COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE BERILOS PEGMATÍTICOS DO BRASIL E SEU SIGNIFICADO PETROLÓGICO E METALOGENÉTICO

J.M. CORREIA NEVES*, R.L.B.B. MONTEIRO* e C.V. DUTRA**

ABSTRACT This paper deals with the chemical composition of 14 pegmatitic Brazilian beryls and its petrologic and metallogenetic significance. The studied beryls, all collected in pegmatites belonging to the Brazilian Eastern Pegmatite Province, have been fully analysed, not only for the main elements, but also for Fe, Mg, Ti, Li, K, Na, Cs, Ca, P, Rb, Ba, Zr, Sr, Sc and Zn. Chemical analyses were interpreted using cell parameters and specific gravity values, obtained on the studied samples themselves.

Infrared diagrams revealed H₂O, CO₂ and CH₄ occluded in channels of the beryl structure and/or present in fluid inclusions of the same mineral. The petrologic and metallogenetic implications of the chemical composition, mainly the variation in the alkali contents, of the studied beryls are discussed and interpreted. Above critical levels, the alkali contents can be used to disclose the potentiality of the pegmatites to become ore bodies for Li, Cs and Ta. Although the most of the studied beryls reveal little differentiated pegmatites, the regional understanding of the actual metallogenetic potentialities of the pegmatites in the state of Minas Gerais, requires a more detailed and geological oriented sampling, not only of their beryls but also of their other minerals such as feldspars and micas.

INTRODUÇÃO O berilo tem uma fórmula cristaloquímica que, idealmente, pode escrever-se do modo seguinte: Be₃Al₂Si₆O₁₈. Nenhuma análise, porém, dá resultados que correspondam exatamente a esta fórmula. É comum a presença de H₂O e outros voláteis, de álcalis, por vezes em teores altos, e de Fe, Mg, Cr e outros elementos.

A estrutura do berilo foi determinada por Bragg & West (1926), confirmada por Belov & Matveeva (1950) e Bergerhoff & Nowacki (1955). Refinamentos estruturais devem-se a Gibbs *et al.* (1968), Morosin (1972) e, mais recentemente, a Hawthorne & Černý (1977). Estes últimos autores elucidaram vários aspectos do posicionamento estrutural dos álcalis e de H₂O na rede cristalina do berilo, e, confirmando o trabalho de Belov (1958) e de Bakakin *et al.* (1969), mostraram também que a substituição $Li^+ \leftrightarrow Be^{2+}$ condiciona fortemente o mecanismo da entrada dos álcalis nos canais da estrutura do berilo paralelos ao eixo cristalográfico c.

A posição dos álcalis e de H₂O na estrutura cristalina do berilo foi também discutida por vários autores (Bakakin & Belov 1962, Feklitchev 1963, Vorms *et al.* 1965, Evans & Mrose 1966, Gibbs *et al.* 1968, Morosin 1972 e Wood & Nassau 1968) e finalmente elucidada por Hawthorne & Černý (1977).

As variações na composição química do berilo, particularmente nos seus teores em álcalis e H₂O, estão fortemente correlacionadas com as características geoquímicas e paragenéticas dos sistemas geológicos em que este mineral ocorre, e portanto também com as dos pegmatitos graníticos portadores de berilo. Deste modo, não é de se admirar que a variação no teor em álcalis dos berilos pegmatíticos tenha sido usada como base de classificação de pegmatitos portadores de berilo. A classificação, esquematicamente indicada a seguir, é uma modificação da de Beus (1960), feita por Černý (1975). Podemos considerar os seguintes grandes grupos de berilos pegmatíticos:

- I – Berilo sem álcalis (álcalis totais < 0,1% em peso) ocorrendo principalmente em pequenas cavidades de pegmatitos predominantemente gráficas, ou em faixas e bolsões pegmatíticos em granitos;
- II – Berilo potássico e sódico-potássico pobre em álcalis (K predominante, variando entre 0,5 e 1,0% em peso) ocorrendo em faixas e bolsões pegmatíticos em granitos, e nos núcleos de quartzo de pegmatitos simples;
- III – Berilo sódico (Na predominante, com teores variando entre 0,5 e 1,0% em peso), ocorrendo em pegmatitos com paragenese albíticas, mas muito pobres em álcalis raros;
- IV – Berilo rico em Na e Li (teores de Na variando entre 0,0 e 2,0%, os de Li chegando a 0,6% em peso e os de Cs baixos), ocorrendo em pegmatitos portadores de Li;
- V – Berilo rico em Cs e Li (teores elevados em Na e Li e os de Cs acima de 0,5% em peso), ocorrendo em pegmatitos ricos em Li, extremamente diferenciados, freqüentemente portadores de polucita e com unidades tardias ricas em lepidolita.

Estas características químicas dos berilos, como já foi acentuado por Černý (1975), permitem não só a caracterização geoquímica dos pegmatitos, mas também identificar grupos de pegmatitos petrogeneticamente relacionados. Deste modo os berilos juntam-se aos feldspatos peritéticos e às micas, como indicadores petrológicos do maior interesse para a elucidação das gêneses e metalogênese dos corpos pegmatíticos (Neves 1962, 1964, 1980, Neves *et al.*, Nunes 1973).

Desde há muito que o teor em álcalis nos berilos tem sido reconhecido como um dos mais importantes fatores influenciando a variação das propriedades ópticas dos mesmos. Curvas de trabalho, obtidas com base estatística, e per-

* Centro de Pesquisas Prof. Manoel Teixeira da Costa. Cx. Postal 6208, CEP 30.000, Belo Horizonte, MG, Brasil

** GEOSOL – Geologia e Sondagens Ltda. R. Aimorés, 200, CEP 30.000, Belo Horizonte, MG, Brasil

mitindo relacionar a composição química dos berilos com os seus índices de refração, foram apresentadas por Winchell (1951), Deer *et al.* (1962), Dorfman (1952), Feklitchev (1964) e Černý & Hawthorne (1976). Uma análise crítica das diversas curvas foi feita por Černý & Hawthorne (1976), dela tendo ficado claro, que as curvas de Winchell (1951) e de Deer *et al.* (1962) apresentam inconsistências que diminuem muito o seu valor como instrumentos de trabalho. As curvas mais indicadas para estimar o teor em álcalis do berilo partindo dos índices de refração, são as de Dorfman (1952) e as de Černý & Hawthorne (1976). A curva dos últimos autores — construída levando-se em consideração a influência sobre os índices de refração do berilo, não só dos teores em álcalis mas também dos do Ca — mostra uma inflexão clara a cerca de 3% em peso do $\Sigma R_2O + CaO$, causada por uma variação nítida nas razões entre os álcalis, e que corresponde, na opinião destes autores, a uma tendência geoquímica observada na evolução do berilo dos pegmatitos portadores de Li e daqueles ricos em Li, Rb e Cs. Nos primeiros predomina a substituição do Be^{2+} por $Li^+ + Na^+ + 2H_2O$ e nos segundos passa a haver preponderância na substituição do Be^{2+} pelo pariónico $Li^+ + Cs^+$, sem que H_2O esteja necessariamente envolvida.

