo ω verde amarelado e ϵ verde azulado.

ÍNDICES DE REFRAÇÃO: os índices de refração, obtidos de um lote de cristais de coloração variável através de medidas em refratômetros gemológicos, apresentaram os valores de $n_e = 1,580-1,585$, $n_\omega = 1,585-1,590$ e $\Delta n = 0,005-0,006$.

DENSIDADE RELATIVA: a determinação da densidade relativa, obtida através de balança hidrostática, forneceu como resultado o valor médio de $d = 2,77$ para um grupo de dez cristais ensaiados.

INCLUSÕES SÓLIDAS MINERAIS: os estudos ópticos realizados em microscópio gemológico revelaram que essa esmeralda contém, relativamente poucas inclusões sólidas minerais (Souza et al. 1989). Dentre as inclusões sólidas minerais destacam-se apenas mica preta, além de cristais incoloros presentes junto às inclusões fluidas, os quais foram identificados como carbonatos e apatita. Óxidos epigenéticos de formas e colorações variáveis foram também observados. A mica preta é a inclusão mineral mais frequente, manifestando dimensões entre 0,1 e 1,0mm, coloração castanha, aspecto anédrico ou subédrico e não mostra orientação preferencial em relação ao cristal hospedeiro, podendo ser classificada temporariamente como protogenética (Fotomicrografia 2).

INCLUSÕES FLUIDAS: esse tipo de característica constitui, semelhantemente às esmeraldas da Mina Belmont (Souza 1988), um dos aspectos not

veis da esmeralda de Capoeirana. Essas inclusões aparecem principalmente sob a forma de tubos ou canálculos orientados na direção do eixo c da esmeralda e, também, sob a forma de cavidades geométricas exibindo, os dois tipos, preenchimentos em geral trifásicos ou polifásicos (Fotomicrografias 3 e 4). Esses preenchimentos podem variar desde os tipos monofásicos até os polifásicos. Destaca-se, contudo, o preenchimento trifásico do tipo líquido-líquido-gás como uma das características predominantes, tanto no sistema de cavidades geométricas quanto nos sistemas de canálculos orientados. O aparecimento de cavidades geométricas apresentando preenchimentos trifásicos do tipo líquido-líquido-gás mais uma fase cristalina anisótropa associada (Fotomicrografia 4) pode ser considerado, também, como característica freqüente nessa esmeralda. Esse aspecto constitui uma das feições singulares e notáveis das inclusões fluidas aqui investigadas, assinalando-se que tal característica, dentre as esmeraldas brasileiras e estrangeiras, só foi anteriormente observada por Souza (1988) nas esmeraldas da jazida de Itabira, Minas Gerais.

MICROTERMOMETRIA DAS INCLUSÕES FLUIDAS

As investigações das inclusões fluidas da esmeralda de Capoeirana revelaram tratar-se de inclusões polifásicas compostas por H_2O , CO_2 (volume de CO_2 /volume total em média de 0,70) e fases sólidas, em muitos casos, bastante desenvolvidas. Foram observadas também inclusões sob a forma de cavidades alongadas segundo planos de fraturas cicatrizados apresentando a mesma orientação do eixo c do hospedeiro.

TEMPERATURA DE FUSÃO DO CO_2 : as temperaturas de fusão do CO_2 (T_{fCO_2}) obtidas concentram-se num pequeno intervalo, cujo pico de maior freqüência está situado entre $-56,7$ e $-56,9^\circ C$ (Fig. 3), mostrando uma ligeira depressão em relação à T_{fCO_2} puro ($-56,6^\circ C$). Esses dados indicam que a fase gasosa é composta por CO_2 quase puro, contendo talvez uma pequena quantidade de outros componentes voláteis dissolvidos na fase carbônica. A identificação e a quantificação desses compostos através da microtermometria não foi possível, tendo em vista ocorrerem em quantidades muito subordinadas, necessitando, portanto, da utilização da microsonda Ramann. Desse modo, esses dados foram interpretados utilizando-se o sistema químico H_2O-CO_2-NaCl .

