

A Fonte dos Metais da Mina de Ouro do Schramm, Santa Catarina: Evidências de Dados de Isótopos de Pb e Elementos Terras Raras

FLÁVIO FRANÇA NUNES DA ROCHA¹, ARTUR CEZAR BASTOS NETO²,
MARCUS VINÍCIUS DORNELLES REMUS² & VITOR PAULO PEREIRA²

1. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15044, Porto Alegre, RS. CEP 91509-900. e-mail: flaviorocha_br@yahoo.com.br

2. Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15044, Porto Alegre, RS. CEP 91509-900

(Recebido em 08/04. Aceito para publicação em 06/05)

Abstract - The source of the ore elements in the Schramm gold mine, localized in central part of Santa Catarina shield, has been constrained based on lead isotope composition of galena and sulfosalts, and the rare earth element (REE) patterns of the ore. The Pb^{207}/Pb^{206} model age obtained in galena and lillianite-gustavite series from the mineralization yields an age of 1.88 Ga. It is higher than the estimated age of the deposit (≈ 534 Ma). The Pb isotopic composition obtained in these minerals indicates that the age of Schramm mine source is similar to that of the galena of the Ribeirão da Prata mine (Pb-Zn-Cu-Ag). This mine is located 25 Km southwest of the Schramm gold mine which is hosted in the tension fracture zone conjugated with the first order shear zone that contains the Ribeirão da Prata deposit. The similarities between Pb-isotope compositions of both deposits could indicate that they were contemporaneous and derived from the same regional lead source. The REE patterns of the ore samples of Schramm mine are similar to that of the pyroxenites and banded iron formations from the Archean Santa Catarina Granulitic Complex that host the Schramm gold mine. They present low REE contents with flat patterns and lack Eu anomalies. The comparison among the isotopic data from this mine with those from other places indicates that the banded iron formation and mafic-ultramafic granulitic gneisses are the source of the gold mineralization. This evidence agreed with the hypothesis that the ore fluids were derived from retrogressive metamorphism reactions of Santa Catarina Granulitic Complex in the shear zones during the final stage of Brasiliano orogenic cycle.

Keywords- lead isotope, gold, Schramm mine.

INTRODUÇÃO

Este trabalho investiga as possíveis rochas-fonte de metais para a mina de ouro do Schramm, localizada na porção centro-leste do Escudo Catarinense. As relações estratigráficas indicam uma idade mínima para mineralização de 534 Ma, correspondente à idade do metamorfismo de baixo grau que afetou o Grupo Itajaí e, localizadamente, o Complexo Granulítico de Santa Catarina (Basei 1985) que encaixam os filões.

A análise dos isótopos de Pb em depósitos minerais pode fornecer indicações sobre a fonte e a idade de extração dos elementos de minério, constituindo poderosa ferramenta para a discussão

sobre a gênese de mineralizações (Doe & Stacey 1974). Assim, independente do estágio de formação do mineral, a idade modelo pode registrar o tempo de extração do chumbo da fonte. Os elementos terras raras, da mesma forma, são bons indicadores de fonte, em função de sua baixa mobilidade geoquímica, mesmo sob condições de alteração hidrotermal.

Com o objetivo de obter informações sobre a idade e as possíveis rochas-fonte do ouro da mina do Schramm foram realizadas análises de isótopos de Pb na galena e sulfossais componentes da paragénesese do minério. Adicionalmente, foram realizadas análises do conteúdo de ETR em diversas amostras do minério e das encaixantes, cujos re-

sultados foram comparados com os dados de rochas similares disponíveis na literatura.

MÉTODOS

As análises de isótopos de Pb foram realizadas no Laboratório de Geoquímica Isotópica do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no espectrômetro de massa de ionização térmica de marca VG Sector 54®. A rotina analítica adotada consistiu na pesagem, abertura química das amostras com HNO₃ e HBr, diluição, deposição da amostra nos filamentos e leitura no espectrômetro de massa.

Os cálculos das idades modelo foram realizados com base na curva de crescimento isotópico do chumbo na Terra em estágio duplo

proposto por Stacey & Kramers (1975).

As análises dos elementos terras raras foram realizadas pelo método de ativação neutrônica (INAA) no Laboratório ActLabs do Canadá. Esta técnica permitiu determinar os conteúdos de La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb e Lu em amostras de minério e de rocha encaixante.

CONTEXTO GEOLÓGICO DA MINERALIZAÇÃO

A mina de ouro do Schramm está localizada no distrito do Ribeirão do Arraial, próximo ao contato entre o Complexo Granulítico de Santa Catarina (Hartmann *et al.* 1979a) e o Grupo Itajaí (Silva & Dias 1981), na porção centro-leste do Escudo Catarinense (Fig. 1).