Tal como Černý & Simpson (1977) claramente evidenciam, a maior parte dos berilos do pegmatito de Tanco (Manitoba — Canadá) mostra forte zoneamento composicional com aumento invariável dos álcalis desde a parte central até a periferia dos cristais de berilo. Idêntica verificação tinha sido feita por Hurlbut & Wenden (1951) para o berilo de Mount Mica e corresponde a uma realidade muitas vezes registrada em numerosas ocorrências de berilo (Jahns 1982). Isto cria a necessidade de observar alguns cuidados na escolha do material que deve ser analisado por qualquer método. Para podermos estabelecer correlações entre as características mensuráveis do berilo não se pode utilizar amostras médias. A amostragem para análise deve ser bem localizada em relação a morfologia dos cristais de berilo e, para permitir conclusões petrológicas, também em relação à estrutura do corpo pegmatítico.

BERILO DE PEGMATITOS BRASILEIROS

O Brasil é um país muito rico em pegmatitos e, conseqüentemente, em berilo. Notáveis são as variedades de berilo gema que ocorrem nas mais diversas localidades das províncias pegmatíticas brasileiras (Franco 1981). Referências a ocorrências de berilo pegmatítico podem encontrar-se em Abreu (1973), Almeida (1946), Almeida *et al.* (1943, 1944), Cassedane (1969), Catriú (1944), Franco (1945, 1981), Johnston Jr. (1945a, 1945b, 1945c), Leonardos (1942), Menezes (1982), Moraes (1932, 1943, 1944), Putzer (1976), Rolff (1944, 1945, 1969), Rolff & Paiva (1946), Roy *et al.* (1964), Sampaio Filho *et al.* (1973), Suszczynski (1975), Svisero (1976) e Wood & Nassau (1968). Foram estudados berilos de Minas Gerais por Schlossmacher & Klang (1935) e por Roebing & Tromnau (1935) e do Nordeste por Kerr (1946), com teores elevados em Cs_2O . A ocorrência de berilo em Minas Gerais é referida ainda por Araújo *et al.* (1981) e Wegner (1983). Em Goiás, Andrade & Danni 1978 descreveram uma notável ocorrência de berilo associado a endogênsens.

O berilo é um mineral de fácil identificação, talvez seja esta a razão pela qual sejam escassos estudos mineralógicos e cristalográficos dos exemplares brasileiros, se for levada em conta a literatura citada.

O presente trabalho refere-se ao estudo de 14 amostras de berilos brasileiros de origem pegmatítica, dos quais possuímos análises químicas completas. As amostras estudadas são todas da Província Pegmatítica Oriental do Brasil (Paiva 1946) e foram coletadas em pegmatitos ocorrendo entre Araçuaí e Salinas (NE de Minas Gerais) e na região de Governador Valadares (Centro E de Minas Gerais), (Fig. 1). A amostragem estudada é muito pequena quando se leva em conta o número muito grande de ocorrências pegmatíticas na referida província. Este trabalho deve pois ser considerado como uma introdução e será ampliado posteriormente na medida em que se obtenham novas análises químicas completas. As análises apresentadas neste trabalho foram executadas nos laboratórios da Geosol e do Mineralogisches Institut der Freien Universitaet Berlin, quando um dos autores, em 1979, estagiou naquela instituição. As determinações da densidade, dos valores de a_0 e c_0 da malha elementar dos berilos e de algumas perdas ao fogo, foram feitas no Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Os diagramas de difração de raios-X, espectrografia de fluorescência de raios-X e de infravermelhos foram obtidos no Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais. A geometria da malha elementar foi determinada com recurso a programa do professor Lehtinen da Universidade de Helsiquia, modificado para ser usado no computador Burroughs B6700 do Centro de Computação da UFMG. Todos os dados referidos anteriormente constam da Tab. 1.

Figura 1 — Mapa de localização da amostragem. No mapa da América do Sul, o Estado de Minas Gerais está representado pela mancha negra.

REGIÃO ENTRE ARAÇUAÍ - SALINAS

ÁTOMOS POR CÉLULA ELEMENTAR

[illegible]

Os resultados do presente estudo foram obtidos numa perspectiva petrológica com o fim de obter conclusões genéticas e metalogenéticas.

Os berilos estudados pertencem a pegmatitos associados à maciça ocorrência de granitóides que, no fim do Pré-Cambriano e no âmbito do ciclo orogênico conhecido por Brasileiro (Sá 1977), se posicionaram em formações metamórficas mais antigas, aflorantes nas regiões indicadas nas Fig. 1 e Tab. 2.

MÉTODOS DE ESTUDO As amostras de berilo estudadas foram selecionadas a partir de cristais idiomórficos ou de porções alotriomórficas. O material estudado finalmente corresponde a uma amostra média. Os locais de coleta, o enquadramento geológico e paragéneses dos berilos são referidos na Tab. 2.

Antes de moer o material, determinou-se a densidade e, após a moagem, foram realizadas análises químicas, diagramas de difração e espectrografia de fluorescência e raios-X, e ainda espectros de absorção de infravermelhos.

Estudo por espectrometria de raios infravermelhos De todos os berilos estudados, diluídos em KBr, foram obtidos diagramas de infravermelhos (Fig. 2) utilizando-se um espectrógrafo Perkin Elmer modelo 467 pertencente ao Departamento de Química da UFMG. O registro dos espectros foi feito entre 2,5 e 50 μ .

