



**BERILO DOS PEGMATITOS IPÊ, FERREIRINHA, JONAS LIMA E
ESCONDIDO, GOVERNADOR VALADARES, MG: DADOS CRISTA-
LOQUÍMICOS**

D.T.de Newman Carvalho^{1,*}, A.L. Gandini¹, R.M.S. Bello^{2,**}, M.L.S., Fernandez³,
V.R.P.R.O Marciano³, G.M. da Costa⁴, L.A.C. Souza^{5,***}

¹Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade federal de Ouro Preto

²Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

³Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais

⁴Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto

⁵Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais

E-mail: *daniela@degeo.ufop.br, **rosabell@usp.br, ***luiz-souza@ufmg.br

Recebido para publicação em fevereiro de 2004, aprovado para publicação em julho de 2007

ABSTRACT

The Ipê, Ferreirinha, Jonas Lima and Escondido Pegmatites are situated in the Governador Valadares Pegmatitic District, Minas Gerais State, Brazil, and belongs to the Marilac Pegmatitic Field, hosted in the Rio Doce Group. This work shows the physicochemical and optical characteristics of 14 beryl samples from these pegmatites. The beryl type evolution from normal (N), to transition (NT), and tetrahedral (T) was obtained from c_0/a_0 ratio determined from X-ray diffraction. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) data permitted the characterization of the fluid components, as CO₂, CH₄ and H₂O types I and II. The mass loss variation (H₂O and CO₂ ± alkaline elements) from 0,5 to 3,0%, showed by the Termogravimetric and Termodiferential Analyses (TGA/DTA) analysis, was indicated by three (Jonas Lima and Escondido) or two (Ipê and Ferreirinha) distinct ranges. The density (2,66 as 2,72) and the refractive index data (n_o from 1,574 to 1,585 and n_e from 1,580 to 1,591) was given by physical tests. The beryl crystals contain a great number of two, three or multiphase fluid inclusions, primary, pseudosecondary and/or secondary in origin, with aqueous or aqueous carbonic solutions. The last ones show different CO₂ contents depending on the sample localization. The data represent a geochemical evolution from the less (Ipê/Ferreirinha) to the more differentiated (Jonas Lima/Escondido) alkaline elements and CO₂ enriched pegmatite bodies.

RESUMO

Os pegmatitos Ipê, Ferreirinha, Jonas Lima e Escondido situam-se no Campo Pegmatítico de Marilac, Distrito Pegmatítico de Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil e encontram-se encaixados nos micaxistos da Formação São Tomé, Grupo Rio Doce. Este artigo trata das características físico-químicas e ópticas de 14 amostras de berilo provenientes desses pegmatitos. Por meio da razão c_0/a_0 , obtidas por difração de raios X (DRX), foi possível caracterizar uma evolução politípica para os berilos que vai desde o normal (N), passando pelo de transição (NT) até o tetraédrico (T). Os dados de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) permitiram a caracterização dos componentes fluidos, CO₂, CH₄ e H₂O tipos I e II. Análises Termodiferenciais e Termogravimétricas (ATD/ATG) indicaram três (Jonas Lima

e Escondido) ou dois (Ipê e Ferreirinha) intervalos distintos de perda de massa (H_2O e $CO_2 \pm$ álcalis), que variaram de 0,5 a 3,0%. Os dados de densidade (2,66 a 2,72) e índices de refração (n_o de 1,574 a 1,585 e n_e de 1,580 a 1,591) foram obtidos por métodos físicos. Os cristais de berilo contêm um grande número de inclusões fluídas monofásicas, bifásicas, trifásicas ou polifásicas, de origem primária, pseudo-secundária ou secundária, compostas basicamente por soluções aquosas e aquo-carbônicas. Os teores de CO_2 presentes nessas inclusões variam de acordo com o posicionamento da amostra no corpo. Tais dados representam uma evolução geoquímica que vai dos pegmatitos menos diferenciados (Ipê/Ferreirinha) em direção aos de maior grau de diferenciação, contendo maiores teores de CO_2 e álcalis (Jonas Lima/Escondido).

INTRODUÇÃO

Nesse trabalho são apresentadas as propriedades físicas e as características químicas de cristais de berilo de quatro corpos pegmatíticos situados à nordeste da cidade de Governador Valadares, MG, porção leste da Folha de Marilac (SE-23-Z-B-VI) (Pinto *et al.*, 2002), dando continuidade aos estudos em desenvolvimento na região (Marciano, 1985; Correia Neves, 1986; Achtschin, 1996; Gandini, 1999; Bello *et al.*, 2001; Gandini *et al.*, 2001; entre outros). Novas amostras foram coletadas, tendo sido selecionados para análises 10 cristais de água-marinha, 2 de morganita e 2 de goshenita dos pegmatitos Ipê, Ferreirinha, Jonas Lima e Escondido (Tabela 1). Deve-se ressaltar que a exploração nos Corpos Ferreirinha e Jonas Lima é realizada em duas cavas distintas, denominadas, respectivamente de Ferreirinha I, II e Jonas Lima I, II.

A estruturação desses corpos varia do tipo zonado simples (Ipê/Ferreirinha) ao complexo (Jonas Lima/Escondido). São constituídos essencialmente por feldspato, por vezes, pertítico, quartzo (hialino, fumé,

róseo e leitoso), muscovita, albita, às vezes, cleavelandita. Os acessórios mais comuns são: biotita, granada, ferrocolumbita-tantalita, turmalina (preta, verde e, mais raramente, azulada) e berilo (industrial, água-marinha, morganita e goshenita) (Marciano, 1985; Correia Neves *et al.*, 1986; Achtschin *et al.*, 1996; Gandini, 1999).

LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS GEOLÓGICOS DA ÁREA

A região estudada compreende uma superfície de, aproximadamente, 3.000km² da porção leste de Minas Gerais, inserida na Folha de Marilac (SE-23-Z-B-IV). Está delimitada a sul pelo paralelo 19° S, a norte pelo paralelo 18°30' S e pelos meridianos 42°30' e 42° (Figuras 1 e 2). Trata-se de uma região clássica em ocorrências de bens minerais em pegmatitos, destacando-se feldspato, quartzo, mica, berilo (industrial, água-marinha, morganita e goshenita) e turmalina (negra, verde e azul) (Pinto *et al.*, 2002).

