Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

**Geologia e Geoquímica (ETR e Inclusões Fluidas) das Mineralizações (F, BA)
da Parte Norte do Distrito Fluorítico de Santa Catrina, Sul do Brasil**

Flávio França da Rocha, Artur Cezar Bastos Neto

Pesquisas em Geociências, 26 (2): 3-19, maio/ago., 1999.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21121>

Publicado por

Instituto de Geociências

Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - maio/ago., 1999.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Geologia e Geoquímica (ETR e Inclusões Fluidas) das Mineralizações (F, BA) da Parte Norte do Distrito Fluorítico de Santa Catarina, Sul do Brasil

FLÁVIO FRANÇA DA ROCHA¹ & ARTUR CEZAR BASTOS NETO²

¹ Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Caixa Postal 15.001, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

² Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica CPGq, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Caixa Postal 15.001, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. bastosnt@if.ufrgs.br

(Recebido em 01/99. Aceito para publicação em 07/99)

Abstract - This work deals on the fluorite deposits from the Grão Pará (GP) and Rio Bravo Alto (RBA) veins systems both situated at the northern part of Santa Catarina Fluorite District. The GP deposits are controlled by an ancient shear zone. Ore deposition is related to two tectonic phases: (1) dextral transtensive reactivation related to a NE/SW compression; deposition of green-purple massive or coarse banded fluorite; tectonic and hydraulic breccias assign successive transitions from hydrostatic to tectonic regimes; the ore was affected by latter silicification; (2) reactivation as normal fault, related to a extensional tectonic; deposition of purple and yellow banded fluorite, collapse breccias and cocardes. First phase fluorite was deposited at temperatures decreasing from 170° to 120°C; silicification temperature is around 140°C. Second phase fluorite was deposited at temperatures between 140° and 120°C. The fluid inclusions salinity range from 0 to 2% eq. NaCl. The isotopic composition of water from primary fluid inclusions in the fluorite at RBA ($\delta D \cong -60\text{‰}$ SMOW) is typical of meteoric water from interior continental region. The RBA fluorite has the same HREE signature as fluorite from the southern district deposits and regional granites. REE and fluid inclusion data reject a link with alkaline magmatism. Fluorine was leached from accessory fluorite of regional granites. The fluorite deposition was connected to a single hydrothermal event correlated to the earlier hydrothermal event described at the southern district.

Key words - fluorite, ore vein, REE, fluid inclusion, Southern Brazil.

INTRODUÇÃO

O Distrito Fluorítico de Santa Catarina (DFSC), localizado no Sudeste Catarinense (Fig. 1), é o maior produtor de fluorita da América do Sul. Desde a primeira descrição da fluorita filoneana (Putzer, 1953), inúmeras hipóteses genéticas foram propostas, mas apenas duas permaneceram em discussão: (1) o modelo magmático, baseado em Willig (1973), que relaciona as mineralizações ao magmatismo alcalino de Lages (70 Ma) ou Anitápolis (129 Ma), conforme as interpretações e (2) o modelo de lixiviação, baseado em Savi (1980), que pressupõe que o flúor foi lixiviado dos granitos por hidrotermalismo convectivo associado à anomalia geotérmica ligada ao rifteamento do Atlântico Sul. Nos anos 80 e 90, diversos trabalhos (p. ex. Morgental, 1984; Horbach & Marimon, 1982; Dardenne & Savi, 1984; Dardenne, 1985; Sallet, 1988; Bastos Neto, 1990; Bastos Neto *et al.*, 1996) visaram o aperfeiçoamento dos modelos genéticos. Entretanto, os dados geoquímicos disponíveis são apenas das jazidas da parte sul do DFSC. As mineralizações da parte norte, as

mais próximas do maciço alcalino de Anitápolis, nunca foram estudadas em detalhe.

Os objetivos deste trabalho são: (1) efetuar o primeiro estudo detalhado das mineralizações de fluorita da parte norte do DFSC e discutir os resultados frente os modelos genéticos; (2) comparar as mineralizações associadas à zona de cisalhamento Rio dos Bugres (ZCRB) (Fig. 1) com as do lineamento Canela Grande (partes sul e norte); (3) efetuar um estudo geoquímico preliminar das ocorrências de barita da parte norte do DFSC, visando estabelecer suas relações com a mineralização de fluorita. Por outro lado, a maior parte das reservas hoje conhecidas no DFSC concentra-se na parte norte. Portanto, a caracterização destas mineralizações interessa diretamente à prospecção de fluorita, a qual está sendo retomada pelas empresas mineradoras.

Para atingir estes objetivos, jazidas de fluorita e ocorrências de barita foram descritas detalhadamente e amostradas. Neste artigo, apenas a jazida Nova Fátima, a mais representativa, é descrita detalhadamente; descrições dos demais depósitos constam de Rocha (1997). Descrições resumidas de jazidas

Figura 1 - Mapa geológico simplificado do Distrito Fluorítico de Santa Catarina. Subdistritos: A) Segunda Linha Torrens, (B) Ribeirão da Areia, (C) Pedras Grandes, (D) Rio Bravo Alto, (E) Grão Pará. Filões de fluorita: (1) Rio dos Índios, (2) Nova Fátima, (3) Rio dos Bugres, (4) Rio Chapéu.

de fluorita (e ocorrências de barita) da parte norte do DFSC encontram-se em Ferreira & Almeida (1989), Ferreira *et al.* (1997) e Dardenne *et al.* (1997). Os dados geoquímicos, por sua vez, englobam os diversos depósitos de fluorita da parte norte do DFSC, assim como as três principais ocorrências de barita daquele setor.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DO DFSC E DOS DEPÓSITOS ASSOCIADOS AO LINEAMENTO CANELA GRANDE NA PARTE SUL DO DISTRITO

O DFSC ocorre em uma faixa com cerca de 100 km de comprimento e 30 km de largura, limitada a oeste pela Bacia do Paraná e a leste pelo Atlântico Sul (Fig. 1). As rochas predominantes são granitóides do Ciclo brasileiro (± 600 Ma), subdivididos nas suites intrusivas Pedras Grandes e Tabuleiro (Sallet, 1988). Na parte norte do DFSC, Ferreira & Almeida (1989), Rocha (1997) e Flores (1998) descrevem uma maior variedade de rochas (quartzodioritos, monzogranitos, sieno-granitos, biotita-granitos). Não há, entretanto, mapas que delimitem as respectivas áreas de ocorrência. Segundo Flores (1998), a ZCRB controlou a intrusão de corpos de sieno-granitos e biotita-granitos e subseqüentes processos metassomáticos de albitização dos apogranitos. Em

tudo o DFSC, os granitóides são intrudidos por diques de rochas sub-vulcânicas ácidas de idade presumivelmente eopaleozóica. Rochas das Formações Rio Bonito e Rio do Sul da Bacia do Paraná cobrem parcialmente as mais antigas. Diques e soleiras de diabásio correlacionados com a Formação Serra Geral cortam as unidades precedentes.

A maior parte dos depósitos de fluorita está associada ao lineamento Canela Grande ao longo do qual situam-se os subdistritos Segunda Linha Torrens, Ribeirão d'Arelia, Pedras Grandes e Rio Bravo Alto (Fig. 1). Mais a leste, o lineamento Armazém controla as jazidas Armazém, São Martinho e Jaguaruna. Os depósitos da parte oeste do distrito (subdistrito Grão Pará) estão associados à ZCRB (Ferreira & Almeida, 1989).