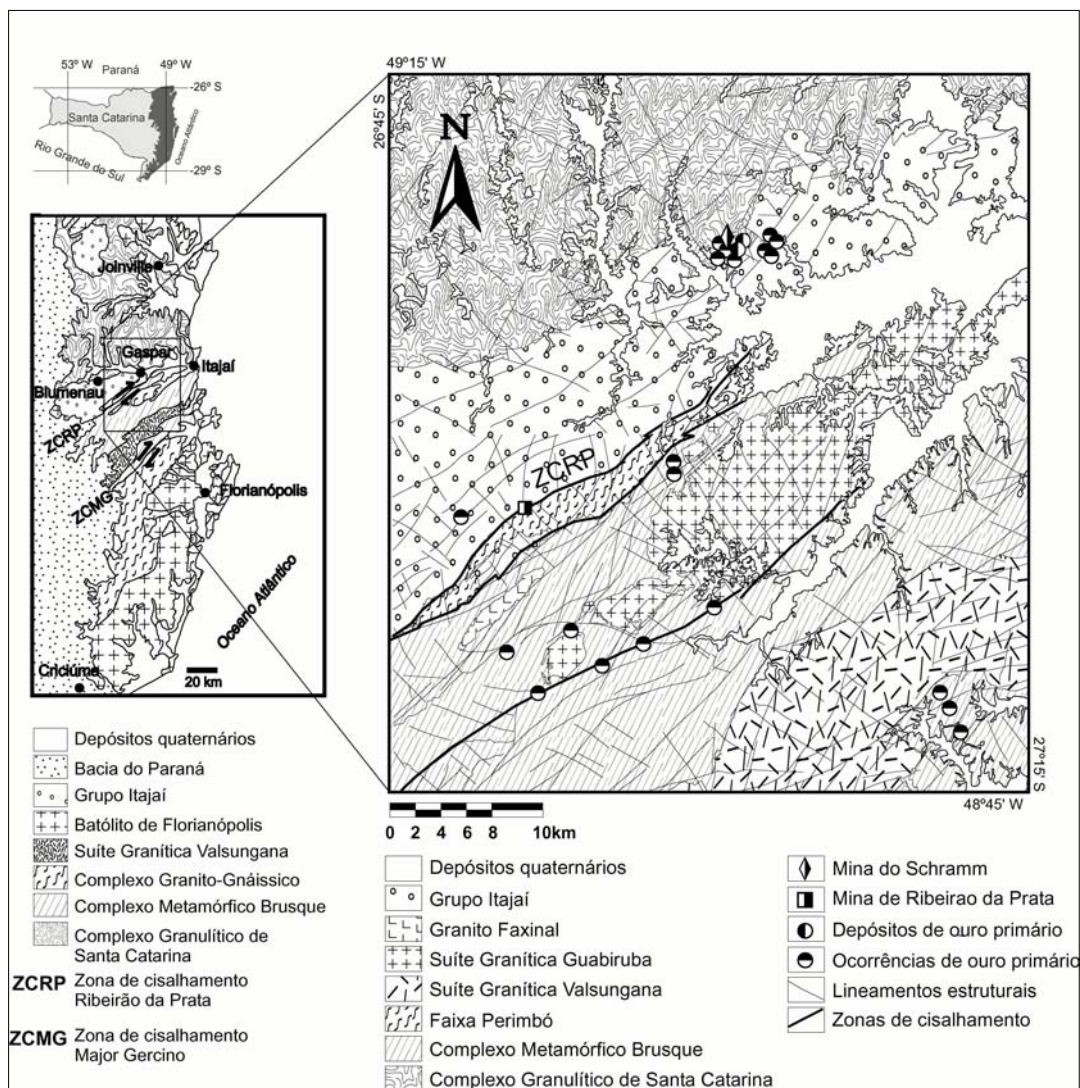


Figura 1 - Mapa geológico da região de Gaspar, SC (modificado de Silva & Dias, 1981; Silva, 1987; Caldasso *et al.*, 1995; Farina *et al.*, 1997).

Nesta área afloram arenitos grossos lito-feldspáticos de coloração bordô, com lentes de conglomerado polimítico do Grupo Itajaí, que se sobrepõem aos gnaisses noríticos e enderbíticos do Complexo Granulítico de Santa Catarina. Os gnaisses apresentam bandamento, com atitude geral N30°E/ subvertical, e foram afetados por zonas de cisalhamento de direção N25°E a N30°W/ subvertical (Biondi *et al.* 2001). Estas zonas de cisalhamento tiveram sua atividade relacionada à reativação das zonas de cisalhamento principais de Ribeirão da Prata e Major Gercino de direção NE-SW, e transformaram os gnaisses em milonitos, blastomilonitos e cataclasitos (Biondi *et al.* 1992). Nas zonas de cisalhamento os gnaisses foram afetados por retrometamorfismo de fácies xisto-verde, ocorrendo a neoformação de clorita-epidoto-microclínio (Hartmann *et al.* 1979b).

MINA DO SCHRAMM

De acordo com Biondi *et al.* (2001), o filão da mina do Schramm está encaixado em zona de cisalhamento de alto ângulo de direção N5-10°E, sem entretanto apresentar sinais de deformação. Segundo esses autores, o filão contém minério com teores de ouro entre 500 a 2.300 ppm e está associado com sulfetos de Ni, As e Co, que estão contidos em veios maciços de siderita, anquerita (dolomita) e

quartzo. O ouro concentra-se em bolsões nos veios, em meio a granulitos e gnaisses intensamente carbonatados, cloritizados, sericitizados e silicificados.

O filão da mina do Schramm é controlado por zona de fratura de distensão com direção N85°W/80°SW (Rocha *et al.* 2003), que corta gnaisses granulíticos máfico-ultramáficos com uma intercalação de gnaiss quartzo-feldspático e diversas lentes de formação ferrífera bandada à magnetita (Fig. 2), pertencente ao Complexo Granulítico de Santa Catarina. Os filões de quartzo auríferos, identificados por Biondi *et al.* (1992) na área do Ribeirão do Arraial, e com a mesma direção, cortam rochas do Grupo Itajaí, sendo, portanto, pós-metamórficos. Os gnaisses apresentam bandamento decimétrico e textura equigranular granoblástica poligonal e inequigranular interlobada a poligonal. Subordinadamente ocorrem associadas às rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina pequenas exposições de hornblenda gnaiss com textura nematoblástica, cortado por veios pegmatóides de composição trondhjemítica, e um provável dique olivina basalto com textura ofítica.

A zona de alteração hidrotermal mais intensa tem espessura em torno de 0,6 m, sendo caracterizada por carbonatação, cloritização e sulfetação, principalmente nas lentes de formações ferríferas bandadas e nos gnaisses granulíticos máficos, obliterando a matriz da rocha. A encaixante é ainda

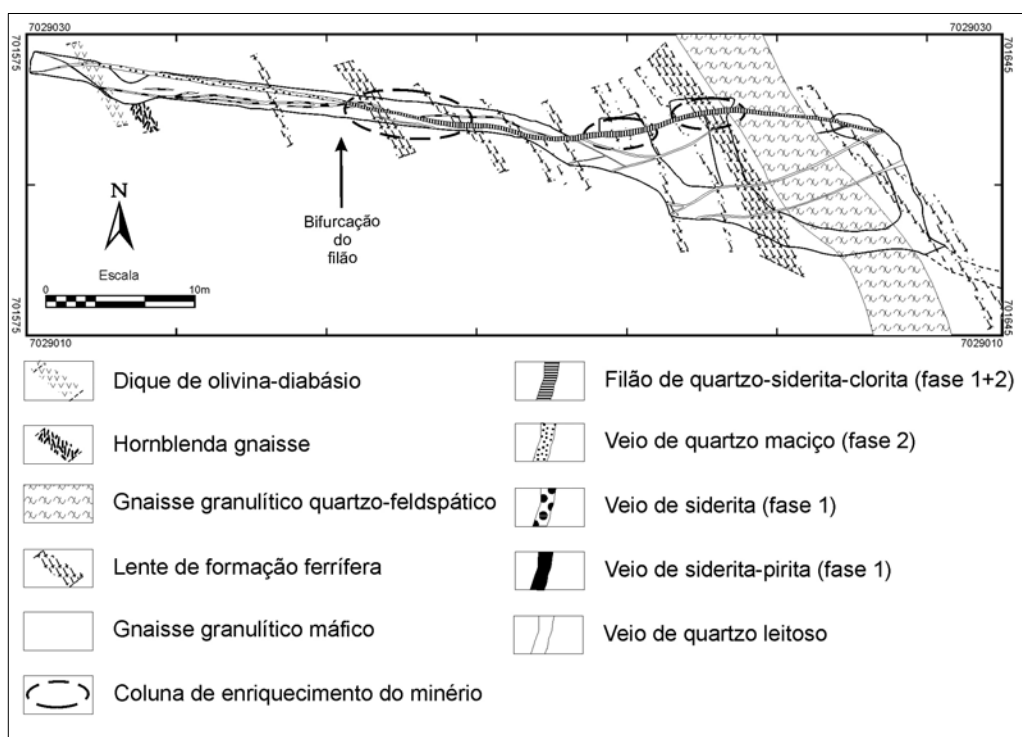


Figura 2 - Mapa geológico de detalhe da mina de ouro do Schramm.