Os pegmatitos estudados pertencem ao Campo Pegmatítico de Marilac, Distrito Pegmatítico de Governador Valadares, Província Pegmatítica Oriental do Brasil

Tabela 1: Dados referentes à coleta de amostras

Corpo Pegmatítico	UTM		Nº amostras	Variedade*
	Leste	Norte		
Ipê	805100	7925040	03	agm
Ferreirinha I	807356	7926757	02	agm
Ferreirinha II	807440	7926624	01	agm
Jonas Lima I	806370	7926371	01	agm
Jonas Lima II	805017	7926220	02	agm, morg
Escondido	809365	7929905	05	agm, morg, gosh

* agm: água-marinha; morg: morganita; gosh: goshenita

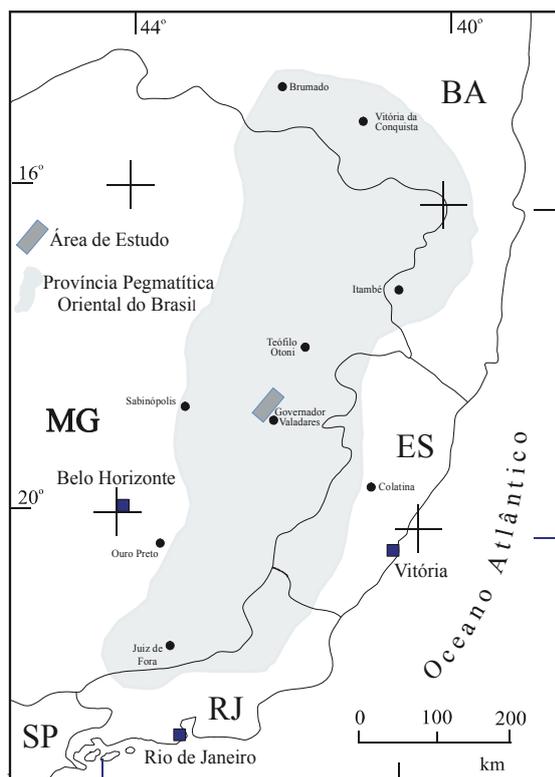


Figura 1: Mapa mostrando os limites da Província Pegmatítica Oriental do Brasil e a localização da área de estudo (modificado de Paiva, 1946; Putzer, 1976 e Schobbenhaus *et al.*, 1981 e 1984).

(Paiva, 1946; Figura 1). Localizam-se na porção oriental da Faixa Araçuaí, porém nas proximidades da borda leste do Cráton do São Francisco, e encontram-se encaixados nos micaxistos da Formação São Tomé do Grupo Rio Doce (Figura 2), atribuído ao Proterozóico Médio a Superior (Pinto *et al.*, 2002). Constituem corpos tabulares concordantes com as encaixantes que se encontram complexamente deformadas e metamorfizadas em fácies anfíbolito (Pinto *et al.*, 2002). Idades Rb/Sr $\approx 497 \pm 13$ Ma, relativas ao Ciclo Brasileiro, foram obtidas em muscovitas do Pegmatito Ferreirinha (Marciano, 1985).

MÉTODOS ANALÍTICOS

Cinco metodologias distintas foram aplicadas para a obtenção dos dados analíticos. Os parâmetros de cela unitária foram calculados a partir de dados gerados

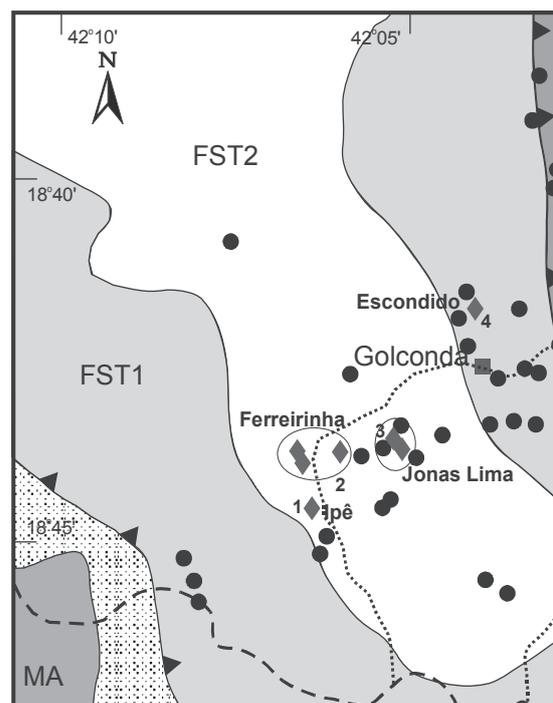


Figura 2: Mapa geológico mostrando a localização dos quatro corpos pegmatíticos estudados (adaptado de Gandini, 1999).

pelos difratogramas de raios X obtidos pelo método do pó em uma mistura de berilo com 10% de NaCl, em um difratômetro Shimadzu, modelo XRD6000, equipado com tubo de Co e filtro de Fe, disponível no Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (UFOP).

A densidade relativa foi obtida por meio de uma balança analítica eletrônica, da marca Sartorius Ag. Göttingen, modelo LP6205, com precisão de 0,0001g, pertencente ao Centro de Pesquisa Professor Manuel Teixeira da Costa, Instituto de Geociências (UFMG).

Os índices de refração foram determinados por meio de um refratômetro para sólidos Rayner, pertencente ao laboratório de Gemologia do Departamento de Geologia, Escola de Minas (UFOP).

As análises de FTIR foram realizadas no Centro de Conservação e Restauração, Escola de Belas Artes (UFMG), em um espectrômetro da marca Bomem/Hartmann

& Braun, modelo MB 100C23, com detector MCT, utilizando-se de uma célula de diamante, modelo SPG 466.

As análises termogravimétricas (ATG) e termodiferenciais (ATD) foram efetuadas utilizando-se o equipamento SDT 2960, Simultaneous DTA – TGA, marca TA Instruments, com taxa de aquecimento de 10°C/min, num intervalo de 20°C a 1.400°C, com fluxo de ar especial (80%N₂ e 20%O₂), pertencente ao Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (UFOP).

Os estudos petrográficos e o mapeamento das inclusões fluidas foram realizados em microscópio petrográfico binocular Leitz Wetzlar, com ocular de 10x e objetivas de 3,5x, 10x e 32x/UT-50, no Departamento de Geologia, Escola de Minas (UFOP) e no Instituto de Geociências (USP).

PROPRIEDADES FÍSICAS E CRISTALOQUÍMICA

A existência de berilos de dimensões métricas, proveniente desses corpos pegmatíticos é mencionada por Pinto *et al.* (2002). Os cristais amostrados possuem, no entanto, comprimentos variando de 2,5cm a 15cm e espessuras de 1,5cm a 12cm, sendo 8 de hábito prismático hexagonal com terminação em pinacóide.

Dos cristais de água-marinha provenientes das quatro lavras, 9 possuem colorações que variam do verde-azulado ao azul e 1, da lavra do Ferreirinha I, exibe coloração amarelada, levemente esverdeada. Os 2 cristais de morganita, provenientes das lavras do Jonas Lima II e Escondido, apresentam coloração rósea e as 2 goshenitas, da lavra do Escondido, são incolores e, por vezes, parcialmente leitosas. Vale ressaltar a existência de uma amostra de berilo zonada [Esc5731a (y)], do Pegmatito Escondido, sendo incolor no núcleo e rósea nas bordas (Tabela 2).