Os diagramas obtidos mostram, entre 2,7 e 7 μ , absorções devidas às vibrações de moléculas quer na estrutura

do berilo, quer presentes em inclusões fluidas (Cameron *et al.* 1953) e, entre 7 e 50 μ , absorções devidas à rede cristalina do berilo e que estão analisadas em Wood & Nassau (1968). Nesta última faixa de absorções os nossos diagramas são idênticos aos destes últimos autores, porém, entre 2,5 e 7 μ , existem diferenças que passamos a analisar.

Nos canais estruturais do berilo, segundo Wood & Nassau (1968), existem dois arranjos da molécula de H₂O, conforme a orientação do seu dipolo. No tipo I, o eixo do dipolo é perpendicular a c_0 e no tipo II é paralelo a c_0 . A rotação de 90° do eixo do dipolo da molécula da H₂O deve estar condicionada, no tipo II, pela presença dos álcalis na estrutura do berilo. O Na⁺, orientando as moléculas de H₂O vizinhas (Hawthorne & Černý 1977), deve ser o maior responsável pelo aparecimento desta água de tipo II. Nos nossos diagramas caracterizamos, em todos, H₂O tipo II. Água tipo I está também presente, exceto no berilo 391-C que, por sinal, foi o que maior perda ao fogo apresentou (Tab. 1). As nossas conclusões são idênticas às de Wood & Nassau (1968).

Também nos canais estruturais do berilo foi caracterizada, por Wood & Nassau (1968), a presença de CO₂, inclusive em quatro berilos brasileiros. De acordo com estes autores as moléculas lineares de CO₂ com o maior comprimento igual a 4,96 Å e a largura igual a 2,8 Å estarão colocadas, com o eixo maior normal a c_0 , nas "cavidades" estruturais do berilo, cujo diâmetro é de cerca de 5,1 Å. Mesmo que as moléculas de CO₂ estejam retidas em inclusões fluidas e não ocluídas na estrutura do berilo, a sua orientação em relação ao eixo c_0 não deve ser muito afetada, pois há evidências claras (Cameron *et al.* 1953) de que as inclusões

Tabela 2 – Local de coleta, enquadramento geológico dos pegmatitos e paragéneses dos berilos estudados

Amostras	Pegmatitos	Rocha Encaixante	Paragénese do Berilo
REGIÃO ENTRE ARAÇUAÍ E SALINAS			
115 – A } 115 – B }	João Gonçalves Rubelita	Quartzo-Biotita Xisto	Corpo de Substituição
117	Bananal Rubelita	Quartzo-Biotita Xisto	Quartzo + Pertita
148	Frade Coronel Murta	Biotita Granito	Quartzo + Pertita + Biotita
391 – C	Urubu Araçuaí	Quartzo-Biotita Xisto	Quartzo + Pertita
404	Olho d'Água Coronel Murta	Biotita Granito	Quartzo + Pertita
467	Lava Roupa – L. Ramiro Salinas	Granitóide	Quartzo + Pertita
531	Lava Roupa – Caraíbas Salinas	Granitóide	Quartzo + Pertita
873 – B	Limoeiro Virgem da Lapa	Quartzo-Biotita Xisto	Quartzo + Pertita
REGIÃO DE GOVERNADOR VALADARES – GALILÉIA			
82 – B	Alcino Galiléia	Xisto S. Tomé	Quartzo + Pertita
152	Faria Governador Valadares	Xisto	Quartzo + Feldspato do Teto do Pegmatito
295	Urucum Galiléia	Xisto S. Tomé	Quartzo + Pertita do Teto do Pegmatito
474	Enio Galiléia	Xisto S. Tomé	Quartzo + Pertita
483	Barra da Penha Galiléia	Xisto S. Tomé	Quartzo + Pertita

fluidas primárias nos berilos correspondem a negativos de cristais alongados segundo o seu eixo de maior simetria.

Das amostras que estudamos, sete apresentaram a característica banda de absorção de CO_2 (Fig. 2 e Tab. 1), com intensidade variável.

Em alguns diagramas de infravermelhos dos berilos estudados, particularmente no da amostra 474 (Fig. 2), aparecem duas bandas de absorção a 2845 cm^{-1} e a 2915 cm^{-1} . Estas bandas são típicas dos hidrocarbonetos saturados da série $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$. Atendendo a que as distâncias C-H e C-C nesta série são, respectivamente, iguais a $1,10\text{ \AA}$ e $1,54\text{ \AA}$ (Streitwieser & Heathcock 1976), o único membro da série que tem probabilidade de estar ocluído na estrutura do berilo é o metano (CH_4). Pelo seu volume, o metano deve estar fortemente preso nas "cavidades" estruturais do berilo com o diâmetro de $5,1\text{ \AA}$ ou então nas inclusões fluidas tão comuns nos berilos (Cameron *et al.* 1953). Toma-se como evidência disto o fato de que nos diagramas de infravermelhos de berilos calcinados a 900°C , durante cerca de 2 horas, ainda aparecem, por vezes (se bem que muito pouco intensas), as duas bandas de absorção acima referidas. A possibilidade de outros hidrocarbonetos da série $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, além do metano, poderem estar presentes no berilo é muito pouco provável dada a profundidade, dentro da crosta, a que deve ter ocorrido a gênese dos berilos estudados. Na verdade, a profundidades superiores a 5 km , já deve verificar-se a completa despolimerização (Hunt 1980). A provável origem deste "metano" deve ser orgânica e estar ligada a transformações sofridas por restos orgânicos do Pré-Cambriano que, por diagênese, metamorfismo e mesmo anatexia, foram originando compostos orgânicos que, nas fases mais avançadas das transformações, passaram a pertencer aos voláteis que acompanharam os processos de metamorfismo e anatexia. Metano ocorre na crosta a $11,5\text{ km}$ de profundidade (Kerr 1984).

Na região de ocorrência dos pegmatitos Ferreirinha e Olho de Gato, Marciano (1984), no decurso da elaboração da sua dissertação, caracterizou também a presença de CO_2 e "metano" em feldspatos, quartzo e até mesmo em micas.

A maior mobilidade da H_2O e do CO_2 , dentro da estrutura do berilo, evidencia-se pelo fato de, nos diagramas de infravermelhos dos berilos calcinados, as suas bandas de absorção terem desaparecido.

A calcinação das amostras, tal como Ginzburg (1955) já tinha mostrado, levou a expulsão da H_2O e outros voláteis sem apreciável efeito na estrutura cristalina dos berilos, uma vez que as absorções da radiação infravermelha devidas à rede cristalina do berilo ficam inalteradas após a calcinação. Ao mesmo tipo de conclusão, embora usando a difração dos raios-X, chegaram Schaller *et al.* (1962).