freqüentemente cortada por vênulas de siderita, siderita-clorita e quartzo-clorita, nesta seqüência de corte. Na extremidade leste do filão a encaixante é cortada por uma série de veios de quartzo leitoso, mais antigos que a mineralização. A silicificação, descrita por Biondi *et al.* (2001) não foi observada, considerando que o filão representa a fase de mineralização (pós-alteração hidrotermal).

As maiores concentrações de ouro ocorrem em três colunas, com aproximadamente 0,5 x 5 x 20 m, similar à geometria em *shoots* descrita por Peters (1993). Estas colunas coincidem com os segmentos da encaixante, onde ocorrem as lentes de formação ferrífera à magnetita cortada pelo filão (Fig. 2). Os teores verificados nestes locais (26 a 57 ppm) são relativamente altos quando comparados com aqueles de amostras oriundas de outras porções do filão. Porém, destaca-se que as amostras selecionadas para análise não apresentavam ouro visível a olho nu.

O contato com a encaixante é brusco, tanto na lapa como na capa do filão, independente do grau de alteração da encaixante. A paragênese do minério (Quadro 1) foi depositada em duas fases sucessivas, formando estrutura contínua de preenchimento simétrico, com minério da fase 1 na borda e o da fase 2 no centro da caixa filoneana (Rocha *et al.* 2003). A primeira fase de preenchimento é composta por siderita, abrangendo cerca de 20% do volume do filão, que ocorre com textura maciça e coloração bege, com crescimento sintaxial dos cris-

tais romboédricos-escalenoédricos centimétricos. A presença de anquerita na paragênese da mineralização, como descrita por Biondi *et al.* (2001), foi observada somente como níveis milimétricos intercalados na siderita. Esses carbonatos foram identificados por análises por difração de raios x e ensaios colorimétricos com alizarina S. Observa-se que nos locais analisados não foi identificada a presença de dolomita. Clorita ocorre de forma subordinada, formando aglomerados centimétricos de cristais idiomórficos pseudo-hexagonais de coloração verde escura, que ocupam pequenos espaços entre os cristais de siderita.

A segunda fase de preenchimento do filão é caracterizada pela deposição de banda centimétrica contínua de siderita e clorita, seguida pela deposição de quartzo maciço leitoso. O quartzo constitui 95% do preenchimento, apresentando variação textural e granulométrica, sendo microcristalino na borda da fase 2 a grosso no centro (cristais centimétricos com textura em pente). Em meio ao quartzo ocorrem agregados centimétricos de cristais de clorita idiomórfica intercrescidos com quartzo e resíduos de bandas milimétricas descontínuas de siderita no centro do filão.

O ouro ocorre predominantemente como trilhas na interface entre os preenchimentos das fases 1 e 2, ou seja, no contato da siderita com o quartzo, ou nas bandas mais precoces da fase 2

Quadro 1 - Paragênese do filão da mina de ouro do Schramm (■ abundante ■ comum — raro).

Mineral	1ª fase de preenchimento	2ª fase de preenchimento	Alteração intempérica
Siderita	■	■	
Quartzo	—	■	
Clorita	■	■	
Esfalerita	—		
Calcopirita	■		
Bornita		—	
Rutilo	—		
Monazita	—		
Pirita	■	■	
Galena	■	■	
Gustavita-Lillianita		—	
Ouro nativo		—	
Calcita	—		—
Hematita			■
Goetita			■
Psilomelana			■
Malaquita			—
Anglesita			—
Enxofre nativo			—
Chumbo nativo			—

(quartzosa).

O filão bifurca-se no setor oeste da mina em dois ramos (Fig. 2). O ramo sul é constituído pelo veio de siderita da fase 1 e o ramo norte por quartzo leitoso maciço com banda centimétrica de siderita-clorita da fase 2. É marcante a presença de *cocardes* no veio da fase 2, formados por fragmentos da rocha com deposição de auréolas de siderita-clorita desta fase.

No extremo oeste da galeria, o veio de siderita da fase 1 é cortado pelo veio de quartzo da fase 2, afinando gradativamente a partir do cruzamento, até os veios atingirem espessuras milimétricas no final da galeria. Entretanto, a continuidade do filão em superfície para oeste indica que provavelmente o avanço da galeria atingirá zonas mais espessas.

Minerais de Pb

Os principais minerais metálicos da mina do Schramm são sulfetos (Cu-Pb-Zn), sulfossais (Pb-Bi-Ag-Cu) e ouro nativo. Estes minerais foram depositados durante as duas fases de preenchimento do filão (Rocha *et al.* 2003) e representam menos de 2% do volume do preenchimento.

A Galena ocorre como cristais idiomórficos, geralmente isolados na matriz de siderita ou como cristais maiores associados à calcopirita, pirita e ouro na matriz de quartzo-siderita da fase 2.

Os sulfossais cristalizaram nos planos de clivagem da siderita do início da fase 2, em estreita associação espacial com ouro. Observam-se, por vezes, intercrescimentos desses minerais com “textura de coprecipitação”, similar à cristalização em sistema eutético. Os cristais de sulfossais apresentam lamelas de exsolução de galena e lillianita-gustavita, com padrão radiado ou simplectítico (Rocha *et al.* 2003).

O ouro nativo, da mesma forma que os sulfossais, ocorre nos planos de clivagem e fratura da siderita junto ao contato com quartzo. No centro

do filão, onde predomina quartzo da fase 2, ouro está associado às finas bandas de siderita. As relações de contato do ouro livre com os sulfetos indicam que estes não são coprecipitados, o que é evidenciado pelos contatos arredondados do ouro com calcopirita e galena (Quadro 1). Ouro e sulfossais podem ocorrer, ainda, formando finas películas que preenchem fraturas em cristais de pirita idiomórfica da fase 1.