De acordo com Černý & Hawthorne (1976), as propriedades físicas do berilo variam em função de seu quimismo, havendo uma correlação positiva entre o teor de álcalis na estrutura do mineral e os valores de densidade, índice de refração (n_o e n_e) e birrefringência. O valor de n_o , ainda fornece indicação sobre a zona de proveniência da amostra no pegmatito (Černý & Simpson 1977).

A análise das densidades relativas, considerando-se todas as amostras de berilo, forneceram valores compreendidos entre 2,69 [cristal de coloração azulada IPE 03 (G)] e 2,78 [cristais de coloração rósea do Jonas Lima II - JNL II (MORG) - e do Escondido - ESC 5731(A) gosh] (Tabela 2).

Tabela 2: Propriedades físicas e ópticas das amostras de berilo.

Amostra	d	c_o/a_o	n_o	n_e	Δ	cor
IPE 5542 ber	2,71	0,997182	1,580	1,572	0,008	azul-esverdeado
IPE 01 (G) A	2,72	0,997288	1,585	1,578	0,007	azul claro
IPE 03 (G)	2,69	0,997939	1,585	1,580	0,005	azul forte
FER I-D2	2,71	0,998264	1,585	1,580	0,005	azul-esverdeado
FER D3 (A)	2,72	0,998697	1,586	1,580	0,006	azul claro
FER II-D3-C	2,70	0,997614	1,583	1,578	0,005	amarelo-esverdeado
JNL II (MORG)	2,78	1,001519	1,591	1,582	0,009	rósea
JNL D2 (B)	2,71	0,997506	1,580	1,575	0,005	azul claro
JNL I-D1-C-REJ	2,70	0,998373	1,586	1,578	0,008	azul claro
ESC 5731a (V)	2,70	0,997614	1,583	1,578	0,005	azul-esverdeado
ESC 5731 (AE) B	2,71	0,997072	1,585	1,577	0,007	azul escuro
ESC 5731(A) gosh	2,78	1,001737	1,589	1,580	0,009	incolor
ESC 5731 a (Y) morg	2,72	1,001627	1,589	1,580	0,009	rósea
ESC 5731 a (Y) gosh	2,71	0,999674	1,591	1,581	0,010	incolor

No caso dos índices de refração, para todos os cristais estudados, o n_o variou entre 1,580 e 1,591, enquanto que o n_e entre 1,572 e 1,582. Os maiores valores de n_o (1,589 e 1,591) são referentes aos cristais de morganita e goshenita do Jonas Lima e do Escondido, enquanto que o maior valor de n_e (1,582) refere-se à amostra de coloração rósea, proveniente do Pegmatito Jonas Lima II. As birrefringências são menores ($\approx 0,005$) para os cristais de água-marinha e maiores ($\approx 0,010$) para os cristais de goshenita do Escondido (Tabela 2).

Observou-se, ainda, uma tendência sugestiva de correlação positiva entre os dados de densidade e índice de refração (n_o), onde ocorre, de modo geral, um acréscimo nos valores desses dois parâmetros na seqüência Ipê, passando pelo Ferreirinha I e II, Jonas Lima I e II e, finalmente, Escondido, seguindo a direção SW para NE da Figura 2. Essa correlação positiva estaria relacionada ao acréscimo observado nos teores de álcalis, na mesma seqüência acima, a partir dos dados de Gandini (1999), que também indicam a existência de um zoneamento geoquímico interno nos corpos, responsáveis pela variação desses parâmetros em amostras de um mesmo pegmatito (Figuras 3 e 4).

Os resultados obtidos até o presente, associados aos dados químicos (Tabela 3) obtidos por Gandini (1999), mostraram, de modo geral, muitas relações concordantes com as discutidas por Černý & Hawthorne (1976), uma vez que a existência de um zoneamento químico, com aumento nos teores de álcalis dos cristais da lavra do Ipê para aqueles de Ferreirinha I e II, Jonas Lima I e II e Escondido, é acompanhado pelo acréscimo nas densidades, nos índices de refração (n_o) e, ainda, nas birrefringências. Deve ser, no entanto, observado que muitas vezes essas correlações são mascaradas pela existência de um zoneamento interno nos corpos pegmatíticos.

A partir dos dados de FTIR e de DRX, de acordo com Aurisichio *et al.* (1994), foi feita uma correlação das bandas situadas próximo a 1.200cm^{-1} e a 810cm^{-1} , referentes às ligações Si-O-Si e Be-O, respectivamente, com as razões c_o/a_o , o que permitiu caracterizar os politipos das amostras de berilo (Figuras 5 e 6). Observou-se que 3 cristais do Ipê, 1 do Ferreirinha I, 1 do Jonas Lima I e 2 do Escondido, de coloração esverdeada a azulada, representam berilos tipo N (normal); 2 cristais do Ferreirinha I e II e 1 do Jonas Lima I, de coloração azulada, representam berilos tipo N-T (de transição); 1 cristal róseo do Jonas Lima II e 3 de coloração rósea e incolor, do Escondido representam berilos tipo T (tetraédricos), com substituições no sítio tetraédrico do Be por Li e/ou, mais raramente, por Si.

Foram identificados, por análises de ATG, 3 intervalos de perda de massa para amostras dos pegmatitos Jonas Lima I e II e Escondido (Figura 7, c e d), representados por curvas endotérmicas, obtidas por análises de ATD. A primeira ocorre até, aproximadamente, 220°C , variando de 0,5 a 1,5%, referindo-se ao início da desidratação dos berilos pela perda parcial de H_2O . A segunda (0,5 a 0,8%) ocorre em temperaturas entre 230 e 650°C , estando relacionada à maior perda de CO_2 e menor perda de H_2O . A terceira, por sua vez, varia de 0,5 a 3,0%, tem seu início em temperaturas acima dos 700°C culminando a, aproximadamente, 1.100°C e corresponde a total perda de H_2O e/ou álcalis. No entanto, para as amostras pertencentes aos pegmatitos Ipê e Ferreirinha I e II (Figura 7, a e b) foram registrados apenas 2 intervalos de perda de massa (até 230°C e de 700 a 1.100°C), devidos, provavelmente, à diminuição da quantidade de CO_2 e de álcalis no mineral.