Em alguns casos, as inclusões fluidas apresentaram valores de T_{fCO_2} entre $-57,1$ e $-57,3^\circ C$, o que sugere variações na composição do fluido mineralizante em certos locais. Tendo em vista a inexistência de relações de campo para as amostragens, devido aos trabalhos de garimpagem, esses dados não foram considerados no tratamento geral desse artigo.

HOMOGENEIZAÇÃO DO CO_2 : conforme ilustra a Figura 4, o CO_2 homogeneiza-se preferencialmente para o estado líquido em temperaturas variando entre $26,0$ e $31,0^\circ C$ onde se observa um pico de maior freqüência situado ao redor de $29,0$ e $30,5^\circ C$. Tomando-se o valor médio de $29,75^\circ C$ e desconsiderando a presença de outros voláteis, obteve-se uma densidade do CO_2 de $0,61 g/cm^3$. Algumas homogeneizações ocorreram-se no estado crítico em temperatura muito próxima à temperatura crítica do CO_2 ($31,1^\circ C$). Duas inclusões homogeneizaram-se para a fase gasosa, podendo indicar um possível vazamento causado por deformações posteriores ao crescimento do cristal.

HOMOGENEIZAÇÃO TOTAL: as temperaturas de homogeneização total (T_{ht}) das inclusões fluidas permitem que sejam estimadas as condições mínimas de P e T de seu aprisionamento. No caso de inclusões primárias fornecem evidências das condições de cristalização do mineral hospedeiro. As T_{ht} das inclusões fluidas da esmeralda de Capoeirana apresentam quase sempre valores relativamente elevados, fornecendo mais uma indicação de terem sido aprisionadas durante o estágio de crescimento da esmeralda.

A Figura 5 mostra as T_{ht} das inclusões fluidas estudadas, não con

siderando aquelas superiores às condições limites do aparelho (520 °C). É grande a quantidade de inclusões fluidas, especialmente as maiores, que crepitam antes de sofrerem homogeneização. Tal fato pode ser atribuído, ou pelo aumento da pressão interna do fluido durante o aquecimento ou ao desenvolvimento de fissuras devidas à grande quantidade de inclusões sólidas associadas às inclusões fluidas, ou, ainda, pela progressão de fissuras já existentes. Desse modo, a partir do referido histograma, observa-se uma grande dispersão dos valores de T_{ht} , variando desde 320°C até além de 520°C, onde ainda permanecem muitas inclusões fluidas sem sofrer homogeneização. Os valores inferiores de T_{ht} podem ser devidos a eventuais escapes de gases ou a uma homogeneização aparente das inclusões fluidas de seção quadrática, visto serem alongadas perpendicularmente ao corte do cristal, não mostrando assim o final da homogeneização ao longo de sua maior dimensão. Pode-se observar, entretanto, que as T_{ht} são invariavelmente elevadas, provavelmente superiores a 450°C, o que está coerente com a alta salinidade encontrada.

SALINIDADE: os íons Na^+ e Cl^- são os mais comumente encontrados nas soluções naturais, sendo a salinidade normalmente discutida na literatura em termos de equivalente de % em peso de NaCl. Foram observados nas inclusões estudadas compostos clatratos de hidratos de gases, onde a salinidade da fase aquosa foi determinada a partir da temperatura de fusão dos clatratos. É válido observar que na formação de compostos clatratos a salinidade da fase aquosa residual aumenta drasticamente, e neste caso, a utilização da $T_{f_{gelo}}$ não fornece resultados condizentes com a salinidade da inclusão fluida (Collins 1979).

A Figura 6 mostra os valores de temperatura de fusão de clatratos (T_{fc}) obtidos, os quais variam desde -3,5 a 3,5°C, estando os valores de maior frequência situados entre -1,5 e 1,5°C. A utilização desses valores no diagrama do sistema H_2O-CO_2-NaCl de Collins (1979), visto na Figura 7, forneceu uma faixa de variação entre 11,5 e 19 equivalentes da % em peso de NaCl para os valores mais amplos, e entre 14 e 17 equivalentes da % em peso de NaCl para os valores mais frequentes. A interpretação desses dados indica que os fluidos percolantes na época da cristalização da esmeralda apresentavam altos valores de salinidade.