Nos seus estudos sobre os espectros de absorção de infravermelhos do berilo, Wood & Nassau (1968) concluíram que a presença de Fe^{+++} em substituição ao Al^{+++} em posição octaédrica causa a cor azul nos cristais das águas-marinhas.

Estudo pelos raios-X De todos os berilos foram obtidos, do seu pó, difratogramas e também espectrogramas de fluorescência de raios-X usando, nos dois casos, equipamento Rigaku, pertencente ao Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais. Os difratogramas foram registrados usando a radiação $\text{K}\alpha$ do Cu e os espectrogramas

Figura 2 – Diagramas de infravermelhos de berilos da Província Pegmatítica Oriental do Brasil (* Absorção causada por CO_2 ; Δ absorção de CH_4 ; • absorção correspondente a H_2O).

de fluorescência de raios-X utilizando radiação do Cr.

A interpretação dos diagramas de difração confirmou a identificação do berilo obtida também por outros métodos. Dos diagramas – calibrados com o pico mais intenso do quartzo, correspondente à família de planos reticulares (10.1), situada, para o valor de 2θ ($^\circ$), a $26,66$ (radiação $\text{K}\alpha$ do Cu) – obtiveram-se os dados que permitiram computar os valores de a_0 , c_0 e do volume da célula elementar dos diversos berilos estudados e cujos resultados se reproduzem na Tab. 1. Para o efeito usaram-se, como referência, os índices (hkl) da estrutura do berilo de Royalston, Mass. (Swanson *et al.* 1960). Em cada caso a computação foi feita utilizando, pelo menos, 10 raia nítidas da estrutura do berilo estudado. Os valores de c_0 variam de $9,273\text{ \AA}$ a $9,186\text{ \AA}$, e os de a_0 , variam de $9,258\text{ \AA}$ a $9,206\text{ \AA}$. Em nove amostras c_0 é maior que a_0 , nas restantes observa-se o contrário (Tab. 1).

Sosedko (1957) sugeriu que a presença de álcalis motiva um aumento no parâmetro c_0 , permanecendo praticamente constante o valor de a_0 . Porém, Bakakin *et al.* (1969) consideram isso improvável, atribuindo as variações de a_0 a substituições em posições octaédricas e, as variações de c_0 a substituições tetraédricas. Segundo Schaller *et al.* (1962), a malha unitária do berilo aumenta de volume com o acrésci-

mo no conteúdo em álcalis, aumentando apenas o valor de a_0 enquanto que o de c_0 permanece essencialmente constante. Berilos de Rosses (Hall & Walsh 1971), provenientes de pegmatitos, granitos e veios, têm dimensões da célula unitária próximas das do berilo anidro sintético (Schaller *et al.* 1962) sugerindo que nem as moléculas de H_2O nem os álcalis têm muito efeito nas dimensões da malha unitária.

As dimensões da célula dos berilos por nós estudadas também não refletem qualquer relação simples com a respectiva composição química. Os maiores valores de c_0 (9,273 Å e 9,256 Å) foram aliás encontrados em berilos com teores sensivelmente baixos em Cs_2O , porém com teores relativamente altos em Fe_2O_3 e MgO . O berilo estudado com maior teor em Cs_2O apresenta um valor de c_0 igual a 9,186 Å, porém com teores muito baixos em Fe e Mg. Os resultados obtidos parecem significar que a substituição octaédrica do Al por Fe e Mg afeta muito os valores dos pares dos parâmetros a_0 e c_0 .

O berilo do Arizona (Schaller *et al.* 1962), com valores de $a_0 = 9,30$ Å e $c_0 = 9,20$ Å, apresenta também teores muito altos em Fe e Mg e relativamente baixos em Al.

Sampaio Filho *et al.* (1973) evidenciaram uma correlação positiva entre o valor de a_0 e o conteúdo quer de (Fe+Mg+Mn) ou quer só em Fe, nos berilos da região de Itambé por eles estudados.

Determinação da densidade De todos os berilos estudados e antes de se proceder a sua moagem, foi determinada a densidade, à temperatura ambiente de 23°C. Foi utilizada uma balança Mettler H-54 com sensibilidade até o centésimo do miligrama. Em cada caso usaram-se três amostras de berilo de modo que a densidade referida (Tab. 1) é uma média de três determinações. As diferenças observadas, em regra na terceira casa decimal, foram interpretadas como resultando de variações na composição das amostras estudadas. Porém a relação entre a composição dos berilos e a sua densidade não é simples. As amostras que mostram as densidades mais baixas (n^{os} 117 e 467 da Tab. 1), ao exame por difração de raios-X revelaram nada mais do que berilo.

Estudo químico Das amostras dos berilos estudados, foram obtidas as análises químicas da Tab. 1. No Mineralogisches Institut der Freien Universitaet Berlin, as análises foram feitas usando fluorescência de raios-X, recorrendo à metodologia correntemente usada naquele Instituto. Nos laboratórios da Geosol, as determinações de SiO_2 , Al_2O_3 e Cs_2O foram feitas por fluorescência de raios-X, as de Li_2O , K_2O e Na_2O foram feitas por absorção atômica e nas de BeO usou-se espectrometria de plasma I.C.P.

A interpretação das análises fez-se usando os valores do volume da malha elementar e da densidade das amostras estudadas. Os resultados desta interpretação estão também indicados na Tab. 1.

Os valores do número de átomos de Si por malha elementar são levemente inferiores ao valor teórico; isto acentua-se nas amostras 117, 391-C e 467. Porém, nas amostras 117 e 467, mediram-se valores muito baixos para a densidade. O número de cátions com coordenação octaédrica (Al, Fe, Mg) aproxima-se também do valor teórico. Só a amostra 117 mostra um valor mais baixo. A associação catiônica (Be^{++} e Li^+) cujo número, por malha, devia somar 6, está dentro dos valores que poderiam ser esperados. Os valores

Figura 3 — Relação entre os teores de " H_2O " e Na, expressos em % ponderais, nos berilos estudados.

de perda ao rubro foram interpretados como H_2O . Na realidade, tendo em mente os resultados obtidos pela absorção de infravermelhos, esta interpretação é só aproximada. Representando os nossos berilos no diagrama H_2O -Na (Fig. 3), eles ficam situados entre duas retas em que a razão H_2O/Na varia de 2 a 3,82. Isto corrobora as observações de Černý & Hawthorne (1976) e Černý & Simpson (1977) e mostra claramente que além de H_2O nos canais estruturais e nas inclusões fluidas dos berilos existem também outros voláteis. Na opinião destes últimos autores para cada Na^+ , que entra nos canais estruturais do berilo, associam-se duas moléculas de H_2O com os dipolos orientados segundo c_0 .