DADOS ISOTÓPICOS PRÉVIOS

Os estudos isotópicos anteriores efetuados na área objetivaram, fundamentalmente, a datação das unidades litoestratigráficas do Escudo Catarinense. Os únicos dados de razões isotópicas de minerais de minério na área de interesse, para uso em geoquímica isotópica, foram apresentados no trabalho de Cassedanne & Lasserre (1969).

Atualmente, dispõe-se de grande volume de dados geocronológicos de rocha total (RT) e minerais, decorrentes de análises realizadas por diversos métodos como: Sm-Nd, Pb-Pb, Rb-Sr e K-Ar em RT; K-Ar em biotita e anfibólio; Rb-Sr em sericita; U-Pb em zircão, esfeno e monazita; e U-Pb (SHRIMP). Os dados apresentados na tabela 1 são oriundos dos trabalhos realizados por diversos autores na porção centro-leste do Escudo Catarinense, que, embora não possam ser comparados diretamente com os obtidos no presente trabalho, auxiliam nas interpretações dos resultados obtidos nas análises dos isótopos de chumbo da galena e sulfossais.

Como pode ser observado na tabela 1, existe maior concentração de idades acima de 2,5 Ga, sendo esta idade interpretada como representativa da formação das unidades do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Basei 1985). Esta interpretação baseia-se na determinação das idades, utilizando sistemas robustos como o U-Pb e também em idades modelo Sm-Nd (T_{DM}), que representam a época de incorporação do material juvenil na crosta (Mantovani *et al.* 1987).

Tabela 1 - Síntese dos dados geocronológicos disponíveis na bibliografia para a região norte do Escudo Catarinense

Unidade e/ou Localidade (nomenclatura segundo o autor)	Idade	Método	Referência
Grupo Itajaí	510 – 550 Ma	K-Ar – MS*	Macedo <i>et al.</i> (1984)
Grupo Itajaí	540 Ma	Rb-Sr – RT**	Macedo <i>et al.</i> (1984)
Grupo Itajaí	534 Ma		Basei (1985)
Grupo Itajaí	522 Ma	K-Ar – MS muscovita	Schiker & Biondi (1996)
Gnaisses e ultramafitos do CGSC	2,3 Ga	K-Ar – RT	Bartorelli <i>et al.</i> (1968)
Gnaisses e ultramafitos do CGSC	3,4 Ga (2,8 Ga)	K-Ar – MS	Minioli (1972)
Barra Velha / Luís Alves	2,6 Ga	Rb-Sr – isócrona	Teixeira (1969)
Luís Alves	2,7 Ga	Rb-Sr	Hartmann <i>et al.</i> (1979a)
Luís Alves	2,0 Ga	K-Ar	Hartmann <i>et al.</i> (1979a)
CGSC	2,8 Ga	K-Ar – MS anfibólio	Basei (1985)
CGSC	570 Ma	U-Pb – MS monazita	Basei (1985)
CGSC	1,4 Ga (1,8 Ga)	K-Ar – MS biotita	Basei (1985)
granulitos Blumenau / Indaial	2,2 Ga	Rb-Sr – RT	Basei (1985)
mesossoma migmatito Luís Alves	2,8 Ga		Basei (1985)
leucossoma migmatito Luís Alves	1,9 Ga		Basei (1985)
Granulito	2,1 Ga	Pb-Pb – RT	Basei (1985)
Luís Alves	2,4 Ga	U-Pb – MS zircão	Basei (1985)
Granulito Luís Alves	2,6 Ga	Sm-Nd	Mantovani <i>et al.</i> (1987)
Granulito máfico	2,72 Ga	U-Pb (SHRIMP)	Hartmann <i>et al.</i> (2000)

*MS = mineral separado; ** RT = rocha total.

O intervalo de idades entre 1,8 e 2,2 Ga foi atribuído a um importante evento tectono-termal ocorrido no Escudo Catarinense durante o ciclo orogênico paleoproterozóico (Basei, *op. cit.*). Este evento está relacionado com o metamorfismo de alto grau e com algumas intrusões máfico-ultramáficas, presentes na região de Barra Velha.

A idade de 570 Ma, obtida em monazita de gnaisses do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Basei 1985), pode representar a fase de alteração hidrotermal que afetou estas rochas, principalmente nas zonas de falha. Esta hipótese é reforçada pela existência de um “colar” de cristais micrométricos de monazita neoformada ao redor de um cristal maior de apatita da matriz do gnaiss granulítico máfico alterado, na mina do Schramm, o que não é verificado na rocha sã.

As idades correspondentes ao final do Ciclo Brasileiro são registradas, fundamentalmente, nas unidades do Grupo Itajaí. As idades atribuídas à formação das unidades metassedimentares do Grupo Itajaí encontram-se no intervalo de 510 a 550 Ma. Entretanto, em parte, estas idades devem corresponder ao evento de metamorfismo de baixo grau (534 Ma) que afetou as unidades do Grupo Itajaí e do Complexo Granulítico de Santa Catarina.

DADOS ISOTÓPICOS DA MINA DE RIBEIRÃO DA PRATA

Cassedane & Lasserre (1969) realizaram análises de isótopos de Pb em duas amostras de galena da mina Ribeirão da Prata (Tab.2), localizada 25 Km a sudoeste da mina do Schramm. Esses depósitos são controlados respectivamente pela Zona de Cisalhamento do Ribeirão da Prata e por estruturas conjugadas. Os

resultados das análises isotópicas permitiram calcular a idade modelo Pb^{207}/Pb^{206} (Stacey & Kramers, 1975) de 1,85 Ga do depósito de Ribeirão da Prata.

Tabela 2 - Resultados das análises de isótopos de Pb da mina de Ribeirão da Prata conforme Cassedane & Lasserre (1969). Cálculo da idade modelo baseado nas constantes propostas por Stacey & Kramers (1975).

Amostra	Pb^{206}/Pb^{204}	Pb^{207}/Pb^{204}	Pb^{208}/Pb^{204}	Idade Modelo
DP-64	16,13	15,62	37,04	1,86 Ga
DP-70	16,22	15,70	37,35	1,85 Ga

As amostras analisadas foram classificadas como galena do tipo B, cuja idade modelo é superior à idade de formação. As idades calculadas correspondem à primeira individualização do Pb, o qual pode ter sofrido uma ou várias migrações antes da deposição no sítio mineral estudado. Cassedane & Lasserre (1969) incluíram a galena da mina Ribeirão da Prata no grupo II, que tem idade média de 1,8 Ga e relacionaram sua cristalização a uma fase metalogênica pós-Bambuí, que teria ocorrido há 520 Ma. Esta última idade é coincidente com a obtida em muscovita da zona de alteração hidrotermal da mina Ribeirão da Prata (Schiker & Biondi 1996).