Na parte sul do distrito, a formação dos filões associados ao lineamento Canela Grande resultou da superposição de fases de deformação-abertura-preenchimento (Fig. 2) em um ciclo que, em alguns filões, repetiu-se até quatro vezes, alternando fases de compressão (1 e 3) e de distensão (2 e 4). No detalhe, o minério foi subdividido em 9 gerações. O minério das fases de compressão tem textura primária maciça ou bandamento grosseiro, enquanto que o das fases distensivas é caracterizado por fluorita bandada, brechas de colapso e *cocardes*. A zonzão vertical do filão (aumento da sílica

Fase	Tensões	geração	paragênese	observações	La/Yb média	La/Sm média	La/Sm (variação)	I.F. Th (°C)	argilomin. encaix.
							0 1 2 3	100 150	
1		I	qz + f. vrd. vlt. azul (+ sid)	t. p. maciça; brechas tectônicas; zon. vert. discreta	4.61	2.83	—	I.F. primárias não preservadas	C/S
		II	f. vrd. vlt. azul + qz (+ sid)		0.92	1.19	—		I/S R3 série I-MCB
2		III	f. vrd. vlt. + qz	t. p. bandada; brechas de colapso; zon. vert. acentuada	0.58	0.80	—		
		IV	f. vlt. amr. esc. + qz + ba + pi		0.36	0.47	—		
3		V	f. vrd.	t. p. maciça; zon. vert. discreta	1.33	1.87	—		I/S R1 série I-MCA
		VI	f. amr.		0.36	0.84	—		
4		VII	f. bra. + qz + ba + pi	t. p. bandada; brechas de colapso; f. em cocardes; zon. vert. acentuada	0.72	1.19	—		I/S R0 série I-MCB
		VIII	f. amr + qz + ba + pi + I/S		0.47	0.92	—		
		IX	f. bra + qz + pi + ba + mont		0.42	0.59	—	I.F. monofásicas	

Figura 2 - Síntese das características dos depósitos da parte sul do distrito fluorítico de Santa Catarina, segundo Bastos Neto (1990). qz = quartzo; sid = siderita; f. = fluorita; vrd = verde; vlt = violeta; amr = amarelo; esc = escuro; bra = branca; pi = pirita; ba = barita; I/S = interestratificado ilita/esmectita; mont = montmorilonita; t.p. = textura primária; zon. vert. = zonzão vertical (enriquecimento em sílica em profundidade); I.F. = inclusões fluidas da fluorita; Th = temperatura de homogeneização das I.F. primárias; argilomin. encaix. = argilominerais característicos das alterações hidrotermais da encaixante; C/S = interestratificado clorita/saponita; R = "Reichweite" (ordenação); I = ilita; MCB = montmorilonita de carga baixa; MCA = montmorilonita de carga alta.

nas raízes e da barita nas partes superiores) é bem mais marcante nos minérios depositados nas fases distensivas. Segundo Bastos Neto (1990) e Bastos Neto *et al.* (1992), a evolução polifásica originou seis tipos morfológicos de acumulações de fluorita.

SUBDISTRITO GRÃO PARÁ

No subdistrito Grão Pará, os filões de fluorita das minas Rio dos Índios, Nova Fátima, Rio dos Bugres e Rio Chapéu são controlados pela ZCRB (Fig. 1). Esta tem cerca de 20 km de extensão e largura hectométrica, com direção geral NNE-SSW e mergulho acentuado para NW. Um sistema conjugado de direção NE-SW controla a mineralização nas jazidas Rio Facão e Rio Areião.

A Jazida Nova Fátima, descoberta no fim dos anos 60, foi explorada artesanalmente até 1975. O Grupo Votorantim adquiriu a jazida em 1978 e reiniciou a exploração por lavra mecanizada em 1997. Uma galeria de encosta na cota 199 m permite o acesso ao nível zero, onde o filão está inteiramente exposto. Um poço interno conduz ao subnível -42, inacessível na ocasião deste estudo. O filão (Fig. 3) apresenta geometria geral de uma lente biconvexa, com aproximadamente 130 m de comprimento e 180 m altura, descrevendo um arco com convexidade voltada para noroeste, com atitude geral N30E/80NW. A possança máxima é de 2,35 m (média de 1,49 m) e a de corte de 0,3 m. O teor varia de 25% a 90% de CaF_2 (média de 65%). No sub-nível -42, o filão é conhecido por 120 m de comprimento, com espessura média de 1,6 m e teor médio de 40% de CaF_2 . Ao longo da estrutura mineralizada, inflexões alternadas para NE-SW e N-S condicionam, respectivamente, espessamentos e adelgaçamentos do minério. Da metade da galeria até a extremidade sul ocorre uma progressiva suavização do plano de mergulho até 30°NW, acompanhada pela redução da possança do filão. No granito encaixante ocorre uma brecha silicosa anterior à deposição da fluorita.

Três tipos de minério foram individualizados em mapa (escala 1:250): minério verde/roxo (fase de mineralização 1); minério roxo/amarelo (fase de mineralização 2); e minério em *stockwork*. O perfil da figura 4 ilustra as partes mais espessas do filão Nova Fátima.

O minério da fase 1 distribui-se ao longo de todo o filão (Fig. 3) e ocorre de duas formas. Na parte norte, ocorre uma lente com atitude N50E/SV, composta por fluorita verde e roxa, subordinadamente

branca, com alto conteúdo em sílica, cimentando fragmentos decimétricos de granito alterado, quartzo microcristalino e fluorita. Pequenas cavidades preenchidas por quartzo hialino piramidado são frequentes. Ao sul, o minério depositou-se numa caixa filoniana contínua situada preferencialmente na lapa do veio. A zonação é sempre assimétrica em função de obliterações da estrutura primária por deformações posteriores, e o minério é constituído por fluorita verde escura e roxa, maciça ou com bandamento grosseiro e com menor conteúdo em sílica do que na lente norte.

O surgimento de uma zona contínua de minério da fase 2, a partir das proximidades do desvio da galeria (Fig. 3), é marcado por uma maior deformação no minério da fase 1 e por uma drástica redução de sua possança. Uma zona de brecha tectônica, com 60 cm de largura por 5 m de comprimento, ocorre no contato entre os minérios das fases 1 e 2. A brecha tem uma matriz de quartzo microcristalino e elementos centimétricos angulosos de fluorita verde. A partir da travessa 4, o bandamento grosseiro vai sendo progressivamente obliterado cisalhamento, com vênulas milimétricas de sílica em fraturas. Este tipo de deformação estende-se por cerca de 35 m. A partir da travessa 5, a silicificação torna-se muito intensa e o minério passa gradualmente para quartzo microcristalino. Na extremidade sul do filão, granito e minério silicificados mal podem ser distinguidos, reconhecendo-se o primeiro a partir de raros cristais relictos de k-feldspato.

O minério da fase 2 forma duas exposições contínuas (Fig. 3). A primeira aparece nas proximidades do desvio da galeria, estendendo-se para sul por cerca de 40 m com possança média de 80 cm. A segunda, mais a sul, tem 30 m de comprimento e possança média de 40 cm. Em ambas predomina uma zonação simétrica e o minério é constituído por fluorita roxa escura (predominante na borda) passando a amarela (predominante no centro). Intercalações de bandas de quartzo microcristalino são frequentes. A barita é tardia e ocorre na forma de cristais centimétricos. Cristais cúbicos de fluorita de até 3 cm de aresta e minerais de argila são comuns nos vazios da parte central, nos quais ocorrem, também, frequentes filmes de óxido de manganês, resultantes de percolação supergênica. Onde o minério da fase 2 é mais espesso, são frequentes brechas de colapso e estrutura em *cocardes*, e a zonação é assimétrica, conferida por brechas e *cocardes* na capa e fluorita bandada na lapa.

Figura 3 - Mapa geológico da galeria do nível zero (galeria de encosta na cota 199 m) da jazida Nova Fátima.

Em dois locais mostrados no mapa, a encaixante é cortada por vênulas de fluorita em *stockwork*. Os estágios mais tardios da formação do *stockwork* são representados por vênulas com quartzo microcristalino de aspecto fibroso, na borda, e fluorita verde da fase 1 em continuidade com a mineralização 1 na caixa filoneana, no centro.

A jazida de Rio dos Bugres (*cf.* Fig. 1) é formada por duas grandes lentes dispostas lado a lado, paralelas e de direção N20°E. Mais a sul ocorre uma terceira lente alinhada com a estrutura principal. Trata-se de um depósito, com reservas de

860.000 t e teor médio de 41% CaF_2 , maior do que o de Nova Fátima. O minério é idêntico aos três tipos descritos naquela jazida e localmente ocorre fluorita verde-branca como cimento de brechas de colapso (Rocha, 1997) que poderia corresponder a uma terceira fase de mineralização.

