



## Datação e avaliação da fonte dos metais do Depósito Sossego, região de Carajás: evidências isotópicas de Pb e Sm-Nd

M.P. Neves<sup>1</sup>, R.N. Villas<sup>1</sup> & M.A. Galarza<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), CG-UFPA, marcelly\_neves@yahoo.com.br; netuno@ufpa.br

<sup>2</sup> Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso), CG-UFPA, ANTG@UFPA.BR

**Abstract** DATING AND PRELIMINARY ASSESSMENT OF METAL SOURCES OF THE Cu-Au SOSSEGO DEPOSIT, CARAJÁS REGION: Pb AND Sm-Nd ISOTOPE EVIDENCES A Pb and Sm-Nd isotope study was carried out in the Cu-Au Sossego deposit, Carajás Mineral Province, with the purpose of dating the mineralization and evaluating the potential sources of metals. Two Pb-Pb ages were obtained for the Sequeirinho orebody:  $2530 \pm 25$  Ma and  $2608 \pm 25$  Ma. If these values represent the true age of the mineralization, they most likely are related to either the magmatic event that was dated at 2.65 Ga in the neighboring Cu-Au 118 deposit or the minor 2.56-2.57 granitogenesis manifested in Carajás (Old Salobo and Itacaiunas granite). If the mineralization is older and associated with the  $\pm 2.75$  granites mapped in the Canaã de Carajás area, they may indicate an isotopic disturbance in response to subsequent events recorded in the region.  $T_{DM}$  model-age of granitoids and orebodies range from 2.65 to 3.06 Ga, and all  $\epsilon_{Nd}$  values are negative, indicating a crustal source for these rocks. Only the gabbro sample showed a positive  $\epsilon_{Nd}$  value, suggesting a mantellic origin and no contribution to the ore genesis. Sm-Nd data suggest a genetic link between mineralization and granitoids, but the participation of non-magmatic fluids in the formation of the ore is not ruled out.

**Keywords:** Carajás Mineral Province, Mineralization, Pb and Nd isotope.

**INTRODUÇÃO** O depósito Cu-Au do Sossego está situado na Província Mineral de Carajás (PMC), SE do Cráton Amazônico, a cerca de 25 km a NW da cidade de Canaã dos Carajás, sul do Pará, no contato do Grupo Grão Pará, ao norte, com rochas do embasamento, ao sul. Esse depósito possui reservas avaliadas em aproximadamente 250 Mt, com 0,98% de Cu e 0,28 g/t de Au, distribuídas pelos corpos Sequeirinho e Sossego (principais) e Pista, Baiano e Curral. Além de informações gerais sobre a geologia do depósito, são aqui também apresentados dados isotópicos de Pb e Sm-Nd, que objetivaram caracterizar e datar a mineralização de sulfetos, bem como investigar possíveis fontes dos metais.

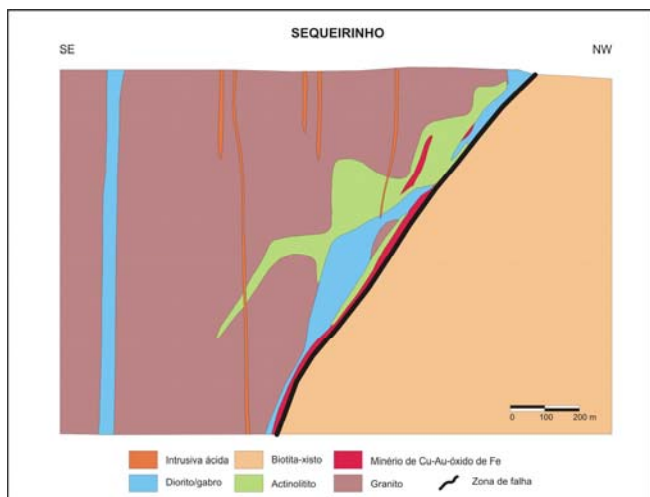
**CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL** O depósito do Sossego ocorre no Bloco Carajás, que constitui a porção norte da PMC. O embasamento arqueano é constituído por ortogranulitos do Complexo Pium e por gnaisses e migmatitos do Complexo Xingu. O Grupo Grão Pará, de idade 2,76 Ga (Machado *et al.* 1991), é uma das seqüências metavulcanossedimentares do Supergrupo Itacaiunas, o qual mostra diferentes graus metamórficos e contém as maiores reservas minerais da PMC.