ISÓTOPOS DE Pb NA MINA DO SCHRAMM

As análises da composição isotópica do Pb foram realizadas em cinco amostras da paragênese metálica do filão da mina de ouro do Schramm. Destas amostras, duas são de galena em paragênese com calcopirita, pirita e bornita. As outras são amostras de sulfossais da série gustavita-lillianita, que se encontram próximos ou mesmo intercrescidos com ouro nativo (Rocha *et al.* 2003).

Os resultados dos isótopos de Pb da galena e sulfossais da mina do Schramm são bastante consistentes e plotam próximos, porém um pouco acima, da

curva de evolução isotópica do Pb em estágio duplo proposta por Stacey & Kramers (1975) (Fig. 3). A composição isotópica do minério do depósito representa a razão inicial do Pb, ou seja, a idade de extração da fonte e não da formação dos minerais de chumbo. Observa-se que a composição isotópica das amostras de galena do depósito de Ribeirão da Prata (Cassedanne & Lasserre, 1969) é bastante similar àquelas da mina do Schramm.

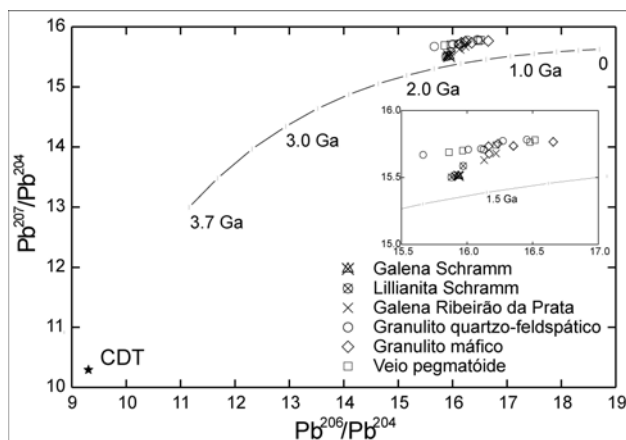


Figura 3 - Diagrama Pb^{207}/Pb^{204} X Pb^{206}/Pb^{204} mostrando as razões isotópicas da galena e sulfossais da mina do Schramm, galena de Ribeirão da Prata e de amostras de granulito máfico, granulito quartzo-feldspático e veios pegmatóides do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Basei & Teixeira, 1987). As amostras do minério e das rochas regionais plotam acima da curva de crescimento isotópico do Pb proposta por Stacey & Kramers (1975). No retângulo inscrito (detalhe) observa-se que a composição isotópica do minério sobrepõe parcialmente a das rochas regionais (CGSC) e que o minério possui assinatura de Pb primitivo, consistente com a composição isotópica de embasamento antigo (CDT= troilita do Cânion do Diabo, representando a composição isotópica original).

Considerando que a idade estimada para o depósito do Schramm é de cerca de 534 Ma, a composição isotópica do Pb do minério é bastante primitiva, quando comparada à litosfera típica, conforme modelado pela curva de crescimento isotópico de Stacey & Kramers (1975). Esta assinatura isotópica é similar àquelas que possuem Pb derivado de embasamentos antigos, cujas razões U/Pb são relativamente baixas. Assim, a idade modelo obtida nestas amostras apresentou valor médio de 1,88 Ga, independente do mineral analisado (Tab. 3). Esta idade é discordante da idade mínima atribuída para a mineralização, em função das relações estratigráficas do filão, e indica a idade da extração do metal de sua fonte. Entretanto, pode também representar a mistura de fontes com diferentes idades.

Tabela 3 - Resultados das análises de isótopos de Pb da mina do Schramm. Cálculo da idade modelo baseado nas constantes propostas por Stacey & Kramers (1975).

Amostra	Mineral	Pb^{206}/Pb^{204}	Pb^{207}/Pb^{204}	Pb^{208}/Pb^{204}	Idade Modelo
SR-30	li-gu*	15,905	15,516	36,53	1,88 Ga
SR-19	li-gu	15,88	15,503	36,528	1,88 Ga
SR-22	li-gu	15,97	15,588	36,824	1,93 Ga
SR-11	galena	15,932	15,514	36,583	1,85 Ga
SR-29	galena	15,939	15,511	36,606	1,85 Ga

*li-gu = lillianita-gustavita

A idade modelo calculada para o minério do Schramm encontra-se dentro do intervalo (1,8 a 2,2 Ga), obtido nos gnaisses do Complexo Granulítico de Santa Catarina pelo método Pb/Pb RT (Basei 1985). Coincidindo com este intervalo de idades existem, ainda, os resultados de isótopos de Pb da galena da mina de Ribeirão da Prata. Como pode ser observado na figura 4, as unidades litológicas do Complexo Granulítico de Santa Catarina apresentam alta proporção de Pb radiogênico, que se situa acima da curva de crescimento do Pb terrestre (Stacey & Kramers 1975). Pode-se perceber, ainda, certa tendência de agrupamento dos pontos correspondentes aos minerais de minério com os dos gnaisses granulíticos máficos. Entretanto, a determinação do panorama integral com relação à fonte do chumbo desses minerais carece de dados relativos às razões Pb/Pb das demais unidades litoestratigráficas do Escudo Catarinense. Isso impossibilita discussão mais aprofundada sobre a possibilidade de outras rochas fontes para a mineralização de ouro, como, por exemplo, os granitos e as rochas metassedimentares do Grupo Itajaí.

Os resultados da composição isotópica do Pb sugerem que as rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina são a fonte do ouro, especialmente as que se encontram na seqüência dos gnaisses granulíticos máficos. Assim como as demais unidades do Complexo Granulítico de Santa Catarina, as lentes de formação ferrífera bandada foram submetidas a metamorfismo de alto grau no Paleoproterozóico. A partir desse evento, o Complexo Granulítico de Santa Catarina tornou-se tectonicamente estabilizado, sendo reativado durante a orogênese do Ciclo Brasileiro.

As idades modelo obtidas nos minerais metálicos da mina do Schramm registram a liberação do Pb, devido ao metamorfismo de fácies granulito das unidades do Complexo Granulítico de Santa Catarina durante o Paleoproterozóico. O Complexo

Granulítico de Santa Catarina foi, posteriormente, afetado nas zonas de falha por retrometamorfismo no final do Neoproterozóico, concomitante com o metamorfismo do Grupo Itajaí.