O filão Rio Chapéu tem uma reserva medida de 13.140 t com 77% de CaF_2 e uma indicada de 12.712 t com 60% de CaF_2 (informação do grupo Votorantin), e é constituído por duas lentes biconvexas. Ambas têm possanças variando até 2 m e suas atitudes são respectivamente N55°E/80°SE e N35°E/70°SE, estando, possivelmente, dispostas em *échelon* em relação à ZCRB. O minério é constituído por fluorita verde e roxa maciça ou com bandamento espesso. O minério foi muito pouco afetado por deformação, preservando-se, assim, a zonização simétrica primária. Macroscopicamente, o minério é correlacionado à fase 1 das jazidas anteriores.

SUBDISTRITO RIO BRAVO ALTO

Duas jazidas de fluorita foram exploradas neste subdistrito. A principal, a jazida Rio Bravo Alto, é controlada por uma zona de falha de direção NNE-SSW, que corresponde à estrutura principal do lineamento Canela Grande, cujo traço pode ser seguido para norte até o maciço de Anitápolis. O depósito tem comprimento total de 120 m, tendo sido explorado até o nível - 40 m. A geometria é do tipo rabo de cavalo, a possança é regular (em torno de 3 m) nas partes sul e central, apresentando, daí para

Figura 4 - Perfil do filão Nova Fátima. (1) fluorita da fase 2, roxa, passando a amarela, com vug na parte central; (2) brecha de colapso com elementos de granito e fluorita da fase 1, e cimento de fluorita roxa da fase 2; (3) brecha tectônica; (4) brecha hidráulica; (5) fluorita verde maciça da fase 1; (6) granito.

norte, uma série de bifurcações sucessivas, até desaparecer. Quatro gerações de mineralização foram identificadas. A mais precoce é representada por quartzo microcristalino maciço com fluorita subordinada. A segunda consiste de fluorita roxa, subordinadamente verde, em veios de espessura até decimétrica que ocorrem na encaixante e são truncados pela fluorita da caixa filoneana. Estes veios, conforme são subparalelos à zona de falha, ou preenchem fraturas horizontais, típicas de compressão. O minério interior à caixa filoneana é intensamente brechado, sendo constituído por fluorita verde e roxa da terceira geração, cortada por veios de fluorita roxa de uma quarta geração.

As ocorrências de barita estudadas foram as de Gerônimo Eller, Rio Sete e Rio Areia, todas encaixadas no prolongamento sul da falha que contém a jazida Rio Bravo Alto. Estas são representadas, em superfície, por uma zona silicificada que se expressa por blocos de quartzo microcristalino ao longo de cristas topográficas com orientação geral N-S. O quartzo microcristalino maciço cimenta uma brecha de falha, com fragmentos de granito e de rocha sedimentar. A barita ocorre como cristais ortorrômbicos milimétricos euédricos em meio à matriz silicosa. Mais raramente, a barita é parte do cimento da brecha juntamente com o quartzo microcristalino. *Box works* de barita (e fluorita ?) são comuns, sendo, por vezes, parcialmente preenchidos por cristais milimétricos de quartzo hialino piramidado.

GEOQUÍMICA

Inclusões fluidas

Análise Petrográfica

As inclusões fluidas (IF) na fluorita são, predominantemente, aquosas bifásicas, com grau de preenchimento entre 0,80 e 0,90. As de grau de preenchimento acima de 0,90 vazaram no aquecimento, indicando não manterem suas características originais. De forma muito subordinada, ocorrem IF aquosas monofásicas e, em três casos, IF trifásicas em que a fase sólida é, provavelmente, halita.

As IF foram agrupadas segundo a classificação de Deloule & Bourrat (1982). As IF cúbicas e, em parte, as tubulares foram consideradas primárias, sendo reunidas no grupo P. As IF que, petrograficamente, possuem características mais típicas de IF secundárias, foram classificadas em Sa, Sb e Sc. O grupo Sa é constituído por IF com formas lenticulares e ovaladas com paredes lisas. Estas inclusões

estão presentes em todas as amostras, ocorrendo em maior número na fluorita verde maciça. Ocupam planos de crescimento do mineral, estando associadas, em geral, com inclusões tubulares de caráter primário. Podem ocorrer em planos de fratura cicatrizados sendo, neste caso, tipicamente secundárias. As dimensões variam de 5 a 60 μm , em geral não ultrapassando 10 μm . O grupo Sb é composto de IF amebóides e vermiformes de paredes dentadas, presentes em quase todas as amostras, sendo mais numerosas nas fluoritas verde e roxa de Nova Fátima e Rio dos Bugres. Estas IF ocorrem, em geral, nos planos de clivagem da fluorita, com dimensões variando de 20 a 180 μm e freqüentemente apresentando feições de *necking down*. O grupo Sc engloba IF grandes (>150 μm) ultraplanas e ramificadas e que apresentam os maiores graus de preenchimento; normalmente decrepitam no aquecimento, tratando-se, em muitos casos, de inclusões intercristalinas.

Nas amostras de barita observou-se apenas IF monofásicas aquosas. As formas mais comuns são as vermiformes angulosas, ou lenticulares e tubulares lisas situadas em planos de crescimento do mineral e suas dimensões variam de 10 a 120 μm . Em virtude dos cristais de barita se apresentarem bem cristalizados e sem planos de fratura, suas inclusões foram consideradas primárias.

Microtermometria

As seções foram preparadas a partir de fragmentos de fluorita e barita esmerilhados e polidos em duas faces (*wafers*). O estudo microtermométrico foi realizado no laboratório do CPGq-UFRGS, utilizando-se microscópio petrográfico *Leitz LaborLux 12 pols*, com aumentos de 320 a 800x. Para as medidas microtermométricas, utilizou-se o sistema de platina *RChaix Meca*, que permite determinar temperaturas entre -180°C e +600°C, e sistema de controle de medidas digital *Euroterm 908*. As medidas foram registradas em temperatura ambiente de 20°C constante. A taxa de aquecimento variou de 1,0 a 2,0°C/min. A taxa de fusão do gelo foi 2,5°C/min. O equipamento foi previamente calibrado utilizando-se inclusão trifásica aquo-carbônica sintética, cristais de nitrato de sódio (Na_2NO_3) e de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). O conjunto de análises microtermométricas por amostra, geração, jazida ou família de IF, assim como as respectivas comparações e discussões dos resultados, constam em Rocha (1997), sendo sintetizados a seguir.

As temperaturas de fusão final do gelo (Tf) das IF na fluorita (Fig. 5a) de todos os filões da parte

Figura 5 - Histogramas das inclusões fluidas (IF) da fluorita das jazidas Nova Fátima, Rio dos Bugres e Rio Chapéu: (a) temperatura final da fusão do gelo; (b) temperatura de homogeneização das IF primárias.

norte do distrito, apresentam valores muito próximos de 0°C, com média de -0,5°C. As temperaturas superiores a 0°C (30% das medidas) foram atribuídas à metaestabilidade, comum em fluidos de baixa salinidade (Roeder, 1984). De acordo com os diagramas de Collins (1979), o fluido responsável pela deposição da fluorita apresentava salinidade entre 0 e 2% em eq. NaCl. Observou-se, em alguns casos, uma certa movimentação da bolha de vapor entre -23°C e -19°C que pode estar relacionada à fusão de hidreto salino,

indicando que, possivelmente, a solução era constituída exclusivamente por H₂O e NaCl, cuja temperatura eutética é de -20,8°C.