ISÓCORAS: para os cálculos da densidade total das inclusões fluidas, da fração molar de CO_2 , H_2O e NaCl e também para a construção da isócora utilizou-se o programa de computação de Nicholls & Crawford (1985), o qual tem por base o sistema H_2O-CO_2-NaCl . Considerando-se o valor médio obtido de 29,75°C para a temperatura de homogeneização do CO_2 (T_{hco_2}), uma fração volumétrica média de 70% de CO_2 e a T_{fc} variando entre -1,5 e 1,5°C, obtém-se os seguintes resultados: 1) na composição das inclusões fluidas o X_{H_2O} varia de 0,595 a 0,603, o X_{NaCl} varia de 0,037 a 0,030 e o X_{CO_2} varia de 0,3674 a 0,3672; 2) a densidade das inclusões fluidas variando entre 0,760 e 0,753g/cm³; 3) composição da fase aquosa de X_{NaCl} variando entre 0,059 e 0,047 e a % em peso de NaCl variando de 16,94 a 13,87% e, finalmente; 4) densidade de CO_2 igual a 0,605g/cm³. Observa-se pelos dados obtidos uma nítida concordância com os valores de salinidade do diagrama de Collins (1979) apresentado na Figura 7.

A Figura 8 mostra a isócora obtida considerando-se temperaturas de homogeneização total superiores a 450°C, a qual forneceu uma pressão de 1950bar. Nessa figura são colocadas também as curvas do limite inferior da estabilidade do talco (Evans & Trommsdorff 1970), mineral esse presente nas rochas encaixantes da esmeralda. Nessa mesma figura são colocadas ainda as condições limites de coexistência em equilíbrio de tremolita + talco + calcita (Skippen 1971), tendo em vista que esses minerais foram identificados como inclusões sólidas nas esmeraldas de Itabira (Souza 1988). Considerando que carbonatos foram também identificados na esmeralda de Capoeirana, é provável a coexistência dos outros dois minerais.

Conforme a Figura 2, o garimpo de esmeralda de Capoeirana encontra-se em local caracterizado pela presença de uma sequência vulcano-sedimentar altamente intemperizada em contato com rochas granitóides gnais sificadas pouco decompostas. Na área do garimpo essa sequência é constituída dominantemente por intercalações decimétricas a métricas representadas por anfíbolitos diversos, xistos de metaultramáficas, xistos metapelíticos, veios pegmatóides e veios de quartzo. Destaca-se também o contato falhado existente entre os dois conjuntos litológicos, estando as rochas granitóides adjacentes sotopostas às litologias da sequência vulcano-sedimentar. As manifestações pegmatóides ocorrem preferencialmente sob a forma de ramificações estreitas preenchendo fissuras ou ainda constituindo bolsões de dimensões decimétricas, estando em geral as ramificações pegmatóides associadas a massas de veios de quartzo.

A mineralização da esmeralda ocorre predominantemente associada aos xistos derivados de rochas metaultramáficas ou biotititos (cromita-biotita/flogopita xistos) nas proximidades dos contatos dessas rochas com os veios pegmatóides. O desenvolvimento dos cristais de esmeralda se dá, em geral, como porfiroblastos grosseiros aparecendo preferencialmente orientados segundo a xistosidade da rocha-matriz. A formação da esmeralda neste caso está intimamente associada à interação química ocorrida entre os fluidos pegmatóides berilíferos das rochas granitóides adjacentes e as rochas metaultramáficas portadoras dos elementos cromóforos (Cr, Fe e V). A percolação dos fluidos pegmatóides nas metaultramáficas promove, através de efeito metassomático, a transferência do elemento berílio e cristalização da esmeralda no interior das auréolas de alteração. A cor verde-grama da esmeralda é, portanto, uma consequência da incorporação de ínfimas quantidades dos elementos corantes na sua rede cristalina. A observação de cromita nos xistos metaultramáficos atesta a existência do cromóforo principal - o cromo.

CONCLUSÕES FINAIS

Com relação aos principais resultados obtidos neste trabalho, via bilizados através de estudos petrográficos e microtermométricos, merecem destaque as conclusões enumeradas a seguir.

1) Em termos geológicos, o garimpo de esmeralda de Capoeirana encontra-se localizado praticamente no contato entre a sequência vulcano-sedimentar e as litologias granitóides.

