



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE METALOGÊNESE

MERCEDES TORRES LA ROSA

NATUREZA E EVOLUÇÃO DOS FLUIDOS HIDROTERMAIS NO DEPÓSITO  
CUPRO-AURÍFERO GOLDEN HILL, CAMAGÜEY, CUBA.

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como  
parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Geociências, Área de Metalogênese.

Orientador: Professor Doutor Roberto Perez Xavier

Este exemplar corresponde  
à redação final da dissertação  
por Mercedes Torres La Rosa  
e aprovada pelo orientador  
em 04/02/2000  
  
ORIENTADOR

CAMPINAS - SÃO PAULO

Fevereiro de 2000



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE METALOGÊNESE

**AUTORA:** Mercedes Torres La Rosa

**NATUREZA E EVOLUÇÃO DOS FLUIDOS HIDROTERMAIS NO DEPÓSITO CUPRO-AURÍFERO GOLDEN HILL, CAMAGÜEY, CUBA.**

**ORIENTADOR:** Professor Doutor Roberto Perez Xavier

**CO-ORIENTADOR:**

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**PRESIDENTE:** Prof. Dr. Roberto Perez Xavier

**EXAMINADORES:**

Prof. Dr. Roberto Perez Xavier

- Presidente

Prof. Dr. Bernardino R. Figueiredo

Prof. Dr. Francisco Javier Rios

Campinas, de fevereiro de 2000.

UNIDADE B.C.  
N.º CHAMADA:  
T/UNICAMP  
T636n  
V. Ex  
TOMBO DO: 40994  
PROC. 278100  
C  D   
PREÇO R\$ 11,00  
DATA 25/04/00  
N.º CPD

CM-00142031-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA do I.G. - UNICAMP

Torres La Rosa, Mercedes  
T636n Natureza e evolução dos fluido hidrotermais no depósito cupro-aurífero Golden Hill, Camagüey, Cuba / Mercedes Torres La Rosa.- Campinas, SP.: [s.n.], 1999.

Orientadores: Roberto Perez Xavier.  
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Ouro – Minas e Mineração - Camagüey, Cuba.
2. Alteração Hidrotermal. I. Xavier, Roberto Perez.
- II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.
- IV. Título.

*A mi mamá, Mercedes  
y mi hija, Lili*

## AGRADECIMENTOS

- Às instituições CNPq (Proc. N° 132101 – 1997 – 1) e FAPESP (95/6401 – 7) pelo suporte financeiro para o desenvolvimento deste estudo e uso do laboratório multiusuário do IG/UNICAMP.
- À associação MacDonald Mine Exploration Ltd & Geominera SA pelo apoio a esta investigação, permitindo o trabalho de campo, obtenção de amostras de furos de sondagem e acesso aos dados; a Rene Lugo, Reiniel Lugo e Eugenio Escobar, da Empresa Geólogo Minera Camagüey, Cuba que trabalharam no projeto da Companhia MacDonald.
- Minha profunda gratidão ao professor Dr. Roberto Perez Xavier pela oportunidade desta realização, pela orientação, apoio, paciência, acompanhamento e discussões críticas durante todo o trabalho.
- Ao Instituto de Geologia e Paleontologia do Ministério da Industria Básica de Cuba, pelo afastamento outorgado, assim como pelo acompanhamento e apoio logístico no trabalho de campo. Aos pesquisadores do Instituto Dr. Bienvenido Echevarría, Dra. Lilavatti Diaz de Villalvilla, Engenheira Maria Santa Cruz Pacheco, Bienvenido Palácios, Jesús Moreira, Idenia Altarriba, Jesús López Kramer, Lenia Montero e colegas do Departamento de Mineralogia e Petrografia, por seus conselhos no trabalho de campo, informações e outros apoios.
- Aos professores Drs. Bernardino R. Figueiredo e Asit Choudhuri, membros da banca de qualificação, pelas sugestões e correções apresentadas.
- À professora Dra Jacinta Enzweiler pela ajuda no momento oportuno.
- A Jorge Enrique Coniglio, Dra. Eugenia Fonseca e Dr. Rustin Cabrera da Universidade de Chile, pela troca de idéias, revisão do texto, apoio, sugestões e incentivo.
- A Dailto Silva por sua assistência técnica no laboratório de microtermometria e MEV.
- A Valdirene, Secretária de Pós-Graduação (SPG), Dora, Márcia e Cássia da Biblioteca.
- Aos Colegas de Pós – Graduação, Rigoberto Prieto, Márcio Ferrari, Carlos Tapia, Carmen Elisa Sánchez, Regla Toujague, Mary Anne Torres, Glicia Viera, Solange, Irian, Patrícia, Catarina, Renato, Silvia, César, Erasmo, Isabel, Ana, Alexandre pela cooperação e amizade.
- Um enorme obrigado a meus pais Mercedes e Juan, minha filha Liriaudes; meus irmãos Alfredo (*in memorian*), Nuria, Andréa e Francisco; minha prima Vivian Lagares e ao meu inestimável amigo Lourenço Ocuni Ca, pelo apoio, incentivo e pelo ambiente de carinho propício para que eu pudesse desenvolver com tranquilidade este trabalho.