O panorama geral das temperaturas de homogeneização (Th) das IF primárias da fluorita é mostrado na figura 5b. As profundidades de formação dos depósitos, estimadas entre 1 e 3 km pelas características geológicas da mineralização, são coerentes com as Th obtidas. Como a variabilidade das Th é maior do que as correções de pressão a serem impostas, estas não foram realizadas. As Th variam no intervalo de 67°C a 170°C. Em virtude da dispersão de pontos, as Th inferiores a 100°C não foram consideradas na análise estatística. As Th mais altas (170°C) foram obtidas em IF primárias de amostras de fluorita verde dos estágios iniciais de deposição da fase 1 nas jazidas Nova Fátima, Rio dos Bugres e Rio Chapéu, assim como em algumas IF do minério em *stockwork*. As Th concentram-se em torno de 130°C nas amostras da fluorita mais tardia desta mesma fase, indicando que a temperatura dos fluidos decresceu do início para o final da fase 1, como ilustrado pelos histogramas do filão Rio dos Bugres (Fig. 6a,b). As Th de amostras da fase 2 situam-se essencialmente entre 100° e 130°C, sem nenhuma tendência evolutiva, como mostram os histogramas da jazida Nova Fátima (Fig. 6c,d). Não se observou IF primárias na fluorita de Rio dos Bugres suspeita de pertencer a uma terceira fase. Em fluorita de Rio dos Índios, correlacionável a esta fase, obteve-se uma Th média de 115°C nas IF primárias.

O estudo comparativo das IF secundárias de fluorita da fase 1, afetadas ou não por brechação e silicificação associada, demonstra que, embora Th compatíveis com a fase 2 tenham sido obtidas, as Th são compatíveis principalmente com as obtidas nas IF primárias da própria fase 1. O mesmo ocorre na fluorita do minério em *stockwork*.

Na fluorita da jazida Rio Bravo Alto, obteve-se Tf próximas de zero, e Th concentradas em torno de 145°C para as IF primárias (Fig. 7).

Para realizar as medidas de Tf nas IF monofásicas da barita, foi utilizado o artifício de criar uma bolha de contração por choque térmico mediante imersão em nitrogênio líquido. Assim, algumas IF vazaram, formando uma bolha que permitiu a determinação. Obteve-se valores de Tf entre -1,1 e 0,5 °C, correspondendo a salinidade muito baixa. Segundo Touret (1994), abaixo de um certo grau de aquecimento (30°-60°C) minerais "macios", como a fluorita, barita e calcita, acomodam a variação de pressão interna na IF, impedindo a nucleação da bolha de

Figura 6 - Histogramas da temperatura de homogeneização das inclusões fluidas da fluorita: (a) da borda do minério da fase 1 na jazida Rio dos Bugres; (b) da parte central do minério da fase 1 na jazida Rio dos Bugres; (c) da borda do minério da fase 2 na jazida Nova Fátima; (d) da parte central do minério da fase 2 na jazida Nova Fátima.

contração. Consequentemente, a Th não pode ser medida abaixo de 60°-70°C, mas pode-se assumir que inclusões monofásicas aquosas nestes minerais tenham se formado a temperaturas da ordem de 60°C.

Composição isotópica δD da água das IF

A composição isotópica δD da água de IF foi analisada na fluorita da jazida Rio Bravo Alto. Extração e análise foram efetuadas no Bureau de

Recherches Géologiques et Minières BRGM, Orléans, França. A água foi extraída a 1500°C por indução em forno de alta frequência, seguida de redução por indução a 750°C em forno de urânio (detalhes do procedimento em Bastos Neto *et al.*, 1996). Como o método não permite a análise por IF individual, selecionou-se uma amostra muito rica em IF primárias e outra em IF Sa. Obteve-se resultados semelhantes tanto de teores de água como de composição isotópica (Tab. 1).

Figura 7 - Histograma da temperatura de homogeneização das inclusões fluidas da fluorita da jazida Rio Bravo Alto.

Tabela 1 - Composição isotópica da água das inclusões fluidas da fluorita da jazida Rio Bravo Alto. SMOW = standard marine ocean water; Tipo de IF = tipo morfológico de inclusão fluida predominante; Sa = IF secundária tipo a; P = IF primária.

Filão	Amostra	% em peso de H ₂ O	δD ‰ SMOV	Tipo de IF
Rio Bravo Alto	22	0,06	- 60,0	Sa
"	23	0,06	- 64,0	P

Geoquímica dos Elementos Terras Raras

Para análise do conteúdo de ETR na fluorita priorizou-se as amostras (Tab. 2) com dados de IF, e que permitissem investigar as variações entre os estágios iniciais e finais de cada fase de mineralização nos diversos filões, bem como as variações entre diferentes níveis de um mesmo filão. Também foram selecionadas três amostras de barita das ocorrências de Gerônimo Eller, Rio Sete e Rio Areia. As primeiras análises de ETR (Tab. 3) foram executadas pela Geosol por ICP. Posteriormente, 9 análises de elementos traços, incluindo ETR, em amostras de fluorita e de barita foram realizadas no *Activation Laboratory* (Canadá) pelo método ICP-INAA (Tab. 4). Os valores médios dos conteúdos em ETR nos granitos Pedras Grandes e Tabuleiro constam na tabela 5 e as análises foram cedidas pela Mineração Santa Catarina Ltda, tendo sido efetuadas por ICP na Geosol. Para normalização utilizou-se o condrito de Evensen *et al.* (1978).

Comparações dos resultados por fase de mineralização e por filão, assim como as discussões sobre a evolução dos diversos parâmetros dos ETR constam em Rocha (1997). Os diagramas aqui apresentados visam uma comparação geral da fluorita do subdistrito Grão Pará com a fluorita da parte sul do DFSC e com a do subdistrito Rio Bravo Alto, dentro da proposta de avaliação das hipóteses genéticas.

As amostras de fluorita dos filões Nova Fátima, Rio dos Bugres e Rio Chapéu apresentam conteúdos de ETR entre 14,56 e 52,5 ppm. Em geral, as maiores concentrações ocorrem na fluorita da primeira fase de mineralização e os valores máximos na fluorita verde do veio com calcedônia fibrosa de Nova Fátima e na fluorita verde da borda da estrutura II do filão Rio dos Bugres. No entanto, alguns valores elevados ocorrem na fluorita roxa do estágio final da fase de mineralização 2 de Nova Fátima (51,78 ppm) e de Rio dos Bugres (40,28 ppm). Na barita, somente os teores de La são superiores aos limites de detecção e variam entre 1,2 a 4,1 ppm (Tab. 4). O maior valor foi registrado na barita de Gerônimo Eller, a qual também foi a única amostra com teor de Yb detectável (0,4 ppm).

Os diagramas de teores normalizados ao condrito da fluorita do subdistrito Grão Pará (Fig. 8) e da fluorita de Rio Bravo Alto (Fig. 9) têm curvas de forma geral bastante semelhantes. Estes diagramas são semelhantes aos dos granitos Pedras Grandes e Tabuleiro (Fig.10a, tab. 5), mas são bastante contrastantes com os espectros do carbonatito do maciço de Anitápolis (Fig. 10b). Por outro lado, ocorrem duas diferenças significativas. (1) As anomalias de Eu são negativas em todas as amostras do subdistrito Grão Pará e positivas nas amostras de Rio Bravo Alto. (2) Na fluorita de Grão Pará, $Gd/Yb \cong 4$ (Fig. 11) e $Yb/Tb \cong 1,5$, enquanto que em Rio Bravo Alto, $Gd/Yb \cong 1$ e $Yb/Tb \cong 5$. Os valores obtidos em Rio Bravo Alto são os mesmos obtidos nos diversos filões e gerações de fluorita da parte sul do DFSC (Bastos Neto *et al.* 1991). Observa-se uma boa correlação entre a anomalia de Eu (Eu/Eu^*) com o fracionamento dos ETRL (La/Sm) (Fig. 12). Esta característica é pouco expressiva com relação ao fracionamento total (La/Yb).

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Evolução da Estrutura Mineralizada

Segundo Ferreira e Almeida (1989), a ZCRB é uma estrutura do embasamento que, devido a esforços compressivos de direção NE-SW, foi

Tabela 2 - Descrição e localização das amostras analisadas.