INCLUSÕES FLUIDAS

As inclusões fluidas presentes nas amostras de berilo possuem morfologias regulares (cristais negativos), predominantes

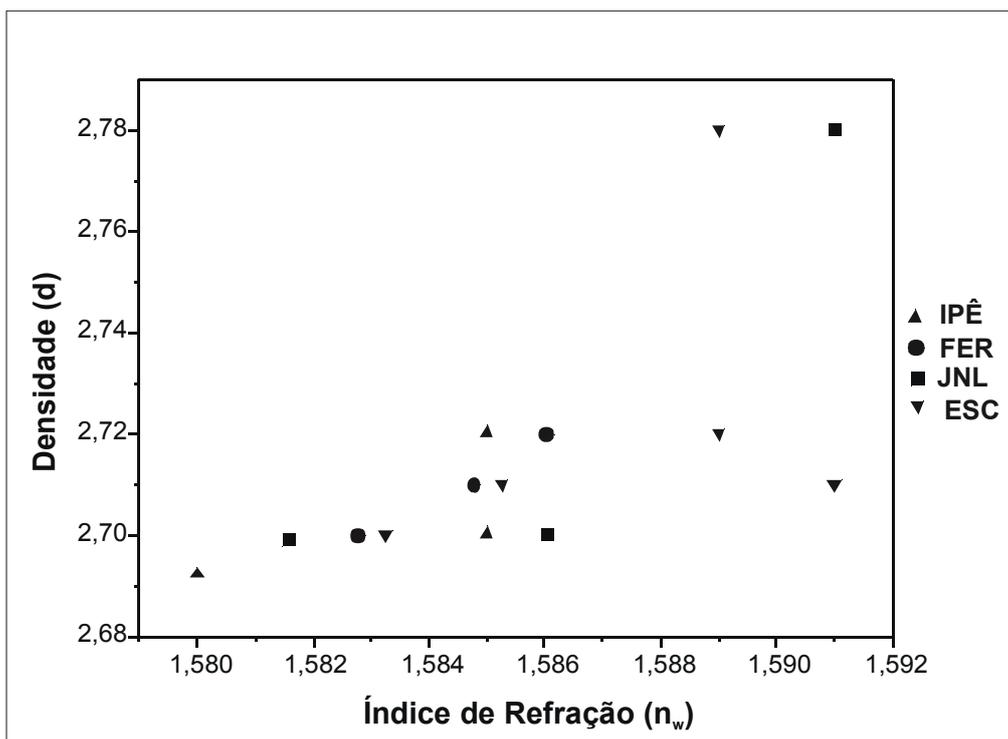


Figura 3: Diagrama $d \times n_w$, mostrando uma tendência indicativa de correlação positiva entre esses parâmetros, sugestiva de um trend de diferenciação magmática.

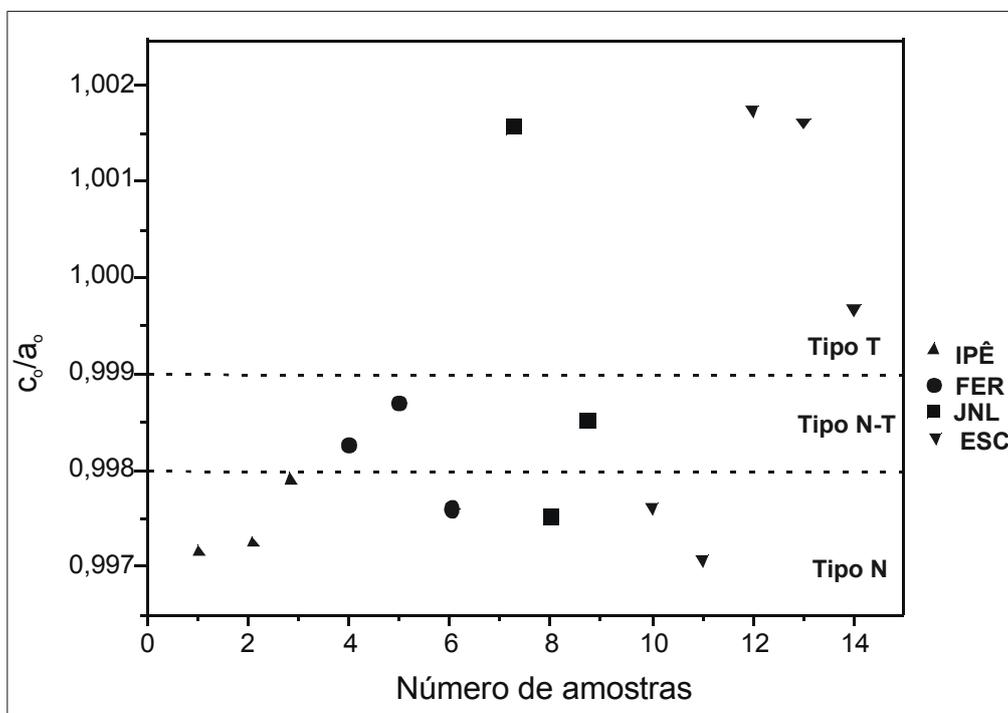


Figura 4: Diagrama $c_o/a_o \times n^\circ$ de amostras, mostrando uma tendência indicativa de correlação positiva entre esses parâmetros, sugestiva de um trend de diferenciação magmática.

Tabela 3: Dados químicos para os berilos do Campo Pegmatítico de Marilac (Gandini, 1999).

Amostra Localização	5541a Ipê	5542 Ipê	2236B Fer. II	5584 Fer. I	5624a J. Lima I	5624b J. Lima II	5676 Esc.	5731a Esc.	5731morg Esc.	5731gos Esc.
Si	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
^{IV} Al										
Be										
^{VI} Al	1,888	1,910	1,905	1,933	1,945	1,959	1,974	1,987	1,998	1,983
Fe ³⁺	0,027	0,042	0,000	0,012	0,021	0,014	0,004	0,008	0,000	0,008
Fe ²⁺	0,022	0,001	0,000	0,031	0,016	0,022	0,019	0,003	0,000	0,006
Mn	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
Mg	0,061	0,045	0,000	0,023	0,017	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001
Ti	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Soma	2,000	2,000	1,906	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Be	2,500	2,511	2,77	2,534	2,538	2,521	2,427	2,31	2,266	2,266
Li ⁺	0,011	0,011	0,015	0,007	0,008	0,004	0,03	0,06	0,086	0,098
Si	0,207	0,169	0,155	0,208	0,142	0,194	0,256	0,246	0,248	0,202
^{IV} Al	0,060	0,101		0,039	0,081	0,042	0,023	0,058	0,037	0,074
Soma	2,778	2,792	2,940	2,788	2,769	2,761	2,736	2,674	2,637	2,640
Vazio	0,222	0,208	0,060	0,212	0,231	0,239	0,264	0,326	0,363	0,360
Na ⁺	0,050	0,018	0,092	0,009	0,120	0,068	0,027	0,130	0,199	0,185
K ⁺	0,002	0,002	0,006	0,004	0,007	0,00	0,002	0,006	0,006	0,012
Cs ⁺	0,003	0,003	0,006	0,003	0,002	0,003	0,006	0,014	0,058	0,14
Rb ⁺	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,004	0,005	0,002
Ca ²⁺	0,002	0,002	0,000	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Rf - canal	0,057	0,026	0,105	0,019	0,130	0,073	0,037	0,155	0,269	0,340