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	ii
<b>SUMÁRIO</b> .....	iii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	v
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	viii
<b>RESUMO</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 – DEPÓSITOS AURÍFERO EM SISTEMAS EPITERMAIS .....	2
1.2 – GEOLOGIA DE CUBA .....	5
1.3 – MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS EM CUBA .....	7
1.4 – OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA .....	9
<b>CAPÍTULO 2 – NATUREZA E EVOLUÇÃO DOS FLUIDOS HIDROTERMAIS NO DEPÓSITO CUPRO AURÍFERO GOLDEN HILL, CAMAGÜEY, CUBA.</b> .....	11
2.1– GEOLOGIA REGIONAL DE CUBA CENTRO-ORIENTAL .....	12
2.2 – DEPÓSITO CUPRO-AURÍFERO GOLDEN HILL .....	13
2.3 – MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
2.4 – ALTERAÇÃO ARGÍLICA AVANÇADA .....	17
2.4.1 – ESTÁGIO I .....	17
2.4.2 – ESTÁGIO II .....	19
2.5 – PARAGÊNESE DO MINÉRIO E ASPECTOS TEXTURAIS .....	21
2.5.1 – ESTÁGIO I .....	23
2.5.2 – ESTÁGIO II .....	23
2.6 – INCLUSÕES FLUIDAS .....	26
2.6.1 – TIPOS E MODOS DE OCORRÊNCIA .....	26
2.6.2 – MICROTERMOMETRIA DAS INCLUSÕES FLUIDAS .....	28
2.6.3 – MICRO-ESPECTROSCOPIA RAMAN .....	30
2.7 – DISCUSSÃO .....	31
2.7.1 – ALTERAÇÃO ARGÍLICA AVANÇADA .....	31

2.7.2 – CONDIÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DA MINERALIZAÇÃO .....	33
2.7.3 – NATUREZA DO SISTEMA HIDROTHERMAL .....	34
2.8 – CONCLUSÕES .....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38
<b>APÊNDICE</b>	
<b>ANEXO 1 – Análise semi-quantitativa em MEV de alunite</b>	
<b>ANEXO 2 – Análise semi-quantitativa em MEV de mineral com W</b>	
<b>ANEXO 3 – Análise semi-quantitativa em MEV de mineral com Cu, Fe, S, Te</b>	
<b>ANEXO 4 – Análise semi-quantitativa em MEV de Enargita</b>	