Procedência	Campo	Fase	Cota	Descrição mesoscópica	Observações
Nova Fátima	NF-1-1	1	200	fluorita verde-azulada maciça	borda do filão, deformada com vênulas de sílica
"	NF-1-2	1	"	fluorita verde clara maciça	centro, associada com brecha tectônica
"	NF-1-4	2	"	fluorita roxa grosseira	borda, bem cristalizada com níveis azuis escuros
"	NF-1-5	2	"	fluorita roxa	brecha de colapso, impregnação de óxido de Mn
"	NF-veio	1	"	fluorita verde escura	veio com borda de sílica fibrosa
"	NF-br*	1	"	fluorita verde clara (branca)	fragmento da brecha tectônica (fina)
"	NF-sw*	1	"	fluorita verde-roxa	stockwork com matriz de calcedônia
"	NF-gr*	2	"	fluorita roxa escura	substituição no granito alterado
Rio dos Bugres	RB-N2-60-A	1	250	fluorita verde escura maciça	borda do filão 2 cabeceira N60
"	RB-N2-60-C	1	"	fluorita verde maciça	idem anterior centro, associada a brecha hidráulica
"	RB-N2-60-D	2	"	fluorita roxa maciça	idem anterior centro
"	RB-N2-60-E	2	"	fluorita roxa	idem anterior borda
"	RB-S3-152	2	160	fluorita roxa grosseira	borda do filão 3, cabeceira S152, bem cristalizada
"	RB-N1-60-A	1	250	fluorita verde-roxa maciça	bandada, borda do filão
"	RB-N1-60-B	2	"	fluorita roxa	centro do filão
"	RB-S2-152	1	160	fluorita verde maciça	sem estar cortada por vênulas
Rio Chapéu	RC-1A*	1	200	fluorita roxa escura	borda, fraturada c/ vênulas de sílica
"	RC-1B	1	"	fluorita verde escura	centro, bandamento grosseiro
"	RC-1C	1	"	fluorita roxa escura	borda, bandamento grosseiro
Rio dos Índios	RI-13*	2	rej.	fluorita roxa (+ verde)	minério subordinado, fraturada
"	RI-13A*	3	"	fluorita amarela (branca)	minério representativo
Rio Facão	RF*	?	"	fluorita verde	cimentando fragmento de granito brechado e alterado
Gerônimo Eller	GE-1B	-	sup.	barita amarela escura	matriz de calcedônia com incrustações de óxidos
Rio Sete	RS-1D	-	"	barita branca	matriz de calcedônia com box works
Rio Areia	RA-1B	-	"	barita branca	idem anterior

* sem análise de elementos terras raras.

rej. = rejeito; sup. = superfície

Tabela 3 - Conteúdo de ETR das amostras de fluorita das jazidas Nova Fátima (NF), Rio dos Bugres (RB) analisadas por ICP.

AMOSTRA	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
NF-1-1 F1	7.77	19.84	12.16	8.42	0.76	11.95	11.81	2.10	4.34	2.28	0.25
NF-1-2 F1	9.48	20.37	9.08	3.06	0.42	3.02	3.7	0.75	2.06	1.20	0.15
NF-1-4 F2	5.75	12.72	7.1	4.10	0.34	7.05	10.52	1.96	4.53	2.37	0.25
NF-1-5 F2	13.06	27.48	14.3	6.80	0.58	11.93	16.87	3.14	7.26	3.47	0.40
RB-N2-60-1A	18.79	17.6	14	8.66	0.87	16.36	16.16	2.86	5.82	2.36	0.23
RB-N2-60-1C	8.18	20.2	12	4.77	0.50	5.46	4.91	0.87	1.82	0.84	0.13
RB-N2-60-1D	4.02	10.79	7	3.90	0.31	5.12	5.05	0.90	1.90	0.87	0.11
RB-N2-60-1E	9.81	22.43	11.73	5.54	0.57	7.53	8.56	1.62	3.92	1.73	0.19
RB-S3-152-1A	4.42	12.67	3.6	1.62	0.19	2.07	2.33	0.44	1.07	0.42	0.07

Tabela 4 - Conteúdo de ETR das amostras de fluorita das jazidas Nova Fátima (NF), Rio dos Bugres (RB) e Rio Chapéu (RC) e de barita das ocorrências de Rio Sete (RS), Rio Areia (RA) e Gerônimo Eller (GE). Análises por ICP-INAA.

AMOSTRA	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
NF- veio	4.1	22	19	12	1.7	5.8	11.4	1.3
RB-N1-60-1A	1.4	7	6	3.8	0.5	2.6	3.1	0.32
RB-N1-60-1B	1.9	7	6	2.8	0.3	1.6	2.3	0.26
RB-S2-152 vd	3.1	12	10	4.5	1.0	2.7	4.8	0.60
RC-1B vd	2.4	14	12	7.6	0.6	4.0	5.7	0.68
RC-1C rx	0.8	13	8	6.1	0.4	4.1	7.5	0.92
RS-1D	1.9	<3	<5	<0.1	<0.2	<0.5	<0.2	<0.05
RA-1B	1.2	<3	<5	<0.1	<0.2	<0.5	<0.2	<0.05
GE-1B	4.1	<3	<5	<0.1	<0.2	<0.5	0.4	<0.05

Tabela 5 - Valores médios dos conteúdos de ETR nos granitos Pedras Grandes (PG) e Tabuleiro (T). Análises por ICP; 14 amostras analisadas por tipo de granito.

Fácies	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
PG+T	31,57	75,62	35,98	8,44	0,59	7,32	8,95	1,94	5,73	6,17	0,85
T	16,39	43,39	25,43	7,79	0,25	7,86	10,95	2,41	7,30	8,08	1,11
PG	46,74	107,84	46,53	9,10	0,92	6,77	6,95	1,46	4,16	4,25	0,59

reativada por transtensão dextral durante a qual houve da fluorita. Nossas observações corroboram e aperfeiçoam esta interpretação considerando-se apenas a fase 1. Para a fase 2, propõe-se esforços distensivos.

Por analogia com a estrutura Canela Grande, investigada por Hacksparker & Flores (1987), estima-se para a ZCRB uma idade eopaleozóica e uma profundidade da formação entre 10 e 20 km. A deposição mineral mais antiga ocorrida na ZCRB é representada pela brecha silicosa precoce. Esta assemelha-se à brecha tectônica hipersilicificada descrita por Jebrak (1984) cuja profundidade de formação situa-se entre 5 e 10 km. Conseqüentemente, a brecha é bem mais jovem do que a estrutura e mais antiga do que a fluorita depositada a profundidade da ordem de 1 a 3 km.

A fase de mineralização 1 é caracterizada pela textura maciça ou bandamento espesso, características típicas dos filões *en décrochement* do Maciço Central Francês e norte da África (Lhégu *et al.*, 1982). A deposição do minério em zonas de transtensão ligadas à movimentação dextral da estrutura é clara tanto na escala da ZCRB, pois as jazidas localizam-se nas grandes inflexões para NE, quanto na escala das estruturas filoneanas, pois o minério da fase 1 espessa-se nas inflexões dos planos de falha para NE e estreita-se nas inflexões para N. As brechas hidráulicas e brechas tectônicas,

freqüentes no minério da fase 1, mais especialmente na jazida Nova Fátima, devem corresponder a uma evolução progressiva desta fase transcorrente, registrando os pulsos de movimentação e as alternâncias de regime hidrostático/tectônico. A maior parte do minério em *stockwork* deve ter sido gerado nas fases de descompressão.

A silicificação que afeta o minério da fase 1 é contemporânea à movimentação dextral da ZCRB, como indica a associação da silicificação com a maior deformação do minério nas inflexões para N. As relações cronológicas entre, de um lado, o minério deformado e silicificado e, do outro, as fraturas com fluorita e/ou quartzo microcristalino, incluindo o minério em *stockwork*, indicam que a silicificação ocorreu nos estágios mais tardios da fase 1, o que é corroborado pelos dados de IF. Na jazida Nova Fátima, a passagem gradual do minério da fase 1 para a zona de quartzo microcristalino da extremidade SW da galeria enquadra-se neste contexto por sua relação direta com a virgação gradual da estrutura para N-S. As partes mais silicosas do minério em *stockwork* também devem ter tido sua formação neste estágio final da fase 1.

