



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDOS ISOTÓPICOS (Pb, O, H, S) EM ZONAS ALTERADAS E
MINERALIZADAS DO DEPÓSITO CUPRO-AURÍFERO
VISCONDE, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS**

Dissertação apresentada por:

ANTONIA RAILINE DA COSTA SILVA

Orientador: Raimundo Netuno Nobre Villas (UFPA)

Co-orientador: Jean-Michel Lafon (UFPA)

BELÉM

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

S586e Silva, Antonia Railine da Costa

Estudos isotópicos (Pb, O, H, S) em zonas alteradas e mineralizadas do depósito cupro-aurífero Visconde, Província Mineral de Carajás / Antonia Railine da Costa Silva; Orientador: Raimundo Netuno Nobre Villas; Coorientador: Jean-Michel Lafon – 2013
xv, 73 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2013.

1. Minério de cobre. 2. Mineralização cupro-aurífera. 3. Isótopos de H O e S. 4. Datação Pb-Pb. 5. Fluidos hidrotermais. 6. Província Mineral de Carajás. I. Villas, Raimundo Netuno Nobre, *orient.* II. Lafon, Jean-Michel, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22ª ed.: 553.43



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Instituto de Geociências

Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica

**ESTUDOS ISOTÓPICOS (Pb, O, H, S) EM ZONAS
ALTERADAS E MINERALIZADAS DO DEPÓSITO CUPRO-
AURÍFERO VISCONDE, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

ANTONIA RAILINE DA COSTA SILVA

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
METALOGÊNESE**

Data de Aprovação:

Banca Examinadora:

Prof. RAIMUNDO NETUNO NOBRE
VILLAS

(Orientador – UFPA)

Prof. JEAN-MICHEL LAFON

(Co-orientador – UFPA)

Prof. EVANDRO LUIZ KLEIN

(Membro- CPRM)

Prof^ª. VALDEREZ PINTO FERREIRA

(Membro- UFPE)

À minha família pelo carinho e incentivo.

AGRADECIMENTOS

À Deus que sempre me guia em todas as decisões e atitudes.

À minha família, especialmente minha mãe, minha avó, minha irmã Maria Paula e à Creuza, e todos os outros que sempre acreditaram na minha capacidade e torceram muito por mim.

À Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Geociências (IG), em especial, ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), pela infraestrutura disponibilizada e apoi financeiro;

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos e ao projeto INCT de Geociências da Amazônia-Geociam pelo suporte financeiro;

À empresa de mineração VALE, em particular ao geólogo Benevide Aires, pelo apoio logístico, concessão dos testemunhos de furos de sondagem e de material interno que viabilizaram este trabalho;

Ao Prof. Netuno Villas pela orientação do trabalho, pelas excelentes correções e inestimável ajuda na redação do artigo, e por todo acompanhamento dos meus estudos desde a graduação.

Ao Prof Jean Michel Lafon pela disponibilidade em orientar durante as análises realizadas no PARA-ISO, discussão dos dados e redação do texto.

À equipe de técnicos do PARA-ISO, Izanete, Etiana, Roseleuda e Jeferson, e ao Prof Thomas Sheller pelo apoio com as análises geocronológicas.

À Prof. Valderéz Ferreira e ao Prof. Alcides Sial da UFPE e à química Gilsa Santana pela disponibilida em ensinar e me ajudar nas análises de isótopos estáveis realizadas no LABISE.

Ao geólogo Gustavo Souza Craveiro pelas excelentes sugestões durante o desenvolvimento do trabalho e apoio durante a separação dos minerais.

Aos meus amigos de sempre Bruna Leal, Max de Jesus, Ignácio de Loiola e Antonio Francisco (Az).