O Bloco Carajás é tectonicamente definido pelos sistemas transcorrentes Cinzento e Carajás, o primeiro consistindo de um feixe de falhas com direção WNW-ESSE, enquanto o segundo é marcado pela estrutura sigmoidal de Carajás, a qual é atravessada longitudinalmente pela Falha Carajás, de direção geral

NW-SE. Descontinuidades E-W são comuns na zona de contato em que ocorre o depósito do Sossego.

**DEPÓSITO DO SOSSEGO** Os principais tipos litológicos identificados na área são granitóides, rochas máficas, ambos invariavelmente alterados e deformados a diferentes graus, corpos de minério, magnetitos e biotita xistos, além de diques intermediários a máficos. Nenhuma dessas rochas foi até agora datada. Uma seção de SE para NW, do corpo Sequeirinho (Fig. 1) mostra que as rochas estão verticalizadas, e que o corpo de minério está situado em rochas máficas, algumas bastante actinolizadas, no contato entre granitos e biotita xistos, próximo a zonas de falha. Os granitóides são dominantes, de composição original provavelmente sienogranítica a diorítica, e constituídos principalmente de albita, quartzo, epidoto, clorita e feldspato potássico. As rochas máficas são diabásios/gabros, aparentemente posteriores aos granitóides, compostas predominantemente por escapolita, albita, epidoto, clorita e actinolita, esse último muitas vezes tão abundantes que gera actinolitos. Os corpos de minério consistem principalmente de calcopirita, que forma concentrações semimaciaças a maciças, embora também ocorra em disseminações e vênulas, e de quantidades menores de siegenita, magnetita, F-apatita, clinocloro, quartzo e epidoto. Os biotita xistos são caracterizados por forte foliação, com grau de deformação variável. Consiste principalmente de biotita flogopítica, Cl-K-Fe-hastingsita, marialita,

além de quartzo e turmalina. O protólito dessas rochas ainda não está bem definido, podendo ser resultado da milonitização dos granitóides ou ter se originado a partir de leitos evaporíticos ou exalitos. Os diques são de composição quartzo-diorítica e gabróica, e cortam as rochas anteriormente descritas.



*Figura 1. Seção geológica do corpo Sequeirinho, depósito do Sossego (Fonte: CVRD)*

**Alteração hidrotermal** Sericitização, albitização, silicificação, anfibolitização e cloritização são os principais processos hidrotermais que afetaram as rochas graníticas, enquanto actinolitização, escapolitização, cloritização e albitização, o foram nas rochas máficas. Nos biotita xistos, os processos mais

intensos de alteração foram escapolitização e biotitização. Registra-se, também, um intenso metassomatismo de ferro, que gerou corpos de magnetitito nas zonas mais fraturadas. Vênulas tardias, dominadas por calcita, marcam o estágio final da alteração hidrotermal. Com relação à mineralização, a alteração hidrotermal pode ser separada em três fases: 1. pré-mineralização, em que os principais processos hidrotermais foram albitização I, escapolitização, sericitização, anfibolitização (hastingsita) e biotitização (aporte de Na, K e Cl); 2. mineralização, com cloritização, escapolitização, silicificação, epidotização, magnetitização e actinolitização (Fe, Mg, P e Cu); e 3. pós-mineralização com albitização II e carbonatação (CO<sub>2</sub>, Ca e Na).