DISTRIBUIÇÃO DOS ÁLCALIS NOS BERILOS No sentido de estabelecer tendências gerais de associação dos álcalis nos berilos, construíram-se alguns diagramas de variação, usando todas as análises consideradas como confiáveis e obtidas na literatura citada no presente trabalho. Tendo em mente que, em certa medida, a dispersão de resultados pode significar diferenças metodológicas na sua obtenção, algumas conclusões parecem no entanto possíveis analisando as figs. 4 (K/Rb), 5 (Rb/Cs), 6 (Li/Cs), 7 (Li/Na) e 8 (Li/Rb), em que os teores correspondentes aos elementos dos diversos pares foram representados em escala bilogarítmica.

Em relação à distribuição do K em função da do Rb, Černý & Turnock (1975) verificaram não haver uma varia-

Figura 4 – Representação dos teores (ppm) de K e Rb contidos em berilos (+ berilos estudados no presente trabalho, • berilos referidos na literatura).

ção regular entre ambos, para os berilos dos pegmatitos Greer Lake, embora Černý & Simpson (1977) tenham encontrado uma rudimentar correlação positiva para os berilos de Tanco. A Fig. 4 mostra uma acentuada dispersão entre ambos os elementos, para que possa ser explicada somente por diferenças de metodologia analítica, significando portanto ausência de qualquer correlação entre ambos. Os valores da razão K/Rb são sempre inferiores a 230.

Já a distribuição do Rb em função da do Cs (Fig. 5) mostra uma razoável correlação positiva, também já constatada, por Černý & Turnock (1975), para os berilos dos pegmati-

Figura 5 – Representação dos teores (ppm) dos Rb e Cs contidos em berilos (+ berilos estudados no presente trabalho, • berilos referidos na literatura).

tos de Greer Lake e igualmente, para os berilos de Tanco, por Černý & Simpson (1977).

Segundo Černý (1975) e Černý & Turnock (1975), a distribuição do Li em função do Cs segue uma tendência quase logarítmica.

A distribuição do Li em função do Cs (Fig. 6), obtida neste trabalho, mostra uma correlação positiva entre os teores de Li e Cs, ainda que se verifique uma grande dispersão nos domínios dos mais baixos teores em Li e Cs.

Figura 6 – Representação dos teores (ppm) de Li e Cs contidos em berilos (+ berilos estudados no presente trabalho, • berilos referidos na literatura)

Entre os teores de Li e os de Na dos berilos dos pegmatitos de Greer Lake, Černý & Turnock (1975) encontraram uma relação praticamente linear e, para um maior número de amostras, Černý (1975), por análise de regressão linear, encontrou uma correlação linear expressa pela seguinte equação:

$$\text{Li} = -0,08000 + 0,46269 \text{ Na} \quad (R_s = 0,814)$$

A representação dos teores de Li em função dos de Na, feita por nós (Fig. 7), revela também uma acentuada correlação positiva entre os teores de ambos os elementos.

Entre os teores de Li e os de Rb dos berilos dos pegmatitos de Greer Lake, Černý & Turnock (1975) mostraram existir uma correlação positiva.

Usando um maior número de resultados analíticos para construir a Fig. 8, observa-se também o mesmo tipo de correlação entre os teores de Li e os de Rb, embora se note uma dispersão acentuada.

A variação dos valores da relação Na/Li em função dos teores em Cs dos berilos, estudados no presente trabalho, enquadra-se muito bem nos diagramas propostos por Černý (1975) e Trueman & Černý (1982). Esta variação tem significado petrológico e metalogenético, como analisaremos mais adiante (Fig. 9).

Um tratamento estatístico mais rigoroso dos dados plotados nas figs. 4, 5, 6, 7 e 8 não foi feito em virtude de não se saber o peso a atribuir a cada um dos métodos analíticos utilizados nas análises utilizadas para construir as figuras.

Figura 7 – Representação dos teores (ppm) dos Li e Na contidos em berilos (+ berilos estudados no presente trabalho, • berilos referidos na literatura)

INTERPRETAÇÃO PETROLÓGICA E METALOGENÉTICA DOS RESULTADOS OBTIDOS Só duas amostras (117 e 148) apresentam traços de Sc. Este elemento, tal como Staatz *et al.* (1965) verificaram, parece concentrar-se em berilos de ambientes geológicos menos diferenciados.

Nos berilos pegmatíticos estudados por Staatz *et al.* (1965) o Sc raramente ultrapassa 5 ppm. Mostra porém uma leve tendência para aumentar nos berilos das rochas encaixantes imediatamente adjacentes ao pegmatito, tende a crescer nos berilos de veios, e os valores mais elevados

Figura 8 – Representação dos teores (ppm) dos Li e Rb contidos em berilos (+ berilos estudados no presente trabalho, • berilos referidos na literatura)

Figura 9 – Representação no diagrama de Trueman & Černý (1982) de berilos brasileiros (• – berilos do presente trabalho, * – berilo de Maxixe, + – berilo do Alto do Giz). A – Pegmatitos estéreis e portadores de Be, Nb, Ta pobres em álcalis raros; B – Pegmatitos com Be, Nb, Ta enriquecidos em álcalis raros; C – Pegmatitos com espodumênio; D – Pegmatitos com mineralização de Li, Rb, Cs, Be e Ta.

ocorrem em berilos de granitos. Os berilos com Sc apresentam-se, por norma, ricos em Fe e Mg. A encaixante do berilo 148 é um biotita granito praticamente sem moscovita (Neves *et al.* 1982). O pegmatito do Morro do Frade, onde o berilo 148 foi coletado, tem fornecido as mais belas águas-marinhas da região de Coronel Murta.

O zinco presente, sob a forma de traços, em todas as amostras estudadas, parece não ser elemento interessante do ponto de vista petrológico.

O Ba, aparecendo em teores abaixo de 100 ppm, não foi correlacionado com quaisquer outros elementos.