RESUMO

O depósito cupro-aurífero Visconde está localizado na Província Mineral de Carajás, a cerca de 15 km a leste do depósito congênere de classe mundial Sossego. Encontra-se em uma zona de cisalhamento de direção WNW-ESE, que marca o contato das rochas metavulcanossedimentares da Bacia Carajás com o embasamento. Nessa zona ocorrem outros depósitos hidrotermais cupro-auríferos com características similares (Alvo 118, Cristalino, Jatobá, Bacaba, Bacuri, Castanha), que têm sido enquadrados na classe IOCG (*Iron Oxide Copper-Gold*), embora muitas dúvidas ainda existam quanto a sua gênese, principalmente no que diz respeito à idade da mineralização e fontes dos fluidos, ligantes e metais. O depósito Visconde está hospedado em rochas arqueanas variavelmente cisalhadas e alteradas hidrotermalmente, as principais sendo metavulcânicas félsicas (2968 ± 15 Ma), o Granito Serra Dourada (2860 ± 22 Ma) e gabros/dioritos. Elas registram diversos tipos de alteração hidrotermal com forte controle estrutural, destacando-se as alterações sódica (albita + escapolita) e sódico-cálcica (albita + actinolita \pm turmalina \pm quartzo \pm magnetita \pm escapolita), mais precoces, que promoveram a substituição ubíqua de minerais primários das rochas e a disseminação de calcopirita, pirita, molibdenita e pentlandita. Dados isotópicos de oxigênio e hidrogênio de minerais representativos desses tipos de alteração mostram que os fluidos hidrotermais foram quentes ($410 - 355^\circ\text{C}$) e ricos em ^{18}O ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = +4,2$ a $9,4\%$). Sobreveio a alteração potássica, caracterizada pela intensa biotitização das rochas, a qual ocorreu concomitantemente ao desenvolvimento de foliação milonítica, notavelmente desenhada pela orientação de palhetas de biotita, que precipitaram de fluidos com assinatura isotópica de oxigênio similar à dos estágios anteriores ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ entre $+4,8$ e $+7,2\%$, a 355°C). Microclina e alanita são outras fases características desse estágio, além da calcopirita precipitada nos planos da foliação. A temperaturas mais baixas ($230 \pm 11^\circ\text{C}$), fluidos empobrecidos em ^{18}O ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -1,3$ a $+3,7\%$) geraram associações de minerais cálcico-magnesianos (albita + epidoto + clorita \pm calcita \pm actinolita) que são contemporâneas à mineralização. Valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ e $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ indicam que os fluidos hidrotermais foram inicialmente formados por águas metamórficas e formacionais, a que se misturou alguma água de fonte magmática. Nos estágios tardios, houve considerável influxo de águas superficiais. Diluição e queda da temperatura provocaram a precipitação de abundantes sulfetos (calcopirita \pm bornita \pm

calcocita ± digenita), os quais se concentraram principalmente em brechas tectônicas — os principais corpos de minério — que chegam a conter até cerca de 60% de sulfetos. Veios constituídos por minerais sódico-cálcicos também apresentam comumente sulfetos. A associação de minerais de minério e ganga indica uma assinatura de Cu-Au-Fe-Ni-ETRL-B-P para a mineralização. Os valores de $\delta^{34}\text{S}$ (-1,2 a +3,4‰) de sulfetos sugerem enxofre de origem magmática (proveniente da exsolução de magmas ou da dissolução de sulfetos das rochas ígneas pré-existentes) e precipitação em condições levemente oxidantes. Datação do minério por lixiviação e dissolução total de Pb em calcopirita forneceu idades de 2736 ± 100 Ma e 2729 ± 150 Ma, que indicam ser a mineralização neoarqueana e, a despeito dos altos erros, permite descartar um evento mineralizador paleoproterozoico. A idade de 2746 ± 7 Ma (MSDW=4,9; evaporação de Pb em zircão), obtida em um corpo granítico não mineralizado (correlacionado à Suíte Planalto) que ocorre na área do depósito, foi interpretada como a idade mínima da mineralização. Assim, a formação do depósito Visconde teria relação com o evento transpressivo ocorrido entre 2,76 e 2,74 Ga, reponsável pela inversão da Bacia Carajás e pela geração de magmatismo granítico nos domínios Carajás e de Transição. Esse evento teria desencadeado reações de devolatilização em rochas do Supergrupo Itacaiúnas, ou mesmo, provocado a expulsão de fluidos conatos salinos aprisionados em seus intertícios. Esses fluidos teriam migrado pelas zonas de cisalhamento e reagido com as rochas (da bacia e do embasamento) pelas quais se movimentaram durante a fase dúctil. As concentrações subeconômicas do depósito Visconde devem ser resultado da ausência de grandes estruturas que teriam favorecido maior influxo de fluidos superficiais, tal como ocorreu na formação dos depósitos Sossego e Alvo 118.

Palavras-chave: Minério de cobre. Mineralização cupro-aurífera. Isótopos de H O e S.

Datação Pb-Pb. Fluidos hidrotermais. Província Mineral de Carajás.