2) A mineralização esmeraldífera está presente dominantemente nas intercalações de xistos provenientes de rochas metaultramáficas cortadas ou associadas a veios pegmatóides berilíferos remobilizados a partir dos granitóides adjacentes.

3) Através dos dados de microtermometria das inclusões fluidas das esmeraldas de Capoeirana conclui-se que sua nucleação deu-se, provavelmente, no intervalo entre 450°C e 2000bar como condições mínimas e 600°C e 2750bar como condições máximas. Essas condições indicam que as soluções mineralizantes devem ter tido natureza hidrotermal-pneumatolítica tardia, de baixa pressão, concordando com a paragênese talco + tremolita + carbonato + biotita/flogopita + clorita, resultante do metamorfismo das ultramáficas juntamente com o crescimento da esmeralda.

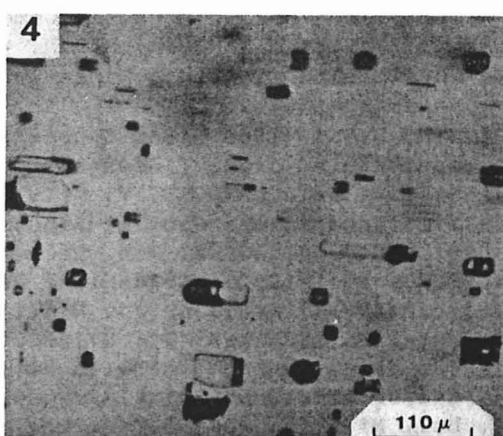
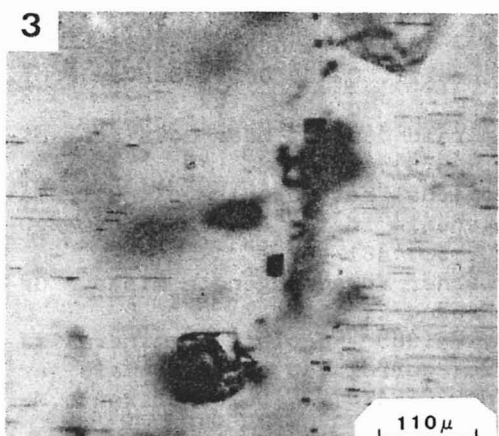
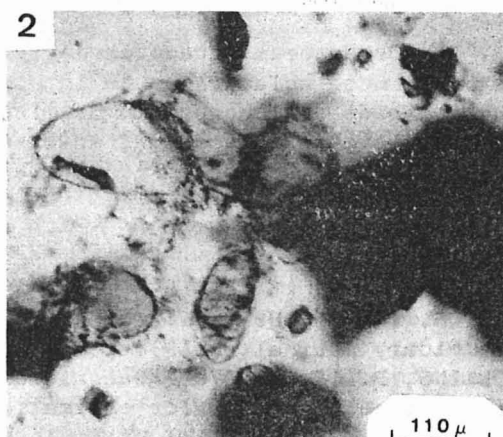
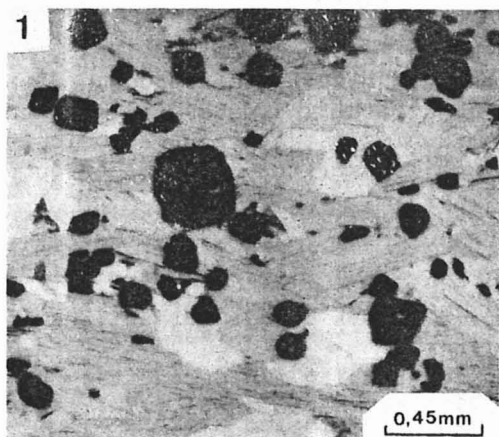
4) A gênese da esmeralda é a do tipo clássico, isto é, o berílio provém dos veios pegmatóides oriundos das rochas granitóides adjacentes e cromo provém das rochas metaultramáficas ricas em biotita/flogopita e cromita.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Sr. Dr. Kazuo Fuzikawa, da NUCLEBRÁS, pela prestimosa colaboração na interpretação dos resultados obtidos. Aos funcionários do laboratório de microtermometria de inclusões fluidas do IG-USP, pela realização das análises. E, finalmente, ao Prof. Antonio Luciano Gandini (DEGEO-UFOP) pela leitura dos manuscritos e sugestões apresentadas.