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1** – Modelo esquemático dos depósitos epitermais de sulfato ácido ou alta sulfetação e adularia-sericita, ou baixa sulfetação em ambiente vulcânico sub-aéreo, típico de mineralizações epitermais (Cobett & Leach 1997)..... 2
- Figura 1.2** – Modelo esquemático dos depósitos epitermais de sulfato ácido, ou alta sulfetação e adularia-sericita, ou baixa sulfetação em ambiente de sulfeto maciço vulcanogênico relacionado a um domo marinho, Horikoshi (1969); *apud* Sillitoe *et al.* (1996)..... 3
- Figura 1.3** – Mapa geológico generalizado com as principais unidades geológicas da Faixa Dobrada e Neoatóctono (Iturralde 1994)..... 5
- Figura 1.4**– Mapa geológico da região Ciego-Camagüey-Las Tunas, setor centro oriental de Cuba, com a localização do depósito de Cu-Au Golden Hill (modificado de Pérez & Sukar 1997).  
..... 8
- Figura. 2.1** – Mapa geológico do depósito Golden Hill, com a localização dos principais corpos de minério (modificado de Capote 1999)..... 13
- Figura 2.2** – Contexto geológico da área da caldeira de paleo-vulcão e o modo de ocorrência dos corpos de minério Little Hill, Big Hill e Three Hill (Perez *et al.* 1998)..... 14
- Figura 2.3**– O estilo de alteração hidrotermal no depósito Golden Hill: A) Brecha andesítica silicificada, a matriz é constituída essencialmente por quartzo fino e os clastos de rocha andesítica; B) Tufo caolinitizado e silicificado. Kln, caolinita; Qtz, quartzo..... 15
- Figura 2.4**– Fotomicrografias ilustrando as relações paragenéticas dos minerais de alteração argílica avançada do depósito de Golden Hill. A) Relictos de fenocristais de clastos andesíticos dos tufos, substituídos por caolinita, sericita e alunita do estágio I; B) Woodhouseita do estágio I substituída nas bordas por natroalunita do estágio II. Qtz-quartzo, Kln-caolinita, Wd-woodhouseita, Natal-natroalunita..... 18
- Figura 2.5** – Distribuição das assembleias de alteração argílica avançada dos estágios I e II em profundidade ao longo de furos de sondagem (GH 16; GH 135; GH 64) do depósito Golden Hill. Qtz-quartzo, Kln-caolinita, Dk-dickita, Al-alunita, Wd-FI- woodhouseita-Florencita, Ser-sericita, Prl-pirofilita, Rt-rutilo, Natal-natroalunita, Dsp-diásporo, Zun-zunyita..... 20
- Figura 2.6** – Tipos de minério do depósito Golden Hill. A) Sulfeto maciço do corpo Little Hill,

constituído por 85% de sulfeto, predominantemente pirita (furo GH 16); B) Sulfeto semi-maciço do corpo Big Hill constituído por 35% de sulfeto, pirita principalmente (furo GH 135).....	22
<b>Figura 2.7</b> – Textura framboidal de pirita do estágio I, com os cristais constituintes organizados na forma de cubos; B) Concreções constituídas por agregados de pirita e finas laminações concêntricas de pirita, típicas do estágio I; C) Textura anelar de pirita derivada de pirita framboidal englobada por pirita mais compacta; D) Pirita framboidal englobada em grão de enargita, por sua vez, envolta por pirita compacta que também substitui a enargita nas bordas; E) Grãos de ouro em contato com a pirita do estágio II. Py-pirita, Qtz-quartzo, En-enargita, Au-ouro. ....	25
<b>Figura 2.8</b> - Modos de ocorrência e tipos de inclusões fluidas investigadas neste trabalho. A) Quartzo de geodo estágio II, contendo inclusões monofásicas aquosas primárias (tipo I); B) Inclusões primárias do tipo II em grupo hospedado por quartzo de geodo; C) Inclusões pseudosecundárias dos tipos I e II orientadas perpendicular às zonas de crescimento do cristal de quartzo de geodo; D) Inclusões pseudosecundárias e primárias dos tipos I e II ao longo de microfraturas cicatrizadas em barita.....	28
<b>Figura 2.9</b> – Histogramas mostrando a distribuição da temperatura de homogeneização total ( $T_h$ ) de inclusões tipo II e III em quartzo do estágio II e barita. p-inclusões primárias, ps-inclusões secundárias, n-número de inclusões analisadas.....	29
<b>Figura 2.10</b> – Espectro Raman mostrando a presença do $CO_2$ em baixas concentrações (<2 mol%) na fase vapor de inclusões fluidas em quartzo do estágio II.....	30
<b>Figura 2.11</b> – Digrama mostrando as relações de equilíbrio envolvendo alunita, sericita e caolinita, de acordo com variações nas atividades de $K_2SO_4$ e $H_2SO_4$ do fluido (Hemley et al. 1969). A seta de linha descontínua mostra a seqüência de estabilidade dos minerais de alteração de Golden Hill, com a substituição pseudomórfica do feldspatos das rochas vulcânicas até o campo da alunita, pela aumento da concentração de $H_2SO_4$ no fluido.....	32
<b>Figura 2.12</b> – Diagrama $fO_2$ - pH mostrando as condições aproximadas de formação dos estágios I e II da alteração argílica avançada e mineralização sulfetada associada no depósito Golden Hill demonstrado pela seqüência evolutiva dos minerais da alteração argílica avançada e minério (Heald et al. 1987, Muntean et al. 1990; Hannington et al. 1997). Al-alunita, Kln-caolinita, Prl-pirofilita, Ser-sericita, Kfs-K-feldspato, Ccp-calcopirita, Cv-covelita e AA-alteração argílica avançada.....	34