A similaridade na composição isotópica do Pb e, em consequência, nas idades modelo das minas do Schramm e Ribeirão da Prata, reforçam a evidência de que ambos os depósitos são controlados por estruturas de primeira e segunda ordem que são relacionadas às extensas zonas de cisalhamento regional (Ribeirão da Prata e Major Gercino). Os resultados indicam que esses depósitos compartilham uma fonte similar de chumbo. As composições contrastantes dos minérios desses dois depósitos são decorrentes das diferentes rochas-fonte, ou seja, em Ribeirão da Prata não ocorrem gnaisses máficos nem lentes de formações ferríferas bandadas.

ELEMENTOS TERRAS RARAS

Os resultados das análises dos ETR em amostras das rochas encaixantes (Tab. 4a) e do minério da mina do Schramm (Tab. 4b), são apre-

sentados como ferramenta adicional para discussão sobre a fonte dos metais. Os resultados obtidos apresentaram conteúdos variáveis de ETR nas amostras do filão e da rocha, sendo a média de Σ ETR no filão de 30,11 ppm e na rocha de 133,32 ppm.

Os padrões normalizados ao condrito (Evensen *et al.* 1978) das rochas encaixantes (Fig. 4b) mostraram-se bastante similares aos padrões de rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Fig. 4a) apresentados por Hartmann (1988) e Fornari (1998), onde se verifica o enriquecimento em ETR leves e a ausência de anomalias de Eu, correspondendo às suites de enderbitos e charnoenderbitos (Fornari 1998). Já os padrões dos piroxenitos (Hartmann 1998) e de magnetitos (Fornari 1998) apresentam maior similaridade com os das amostras do filão mineralizado, ou seja, baixíssimo conteúdo de ETR, formato aproximadamente plano e ausência de anomalias de Eu. Nota-se, ainda, que as amostras do filão com ouro são as que apresentaram os menores conteúdos de ETR (Fig. 5). Estas não apresentaram diferenciação de ETR leves (La/Sm) nem de ETR totais (La/Yb).

Tabela 4a: Resultados das análises de elementos terras raras das rochas encaixantes da mina do Schramm.

Amostra	Rocha	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	SETR	La/Sm	La/Yb
SR-3	gn. gran. máf. alt.	41,9	69	20	3,3	1,3	n.d.	0,9	0,1	136,5	12,7	46,6
SR-6A	form. fer. band.	18,5	30	8	1,1	0,9	n.d.	3,2	0,5	62,2	16,8	5,8
SR-13	gn. gran. máf.	40,1	90	42	8,1	2	n.d.	2,3	0,3	184,8	5,0	17,4
SR-14D	horn. gnaissse	23,5	54	30	5,9	1,6	n.d.	1,5	0,2	116,7	4,0	15,7
SR-15A	gn. gran. máf. alt.	64,8	127	64	10,5	2,2	n.d.	3,4	0,4	272,3	6,2	19,1
SR-24	gn. gran. máf.	6,7	11	0	2,4	0,7	n.d.	2,5	0,4	23,7	3,7	3,5

n.d.= não detectado; gn. gran. máf. alt. = gnaissse granulítico máfico alterado; form. fer. band. = formação ferrífera bandada; gn. gran. máf. = gnaissse granulítico máfico; horn. gnaissse = hornblenda gnaissse.

Tabela 4b: Resultados das análises de elementos terras raras do filão da mina do Schramm.

Amostra	Rocha	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	SETR	La/Sm	La/Yb
SR-1*	siderita	8,8	17	n.d.	1,4	0,6	n.d.	0,7	0,14	28,6	6,3	12,6
SR-2	qzo-sid-clo	34,5	60	20	2,4	1	n.d.	0,9	0,17	119,0	14,4	38,3
SR-4	qzo-sid-clo	12	20	11	1,8	0,8	n.d.	1,4	0,14	47,1	6,7	8,6
SR-11	qzo-sid	6,9	14	n.d.	1,1	0,3	n.d.	1	0,16	23,5	6,3	6,9
SR-12*	siderita	2,3	5	n.d.	0,5	n.d.	n.d.	0,7	0,11	8,6	4,6	3,3
SR-16	qzo-sid	17,1	42	10	4	1	n.d.	1,7	0,2	76	4,3	10,1
SR-19*	siderita	1,2	n.d.	n.d.	0,3	0,3	n.d.	0,9	0,11	2,8	4,0	1,3
SR-21*	sid oxidada	6,5	15	n.d.	1	0,2	n.d.	1,3	0,16	24,2	6,5	5,0
SR-22	siderita	1,5	n.d.	n.d.	0,5	n.d.	n.d.	2	0,24	4,2	3,0	0,8
SR-23	qzo-sid	1,8	4	n.d.	0,4	n.d.	n.d.	0,6	0,08	6,9	4,5	3,0
SR-29A	qzo-sid	6,7	15	n.d.	1,8	0,6	1,2	1,9	0,23	27,4	3,7	3,5
SR-30(A)*	siderita	0,5	n.d.	n.d.	0,3	n.d.	n.d.	1,3	0,2	2,3	1,7	0,4
SR-30(X)	siderita	1,4	n.d.	n.d.	0,3	n.d.	n.d.	1,2	0,19	3,1	4,7	1,2

n.d.= não detectado. * amostras com ouro.

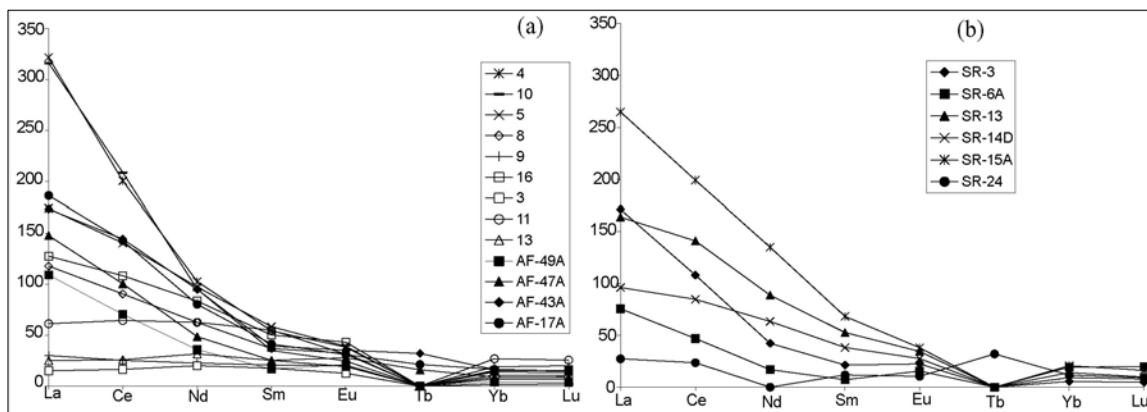


Figura 4 - Padrões de elementos terras raras normalizados ao condrito de Evensen *et al.* (1978) (a) das rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Hartmann, 1988; Fornari, 1998) e (b) das rochas encaixantes da mina do Schramm.