ABSTRACT

The Cu-Au Visconde deposit is located in the Carajás Mineral Province, northern Brazil, about 15 km east of the world-class Sossego deposit. It lies within a regional WNW–ESE-striking shear zone that marks the contact between the ~2.76 Ga metavolcano-sedimentary rocks of the Carajás Basin and the basement units. Other Cu-Au deposits with similar characteristics (Bacaba, Castanha, Alvo 118, Cristalino, Jatobá) occur along this shear zone. They have been included in the IOCG class, although much controversy exists regarding their genesis, particularly with respect to the mineralization age and source of fluids, ligands and metals. The Visconde deposit is hosted by Archean rocks, mainly felsic metavolcanic rocks (2968 ± 15 Ma), the Serra Dourada granite (2860 ± 22 Ma), and gabbro/diorites. These rocks are variably sheared and reveal various types of hydrothermal alteration with strong structural control. The earliest types are the sodic (albite-scapolite) and sodic-calcic alterations (albite-actinolite \pm tourmaline \pm quartz \pm magnetite \pm scapolite \pm epidote), which promoted ubiquitous replacement of the rock primary minerals and precipitation of disseminated chalcopyrite, pyrite, molybdenite and pentlandite. Oxygen isotope data of representative minerals from these stages show that the hydrothermal fluids were hot ($410 - 355^\circ\text{C}$) and ^{18}O -rich ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = +4.2$ to $+9.4\text{‰}$). The following potassic stage is characterized by intense biotitization of the rocks, which developed concomitantly a mylonitic foliation highlighted by the remarkable orientation of biotite flakes. This mica precipitated from fluids with similar oxygen isotope signature to that of the previous stages ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = +4.8$ to $+7.2\text{‰}$, at 355°C). Microcline and allanite are other typical minerals of this stage, in addition to chalcopyrite that deposited along the foliation planes. At lower temperatures ($230 \pm 11^\circ\text{C}$), ^{18}O -depleted fluids ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -1.3$ to $+3.7\text{‰}$) generated a calcic-magnesian mineral assemblage (albite + epidote + chlorite \pm actinolite \pm calcite) present mostly in veins and contemporaneous with the main mineralization. The $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ and $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ data indicate that the hydrothermal fluids were initially formed by metamorphic and formation waters, possibly with some contribution of magmatic water. At later stages, there was a considerable influx of surface water. The resulting fluid dilution and cooling might have accounted for the abundant precipitation of sulphides (chalcopyrite \pm bornite \pm chalcocite \pm digenite) mainly in tectonic breccias, whose matrix contains up to 60% sulphides. These breccias represent the most

important ore bodies, although sulphides also occur in veins together with sodic-calcic minerals. The mineral associations assign a Cu-Au-Fe-Ni-ETRL-B-P signature to the ore. The sulphur isotope composition ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}} = -1.2$ to 3.4%) is compatible with a magmatic source for sulphur, which could have been either exsolved from a crystallizing granitic magma or dissolved from sulphides originally present in pre-existing igneous rocks. Additionally, it indicates relatively reducing conditions for the fluid. Dating of chalcopyrite by Pb leaching and total dissolution techniques yielded ages of 2736 ± 100 Ma and 2729 ± 150 Ma. Despite the large errors, they point to a Neoproterozoic age for the mineralization and preclude a Paleoproterozoic mineralizing event. The age of 2746 ± 7 Ma (MSDW = 4.9; Pb evaporation on zircon), obtained for a non-mineralized granitic intrusion present in the deposit area and correlated to the Planalto Suite, was considered as the minimum age for the mineralization. Thus, the Visconde deposit genesis could be related to the 2.76-2.74 Ga transpressive tectono-thermal event that was responsible for the inversion of the Carajás basin and generation of granitic magmatism in the Carajás and Transition domains. Such an event should have triggered devolatilization reactions in the Itacaiunas Supergroup rocks, producing metamorphic fluids or even driving off water trapped in the pores of the basin rocks. These fluids migrated along regional shear zones and reacted with both the basin and basement rocks through which they moved during the ductile regime. The sub-economic concentrations of the Visconde deposit might be the result of the absence of prominent structures that would otherwise favor a greater influx of fluids, as it seems to have been the case in the Sossego and Alvo 118 deposits.

Keywords: Copper ore. Cu-Au mineralization. H, O and S isotopes. Pb-Pb dating. Hydrothermal fluids. Carajás Mineral Province.