BIBLIOGRAFIA

- BASTOS, F.M. - 1981 - Emeralds from Itabira, Minas Gerais, Brazil. *The Lapidary Journal*, 35(9): 1842-1848.
- COLLINS, P.L.F. - 1979 - Gas hydrates in CO₂-bearing fluids and the use of freezing data for estimation of salinity. *Econ. Geol.*, 74: 1435-1444.
- CUNHA, O.L. - 1961 - Esmeraldas da Fazenda do Sossego, Santana dos Ferros, Minas Gerais, Brasil. *Gemologia*, VII(25): 9-14.
- DORR II, J.V.N. & BARBOSA, A.L.M. - 1963 - Geology and ore deposit of the Itabira district, Minas Gerais, Brazil. U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 341-C, 110p.
- EPSTEIN, D.S. - 1989 - The Capoeirana emerald deposit near Nova Era, Minas Gerais, Brazil. *Gems & Gemology*, 25(3): 150-158.
- EVANS, B.W. & TROMMSDORF, V. - 1970 - Regional metamorphism of ultramafic rocks in the Central Alps: paragenesis in the system CaO-MgO-SiO₂-H₂O. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, 50: 481-492.
- FREYBERG, B. - 1932 - Ergebnisse geologischer Forschungen in Minas Gerais (Brasilien). *N. Jb. Min., Sonderband 2*, 403p.
- MENDES, J.C.; SCHWARZ, D.; SVISERO, D.P. - 1985 - Geologia e mineralização da jazida de esmeralda de Itabira: correlação com as demais jazidas brasileiras. In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 3, Belo Horizonte, MG, Bol. Nº 5, p.240-250.
- NICHOLLS, J. & CRAWFORD, M.L. - 1985 - FORTRAN programs for calculation of fluid properties from microthermometric data on fluid inclusions. *Computers & Geosciences*, 11(5): 619-645.
- SAUER, D.A. - 1982 - Emeralds from Brazil. In: International Gemological Symposium, Proceedings, Santa Monica, California, p.357-377.
- SCHNEIDERHÖHN, P. - 1935 - Brasilianische Gestein. *N. Jb. Min.*, 70, Beilage Band, Abt. A, p.151-201.
- SCHORSCHER, H.D. & GUIMARÃES, P.F. - 1976 - Estratigrafia e tectônica do Supergrupo Minas e geologia do distrito ferrífero de Itabira, Minas Gerais, Brasil. In: CONGR. BRAS. GEOL., 29, Ouro Preto, MG, Roteiro das Excursões, p.75-86.
- SCHORSCHER, H.D.; SANTANA, F.C.; POLONIA, J.C.; MOREIRA, J.M.P. - 1982 - Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais State: Rio das Velhas greenstone belt and proterozoic rocks. *Excursions Anex, ISAP*, 44p.
- SKIPPEN, J.B. - 1971 - Experimental data reactions in siliceous marbles. *Jour. Geol.*, 79: 457-481.
- SOUZA, J.L.; MENDES, J.C.; SVISERO, D.P. - 1987 - Aspectos mineralógicos e geológicos das esmeraldas brasileiras. *Rev. Escola de Minas*, 40(3): 18-26.
- SOUZA, J.L. - 1988 - Mineralogia e geologia da esmeralda da jazida de Itabira, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, IG-USP, 192p.
- SOUZA, J.L.; MENDES, J.C.; GARIBALDI, E.; SVISERO, D.P. - 1989 - Aspectos geológicos da área do Garimpo de Capoeirana, Nova Era: uma nova ocorrência de esmeralda em Minas Gerais. In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 5, Belo Horizonte, MG, Bol. Nº 10, p.94-98.
- STRECKEISEN, A.L. - 1967 - Classification and nomenclature of igneous rocks. *N. Jb. Miner., Abh.*, 107: 144-240.



FOTOMICROGRAFIA 1 - Xisto de metaultramáfica (biotitito) encaixante da esmeralda de Capoeirana rico em cromita. A mica (biotita/flogopita) apresenta orientação preferencial, enquanto a cromita, representada pelos cristais opacos de formas subédricas a euédricas, exibe uma grande variação granulométrica e distribuição algo homogênea.