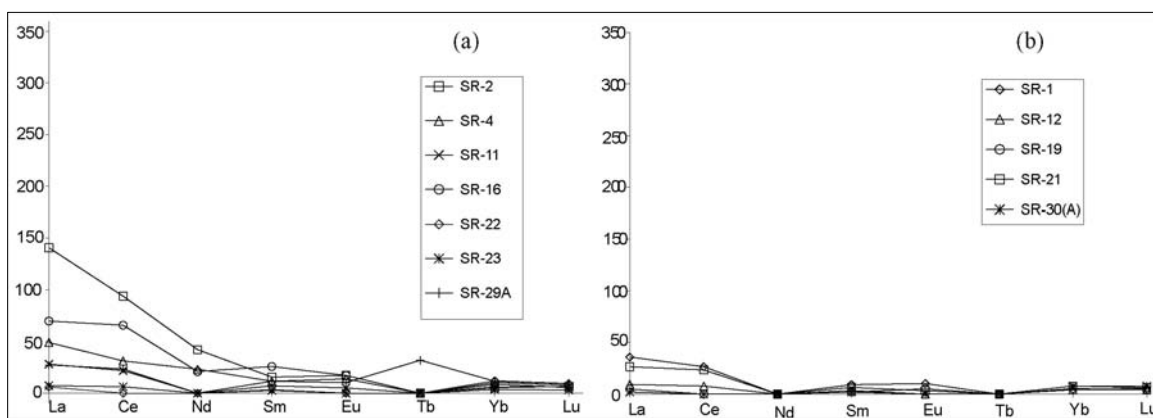


Figura 5 - Padrões de elementos terras raras normalizados ao condrito de Evensen *et al.* (1978) (a) de amostras do filão da mina do Schramm e (b) das amostras do filão com ouro.

A razão La/Sm apresentou valor mais elevado na amostra de formação ferrífera bandada a magnetita, seguida pelo gnaiss granulítico máfico alterado (Tab.4a). As demais rochas apresentaram valores médios pouco variáveis para esta razão. De maneira inversa, a razão La/Yb é mais elevada nas rochas que apresentaram razão La/Sm baixa.

Essas razões foram plotadas em diagramas La/Sm *versus* La/Yb, verificando que, com exceção da formação ferrífera bandada e do gnaiss granulítico máfico, as encaixantes da mineralização e as demais rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Fig. 6a) apresentam correlação elevada (0,98) entre estas razões. As amostras do filão apresentam maior dispersão (Fig. 6b), entretanto, distingue-se certo alinhamento das amostras do veio de siderita que, em seu prolongamento, coincide com a

amostra da formação ferrífera bandada a magnetita, diferentemente das demais rochas. Esta relação é evidência adicional para a hipótese de que essa rocha foi a provável rocha-fonte de ouro, uma vez que os maiores teores de ouro são encontrados nos veios de siderita. Todavia, essas observações são preliminares e maior número de análises das diferentes rochas seria necessário para afirmações mais conclusivas.

No filão, o maior valor da razão La/Sm foi encontrado na amostra do contato com a formação ferrífera bandada, em que também foi verificada a razão La/Yb mais elevada. As demais amostras apresentam valor médio baixo para essas razões. As amostras do filão que apresentaram razão La/Yb mais altas são aquelas que contém quartzo e clorita.

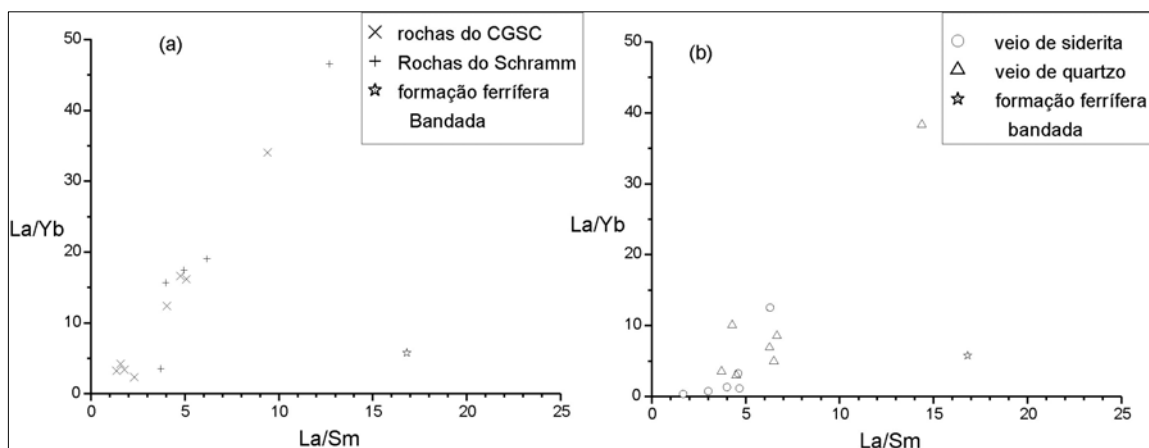


Figura 6 - Diagramas La/Sm versus La/Yb (a) das rochas encaixantes da mina do Schramm e do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Hartmann, 1988; Fornari, 1998) e (b) do filão da mina do Schramm.

CONCLUSÕES

A combinação dos resultados das análises de isótopos de Pb, de ETR, da mineralogia e da distribuição de ouro no filão indica que a fonte do ouro da mina do Schramm é o Complexo Granulítico de Santa Catarina, particularmente as lentes de formação ferrífera (magnetitito) e os gnaisses granulíticos máfico-ultramáficos. Esta conclusão baseia-se nas seguintes constatações:

- (1) A composição isotópica do Pb do minério da mina do Schramm é bastante primitiva, mostrando que os metais foram derivados de embasamento antigo, notadamente o Complexo Granulítico de Santa Catarina de idade arqueana-paleoproterozóica;
- (2) Os padrões de ETR de amostras do filão da mina do Schramm são compatíveis com a assinatura dos ETR dos gnaisses máfico-ultramáficos (piroxenitos) e da formação ferrífera (magnetitos) do Complexo Granulítico de Santa Catarina, ou seja, apresentam padrão planar;
- (3) Os locais mais enriquecidos em ouro são aqueles onde o filão corta essas rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina, condicionando a distribuição do ouro em colunas;
- (4) O elevado conteúdo de Ni e As detectado no minério (Biondi *et al.* 2001) é compatível com fontes envolvendo rochas máfico-ultramáficas.