sobre as irregulares, representadas na Prancha 1, a. Distribuem-se segundo orientações paralelas, perpendiculares ou inclinadas em relação ao eixo c do mineral hospedeiro, com feições indicativas de origem primária (Prancha 1, b), embora também tenham sido observadas em planos de cicatrização de fraturas internas, constituindo inclusões pseudo-secundárias (Prancha 1, c). Em alguns casos, encontram-se em fraturas muito bem delineadas, sugerindo uma origem posterior em relação às pseudo-secundárias (Prancha 1, d). Embora essas fraturas aparentem ser transgranulares, essas inclusões não podem ser indubitavelmente classificadas como secundárias, uma vez que as lâminas representam apenas pequena parte do cristal analisado. Feições de escape e estrangulamento são freqüentes bem como a presença de efeito “chuva”, nos cristais de água-marinha (Prancha 1, e). Os sólidos presentes nas inclusões fluidas,

são, em sua maioria, anisótipos, possuem coloração castanho-avermelhado ou verde, sendo, provavelmente, palhetas de mica, provenientes dos micaxistos da Formação São Tomé (Prancha 1, f), aprisionadas ocasionalmente.

À temperatura ambiente, predominam, na água-marinha do Pegmatito Ipê, inclusões fluidas bifásicas (l-v) e, subordinadamente, monofásicas, trifásicas (l-v-s₁) e polifásicas (l-v-s₁-s₂). Não ocorre a individualização de dois líquidos imiscíveis [H₂O_(l) e CO_{2(l)}] nas inclusões trifásicas e multifásicas, sendo sua classificação baseada apenas no número de sólidos aprisionados. A proporção volumétrica da fase vapor nas, inclusões bifásicas, varia de 10% a 70% (Prancha 1, g).

Nos cristais de água-marinha do Pegmatito Ferreirinha I e II, predominam as inclusões fluidas bifásicas (l-v), estando também presentes as trifásicas (l-v-s₁),

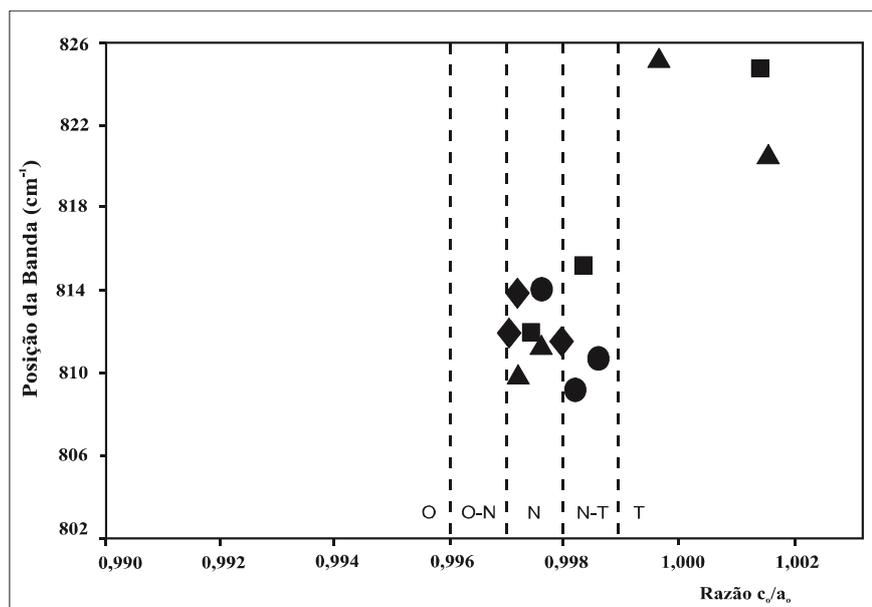


Figura 5: Caracterização dos polítipos de berilo, segundo a banda referente à ligação Be-O (adaptado de Aurisicchio *et al.*, 1994).

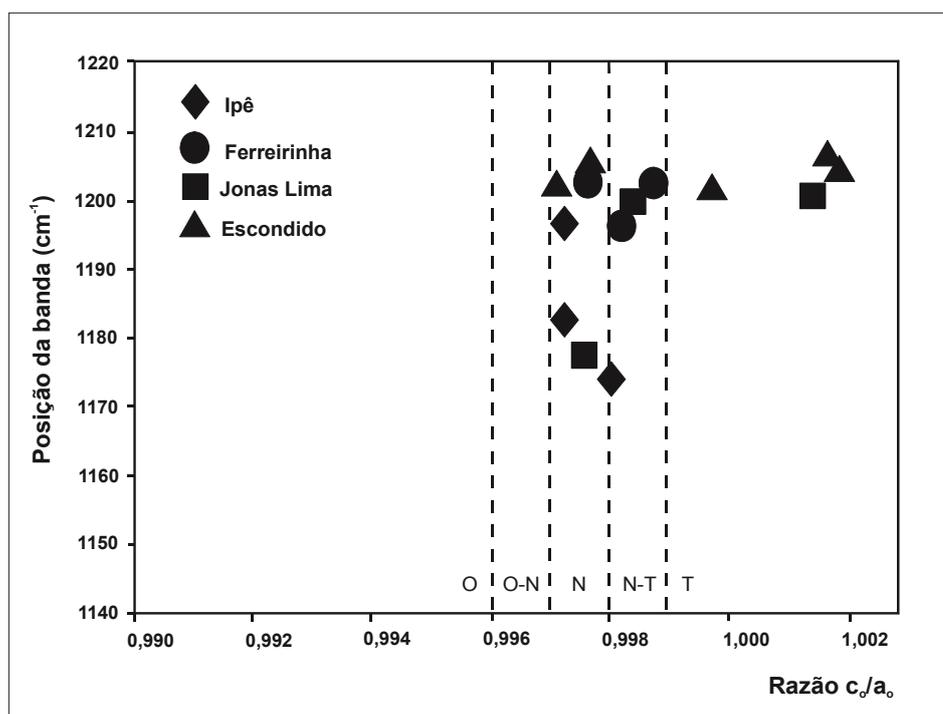


Figura 6: Caracterização dos polítipos de berilo, segundo a banda referente à ligação Si-O (adaptado de Aurisicchio *et al.*, 1994).

polifásicas (l-v-s₁-s₂) e, em menor quantidade, as monofásicas (Prancha 1, h). Ocorrem ainda, mais raramente, inclusões trifásicas com individualização de dois líquidos imiscíveis, sendo compostas essencialmente por [H₂O_(l)-CO_{2(l)}-CO_{2(v)}]. A proporção volumétrica da fase vapor nas inclusões bifásicas varia de 15% a 50%.