FOTOMICROGRAFIA 2 - Inclusões de micas (biotita/flogopita) protogenéticas apresentando flocos de cristais subédricos e contornos arredondados.

FOTOMICROGRAFIA 3 - Visão geral de um grande número de microcanalículos orientados na direção do eixo c da esmeralda apresentando comprimentos variáveis. Observa-se em direção ortogonal aos microcanalículos a presença de uma fratura cicatrizada contendo inclusões fluidas de natureza pseudosecundária sob a forma de cavidades geométricas, com preenchimentos trifásicos do tipo líquido-líquido-gás mais cristal associado.

FOTOMICROGRAFIA 4 - Visão geral de um grande número de inclusões fluidas sob a forma de cavidades geométricas retangulares e quadráticas orientadas segundo o eixo c do cristal hospedeiro. Estas inclusões podem ser classificadas como de natureza primária, contendo preenchimento trifásico do tipo líquido-líquido-gás mais cristal associado. Tais cavidades sugerem tratar-se de possíveis cristais negativos.

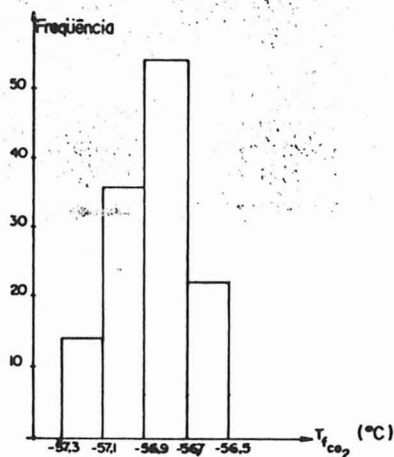


FIG.03- HISTOGRAMA DE VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DE FUSÃO DO CO_2 (T_{fco_2}) NAS INCLUSÕES FLUIDAS DA ESMERALDA DE CAPOEIRANA, NOVA ERA, MG.

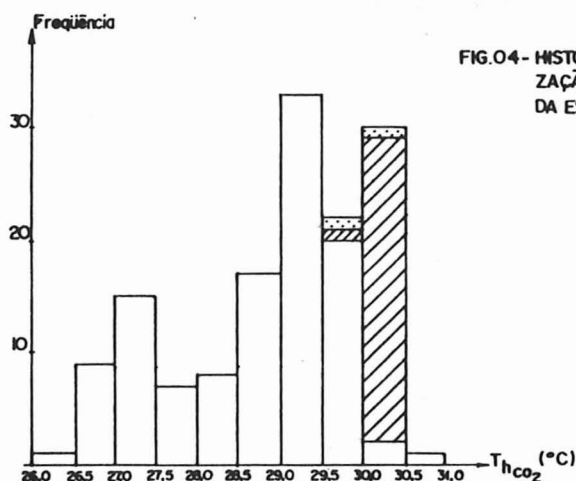


FIG.04- HISTOGRAMA DA TEMPERATURA DE HOMOGENEIZAÇÃO DO CO_2 (T_{hco_2}) NAS INCLUSÕES FLUIDAS DA ESMERALDA DE CAPOEIRANA, NOVA ERA, MG.