**ISÓTOPOS DE Pb** Oito amostras de cristais grossos de calcopirita foram selecionadas para análises isotópicas de Pb pela técnica de dissolução total, com vista a datar a mineralização, sendo que em sete delas também foi aplicada a técnica de lixiviação. As amostras para as quais os erros analíticos são aceitáveis, apresentam razões isotópicas <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb e <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb entre 64,397 e 117,328 e entre 25,516 e 34,793, respectivamente (Tabela 1). No diagrama <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb vs. <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb esses dados fornecem idades de 2530±25 Ma com MSWD = 0,64 (Fig. 2A) e de 2608±25 Ma com MSWD = 18 (Fig. 2B) para duas amostras de minério maciço de aspecto brechóide associado ao magnetitito do corpo Sequeirinho.

Amostra	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	1σ	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	1σ
F33-L1	116,712	0,088	34,680	0,036	125,365	0,168
F33-L2	115,797	0,080	34,409	0,037	124,428	0,180
F33-L3	117,326	0,079	34,793	0,033	125,700	0,156
F33-L4	115,012	0,383	34,526	0,117	124,110	0,443
F33-L5	99,357	0,063	31,773	0,029	109,366	0,134
F33-DT	103,224	0,064	32,448	0,030	112,788	0,136
F33-L1*	76,877	0,0632	27,779	0,0295	99,466	0,136
F33-L2*	78,394	0,0641	27,879	0,0301	101,507	0,1337
F33-L3*	77,606	0,0496	27,849	0,026	100,318	0,1216
F33-L4*	74,977	0,0534	27,347	0,0261	97,498	0,1222
F33-L5*	65,297	0,0412	25,755	0,0235	86,582	0,1043
F33-DT*	64,397	0,0403	25,516	0,0231	85,766	0,1032

*Tabela 1. Razões isotópicas de Pb de amostras (F-33/357,1m e F-33\*/385,8m) de calcopirita do corpo Sequeirinho, depósito do Sossego*

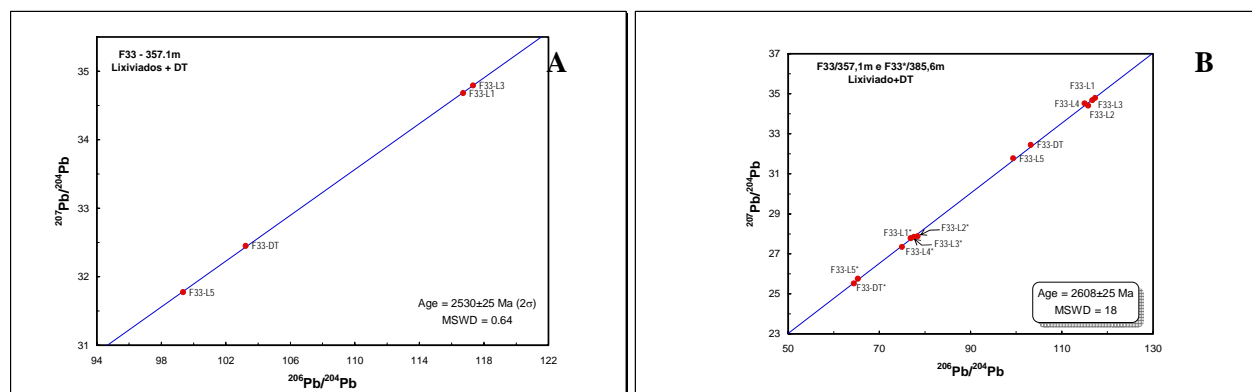


Figura 2. Diagramas  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  de amostras de calcopirita (dissolução total e lixiviação) do corpo Sequeirinho. A) amostra F33/357,1 m e B) amostras F33/357,1 m e F33/385,6 m

**ISÓTOPOS DE Sm-Nd** Foram selecionadas cinco amostras do corpo Sequeirinho (três de minério, uma de granito e uma de gabro) para serem analisadas pelo método Sm-Nd, tendo sido determinadas as idades-modelos ( $T_{\text{DM}}$ ) e o  $\epsilon_{\text{Nd}}$  dessas rochas. Para os cálculos foi usado o modelo do manto empobrecido - DM (DePaolo, 1981) para evolução isotópica de Nd na Terra (Fig. 3). As razões  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  e  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  e as idades-modelo constam da tabela 2. As idades de 2,74 Ga e 2,65 Ga foram usadas para o cálculo de  $\epsilon_{\text{Nd}}$