Cristais de água-marinha e morganita do Pegmatito Jonas Lima I e II contêm abundância de inclusões fluidas trifásicas [H₂O_(l)-CO_{2(l)}-CO_{2(v)}] (Prancha 1, a), predominando, no caso da morganita, aquelas distribuídas em fraturas cicatrizadas (pseudo-secundárias e/ou secundárias) sobre as primárias. Nos cristais

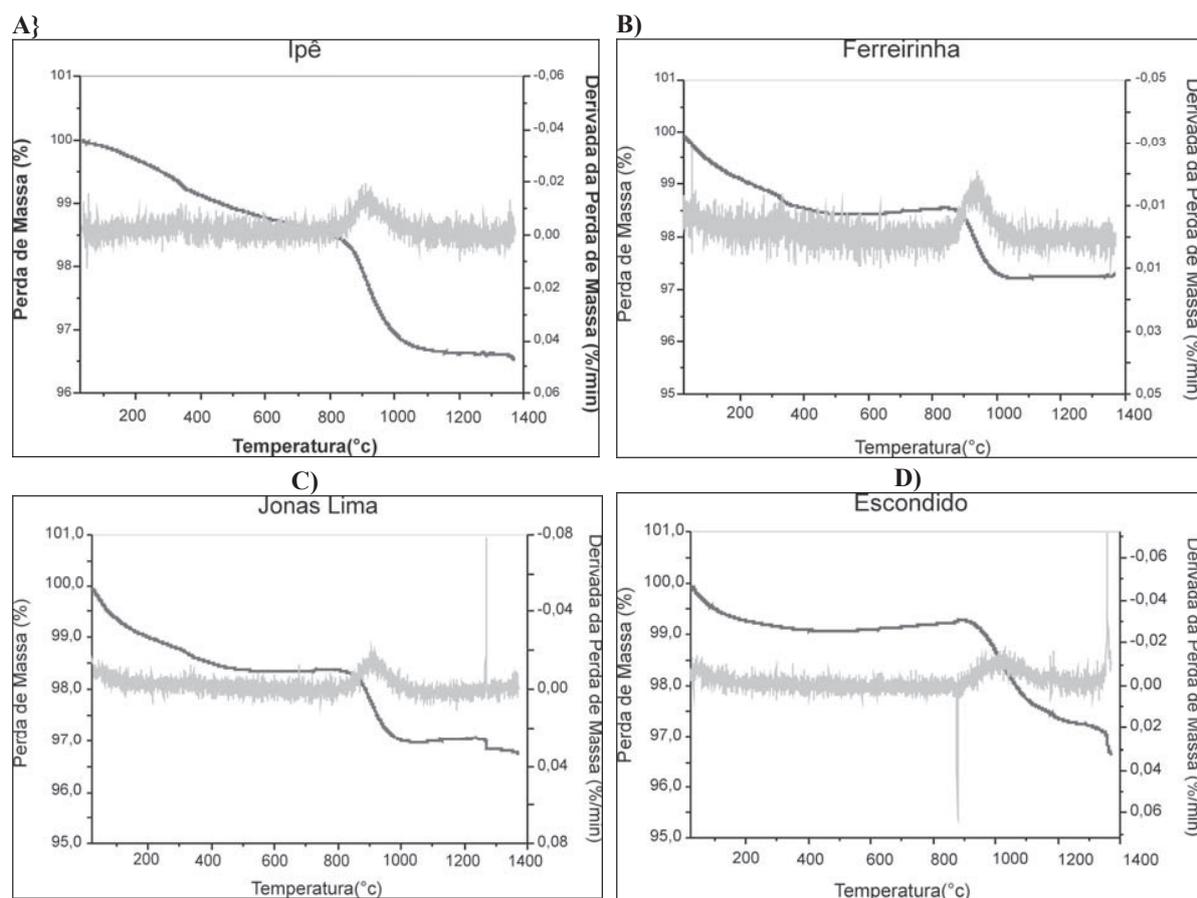


Figura 7: Curvas de ATG, mostrando as perdas de massa do berilo para os respectivos pegmatitos e seu comportamento endotérmico.

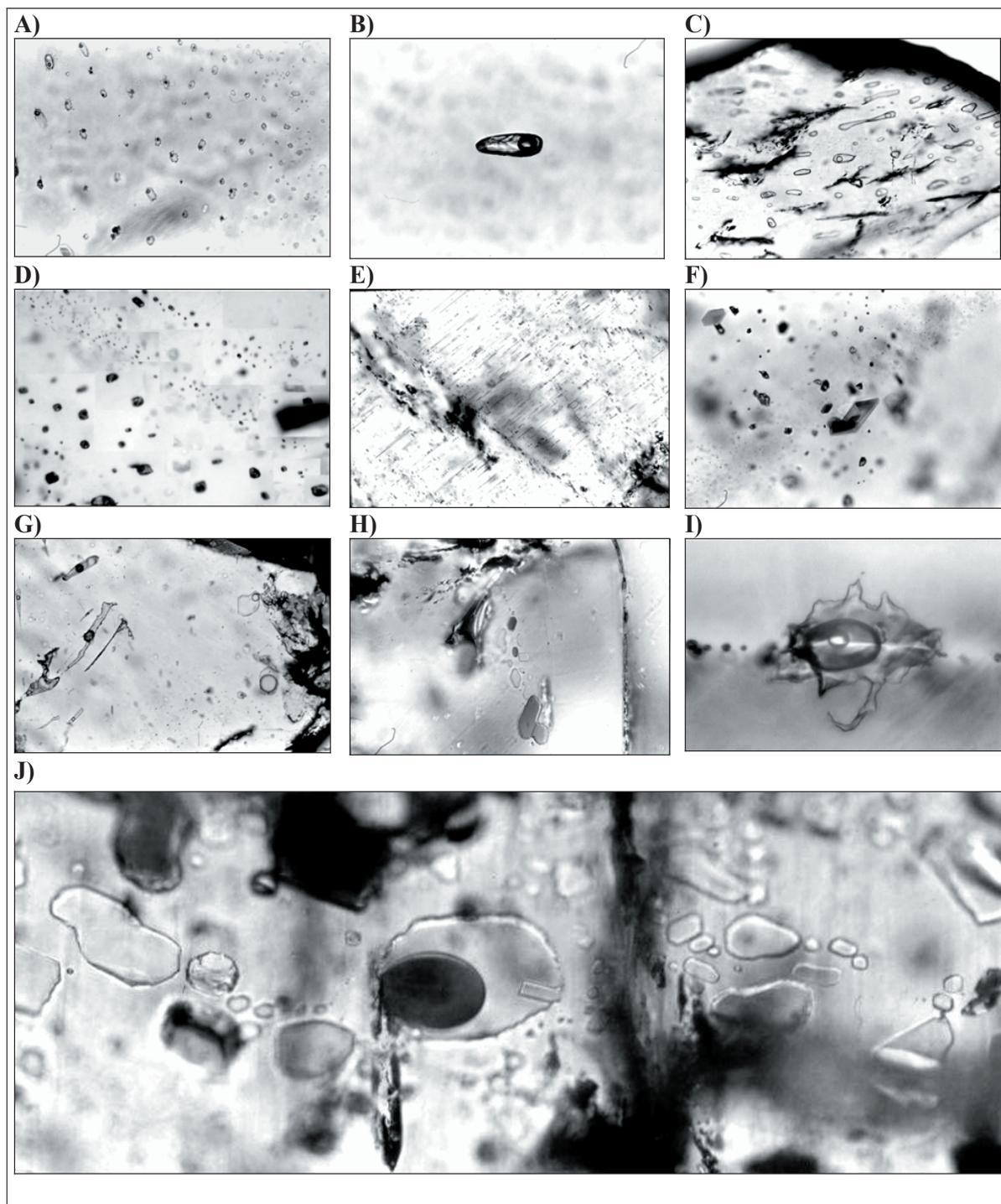
de água-marinha predominam as inclusões fluidas bifásicas (l-v), ocorrendo também as trifásicas e polifásicas, com individualização de uma ou mais fases sólidas, além da presença de alguns sólidos de saturação presentes em algumas populações de inclusões bifásicas. A proporção volumétrica da fase vapor nas inclusões bifásicas varia de 10% a 90%.

