

Gênese e evolução da alteração hidrotermal no Granito Batalha, Província Aurífera do Tapajós (PA)

Caetano Juliani¹; Rafael H. Corrêa Silva¹; Lena V.S. Monteiro¹; Jorge S. Bettencourt¹; Carmem M.D. Nunes²

¹ Instituto de Geociências da USP (cjuliani@usp.br, Rua do Lago, 562, São Paulo, SP); ² Docegeo/CVRD, ex-aluna de pós-graduação do IGUSP

Introdução: Os principais depósitos de ouro primário da Província Aurífera do Tapajós estão associados principalmente a veios de quartzo mesotermiais a epitermais em zonas de cisalhamento (Almeida *et al.*, 1998; Faraco *et al.*, 1996; Klein *et al.*, 1999; Silva, 1982). O relacionamento das mineralizações com as intrusões graníticas da Suíte Maloquinha é evidenciado por diversos autores, mas o magmatismo é considerado como um agente remobilizador do ouro por Almeida *et al.* (1998), assim como as intrusões de rochas básicas. Algumas mineralizações em rochas graníticas anorogênicas da Suíte Intrusiva Maloquinha, entretanto, tem sido consideradas, com base nos padrões das alterações hidrotermais, como semelhantes a depósitos o tipo *porphyry gold* (Coutinho *et al.*, 1998; Jacobi, 1999; Corrêa-Silva *et al.*, 2000). Através de estudos petrográficos detalhados das alterações hidrotermais associadas às mineralizações primárias existentes no Granito Batalha (Corrêa-Silva, 1999; Corrêa-Silva *et al.*, 2000) concluem que a deposição do ouro ocorreu em estágios pós-magmáticos e que houve reconcentração do metal em zonas de cisalhamentos. Neste trabalho são apresentados resultados de estudos mineralógicos, geoquímicos, geotermobarométricos e da química dos halógenos da biotita, que indicam que o sistema hidrotermal inicial do Granito Batalha corresponde a fluidos relativamente iniciais, mas com características e tendências evolutivas semelhantes aos verificados em depósitos de *Cu Porphyry*.

Contexto geológico: O Granito Batalha faz parte da Província Geocronológica Tapajós-Parima (Santos *et al.*, 2000) e aflora como um corpo elíptico 7,8 x 4 Km, intrusivo em granitóides da Suíte Parauari (Almeida *et al.*, 2000). As encaixantes têm idade aproximada de 1897 ± 6 Ma (U/Pb em zircão) (Santos, 2000) e o Granito Batalha de 1883 ± 4 Ma (U/Pb SHRIMP em zircão) o que, juntamente com suas características petrográficas e geoquímicas, permitem correlacioná-lo com o Granito Rosa de Maio (1879 ± 11 , Pb/Pb em zircão) (Santos *et al.*, 2000), que representa o magmatismo cálcio-alcálico pós-tectônico do arco magmático Parauari. A principal fácies do corpo, que hospeda as mineralizações auríferas, é formada por hornblenda-biotita monzogranito cinza arrozeado, com variações composicionais tendendo a sienogranito, com estrutura maciça, textura

1610586

fanerítica média, levemente porfirítica e com texturas granofíricas incipientes locais. Geralmente a biotita marrom + hornblenda verde azulada estão em teores inferiores a 5% vol., raramente alcançando 10%, o feldspato potássico é representado pelo ortoclásio peritítico a mesoperitítico de granulação um pouco mais grossa, oligoclásio, geralmente com núcleos saussuritizados e quartzo intersticial. Como acessórios estão presentes allanita, zircão, ilmenita e apatita. O granito possui características químicas limítrofes entre cálcio-alcálicas e subalcálicas e é metaluminoso a peraluminoso. A soma das LREE varia entre 206,2 e 313,1 ppm e a de HREE entre 23,6 e 33,2 ppm, valores estes inferiores às médias de granitos do tipo A descritos por (Dall'Agnol *et al.*, 1999; Rämö & Haapala, 1995; Teixeira, 1999). As razões $(\text{Gd/Lu})_N = 1,19$ a $1,60$, $(\text{La/Lu})_N = 6,99$ a $13,55$, $(\text{La/Yb})_N = 7,14$ a $13,33$ e $\text{Eu/Eu}^* = 0,29$ a $0,40$ mostram também significativas diferenças comparativas com os granitos do tipo A e em diagramas discriminantes baseados nos teores de Rb, Nb, Y, Ta e Hf, exibem afinidades geoquímicas com granitos tardi- a pós-colisionais.