A similaridade na assinatura isotópica do Pb dos minerais de minério, das minas do Schramm e de Ribeirão da Prata, juntamente com o controle estrutural, indica que os depósitos são contemporâneos (≈ 534 Ma) e compartilharam da mesma fonte de chumbo. As extensas zonas de cisalhamento de Ribeirão da Prata e Major Gercino e as estruturas conjugadas serviram de conduto para os fluidos mineralizantes, que percolaram essas zonas de fraqueza em profundidade.

Os padrões de distribuição de elementos terras raras (ETR), por sua vez, demonstraram que os minerais constituintes do filão não foram sítios propícios para acomodação dos ETR lixiviados das rochas encaixantes, o que é indicado pelo baixo conteúdo destes elementos. Observa-se ainda que o filão mineralizado tem padrão de ETR similar aos dos piroxenitos e/ou magnetitos do Complexo Granulítico de Santa Catarina.

A identificação e localização das lentes de formação ferrífera bandada e dos gnaisses máfico-ultramáficos no embasamento antigo, associados às zonas de falha/fratura que encaixam os filões, pode ser importante parâmetro para a exploração de ouro no domínio do Complexo Granulítico de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

- Bartorelli, A.; Minioli, B. & Kawashita, K. 1968. Nota Preliminar sobre rochas ultrabásicas de Itajuba – Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22., 1968, Belo Horizonte. *Anais ...* Belo Horizonte, SBG, v. 1, p. 243-246.
- Basei, M. A. S. 1985. **O Cinturão Dom Feliciano em Santa**

- Catarina**. São Paulo. 196p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Basei, M. A. S. & Teixeira, W. 1987. Geologia do Pré-Cambriano/Eo-Paleozóico de Santa Catarina. In: Silva, L. C. & Bortoluzzi, C. A. (eds). **Texto Explicativo do Mapa Geológico de Santa Catarina, escala 1:500.000**. p. 95-129.
- Biondi, J. C.; Franke, N. D.; Carvalho, P. R. S. & Villanova, S. N. 2001. Geologia e petrologia da mina de ouro Schramm (Gaspar-SC). **Revista Brasileira de Geociências**, 31(3): 287-298.
- Biondi, J. C.; Schicker, G. & Bugalho, A. 1992. Processos Mineralizadores em Bacias Tardi-Orogênicas: 1. Influência das Estruturas Rígidas na Geração dos Depósitos da Minepar e do Ribeirão da Prata, Grupo Itajaí. **Revista Brasileira de Geociências**, 22(3): 275-288.
- Cassedanne, J. E. & Lasserre, M. 1969. Étude géologique et analyse isotopique, par la méthode au plomb, de quelques galènes du Brésil. **Bulletin B.R.G.M., Deuxième série – Section IV**, 1: 71-87.
- Caldasso, A. L. S.; Krebs, A.S.J.; Silva, M.A.S.; Camozzato, E. & Ramgrab, G.E., 1995. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - Botuverá, Folha SG-22-Z-D-I-2, escala 1:50.000**: Brasília, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 303 pp.
- Doe, B. R. & Stacey, J.S., 1974, The application of lead isotopes to the problems of ore genesis and ore prospect evaluation: A review. **Economic Geology**, 69: 757-776.
- Evensen, N. M.; Hamilton, P. J. & O’Nions, R. K. 1978. Rare-earth abundances in chondritic meteorites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 42(8): 1199-1212.
- Farina, M.; Matos, M. M.; Menezes, R. G.; Toniolo, J. A. & Kirchner, C. A. 1997. **Programa Nacional de Prospecção de Ouro – PNPO, Mapa de Jazimentos Auríferos: Área SC-01 Botuverá/Brusque/Gaspar – Santa Catarina**. CPRM/SUREG, Porto Alegre. Escala 1:250.000.
- Fornari, A.1998. **Geologia e metalogênese da porção meridional do Cráton de Luís Alves – SC**. Campinas, 136p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- Hartmann, L. A. 1988. Geoquímica de terras raras e geotermometria de granulitos de Dom Pedrito e Luís Alves, no extremo sul do Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, 2(1): 1-14.
- Hartmann, L. A.; Silva, L. C. & Orlandi F^o, V. 1979a. O Complexo Granulítico de Santa Catarina – Descrição e implicações genéticas. **Acta Geologica Leopoldensia**, 3(6): 93-112.
- Hartmann, L. A.; Nardi, L. S. & Cupertino, J. A. 1979b. A cataclase nos granulitos de Luís Alves (SC). **Acta Geologica Leopoldensia**, 3(6): 29-44.
- Hartmann, L. A.; Santos, J. O.; McNaughton, N. J.; Vasconcellos, M. A. Z. & Silva, L. C. 2000. Ion microprobe (SHRIMP) dates complex granulite from Santa Catarina, southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 72(4): 559-572.
- Macedo, M. H. F., Basei, M.A.S.; Bonhomme, M.G. & Kawashita, K., 1984, Dados geocronológicos referentes às rochas metassedimentares do Grupo Itajaí (SC), **Revista Brasileira de Geociências**, 14(1): 30-34.
- Mantovani, M. S. M.; Hawkesworth, C. J. & Basei, M. A. S. 1987. Nd and Pb isotope studies basing on the Central Evolution of South-Eastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 17(3): 263-268.
- Minioli, B. 1972. **Aspectos geológicos da região litorânea entre Piçarras e Barra Velha, SC**. São Paulo, 104 p., Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Peters, S. G. 1993. Nomenclature, concepts and classification of oreshoots in vein deposits. **Ore Geology Reviews**, 8(1-2), 3-22.
- Rocha, F. F. N.; Bastos Neto, A. C. & Pereira, V. P. 2003. Os sulfossais da mina de ouro do Schramm (SC). **Geochimica Brasiliensis** (no prelo).
- Schiker, G. & Biondi, J. C. 1996. Processos mineralizantes em bacias tardi-orogênicas: 2. Petrologia do depósito de Pb, Zn, Ag (Cu) do Ribeirão da Prata (Santa Catarina, Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, 26(4): 227-242.
- Silva, L.C. 1987. Geologia do Pré-cambriano/Eo-paleozóico de Santa Catarina. In: Silva, L. C.; Bortoluzzi, C. A. (eds). **Texto Explicativo do Mapa Geológico de Santa Catarina, escala 1:500.000**. p. 11-90.
- Silva, L. C. & Dias, A. A. 1981. **Projeto Timbó-Barra Velha**. Porto Alegre, DNPM/CPRM, 282p. (inédito).
- Stacey, J. S. & Kramers, J. D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. **Earth and Planetary Science Letters**, 26(2): 207-221.
- Teixeira, C. A. S. 1969. **Relatório de Estágio no Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo**. Brasil / DNPM, Porto Alegre (relatório inédito), 39p.