Finalmente, nos berilos analisados do Pegmatito Escondido, variedades água-marinha, morganita e goshenita, tem-se a predominância de inclusões fluidas bifásicas (l-v). Nota-se por vezes a presença de sólidos de saturação em grupos de inclusões bifásicas. Nos cristais de água-marinha, é comum a presença de inclusões bifásicas, nas quais a fase gasosa apresenta coloração cinza-escuro (Prancha 1, j). Nota-se ainda, mais raramente, a presença de inclusões fluidas trifásicas [l-v-s₁ ou H₂O_(l)-CO_{2(l)}-CO_{2(v)}] e polifásicas,

com individualização de um ou mais sólidos. A proporção volumétrica da fase vapor nas inclusões bifásicas varia de 15% a 85%.

No caso do Pegmatito Ipê, as características das inclusões observadas são semelhantes às discutidas por Bello *et al.* (2000), que detectaram o CO₂ apenas por FTIR e espectroscopia micro-Raman e verificaram a existência de um acréscimo relativo nas proporções desse componente nos fluidos mais evoluídos. Desse modo, é bastante coerente a presença de maiores quantidades de CO₂, identificada nos pegmatitos mais diferenciados.

A análise dos espectros de FTIR mostraram a predominância da H₂O tipo I (bandas 3.690, 3.590 e 1.630cm⁻¹) sobre a de tipo II (bandas 3.660 e 1.540cm⁻¹), ocorrendo, ainda, dentre os componentes fluidos, o CO₂,



Prancha 1: Fotomicrografias das principais feições encontradas nos berilos dos pegmatitos Ipê, Ferreirinha e II, Jonas Lima I e II e Escondido. Foram utilizados (objetiva: 10x e ocular: 20x). (a) inclusões primárias de contorno irregular dispersas aleatoriamente no cristal; (b) detalhe de uma inclusão fluida primária, alongada, extraída de um agrupamento paralelo ao eixo c do mineral hospedeiro; (c) inclusões fluidas bifásicas alongadas dispostas paralelamente ao eixo c do mineral hospedeiro; (d) grupo de inclusões fluidas, aparentemente secundárias, distribuídas segundo uma fratura transgranular e dispostas paralelamente ao eixo c do mineral hospedeiro; (e) “efeito chuva” típico dos cristais de água-marinha; (f) sólido aprisionado ocasionalmente no berilo; (g) inclusões fluidas bifásicas, regulares, mostrando a variação na proporção volumétrica; (h) inclusões monofásicas líquidas e gasosas, de contorno regular e dispostas aleatoriamente no mineral; (i) inclusão fluida trifásica com associação de dois líquidos imiscíveis, apresentando contorno irregular e distribuição aleatória; (j) inclusão fluida trifásica, contendo um sólido aprisionado, cuja fase gasosa apresenta coloração escura.