**Figura 2.13** – Correlação entre temperaturas de homogeneização total ( $T_h$ ) e valores de salinidade (% peso eq. NaCl) das inclusões fluidas dos tipos II no depósito Golden Hill. Notar que a tendência de um leve decréscimo da temperatura acompanhada de decréscimo significativos da salinidade; mesmo considerando-se amostras individuais..... 36

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b> – Principais características dos depósitos epitermais de Au e metais associados em rochas vulcânicas (modificado de Heald <i>et al.</i> 1987, White <i>et al.</i> 1990, Sillitoe 1993, Simon <i>et al.</i> 1999).....	4
<b>Tabela .2.1</b> – Seqüência de desenvolvimento da paragênese do minério nos estágios I e II da alteração argílica avançada no depósito Golden Hill.....	26



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE METALOGÊNESE

**NATUREZA E EVOLUÇÃO DOS FLUIDOS HIDROTERMAIS NO DEPÓSITO CUPRO-AURÍFERO GOLDEN HILL, CAMAGÜEY, CUBA.**

**RESUMO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

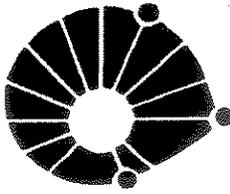
Mercedes Torres La Rosa

O depósito Golden Hill, na Província Las Tunas, Cuba oriental, localiza-se no Arco Vulcânico Cretácico onde corpos de sulfeto maciço e semi-maciço encontram-se hospedados em brechas com clastos de andesito, traqui-andesito, andesito-basalto e tufos da Formação Contramaestre. A alteração hidrotermal associada a estes corpos inclui alteração silícica, argílica e argílica avançada, típicas de depósitos epitermais de alta sulfetação. Os corpos de minério sulfetado gradam em superfície para zonas oxidadas de natureza supergênica.

A mineralização cupro-aurífera primária concentra-se na zona de alteração argílica avançada onde dois estágios hidrotermais foram diferenciados com base na associação mineralógica e relações texturais: (i) Estágio I, com quartzo-caolinita-alunita-zunyita-diásporo, com pirita disseminada, enargita e possivelmente, ouro submicroscópico; (ii) Estágio II com quartzo-natroalunita-pirofilita, em associação com pirita-enargita-luzonita-famatinita e ouro. A barita preenche fraturas e cavidades e está associada a períodos mais tardios do estágio II.

Estudos de inclusões fluidas em quartzo do estágio II e barita revelaram que a alteração argílica avançada e a mineralização de Cu-Au ocorreram na presença de fluidos aquosos, de salinidade baixa (2-5% peso eq. NaCl), contendo CO<sub>2</sub> em concentrações < 2 mol % e a temperaturas entre 172°C e 330°C.

O ouro foi transportado possivelmente como um tiocomplexo (e.g. Au(HS)<sub>2</sub>) e sua precipitação, particularmente no estágio II, deve ter sido resultado principalmente do incremento em  $fO_2$  ( $10^{-36}$  a  $10^{-30}$  bar) pela possível interação de vapor magmático, contendo CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S, com a água subterrânea oxigenada. A presença de CO<sub>2</sub> no fluido das inclusões e a ocorrência de minerais com W e Bi-Mo no estágio II de mineralização atestam para uma contribuição magmática no sistema hidrotermal do depósito Golden Hill, o que pode sugerir a possível ocorrência de intrusões epizonais em profundidade, que são metalotectos para mineralização de Cu-Au porfirítico.



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE METALOGÊNESE**

**NATUREZA E EVOLUÇÃO DOS FLUIDOS HIDROTERMAIS NO DEPÓSITO CUPRO-  
AURÍFERO GOLDEN HILL, CAMAGÜEY, CUBA.**

**ABSTRACT  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Mercedes Torres La Rosa

The Cu-Au mineralization at the Golden Hill deposit in the Las Tunas Province, Eastern Cuba, is characterized by breccia-hosted massive and semi-massive sulfide bodies confined to the Contramaestre Formation in the Cretaceous Volcanic Arc. The deposit is enveloped by a silicic, argillic and advanced argillic alteration assemblage, typical of high sulfidation epithermal deposits, and the Cu-Au orebodies are particularly associated with the latter.