Os teores de Rb variam entre limites maiores do que os do Ba. Mostram tendência a aumentar quando os de Cs e de Li aumentam, enquadrando-se assim na tendência geral de variação que se observa em berilos de outras localidades, discutida anteriormente.

O Zr e o Sr encontram-se normalmente abaixo do limite de detecção da espectrografia de fluorescência de raios-X.

O teor em álcalis nos berilos reflete as características geoquímicas dos pegmatitos parentes. Os berilos por nós estudados, nas sistemáticas de Beus (1960) e Černý (1975), poderiam classificar-se nos grupos IV e V (115-A, 115-B e 391-C). A forte variação no teor em Cs das amostras 115 (A, B e C) reflete a ampla variação composicional dos berilos dentro de um mesmo corpo pegmatítico (Hurlbut & Wenden 1951, Černý & Simpson 1977, Černý *et al.* 1981). Na medida em que o teor em Li no berilo aumenta, a relação Na/Li cai drasticamente. A maior parte dos berilos estudados, com elevados valores para a relação Na/Li, projeta-se (Fig. 9) na fronteira entre os campos A e B do diagrama Na/Li – Cs, desenvolvido por Černý (1975) e Trueman & Černý (1982), que correspondem a pegmatitos pouco diferenciados, estéreis e portadores de Be, Na e Ta mas relativamente pobres em álcalis raros. É nestes pegmatitos que

ocorrem, na região de Coronel Murta, as melhores águas-marinhas coletadas no município.

Os resultados obtidos nas regiões de Governador Valadares e de Araçuaí mostram que dos pegmatitos estudados, somente os da área da Mineração Arqueana (Araçuaí) apresentam berilos cujo teor em álcalis é compatível com concentrações razoáveis em Li e Cs nos corpos pegmatíticos correspondentes. Nestes corpos, Sá (1977) referiu a ocorrência de petalita, outros minerais de lítio e de polucita. A representatividade da amostragem, porém, não permite ainda, à escala regional, delimitar as áreas de maior potencialidade para Li e Cs. Isso será feito em trabalho posterior.

Os berilos da província pegmatítica do Itambé, no sul da Bahia, estudados por Sampaio Filho *et al.* (1973), têm valores para a relação Na/Li quase todos maiores do que 3,43. Embora sem determinações quantitativas para Cs, estes autores admitem que os berilos estudados apresentam teores em Cs inferiores a 500 ppm. Isso permite colocar também os pegmatitos portadores destes berilos nos grupos A e B de Trueman & Černý (1982), antes dos do grupo C correspondente aos pegmatitos portadores de espodumênio (Fig. 9). Deste modo, a região entre Itambé e Itapetinga é potencialmente pouco interessante para minérios de Li e Cs, no pressuposto de que a amostragem de Sampaio Filho *et al.* (1973) é representativa. Esta conclusão parece ser corroborada pelo relatório técnico sobre os pegmatitos de

Itambé (Silva *et al.* 1977). Nas sistemáticas de Beus (1960) e Černý (1975), os pegmatitos estudados por Sampaio Filho *et al.* (1973) pertencem ao grupo IV, com a exceção de dois que podem cair no grupo V.

O tipo de conclusão a que se chega pelo estudo dos berilos concorda com o obtido por um dos autores (Neves 1980) com base no estudo dos feldspatos perfiticos.

Agradecimentos A realização do presente trabalho foi tornada possível graças a auxílios de pesquisa concedidos por FINEP, CNPq, CAPES e Alexander von Humboldt-Stiftung (Bonn-Alemanha), aos quais os autores agradecem.