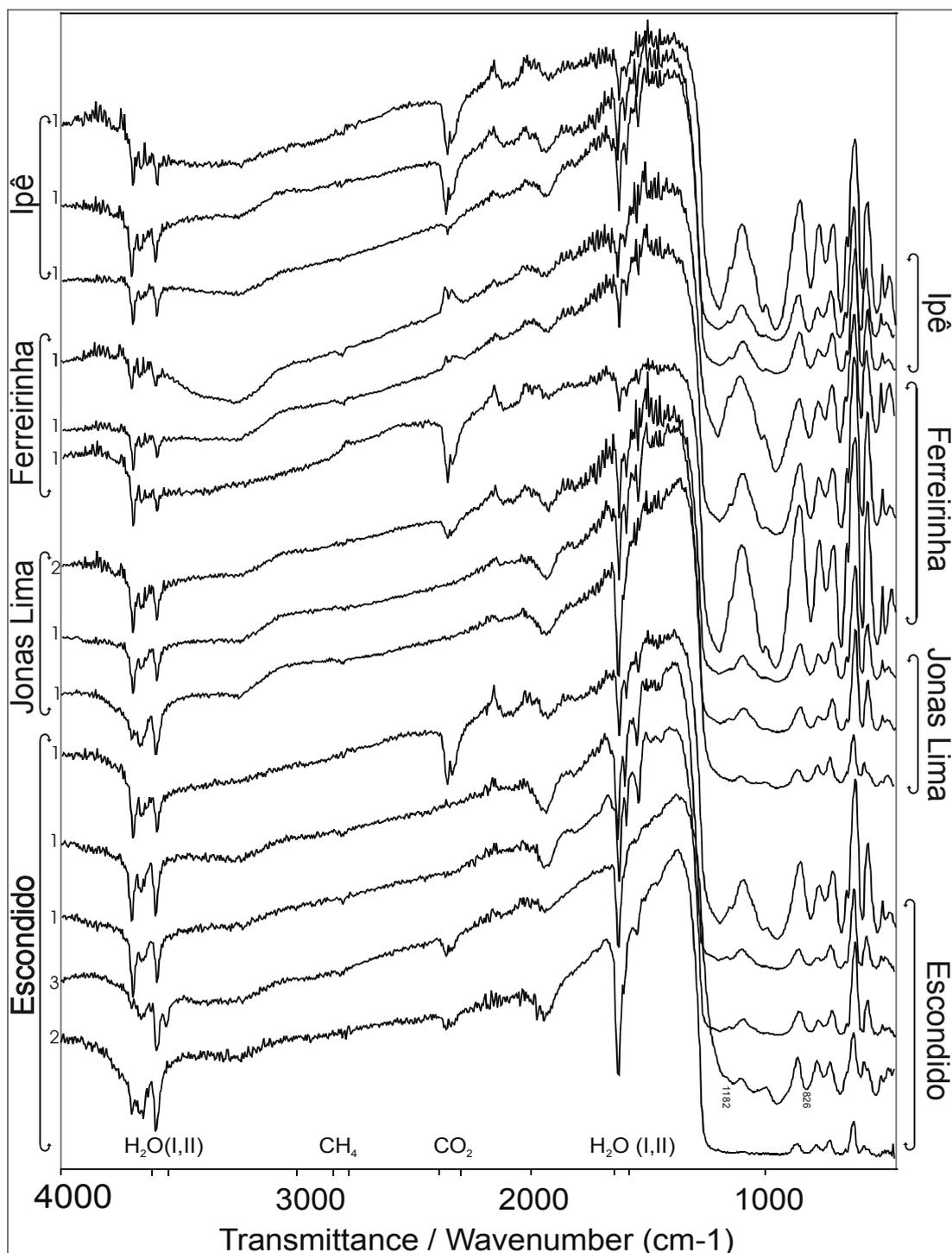


Figura 8: Representação dos espectros de FTIR das 14 amostras de berilo analisadas, onde estão representadas as variedades: ¹água-marinha, ²morganita e ³goshenita.

(2.354 e 2.329 cm^{-1}) e, mais raramente, o CH_4 (2.796 cm^{-1}) (Figura 8).

CONCLUSÕES

Os estudos realizados permitem inferir que os corpos pegmatíticos considerados são

pouco diferenciados, concordando com os resultados obtidos por Gandini (1999) sobre os pegmatitos do Campo de Marilac.

As razões c_o/a_o sugerem uma evolução politípica que vai do berilo tipo N (normal), presente nos corpos com menor grau de

diferenciação (Ipê / Ferreirinha I e II), passando pelo berilo de transição, N-T, até o berilo tetraédrico, tipo T, nos corpos mais diferenciados (Jonas Lima I e II / Escondido). Constatou-se que em um mesmo pegmatito ocorrem variações do politipo de berilo segundo a zona a qual pertence a amostra. Os dados obtidos sugerem a ocorrência de uma evolução geoquímica a partir do pegmatito menos diferenciado, mais pobre em álcalis, em direção aos de maior grau de diferenciação, com maiores teores em álcalis,

ou seja: do Ipê para Ferreirinha I e II, Jonas Lima I e II e, finalmente, Escondido. Existe, portanto, um *trend* que sugere uma evolução por fracionamento magmático no curso da cristalização dos pegmatitos. Corroborou com essa evolução os dados físicos e a variação das curvas endotérmicas para os berilos, associada aos resultados dos estudos de inclusões fluidas, obtidos até o presente, que mostram um aumento de CO₂ e álcalis na mesma seqüência descrita anteriormente.

REFERÊNCIAS

- Achtschin, A.B.; Costa, K. de V.; Reis, L.B. (1996) Controle litoestrutural do Pegmatito Ipê. Belo Horizonte, 90p. (Trabalho de Graduação) – IGC, UFMG.
- Aurisicchio, C.; Grubessi, O.; Zecchini, P. (1994) Infrared spectroscopy and crystal chemistry of the beryl group. *Canadian Mineralogist*, 1(32): 55 - 68.
- Bello, R.M. da S.; Gandini, A.L.; Marciano, V.R.P.R.O.; Fuzikawa, K.; Svisero, D.P. (2001) Inclusões fluidas em berilo do Pegmatito Ipê, município de Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil. In: Semana de Geoquímica. 12./ Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa. Portugal, 6. Actas, 62 - 65pp.
- Bello, R.M. da S.; Gandini, A.L.; Marciano, V.R.P.R.O.; Fuzikawa, K.; Carvalho, F.M.S.; Svisero, D.P.; Souza, L.A.C.; Dantas, M.S.S.; (2000). Caracterização mineralógica e composição química das inclusões fluidas de berilo do Pegmatito Ipê, município de Governador Valadares, Minas Gerais. *Geonomos*, 8(2): 45 - 54.
- Černý, P., Hawthorne, F.C. (1976) Refractive indexes versus alkali contents in beryl: general limitations and applications to some pegmatitic types. *Canadian Mineralogist*, 4(14): 491 - 497.
- Correia Neves, J.M.; Pedrosa Soares, A.C.; Marciano, V.R.P.R.O. (1986) A Província Pegmatítica Oriental à luz dos conhecimentos atuais. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(1): 106 - 118.
- Gandini, A.L.; Marciano, V.R.P.R.O.; Carvalho, F.M.S.; Bello, R.M. da S.; Oliveira, R.C.; Souza, L.A.S.; Svisero, D.P.; Cipriano, R.A.S.; Figueiredo Jr., J.C.D.A. (2001) Geoquímica do berilo do Campo Pegmatítico de Marilac, Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil. In: Semana de Geoquímica 12 / Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Portugal, 6., Actas., p. 66 - 69.
- Gandini, A.L. (1999) Aspectos da Mineralogia, Geoquímica, Gênese e Potencialidade Econômica do Campo Pegmatítico de Marilac, Minas Gerais. São Paulo, (Tese - Doutorado) - IGC, USP, 261p.
- Marciano, V.R.P. da R.O. (1985) Contribuição ao estudo da mineralogia e geoquímica de pegmatitos da região de Governador Valadares, Minas Gerais. São Paulo, (Dissertação - Mestrado) - IGC, Usp, 213p.

- Paiva, G. de (1946) Províncias Pegmatíticas do Brasil. Boletim DNPM/DFPM, 78: 13 - 21.
- Pinto, C.P.; Drumond, J.B.V.; Féboli, W.L. (coords.) (2002) Projeto Leste - MG. Geologia, Etapa 1, Texto explicativo. Belo Horizonte, CPRM/SEME/COMIG. (CD-ROM).
- Putzer, H. (1976) Metallogenetische provinzen in suedamerika. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 318p.
- Schobbenhaus, C.; Almeida, C.D.; Derze, G.R.; Asmus, H.E. (coords.) (1981) Mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. Brasília, Ministério das Minas Energia / DNPM.
- Schobbenhaus, C.; Almeida, C.D.; Derze, G.R.; Asmus, H.E. (coords.) (1984) Geologia do Brasil - Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. Brasília, Ministério das Minas Energia / DNPM. 501p.

(Footnotes)

¹To whom the correspondence should be sent: daniela@degeo.ufop.br