Within the advanced argillic alteration zone, two stages of alteration were defined on the basis of the mineralogical and textural associations: (i) Stage I with quartz – kaolinite – alunite – zunyite – diaspore, disseminated pyrite, enargite and, probably, sub-microscopic Au; (ii) Stage II with quartz – natroalunite – pyrophyllite, closely related to pyrite – enargite – luzonite – famatinite and Au. Barite commonly occurs filling fractures and cavities and may have been introduced late during Stage II.

Fluid inclusion studies conducted in Stage II quartz and barite revealed that the advanced argillic alteration and the Cu-Au mineralization took place in the presence of low salinity (2 – 5 wt% eq. NaCl) aqueous solutions, with < 2 mol% CO<sub>2</sub>, at temperatures between 172°C and 330°C.

Gold deposition via the destabilization of a Au-S-bearing complex, particularly during Stage II, was mainly promoted by an increase in  $fO_2$  from  $10^{-36}$  to  $10^{-30}$  bar, perhaps as a result of the interaction of a magmatic volatile phase containing CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S with ground or meteoric waters. The presence of CO<sub>2</sub> in the inclusion fluids, together with W- and Bi-Mo-bearing minerals in Stage II, attest to a possible magmatic contribution to the hydrothermal system, which would imply in the occurrence of shallow epizonal intrusions, generally considered important sites for porphyry Cu-Au mineralization.

CAPÍTULO 1  
**INTRODUÇÃO**



Estudos recentes sugerem ainda que estes depósitos podem ter sido formados em ambiente vulcanogênico, pela sua ocorrência em ambientes considerados transicionais entre vulcanogênico marinho, típico de depósitos de sulfeto maciço (VMS), e de vulcanismo sub-aéreo, típico de mineralizações epitermais (Fig. 1.2); (Sillitoe *et al.* 1996).

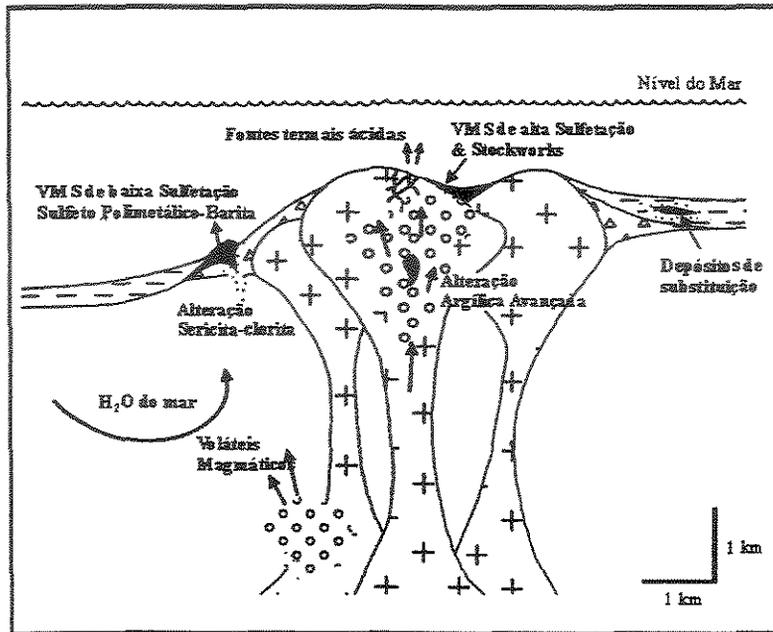


Figura 1.2 – Modelo esquemático dos depósitos epitermais de sulfato ácido, ou alta sulfetação, e adularia-sericita, ou baixa sulfetação em ambiente de sulfeto maciço vulcanogênico relacionado a um domo marinho Horikoshi (1969); *apud* Sillitoe *et al.* (1996).

As principais características que se enquadram no modelo descritivo destes depósitos estão resumidas na tabela 1.1.

Tabela. 1.1

Principais características dos depósitos epitermais de Au e metais associados em rochas vulcânicas (modificado de Heald *et al.* 1987, White *et al.* 1990, Sillitoe 1993, Simon *et al.* 1999).