O trabalho experimental foi realizado no Mineralogisches Institut der Freien Universität Berlin, nos laboratórios da Geosol, no Departamento de Química da UFMG e no Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa. Aos professores Mehnert e Buesch, da Universidade Livre de Berlim, o nosso agradecimento pelas facilidades e sugestões que nos proporcionaram. A senhora Eichhorst, da mesma Universidade, agradecemos o apoio na execução das análises feitas em Berlim. À Engenheira Maria José C. Mendes e ao saudoso Professor Geovane Geraldo de Oliveira, são também devidos agradecimentos por sua ajuda na obtenção e interpretação dos diagramas de raios-X e infravermelhos, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S.F. — 1973 — *Recursos Minerais do Brasil*, I vol., Editora da USP, 754 p.
- ALMEIDA, S.C. — 1946 — Tantalita e berilo em "Alto" Feio e Serra Branca. Rio de Janeiro, *DNPM/DFPM*, Avulso 73:1-30.
- ALMEIDA, S.C.; JOHNSTON Jr., W.D.; SCORZA, E.P.; LEONARDOS, O.H. — 1943 — Pegmatitos com berilo, tantalita e cassiterita da Paraíba e Rio Grande do Norte. *Miner. e Metal.*, VII: 115-128.
- ALMEIDA, S.C.; JOHNSTON Jr., W.D.; SCORZA, E.P.; LEONARDOS, O.H. — 1944 — The beryl, tantalite, cassiterite pegmatites of Paraíba and Rio Grande do Norte, NE Brazil. *Econ. Geol.*, 39: 206-223.
- ANDRADE, G.F. & DANNI, J.C.M. — 1978 — As mineralizações de estanho, berilo e cobre do granito da Serra Branca, Cavalcante — GO. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30, Recife, 1978. *Anais...* Recife, SBG, v. 6, p. 2579-2593.
- ARAÚJO, A.G.; LIMA, J.O.A.; MELLO, M.P.; MARTINS Jr., P.P.; LITWINSKI, N. — 1981 — Síntese dos principais recursos minerais do Vale do Jequitinhonha, MG. *Boletim SBG, do Núcleo de MG*, 2: 25-36.
- BAKAKIN, V.V. & BELOV, N.V. — 1962 — Crystal chemistry of beryl. *Geokhimiya*: 484-500.
- BAKAKIN, V.V.; RYLOV, G.M.; BELOV, N.V. — 1969 — Crystal structure of a lithium-bearing beryl by the method of bounded projections. *Dokl. Acad. Sci. URSS*, 188: 659-662 (Em russo).
- BELOV, N.V. — 1958 — Essays on structural mineralogy, IX. *Mineral. Sbornik Geol. Soc. Lvov*, 12: 15-42.
- BELOV, N.V. & MATVEEVA, R.G. — 1950 — Determination of the structural parameters of beryl by the method of bounded projections. *Dokl. Acad. Nauk.*, URSS, 6: 69-82.
- BERGERHOFF, G. & NOWACKI, W. — 1955 — Ueber die Kristallstruktur des Bazzits und Ihre Beziehungen zu der des Berylls. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 35: 410-421.
- BEUS, A.A. — 1960 — *Geochemistry of beryllium and genetic types of beryllium deposits*. Publ. House Acad. Science, Moscow (em russo).
- BRAGG, W.L. & WEST, J. — 1926 — The structure of beryl. $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$. *Proc. Roy. Soc., A*, 2: 691-714.
- CAMERON, E.N.; ROWE, R.B.; WEIS, P.L. — 1953 — Fluid inclusions in beryl and quartz from pegmatites of the Middletown district, Connecticut. *Amer. Mineral.*, 38: 218-262.
- CASSEDANE, J. — 1969 — Primeiras pesquisas com um berilômetro em jazidas de Minas Gerais; uso do aparelho. *Miner. Metal.*, 50(299): 231-240.
- CATRIÚ, L. — 1944 — Mina de berilo e Columbita de Tanquinho, Paraíba. *Miner. Metal.*, 7: 340-352.
- ČERNÝ, P. — 1975 — Alkali variations in pegmatitic beryls and their petrogenetic implications. *Neues Jahrb. Mineral. Abh.*, 123: 198-212.
- ČERNÝ, P. (Editor) — 1982 — Short Course in Granitic Pegmatites. *Min. Association of Canada*, 8: 1-555.
- ČERNÝ, P. & SIMPSON, F.M. — 1977 — The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. IX. *Beryl. Can. Mineral.*, 15: 489-499.
- ČERNÝ, P. & HAWTHORNE, F.C. — 1976 — Refractive indices versus alkali contents in beryl: general limitations and applications to some pegmatitic types. *Can. Mineral.*, 14: 491-497.
- ČERNÝ, P.; TRUEMAN, D.L.; ZIEHLKE, D.V.; GOAD, B.E.; PAUL, B.J. — 1981 — The Cat Lake — Winnipeg River and the Wekusko Lake Pegmatite fields, Manitoba. Dep. of Energy and Mines, Econ. Geology Report, 216 p. (ER80-1) 1-216.
- ČERNÝ, P. & TURNOCK, A.C. — 1975 — Beryl from the granitic pegmatites at Greer Lake, Southeastern Manitoba. *Can. Mineral.*, 13: 55-61.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. — 1962 — *Rock-Forming Minerals I*, London, Longman's.
- DORFMAN, N.D. — 1952 — On the question of determination of the origin of beryl. *Akad. Nauk SSSR Dokl.*, 82: 623-624.
- EVANS, H.T. Jr. & MROSE, M.E. — 1966 — Crystal chemical studies of cesium beryl. In: GEOL. SOC. AMER. ANN. MEET., San Francisco, 1966. *Program Abstr.*: 63.
- FEKLITCHEV, V.G. — 1963 — Chemical composition of minerals of the beryl group, character of isomorphism, and position of principal isomorphous elements in the crystal structure. *Geokhimiya*, p. 410-421.