A reabertura da estrutura filoneana para deposição do minério da fase 2, com fluorita roxa e amarela, foi ligada a uma fase em distensão, como indicado pelas falhas normais que afetam o minério da fase 1 e pelas estruturas bandada, brechas de

Figura 8 - Espectros normalizados ao condrito dos elementos terras raras na fluorita da jazida Nova Fátima (a) fase 1, (b) fase 2 e da jazida Rio dos Bugres (c) fase 1, (d) fase 2.

colapso e *cocardes*, típicas de fases distensivas (Jebrak, 1984). A abertura das caixas filoneanas ocorreu de duas formas distintas. A primeira está bem representada na jazida Nova Fátima onde a abertura/fechamento da caixa filoneana é demonstrada pelas mudanças do mergulho do plano de falha e variação da possança do filão. Assim, nos segmentos verticais, os filões são espessos e adelgamam-se nos segmentos com mergulho menor. A segunda ocorre na jazida Rio dos Bugres, onde ocorreu um mecanismo de abertura semelhante ao descrito por Valette (1983) em jazidas do Morvan (França), segundo o qual, frentes de tensão geram caixas filoneanas biconvexas paralelas à falha nor-

mal, como exemplificam os filões paralelos na jazida Rio dos Bugres, notadamente a estrutura III, onde o minério da fase 1 é ausente, indicando a neoformação desta lente.

Origem e Evolução do Hidrotermalismo

A boa correlação entre os resultados da microtermometria, as classes de IF e as relações observadas em mina entre fases de mineralização e deformação do minério, definidas com base em critérios texturais e estruturais, permite reconstruir a evolução hidrotermal. Enquanto as inclusões primárias (grupo P) indicam as condições de deposição da fluorita, as secundárias relacionam-se à deformação ou

Figura 9 - Espectros normalizados ao condrito dos elementos terras raras na fluorita da jazida Rio Bravo Alto (análises em Bastos Neto, 1990).

recristalização posteriores. As inclusões do grupo Sa apresentaram, em várias amostras, Th com distribuição bimodal. Este grupo deve representar, em parte, inclusões secundárias típicas, enquanto as de mais altas Th corresponderiam a inclusões fluidas pseudo-secundárias.

A fase de mineralização 1 dos filões Nova Fátima (minério da caixa filoneana e em *stockwork*), Rio dos Bugres e Rio Chapéu, foi depositada a temperaturas iniciais próximas de 170°C, decrescendo para cerca de 140°C, eventualmente 120°C. A fluorita desta fase foi deformada e/ou recristalizada a temperaturas entre 135°C e 145°C, correspondendo, provavelmente, à fase de silicificação que ocorre identificada na jazida Nova Fátima. A fase de mineralização 2 é caracterizada, nos filões Nova Fátima, Rio dos Índios e Rio Facão, por temperaturas entre 120°C e 140°C. Este pulso afetou a fase precedente, como registrado em inclusões secundárias. Mesmo no filão Rio Chapéu, onde a mineralização da fase 2 não foi identificada, a presença de fluidos ligados a esta é registrada pela distribuição bimodal das Th, indicando a recristalização parcial da fluorita da fase 1. A fluorita do filão Rio Facão é correlacionável à fase 2. A deposição da fluorita amarela do filão Rio dos Índios, por sua vez, pode estar relacionada a uma terceira fase de abertura/preenchimento na ZCRB. A esta fase, pode corresponder, grande parte das inclusões fluidas do grupo Sb dos diversos filões.

As variações da Th na escala de amostra (20-40°C) indicam que as condições de deposição

Figura 10 - Intervalos dos padrões normalizados dos elementos terras raras nos (a) granitos do Distrito Fluorítico de Santa Catarina e (b) carbonatitos de Anitápolis (análises de Furtado, 1989).

foram instáveis numa escala de tempo curta, o que pode ser atribuído ao aporte de fluidos descendentes e/ou a variações do regime tectônico, uma vez que a uma profundidade de deposição de aproximadamente 1 km e temperatura constante, a passagem de um regime hidrostático para um regime litostático cria uma variação da Th de 25°C (Deloule & Bourrat, 1982).

A baixa temperatura de aprisionamento dos fluidos na barita não permite definir sua relação com a mineralização de fluorita. A barita das ocorrências estudadas pode representar (1) um estágio terminal do hidrotermalismo responsável pela deposição da fluorita (2) ser sincrônica com a fluorita, mas com deposição em profundidade inferior, ou (3) pertencer a um evento hidrotermal posterior e independente da

Figura 11 - Diagrama de correlação Gd vs. Yb da fluorita do subdistrito Grão Pará. RB = Rio dos Bugres; NF = Nova Fátima; DFSC = correlação para a fluorita da parte sul do distrito fluorítico de Santa Catarina e jazida Rio Bravo Alto (segundo as análises de Morgental, 1984; Dardenne & Savi, 1984; Dardenne, 1985; Sallet, 1988; Bastos Neto, 1990).

Figura 12 - Diagrama de correlação Eu.Eu* vs. La/Sm da fluorita das jazidas do subdistrito Grão Pará. RB = Rio dos Bugres; NF = Nova Fátima; RC = Rio Chapéu; f = fase de mineralização.

fluorita. Em qualquer um dos casos, as IF de tipo Sc da fluorita poderiam corresponder, pelas baixas Th, aos fluidos que depositaram a barita. A utilização da barita de ocorrências deste tipo como guia de prospecção de fluorita, ou a suposição da existência de uma zonização mineral na escala de distrito com base na distribuição deste mineral (Ferreira & Almeida, 1989) carece de estudos adicionais.

As IF da fluorita da parte norte do DFSC se assemelham às da parte sul (dados em Dardenne & Savi, 1984; Sallet, 1988; Bastos Neto, 1990; Bastos Neto *et al.*, 1986) quanto ao tipo (aquosa bifásica), formas, dimensões, grau de preenchimento, intervalo de variação das Th e salinidade. Em termos de evolução das Th, a mineralização da ZCRB seria correlacionável ao evento hidrotermal mais precoce

da parte sul do distrito, com uma evolução nitidamente decrescente das Th. As IF monofásicas aquosas, características da fluorita da geração nove (Bastos Neto, *op. cit.*) na parte sul, são raras na parte norte do DFSC. Neste setor, as IF monofásicas são frequentes na barita das ocorrências de Gerônimo Eller, Rio Areia e Rio Sete.

Dados microtermométricos têm sido utilizados (Fig. 13) para diferenciar os tipos de depósitos de fluorita (Ronchi, 1993). Nos depósitos relacionados ao magmatismo, como, por exemplo, Mantos Mexicanos (Kesler, 1977), Saint Lawrence (Strong & Freyer, 1984) e Milpo (Gunnesch & Jaksch, 1984), as IF da fluorita têm salinidade moderada a alta (5-50% equiv. NaCl). As Th variam dentro de amplos intervalos: 100-450°C nos Mantos, 50-500°C em Saint Lawrence e 50-400°C em Milpo. Do mesmo modo, a jazida de Mato Preto (Vale do Ribeira), cuja gênese é vinculada ao magmatismo alcalino por Jenkins (1987), ou apenas em parte ao magmatismo por Ronchi (1993), apresenta uma grande variação nas Th (75-275°C, *cf.* Ronchi, *op. cit.*). Os depósitos de fluorita associados a carbonatitos, como os de Amba Dongar (Índia) e Okorusu (Namíbia), apresentam Th entre 115-150°C e salinidade baixa (Roedder, 1973), mas registra-se a presença de CO₂ e de minerais de saturação nas IF desses depósitos (Roedder, 1984). O jazimento de fluorita de Amba Dongar é posterior ao posicionamento do carbonatito, e forma filões hidrotermais de substituição, concentrados no contato do carbonatito com as encaixantes (Simonetti & Bell, 1995). A origem da mineralização é relacionada à mistura de fluidos meteóricos das encaixantes com fluidos ricos em flúor derivados do carbonatito (Deans & Powell, 1968, *apud* Simonetti & Bell, *op. cit.*). Em resumo, depósitos de fluorita com gênese seguramente vinculada a magmatismo são caracterizados por salinidade moderada a alta e Th de intervalos muito amplos, compatíveis com uma mistura de fluidos magmático de alta temperatura (fonte de F) e meteórico ou conato mais frio das encaixantes (fonte do Ca) (Bastos Neto *et al.*, 1996). Os resultados obtidos na parte norte do distrito descartam a vinculação da fluorita filoneana com o magmatismo alcalino.