das rochas ígneas (Tabela 2), a primeira referindo-se a granitóides mapeados na região de Canaã dos Carajás (Sardinha *et al* 2004) e a outra a diques de riolito/dacito presentes no vizinho depósito Cu-Au 118 (Tallarico 2003). Para a mineralização, foram usadas as idades Pb-Pb de 2,53Ga e 2,61Ga (Fig.2A e 2B). Os valores de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  para as de granitóides e minério varia entre -4,21 e -2,3, enquanto a amostra de gabro apresenta  $\epsilon_{\text{Nd}}$  positivo (+2,31 e +3,81).

Amostra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon(o)$	$T_{\text{DM}}$ (Ga)	IDADE (Ga)	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	IDADE (Ga)	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$
				$\pm 2\text{SE}$						
F37/513 BSE	1,922	8,971	0,1295	0,511364	-24,86	3,06	2,53	-3,09	2,61	-2,3
F33/416 BSE	5,479	25,023	0,1324	0,511368	-24,78	3,16	2,53	-3,87	2,61	-3,2
F33/205 BSE	15,584	98,931	0,0952	0,51073	-37,22	2,98	2,53	-4,21	2,61	-3,15
F266/107.7GR	4,857	32,304	0,0909	0,510579	-40,16	3,06	2,65	-4,06	2,74	-2,87
F352/44 GBA	3,007	28,937	0,0628	0,510411	-43,44	2,65	2,65	2,31	2,74	3,81

Tabela 2. Resultados isotópicos de Sm-Nd. BSE-corpo mineralizado; GR-granitóide; GBA-gabro

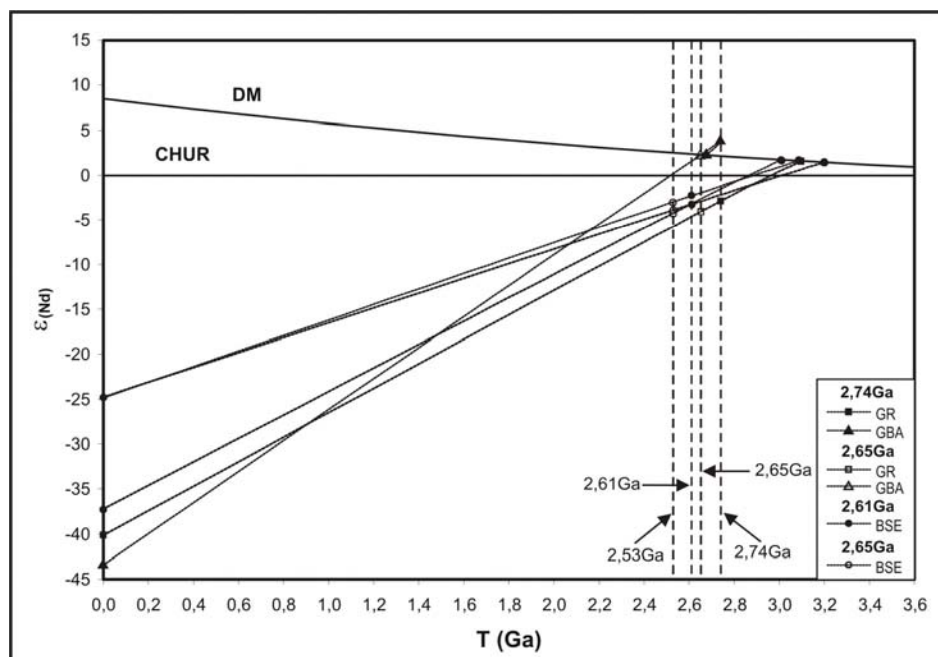


Figura 3. Diagrama  $\epsilon_{Nd}$  vs. idade (Ga) da mineralização, granitóides e gabros do depósito do Sossego (ver texto)