- FEKLITCHEV, V.G. — 1964 — *Beryl, morphology, composition, and structure of crystals*. Nauka, Moscow (em russo).
- FRANCO, R.R. — 1945 — Berilo em Altinho, Pernambuco. *Miner. Metal.* 9(53): 201-202.
- FRANCO, R.R. — 1981 — Brazilian gemstones. *Earth. Science Reviews*, 17 (special issue, the Geology of Brazil): 207-219.
- GIBBS, G.V.; BRECK, D.W.; MEAGHER, E.P. — 1968 — Structural refinement of hydrous and anhydrous synthetic beryl, $\text{Al}_2(\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18})$ and emerald, $\text{Al}_{1.9}\text{Cr}_{0.1}(\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18})$. *Lithos*, 1: 275-285.
- GINZBURG, A.I. — 1955 — On the question of the composition of beryl. *Trans. Miner. Mus. Acad. Sci. USSR*, 7: 56.
- HALL, A. & WALSH, J.N. — 1971 — The beryls of the Rosses District, Donegal. *Miner. Mag.*, 38: 328-334.
- HAWTHORNE, F.C. & ČERNÝ, P. — 1977 — The alkali-metal positions in Cs-Li beryl. *Can. Mineral.*, 15: 414-421.
- HUNT, J.M. — 1980 — *Geochemistry of Petroleum*. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- HURLBUT Jr., C.S. & WENDEN, H.E. — 1951 — Beryl at Mount Mica, Maine. *Amer. Min.*, 36: 751-759.
- JAHS, R.H. — 1982 — Internal evolution in pegmatite bodies. In: Černý ed. p. 293-327.
- JOHNSTON Jr., W.D. — 1945a — *Os pegmatitos berilo-tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil*. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. 85 p. (Boletim 72)
- JOHNSTON Jr., W.D. — 1945b — *Pegmatitos ambligonita-berilo-tantalíferos do Ceará, NE do Brasil*. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. 44 p. (Avulso 66)
- JOHNSTON Jr., W.D. — 1945c — Beryl-tantalite pegmatites of northeastern Brazil. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 56: 1015-1070.
- KERR, P.F. — 1946 — Kaolinite after beryl from Alto do Giz, Brazil. *Amer. Min.*, 31: 435-442.
- KERR, R.A. — 1984 — Continental Drilling Heading Deeper. *Science*, 244: 1418-1420, jun.
- LEONARDOS, O.H. — 1942 — Berilo no Estado do Rio de Janeiro. *Miner. Metal.*, 6(33): 133-134.
- MARCIANO, V.R.P.R.O. — 1984 — *Contribuição ao estudo da Mineralogia e Geoquímica de pegmatitos da Região de Governador Valadares (Minas Gerais)*, (Dissertação de Mestrado (USP))
- MENEZES, S.O. — 1982 — *Catálogo dos Principais Pegmatitos do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, Departamento de Recursos Minerais do Estado. 134 (Boletim Técnico, 2)
- MORAES, L.J. — 1932 — *Berilo e outros minerais de glúcnio*. Rio de Janeiro, Ser. Geol. Miner. Brasil. 9 p. (Boletim 60.)
- MORAES, L.J. — 1943 — Berilo em Glicério. *Miner. Metal.* 7(38): 73.
- MORAES, L.J. — 1944 — Uma nova ocorrência de berilo no Estado de São Paulo. *Bol. Fac. Fil. Ciências e Letras*, 45: 3-14 (Geologia).
- MOROSIN, B. — 1972 — Structure and thermal expansion of beryl. *Acta Cryst.*, B 28: 1899-1903.
- NUNES, J.E.L. — 1973 — Contribution à l'étude mineralogique et géochimique des pegmatites du Mozambique. *Sciences de la Terre, Mémoire* 26: 261 pages.
- NEVES, J.M.C. — 1962 — Pegmatitos da Região de Venturinha (Penalva do Castelo, Viseu). *Mem. Notícias. Univ. Coimbra*, 54: 1-153.
- NEVES, J.M.C. — 1964 — Genese des zonar gebauten Beryllpegmatits von Venturinha (Viseu, Portugal) in geochemischer Sicht. *Heldel. Beit. zur Min. und Petr.*, 10: 357-373, Correns vol.
- NEVES, J.M.C. — 1980 — Composition and structural state of feldspars from the eastern pegmatite province of Minas Gerais (Brazil). 15 p. (Trab. apres. no INT. GEOL. CONGR., 26, Paris, 1980).
- NEVES, J.M.C.; NUNES, J.E.L.; LUCAS, D.B. — 1972 — Mineralogy and Geochemistry of Pegmatites from Mozambique (P.E.A.). In: INT. GEOL. CONGR., 24, 1972. *Proceedings*. . . sec. 10, p. 37-44.
- NEVES, J.M.C.; MONTEIRO, R.L.B.P.; SOARES, A.C.P. — 1982 — Granitóides da Região de Coronel Murta, Minas Gerais — Brasil, I-Petrografia. In: CONGR. LATINO-AMER. GEOL., 5, Argentina, 1982. *Actas*. . . v. 2, p. 133-146.
- PAIVA, G. — 1946 — *Províncias Pegmatíticas do Brasil*. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. p. 13-21. (Bol. 78)
- PUTZER, H. — 1976 — *Mettallogenetische Provinzen in Suedamerika*. Stuttgart, 318 p. E. Schweizerbart'sche Verlags.
- ROEBLING, W. & TROMNAU, H.W. — 1935 — Maxixeberyll II. Analyse und Beitrage zur Trennung Beryllium-Aluminium und der Alkalien. *Zentr. Min. Abt. A*: 134-139.
- ROLFF, P.A.M. de A. — 1944 — Berilo e tantalita no Nordeste. *Rev. Esc. Minas de Ouro Preto*, 9(2): 70-72.
- ROLFF, P.A.M. de A. — 1945 — *Geologia da Província tantalito-glúcnifera da Borborema*. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. 72 p. (Boletim 73)
- ROLFF, P.A.M. de A. — 1969 — O pegmatito lítio-estaniífero de Jucá-Itapiúna, Ceará. *Rev. Esc. Minas de Ouro Preto*, 27(4): 161-165.
- ROLFF, P.A.M. de A. & PAIVA, G. — 1946 — *Minerais dos pegmatitos da Borborema*. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. 76 p. (Boletim 78)
- ROY, P.L.; DOTTIN, O.; MADON, H.L. — 1964 — Estudos dos pegmatitos do Rio Grande do Norte e da Paraíba. L. SUDENE. *Depart. Recursos Naturais. Divisão de Geol.* 124 p. (Série Geol. Econômica)
- SÁ, J.H.S. — 1977 — *Pegmatitos litiníferos da região de Itinga — Araçuaí, Minas Gerais*. 112 p. (Tese de doutoramento (USP)). 112 p.
- SAMPAIO FILHO, H.A.; SIGHINOLFI, G.P.; GALLI, E. — 1973 — Contribution to the crystal chemistry of beryl. *Contrib. Miner. Petrol.*, 38: 279-290.
- SCHALLER, W.T.; STEVENS, R.E.; JAHNS, R.H. — 1962 — An unusual beryl from Arizona. *Amer. Min.*, 47: 672-699.
- SCHLOSSMACHER, K. & KLANG, H. — 1935 — Der Maxixeberyll I. *Zentr. Min. Abt. A*: 37-44.
- SILVA, E.F.A.; MARINHO, M.M.; ANDRADE, A.P.; LAGO COSTA, A.A.; CUNHA, J.C. — 1977 — *Projeto Pegmatitos de Itambé*, Geologia-Texto — vol. 1. Relatório inédito, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, 166p.
- SOSEDKO, T.A. — 1957 — The change of structure and properties of beryls with increasing amounts of alkalis. *Mem. All. Union Min. Soc.*, 86: 495.
- STAATZ, M.H.; GRIFFITTS, W.R.; BARNETT, P.R. — 1965 — Differences in the minor element composition of beryl in various environments. *Amer. Min.*, 50: 1783-1795.
- STREITWIESER, A. & HEATHCOCK, C. — 1976 — *Introduction to organic chemistry*. s.L., MacMillan.
- SUSZCZYNSKI, E.F. — 1975 — *Os recursos minerais reais e potenciais do Brasil e sua metalogenia*. s. L. Gráfica Olímpica Editora. 536 p.
- SVISERO, D.P. — 1976 — Um novo hábito em berilo. *Ciência e Cultura*, 28(7): 212.
- SWANSON, H.E.; COOK, M.I.; ISAACS T.; EVANS, E.H. — 1960 — Standard X-Ray diffraction powder patterns. *NBS circular* 539. vol. 9: 13-15.
- TRUEMAN, D.L. & ČERNÝ, P. — 1982 — Exploration for rare-element granitic pegmatites. In: Černý ed. p. 463-493.
- VORMA, A.; SAHAMA, TH. G.; HAAPALA, I. — 1965 — Akali position in the beryl structure. *C.R. Soc. Geol. Fin.* 37: 119-129.
- WEGNER, R. — 1983 — *Spurenelemente in Granitpegmatiten in Bundesstaat Feldspate*. s.L. (Tese de doutorado apresentada na Univ. Freiburg) 154 p.
- WINCHEL, A.N. — 1951 — *Elements of optical mineralogy*. 4 th ed., John Wiley, part. 2.
- WOOD, D.L. & NASSAU, K. — 1968 — The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy. *Amer. Min.*, 53: 777-800.

MANUSCRITO

Recebido em 26 de setembro de 1984.

Revisão aceita em 12 de novembro de 1984.