As análises isotópicas da água de inclusões fluidas de fluorita da parte sul do distrito forneceram $\delta D \cong -60\%$ SMOW em todas as amostras ricas em IF primárias (Bastos Neto *et al.*, 1996). Trata-se de valor típico de água meteórica de região continental interior, como deve ter sido o distrito na época da formação dos depósitos de fluorita. Valores distintos

Figura 13 - Diagrama da temperatura de fusão do gelo (Tf) vs. temperatura de homogeneização (Th) das inclusões fluidas da fluorita de jazidas selecionadas (segundo Ronchi, 1993).

foram registrados apenas em amostras ricas em IF Sa das gerações tardias dos 3 episódios hidrotermais. Aqueles autores interpretaram que, nos estágios finais dos episódios hidrotermais, o arrefecimento do sistema convectivo permitiu o aporte de fluidos de diferentes origens. Este fluidos frios e descendentes foram aprisionados em IF secundárias associadas ao fraturamento por choque térmico, tendo composições: $\delta D \cong -45\%$ SMOW, proveniente de formações sedimentares recarregadas por águas meteóricas), e $\delta D \cong -90\%$ SMOW, fluido meteórico com composição isotópica re-equilibrada por interação com minerais ligados ao intemperismo. Na fluorita do filão Rio Bravo Alto, obteve-se $\delta D \cong -60\%$ SMOW tanto na amostra rica em IF primárias como naquela onde predominam as IF secundárias Sa. A semelhança dos resultados é coerente com as características do depósito, pois a barita, mais freqüente nas fases tardias de cada ciclo hidrotermal e cuja origem parece ligada ao aporte de solução sulfatada oriunda da cobertura sedimentar, é virtualmente au-

sente nesta jazida. Ou seja, resultados diferentes da composição meteórica não seriam esperados.

A variação no conteúdo em ETR da fluorita da parte norte do DFSC é similar à fluorita do sul do distrito, sendo considerada normal em fluoritas de origem hidrotermal (Constantopoulos, 1988). Na parte sul do distrito, cada uma das 9 gerações de fluorita pode ser identificada com base, sucessivamente, no conteúdo de La e Sm, fracionamento de ETR ou ETRL, e sinal da anomalia em Eu (Bastos Neto *et al.*, 1991). Entretanto, os valores da parte sul não podem ser extrapolados para a parte norte, mais especificamente para a ZCRB, pois, nesta última, a fluorita tem assinaturas de ETRP diferentes das da parte sul do distrito. Admite-se, portanto, que as fluoritas destas duas estruturas derivaram de fontes diferentes. A assinatura de ETRP da fluorita do lineamento Canela Grande é compatível com a dos granitóides, tanto Pedras Grandes como Tabuleiro. Entre os granitos analisados não se encontra, entretanto, valores de Gd/Yb ou Tb/Yb compatíveis com

os da fluorita da ZCRB. Não há evidências de que apenas os granitos controlados por esta zona de cisalhamento tenham assinaturas de ETR diferentes dos demais do DFSC. A hipótese mais provável é que os processos metassomáticos associados à granitogênese (cf. Flores, 1998), até o presente identificados apenas na ZCRB, tenham modificado o padrão destes granitos, o que posteriormente refletiu-se na fluorita depositada naquela estrutura. Por outro lado, por analogia com os padrões de ETR da fluorita da parte sul (Bastos Neto *et al.*, 1992) a correlação La/Sm vs. Eu.Eu* para todas as fluoritas da ZCRB sugere que as duas (eventualmente três) fases de mineralização nesta estrutura foram depositadas ao longo de um único episódio hidrotermal, como sugerido pelos dados de IF.

CONCLUSÕES

A deposição da fluorita na ZCRB foi ligada a reativações no Mesozóico a profundidades entre 1 e 3 km. Inicialmente, a estrutura foi submetida a uma reativação transtensiva dextral ligada a uma compressão NE-SW, ocorrendo a deposição da mineralização de fluorita da fase 1. Subseqüentemente, a estrutura foi reativada como falha normal por distensão durante a qual depositou-se a mineralização da fase 2.

As estruturas do minério da fase 1 da jazida Nova Fátima denotam a uma evolução progressiva da fase transcorrente, registrando os pulsos de movimentação e as alternâncias de regime hidrostático/tectônico. A maior parte do minério em *stockwork* deve estar associada a episódios de descompressão. O minério da fase 1 foi afetado por uma silicificação que ocorreu nos estágios mais tardios desta fase e que foi associada à deformação relacionada à movimentação dextral.

A formação do minério da fase 2 pode ser explicada por dois mecanismos de abertura de caixa filoneana foram reconhecidos. Na Jazida Nova Fátima, abertura e fechamento da estrutura são diretamente condicionados pelas variações no mergulho do plano da falha normal. Na jazida Rio dos Bugres, ocorreu a abertura de lentes biconvexas paralelas à falha normal. A existência de uma terceira fase de mineralização foi suspeitada, mas não comprovada.

A boa correlação entre os resultados da microtermometria, as classes adotadas para as IF e as relações observadas em mina permitiu reconstruir a evolução hidrotermal. A fase de mineralização 1, presente nos filões Nova Fátima, Rio dos Bugres e

Rio Chapéu, foi depositada em temperaturas iniciais próximas de 170°C, decrescendo para valores da ordem de 140°C, eventualmente atingindo 120°C. Esta fluorita foi deformada e afetada por silicificação a temperatura entre 135°C e 145°C. A fase 2 depositou-se a temperaturas entre 120°C e 140°C. Destaca-se a similaridade das IF das fluoritas das partes norte e sul do DFSC. Pela evolução decrescente das Th, a mineralização da ZCRB seria correlacionável ao evento hidrotermal mais precoce da parte sul do distrito.

Com o presente estudo, passa-se a dispor de dados de IF abrangendo todo o DFSC. Pelo contraste com os dados microtermométricos de depósitos vinculados a magmatismo, os resultados obtidos na fluorita da parte norte do distrito descartam o seu vínculo com o magmatismo de Anitápolis. A composição isotópica da água de IF da fluorita da jazida Rio Bravo Alto ($\delta D \cong -60\text{‰}$ SMOW) é típica de água meteórica em região continental interior, situação do distrito na época da formação dos depósitos de fluorita.

A assinatura geoquímica para os ETRP permanece constante na fluorita dos depósitos da parte norte da estrutura Canela Grande. Entretanto, uma assinatura diferente foi constatada na fluorita dos depósitos associados à ZCRB. A hipótese mais provável é que os processos metassomáticos associados à granitogênese (cf. Flores, 1998), até o presente identificados apenas na ZCRB, tenham modificado o padrão destes granitos, o que posteriormente refletiu-se na fluorita depositada nesta estrutura. Por outro lado, por analogia com os padrões de ETR na fluorita da parte sul, a existência de uma correlação La/Sm vs. Eu.Eu* para todas as fluoritas da ZCRB corroboram os estudo de IF no sentido das duas fases de mineralização terem sido depositadas ao longo de um único episódio hidrotermal.

A baixa temperatura de aprisionamento dos fluidos encontrados na barita das ocorrências estudadas não permitiu definir sua relação com a mineralização de fluorita. A utilização de ocorrências deste tipo como guia de prospecção de fluorita ou para inferir a existência de uma zonação mineral na escala de distrito com base na distribuição deste mineral carece de estudos adicionais.