Evolução da alteração hidrotermal: O primeiro evento de alteração hidrotermal que afetou o Granito Batalha foi o metassomatismo sódico (Fig. 1), que ocorreu principalmente em estilo pervasivo, resultando na substituição parcial a total do plagioclásio e feldspato potássico ígneos, além da cristalização de albita nos interstícios e ao redor dos feldspatos. Com o relativo empobrecimento em Na no fluido, devido a cristalização de albita, houve enriquecimento em potássio e cristalização de microclina intersticial e biotita verde escura a acastanhada, além da substituição dos feldspatos por microclínio e do anfibólio e biotita ígneos, por biotita hidrotermal, em pressão em torno de 2,6 kbar e temperatura ao redor de 500°C. Este tipo de alteração confere à rocha cor vermelha intensa, devido a cristalização de hematita fina, produto da oxidação do Fe^{2+} exsolvido do retículo do feldspato alcalino. Com a redução da temperatura, o empobrecimento em álcalis e relativo enriquecimento de H_2O , CO_2 e S no fluido, a alteração tornou-se propilítica, com substituição parcial a total da biotita por clorita, do anfibólio e feldspatos por clorita + carbonatos + epidoto + fluorita + quartzo + sulfetos. Esta paragéneses também preenche interstícios e fraturas onde ouro ocorre tanto na sua forma livre como em microfraturas na pirita. Estimativas da temperatura de formação destas paragéneses foram feitas através do equilíbrio biotita hidrotermal e clorita 1, resultando em valores entre 495 e 340°C, à pressão de 2,6 kbar. O último estágio da alteração hidrotermal pós-magmática que afetou o granito foi a sericitica, com sericita + quartzo + pirita, que ocorre em estilo fissural e grada a pervasivo ao redor das fraturas. Para este estágio hidrotermal foram obtidas temperaturas de cristalização das micas ao redor de 290°C. Sericitização tardia também ocorre associada a zonas de cisalhamento, onde são observados os maiores teores de ouro. Este tipo associa-se a fraturas com sulfetos e quartzo e sobrepõe-se às paragéneses de alteração. As estimativas de temperaturas de formação situam-se entre 150 e 65°C.

	Magmatic stage	Postmagmatic stage	Na ⁺ metasomatism	K ⁺ metasomatism	Propylitic alteration	Sericitic alteration
Oligoclase	■					
Albite	■		■			
Orthoclase	■		■			
Perthite	■	■				
Microcline	■	■		■		
Hornblende	■			■		
Biotite	■	■		■		
Quartz	■	■	■	■		■
Zircon		■		■		
Allanite		■				
Apatite		■				
Chlorite I					■	
Chlorite II					■	
Epidote/clinozoisite					■	
Sericite						■
Carbonates					■	
Fluorite			■			
Sulfides					■	
Gold					■	
Alteration style			Pervasive	Pervasive to fissural	Pervasive to fissural	Mainly Fissural

Figura 1 - Relações de cristalização dos minerais ígneos e hidrotermais do Granito Batalha.

A química dos halógenos da biotita hidrotermal, feitas com base nas intersecções do Cl e do F, mostram que os fluidos hidrotermais do Granito Batalha não correspondem a fluidos de depósitos minerais do tipo pórfiro, mas as suas tendências evolutivas se aproximam da composição dos fluidos dos pórfiros menos evoluídos, geralmente com mineralizações de cobre (Fig. 2).

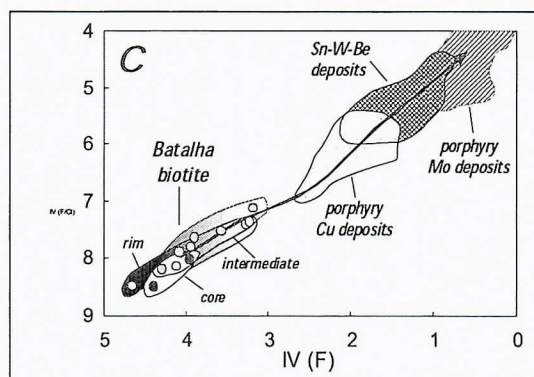


Figura 2 - Intersecções dos halógenos da biotita hidrotermal do Granito Batalha.

Conclusões: O granito Batalha, com base em sua idade, características cálcio-alcalinas a subalcalinas e ambiente de colocação tardi- a pós-tectônico, pode ser considerado como parte da Suíte Intrusiva Parauari e gerado nos estágios tardio da evolução do arco magmático (Santos *et al.*, 2000), distinguindo-se da Suíte Intrusiva Maloquinha, um pouco mais nova e características anorogênicas e alcalinas predominantes. A cor vermelha, que assemelha estes granitos aos da Suíte Maloquinha é devida à alteração potássica, gerada em estágios pós-magmáticos.