Principais características	Sulfato ácido (alta sulfetação)	Adulária-sericita (baixa sulfetação)
Rochas hospedeiras	Rochas vulcânicas de composição intermediária a félsica	Rochas vulcânicas de composições variadas
Alteração hidrotermal	Argílica avançada: alunita, caolinita, dickita, pirofilita, diásporo, sericita, quartzo, zunyita. Propilitica, argílica, silicica	Adularia, sericita, propilitica, zonas silicificadas com feldspato $K^+$ e/ou clorita. A ebulição pode originar alteração argílica e argílica avançada na periferia
Minerais de minério	Pirita, enargita, luzonita, tenantita, covelita. Podem ocorrer minerais de Bi, Sb, Mo, Sn, Zn, Te (Au, Hg)	Pirita, esfalerita, calcopirita, não há enargita. Podem ocorrer minerais de Mo, Sb, As (Te, Se, Hg).
Profundidade de formação	500m	até 1000m
Concentração de sulfeto	10 a 90% do volume, principalmente pirita de grão fino.	1 a 20%, típico < 5% do volume, com predomínio da pirita.
Temperatura de formação	150 a 300°C	
Pressão	400 a 1000 bar	
Caracter do fluido	Salinidade principalmente baixa com incremento na profundidade. Fluido ácido com contribuição magmática pH ácido Oxidante	Salinidade baixa  Fluido meteórico pH neutro Redutor
Transporte de Au	Em forma de $AuHS_2$ e $AuCl_2$	
Deposição do Au	Ebulição, mudanças nas condições redox, concentração de enxôfre	
Caráter da mineralização	Disseminada, substituição	<i>Stockwork</i> , disseminada, veios
Textura característica	Sílica em geodo e maciça	Bandeamento coloidal Crustificação, pente, geodo, veio.
Exemplos de depósitos	Lepanto, Filipinas Nanstsu Distrito, Japan Pueblo Viejo, Republica Dominicana Morne Bossa e Grand Bois, Haiti Paradise Peak, Nevada (U.S.A) Julcani, Perú El Indio, Chile	Emperor, Fiji Acupan, Filipinas Eureka, Colorado (U.S.A) Creede, Colorado (U.S.A) De Lamar, Nevada (U.S.A) Guanajuato, México Jacinto, Cuba

## 1.2- GEOLOGIA DE CUBA

Cuba é um arquipélago que forma parte do Arco das Antilhas Maiores a qual inclui a própria ilha de Cuba, ilha da Juventude e mais de 1600 pequenas ilhas. A composição geológica e estrutura de Cuba é uma das mais complexas de toda a região do Caribe, sendo dividida em dois segmentos principais, a Faixa Dobrada e o Neoautóctono (Iturralde 1994).

Na Faixa Dobrada as seguintes unidades tectônicas podem ser reconhecidas (Fig.1.3): (1) unidades Continentais que abrangem a Plataforma das Bahamas e terrenos da borda de Yucatán (Guaniguanico, Pinos e Escambray), com idades desde o Jurássico Inferior até o Paleoceno; (2) unidades Oceânicas que incluem Complexos Ofiolíticos e Arcos Vulcânicos de idade Cretácica e Paleógena.

O Neoautóctono é constituído por sedimentos do Eoceno Superior ao Recente que recobrem discordantemente todos os componentes da Faixa Dobrada.