**DISCUSSÃO E CONCLUSÕES** As idades obtidas pelo método Pb-Pb podem ser interpretadas de diferentes maneiras. Se houver um elo genético da mineralização com os granitóides, o que é muito provável, duas hipóteses podem ser levantadas para as idades arqueanas: 1) elas representariam a idade da mineralização, embora não haja ainda dados geocronológicos para os granitóides presentes no depósito, se bem que os diques de riolito e dacito, datados no vizinho depósito do 118 em  $2654 \pm 9$  e  $2645 \pm 9$  Ma (Tallarico 2003), possam representar a manifestação magmática inicial que deu origem àqueles granitóides. Outras idades semelhantes às dos sulfetos têm sido registradas na bacia de Carajás, como é o exemplo dos granitos Velho Salobo ( $2573 \pm 2$  Ma, Machado *et al* 1991) e Itacaiúnas ( $2560 \pm 37$  Ma, Souza *et al* 1996), e da monazita hidrotermal do depósito Igarapé Bahia ( $2575 \pm 12$  Ma, Tallarico *et al.* 2005); 2) outra possibilidade a ser considerada é de que a mineralização estaria ligada aos granitóides da região de Canaã de Carajás (2765-2734 Ma, Sardinha *et al* 2004), e as idades obtidas para os sulfetos

representariam uma perturbação isotópica do sistema do Pb causada pelo evento magmático ocorrido por volta de 2,6 Ga. Caso não exista aquele elo genético, a mineralização poderia estar relacionada a processos metamórficos, e as idades serem a do metamorfismo, embora os eventos metamórficos da região de Canaã de Carajás também ainda não tenham sido datados.

As idades-modelo  $T_{DM}$  de rochas do depósito do Sossego variam entre 2,65 e 3,16 Ga, sendo, à exceção da referente ao gabro, comparáveis às das rochas hospedeiras do depósito Cu-Au Gameleira (3,12 e 3,33 Ga, Galarza & Macambira 2002) e do embasamento, Supergrupo Itacaiúnas e granitóides da PMC (3,16 e 2,92 Ga, Sato & Tassinari 1997). Por outro lado, os valores negativos de  $\epsilon_{Nd}$  indicam uma contribuição crustal para os corpos de minério e granitóides, diferentemente do gabro que tem origem mantélica. Os dados de Sm-Nd, assim, sugerem um elo genético da mineralização com os granitóides, o que não exclui, não obstante, a participação de fluidos não magmáticos na formação do minério.

## Referências

- DEPAOLO D.J. 1981. A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, Califórnia. *Journal of Geophysical Research*, **86**(B11): 10470-10488.
- GALARZA M.A. & MACAMBIRA M.J. 2002. Geocronologia e evolução crustal de área do depósito de Cu-Au Gameleira, Província Mineral de Carajás (Pará), Brasil. *Revista do Instituto de Geociências - USP*. São Paulo. **2**:143-159.



- MACHADO N., LINDENMAYER Z.G., KROGH T.E. 1991. U-Pb Geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**:329-354.
- SARDINHA A.S., DALL'AGNOL R., GOMES A.C.B., MACAMBIRA M.J.B., GALARZA M.A. 2004. Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitóides arqueanos da região de Canaã de Carajás, Província Mineral de Carajás. In: Congresso Brasileiro de Geologia 42, Araxá (MG). *Resumos*, CD-ROM, SBG
- SATO K. & TASSINARI C.C.G. 1997. Principais eventos de acreção continental no Cráton Amazônico baseados em idade-modelo Sm-ND, calculadas em evoluções de estágio único e estágio duplo. In: Costa, M.L.; Angélica, R.S. (coords). *Contribuições à geologia da Amazônia*. Belém, SBG. V.1, p. 91-142.
- SOUZA S.R.B., MACAMBIRA M.J.B., SCHELLER T. 1996. Novos dados geocronológicos para os granites deformados do Rio Itacaiúnas (Serra dos Carajás, PA), implicações estratigráficas. In: SBG, Simp. Geol. Amaz., Belém, *Resumos Expandidos*, p.380-382.
- TALLARICO F.H.B. 2003. *O cinturão cupro-aurífero de Carajás, Brasil*. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.