Os estágios iniciais de consolidação do magma granítico, indicada pelos minerais ígneos, ocorreu a aproximadamente 5,6 kbar e a temperaturas superiores a 800°C. A alteração hidrotermal iniciou-se com metassomatismo pouco intenso de Na, ao qual seguiu-se a alteração potássica e, com evolução química do fluido e decréscimo da temperatura, desenvolveu-se a alteração propilítica em estilo pervasivo e fissural, junto à qual já existe concentração de ouro. Entretanto, os teores mais elevados associam-se à alteração sericitica que seguiu-se à propilítica. Os veios de quartzo com

ouro grosso observados nos garimpos são produto da reconcentração em zona de cisalhamento, às quais associam-se alterações propilíticas subordinadas e, principalmente sericítica, superposta às anteriores, das quais pode-se distinguir não apenas texturalmente, como também pelas baixas temperaturas de formação, situadas entre 150 e 65°C. Muito embora os fluidos hidrotermais do Granito Batalha não correspondam aos fluidos de pórfiros conhecidos, suas características e, principalmente sua tendência evolutiva é muito semelhante à de fluidos de pórfiros menos evoluídos, caracteristicamente mineralizados em Cu e Au. Assim, pode-se inferir que granitos desta Suíte colocados em níveis crustais mais rasos que o Granito Batalha e, principalmente suas fácies mais tardias e evoluídas, podem, potencialmente, apresentar mineralizações de baixo teor e alta tonelagem, do tipo Cu-Au *porphyry*.

Agradecimentos: Os autores agradecem a Fapesp (Proc. 98/02567-6), pelo suporte financeiro, PADCT- 0826/98 (FINEP/FADESP/UFGA), ao CNPq, pela bolsa de mestrado a R. H. Corrêa-Silva, a Rio Tinto Desenvolvimento Minerais pela cessão das amostras e apoio nas etapas de campo.

Referências:

- Almeida, M.E.; Brito, M.F.L.; Ferreira, A.L.; Monteiro, M.A.S. 2000. Geologia e Recursos Minerais da Folha Mamãe Anã (SB.21-V-D). Estados do Amazonas e Pará. Escala 1:250.000. Nota explicativa. In: M.E. Almeida (Ed., Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. PROMIM Tapajós/ CPRM, Brasília.
- Almeida, M.E.; Brito, M.F.L.; Ferreira, A.L.; Monteiro, M.A.S.; Popini, M.V.F. 1998. Mineralizações auríferas associadas a vulcanismo ácido e intermediário na Folha Vila Mamãe Anã, Província Mineral do Tapajós. In: Congresso Brasileiro de Geologia. *Anais...*, SBG, Belo Horizonte, p. 148.
- Corrêa-Silva, R.H. 1999. *Estudo petrográfico de alterações hidrotermais e mineralizações de Au do Garimpo do Batalha, Tapajós (PA)*. Trabalho de Formatura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 55 p.
- Corrêa-Silva, R.H.; Juliani, C.; Nunes, C.M.D.; Bettencourt, J.S. 2000. Petrographic characterization of the hydrothermal alteration zones associated with gold mineralization in granitic rocks of the Batalha Gold Field, Tapajós (Pará) - Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(2): 242-245.
- Coutinho, M.G.; Robert, F.; Santos, R.A. 1998. Província Mineral do Tapajós, Amazônia, Brasil: Novo enfoque geológico das mineralizações de ouro. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40. *Anais...*, SBG, Belo Horizonte, p. 160.
- Dall'Agnol, R.; Rämö, O.T.; Magalhães, M.S.; Macambira, M.J.B. 1999. Petrology of the anarogenic, oxidised Jamon and Musa Granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of proterozoic A-type granites. *Lithos*, 46: 431-462.
- Faraco, M.T.L.; Carvalho, J.M.A.; Klein, E.L. 1996. Carta Metalogenética da Província Aurífera do Tapajós. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5. *Anais...*, SBG/NN, Belém, p. 156-160.
- Jacobi, P. 1999. The discovery of epithermal Au-Cu-Mo proterozoic deposits in the Tapajós Province, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(2): 277-279.
- Klein, E.L.; Vasquez, M.L.; Santos, A.; Costa, L.T.R. 1999. Geologia e controle estrutural das mineralizações auríferas na Folha Vila Riozinho e NW da Folha Rio Novo, Província Tapajós. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6. *Anais...*, SBG/NN, Manaus, p. 128-131.
- Rämö, O.T. & Haapala, I. 1995. One hundred years of Rapakivi Granite. *Mineralogy and Petrology*, 52: 129-185.
- Santos, J.O.S. 2000. Os terrenos paleoproterozóicos da Província do Tapajós e as mineralizações de ouro associadas. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, v. 1, 208 pp.
- Santos, J.O.S.; Hartmann, L.A.; Gaudette, H.E.; Groves, D.I.; McNaughton, N.; Fletcher, I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3(4): 453-488.
- Silva, A.R.B. 1982. Considerações sobre as mineralizações auríferas da Região do Tapajós. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 1. *Anais...*, SBG/NN, Belém, p. 100-115.
- Teixeira, N.P. 1999. Contribuição ao estudo das rochas granitóides e mineralizações associadas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 508 pp.