Agradecimentos - Ao corpo técnico e mineiros da Mineração Floral Ltda, especialmente ao engenheiro de minas A. Klipel, aos geólogos C. Savi e Angelo Figueiredo e ao Sr. Donato, por seu suporte. Ao CNPq pela bolsa de mestrado de F. F. Rocha e pela bolsa de pesquisa de A. Bastos Neto (processo 521035/97-0). Este estudo faz parte do Projeto PRONEX-CPGq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastos Neto, A. C. 1990. **Le district à fluorine de Santa Catarina (Bresil): minéralisations et altérations hydrothermales dans leur cadre géodynamique**. Orléans. 420 p. Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, França.
- Bastos Neto, A. C.; Touray, J. C.; Charvet, J. & Dardene, M. A. 1992. Contrôle tectonique des minéralisations à fluorine du district de Santa Catarina, Brésil (filons en extension et en décrochement). **Chronique de la recherche minière**, 507: 43-52.
- Bastos Neto, A. C.; Touray, J.-C. & Dardene, M. A. 1996. Géochimie des isotopes (δD) appliquée à l'étude des inclusions fluides de la fluorine du district de Santa Catarina, Brésil: une discussion sur l'origine des solutions hydrothermales minéralisées. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, 68 (2): 213-221.
- Bastos Neto, A. C.; Touray, J. C.; Dardene, M. A. & Charvet, J. 1991. Chronologie et évolution des fluides hydrothermaux dans le district à fluorine de Santa Catarina, Brésil: Données de l'analyse des terres rares et de l'étude des inclusions fluides. **Mineralium Deposita**, 26: 211-216.
- Collins, P. F. L. 1979. Gas hydrates in CO_2 bearing fluids and the use of freezing data estimation of salinity. **Economic Geology**, 6: 1435-1444.
- Constantopoulos, J. 1988. Fluid inclusion and rare earth element geochemistry of fluorite from south-central Idaho. **Economic Geology**, 83: 626-636.
- Dardenne, M. A. & Savi, C. N. 1984. Geologia e geoquímica dos filões de fluorita Segunda Linha Torrens e Cocal - SC. **Revista Brasileira de Geociências**, 14 (2): 120-127.
- Dardenne, M. A.; Ronchi, L. H.; Bastos Neto, A. C. & Touray, J.-C. 1997. Geologia da Fluorita. In: Schobbenhaus, C. F. & Coelho, C. E. (eds) **Principais Depósitos Minerais do Brasil**, Volume 4, Parte B. Brasília. DNPM. p. 479-507.
- Dardenne, M. A. 1985. Os depósitos de fluorita da região sul do Brasil. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2, Florianópolis, 1985. **Anais...**, SBG-Núcleo Sul, p. 201-214.
- Deloule, E. & Bourrat, X. 1982. Histoire des fluides d'après l'étude des inclusions dans les filons de fluorine du Tarn (France). **Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières-BRGM**, section II, n° 4, p. 347-352.
- Evensen, N. M.; Hamilton, P. J.; O'Nions, R. K. 1978. Rare earth abundance in chondritic meteorites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 42: 1199-1212.
- Ferreira, A. C.; Carvalho, J. L. & Figueiredo, A. N. 1997. Os depósitos de fluorita da parte norte do distrito de Santa Catarina. In: Schobbenhaus F., C. & Coelho, C. E. (eds) **Principais Depósitos Minerais do Brasil**, Volume 4, Parte B. Brasília. DNPM. p.
- Ferreira, A. C. & Almeida, T. I. R. 1989. Tectônica transcorrente e imagens TM-Landsat aplicadas à prospecção de fluorita e barita em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geociências**, 19 (2): 207-223.
- Flores, J. A. A. 1998. **Mineralogia e Geoquímica das Alterações Metassomáticas e Hidrotermais das Rochas Encaixantes da Mineralização de Fluorita da Mina Rio dos Bugres, Santa Catarina, Brasil**. Porto Alegre, 254 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Furtado, S. M. A. 1989. **Petrologia do Maciço Alcalino de Anitápolis**. São Paulo, 245 p. Tese de Doutorado em Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Gunnesch, M. & Jaksch, H. 1984. Fluid inclusion studies in fluorite at Milpo Mine (Atacocha District), Central Peru. In: Wauschkuhn, A.; Kluth, C. & Zimmermann, R. A. (eds) **Syngeneses and epigenesis in the formation of mineral deposits**. p. 328-341.
- Hackspacher, P. C. & Flores, J. A. A. 1987. Contribuição sobre o controle estrutural das jazidas de fluorita na estrutura de Canela Grande, sudeste de Santa Catarina. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3., Curitiba, 1987. **Atas...**, SBG-Núcleo Sul., p. 543-550.
- Horbach, R. & Marimon, R. G. 1982. **Contribuição à geologia do distrito de fluorita de Santa Catarina**. Salvador. Boletim Técnico-Série Geologia/Projeto Radam-Brasil, 1, 103 p.
- Jebrak, M. 1984. **Contribution à l'histoire naturelle des filons (F, Ba) du domaine varisque français et marrocin**. Orléans, 486 p., Thèse de Doctorat, Université. d'Orléans, França.
- Jenkins II, R. E. 1987. Geology of the Clugger Fluorite Deposit, Mato Preto, Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 17 (2): 288-294.
- Kesler, S. E. 1977. Geochemistry of Manto fluorite deposits, Northern Coahuila, México. **Economic Geology**, 72: 204-218.
- Lhégu, J.; Jebrak, M.; Touray, J.-C. & Ziserman, A. 1982. Les filons de fluorine et de barytine du Massif central français. **Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières-BRGM** (2), Orléans, section II, n° 4, p. 165-177.
- Morgental, A. 1984. **Projeto Fluorita do Sudeste do Estado de Santa Catarina**. Relatório Preliminar, Etapa 2. Caracterização dos depósitos de fluorita. CPRM, Porto Alegre, inédito, 130 p.
- Putzer, H. 1953. Diastrofismo Germanótipo e sua relação com o vulcanismo basáltico na parte meridional de Santa Catarina. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, 2 (1): 37-74.
- Rocha, F. F. N. 1997. **Geologia e geoquímica dos filões de fluorita da parte norte do Distrito Fluorítico de Santa Catarina**. Porto Alegre, 188 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Roedder, E. 1973. Fluid inclusions from the fluorite deposits associated with carbonatite of Amba Dongar, India, and Okorus, South west Africa. **Institute of Mining and Metallurgy Transactions**, Sect. B, 82, B35-B39.
- Roedder, E. 1984. Fluid inclusions. **Reviews in Mineralogy**, 12. Mineralogical Society of America, 644 p.
- Ronchi, L. H. 1993. **Contribution à la connaissance de la ceinture à fluorine du Vale do Ribeira (Paraná-São Paulo), Brésil. Étude géologique, minéralogique et géochimique**. Orléans, 293 p., Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, France.
- Sallet, R. 1988. **Étude pétrologique et métallogénique d'un secteur du district à fluorine de Santa Catarina, Brésil. Les granitoïdes précambriens monzonitiques source probable de la fluorine filonienne post-jurassique**. Paris, 233 p., Thèse de Doctorat, Université de Paris VI, France.
- Savi, C. N. 1980. **Gênese e controle das mineralizações de fluorita da região de Criciúma - SC**. Brasília, 112 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Simonetti, A. & Bell, K. 1995. Nd, Pb, and Sr isotope systematics of fluorite at the Amba Dongar Carbonatite Complex, India: Evidence for hydrothermal and crustal fluid mixing. **Economic Geology**, 90: 2018-2027.
- Strong, D. F.; Fryer, B. J. & Kerrich, R. 1984. Genesis of the St. Lawrence fluorite deposits as indicated by fluid inclusion, rare earth element, and isotopic data. **Economic Geology**, 79: 1142-1158.
- Touret, J. L. R. 1994. Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic environments. In: De Vivo, B. & Frezzotti, M. L. (eds) **Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications**. Short Course of the Working Group "IMA" Inclusions in Minerals. p. 251-269.
- Valette, C.-O. 1983. **Karsts et filons à fluorine dans le faisceau synclinal du Morvan: Le gisement D'Argentolle (Saône-et-Loire, France)**. Orléans, 299 p., Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, France.
- Willig, C. D. 1973. Observações sobre a gênese e os controles dos depósitos de fluorita de Santa Catarina. **Revista Mineralogia e Metalurgia**, 343: 36-41.