□ HOMOGENEIZAÇÃO PARA LÍQUIDO
 ▨ HOMOGENEIZAÇÃO CRÍTICA
 ▤ HOMOGENEIZAÇÃO PARA GÁS

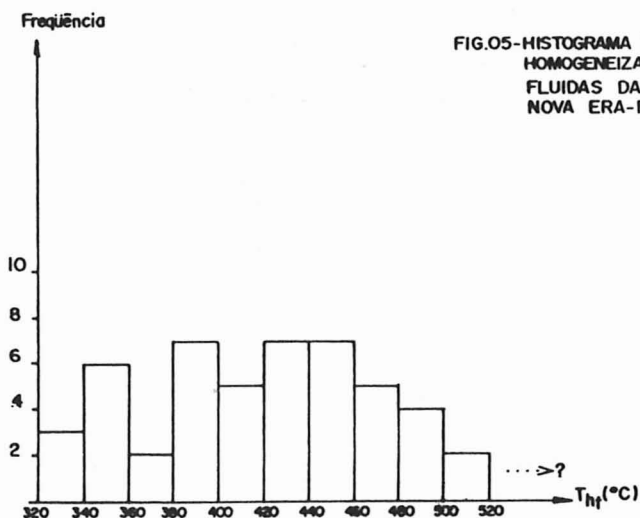


FIG.05- HISTOGRAMA DE VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DE HOMOGENEIZAÇÃO TOTAL (T_{hT}) NAS INCLUSÕES FLUIDAS DA ESMERALDA DE CAPOEIRANA, NOVA ERA, MG.

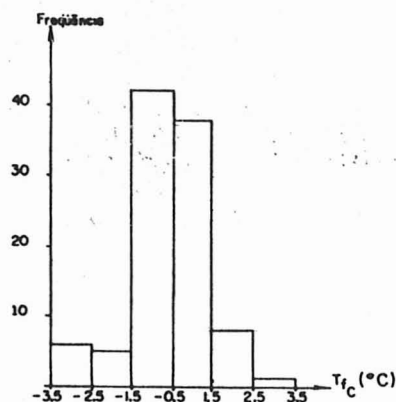


FIG. 06 - HISTOGRAMA DE VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DE FUSÃO DE CLATRATOS, NAS INCLUSÕES FLUIDAS DA ESMERALDA DE CAPOEIRANA, NOVA ERA, M.G.

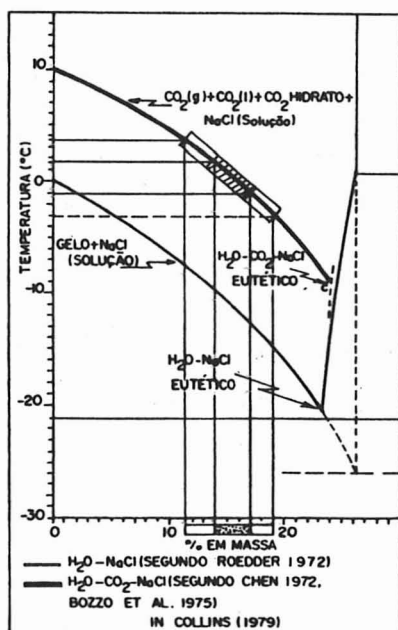


FIG. 07 - SALINIDADE DOS FLUIDOS MINERALIZANTES COM BASE NA TEMPERATURA DE FUSÃO DOS CLATRATOS (T_{fc}).

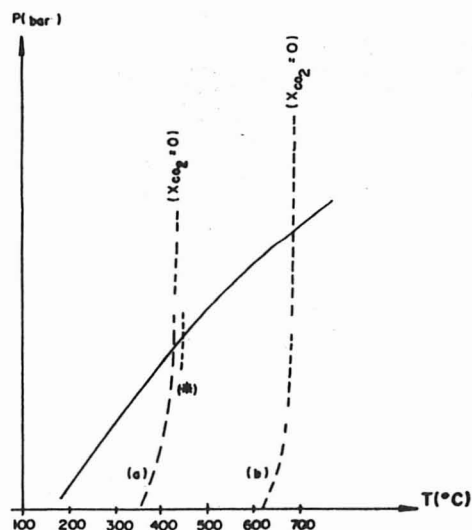


FIG. 08 - DIAGRAMA P x T ILUSTRANDO AS CONDIÇÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS PROVÁVEIS DO APRISIONAMENTO DAS INCLUSÕES FLUIDAS DA ESMERALDA DE CAPOEIRANA, NOVA ERA-M.G.

- (a) - EQUILÍBRIO $S + Di = Tr + Fo + H_2O$ IN EVANS &
(b) - EQUILÍBRIO $Tr + Fo = Anto + H_2O$ TROMMSDORF (1970)
(c) - EQUILÍBRIO $Cc = Tr = Tr$ À
2 kbar e $X_{CO_2} = 0,37$ (SKIPPER 1971)
Cc - CALCITA
S - SERPENTINA
Di - DIOPSÍDIO
Tr - TREMOLITA
Fo - FORSTERITA
To - TALCO
Anto - ANTOFILITA