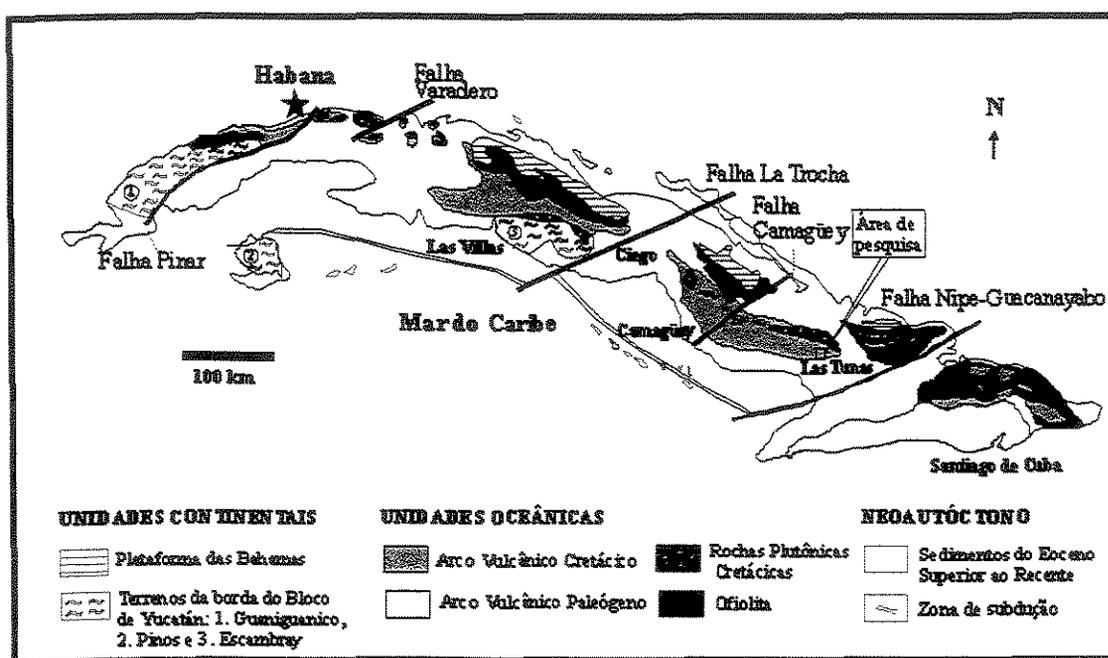


Figura 1.3 – Mapa geológico generalizado com as principais unidades geológicas da Faixa Dobrada e Neoautóctono (Iturralde 1994).

A Plataforma de Bahamas foi diferenciada durante o fraturamento da mega Plataforma Flórida-Bahamas durante o Aptiano-Albiano. As rochas que compõem este segmento formam

faixas dobradas, particularmente ao norte de Cuba, constituídas por calcário com microorganismos, dolomita e rochas silicosas.

Os terrenos da borda do bloco de Yucatán caracterizam-se por uma seqüência complexa de rochas metamórficas, incluindo mármore, quartzo-muscovita xistos (sedimentos terrígenos), pelitos, xistos ricos em micas, granada, cianita, estauroлита e sillimanita, anfíbolitos e eclogitos, que podem ser correlacionadas a diferentes formações dos complexos não metamorfizados que afloram em Cuba (Millán 1997).

A seqüência vulcano-sedimentar e plutônica do arco de ilhas vulcânicas do Cretáceo encontram-se bem desenvolvidas na parte central de Cuba, principalmente nas províncias de Las Villas e Camagüey, embora também apareçam áreas de ocorrência mais subordinadas nas partes ocidental e oriental.

Na evolução do arco vulcânico duas etapas de vulcanismo são definidas (Tchounev *et al.* 1986. *apud* Echevarría *et al.* 1986):

(1) Atividade vulcânica marinha profunda e, localmente, de águas rasas, com regime de sedimentação de *flysch*. Nesta etapa predominaram rochas vulcânicas básicas, piroclásticas e sedimentares, sendo comuns basaltos, traqui-basaltos, traqui-andesitos, andesitos-basaltos e andesitos na região de Camagüey.

(2) Atividade vulcânica sub-aérea com fácies explosiva predominante sobre a efusiva, sendo tufos, ignimbritos, andesitos-basaltos, andesitos, traqui-andesitos, dacitos e riolitos as litologias mais representativas.

O magmatismo intrusivo do Arco Cretácico encontra-se representado especialmente na parte central (SE de Las Villas) e oriental (E de Camagüey) de Cuba através de extensos afloramentos constituídos por gabro, granito, granodiorito, sienito e monzonito. Este magmatismo intrusivo associa-se genética, temporal e espacialmente com a atividade vulcânica.

O Arco Vulcânico Paleógeno (Paleoceno Inferior-Eoceno Superior) encontra-se particularmente representado na parte sul oriental de Cuba, onde vulcânicas calcio-alcalinas, com piroclásticas associadas, e corpos intrusivos granitóides compõem as principais litologias desta unidade.

Os Complexos Ofiolíticos afloram como uma série de corpos ao longo de quase toda a ilha (Fig.1.3). Durante a sua colocação as rochas deste complexo misturaram-se com camadas tectônicas do arco vulcânico Cretácico imbricadas em potentes *melanges*. Em geral as rochas

destes complexos podem ser subdivididas em: (1) complexo peridotítico com harzburgitos, websteritos, Iherzolitos e bolsões isolados de dunito, todos serpentinizados; (2) diques de diabásio, discordantes sobre o complexo peridotítico.

A maioria das falhas de primeira ordem delimitam os megablocos vulcano-sedimentar, intrusivos e serpentinitos ( Hatten *et al.* 1958, Hatten 1967, *apud* Ianev *et al.* 1993).

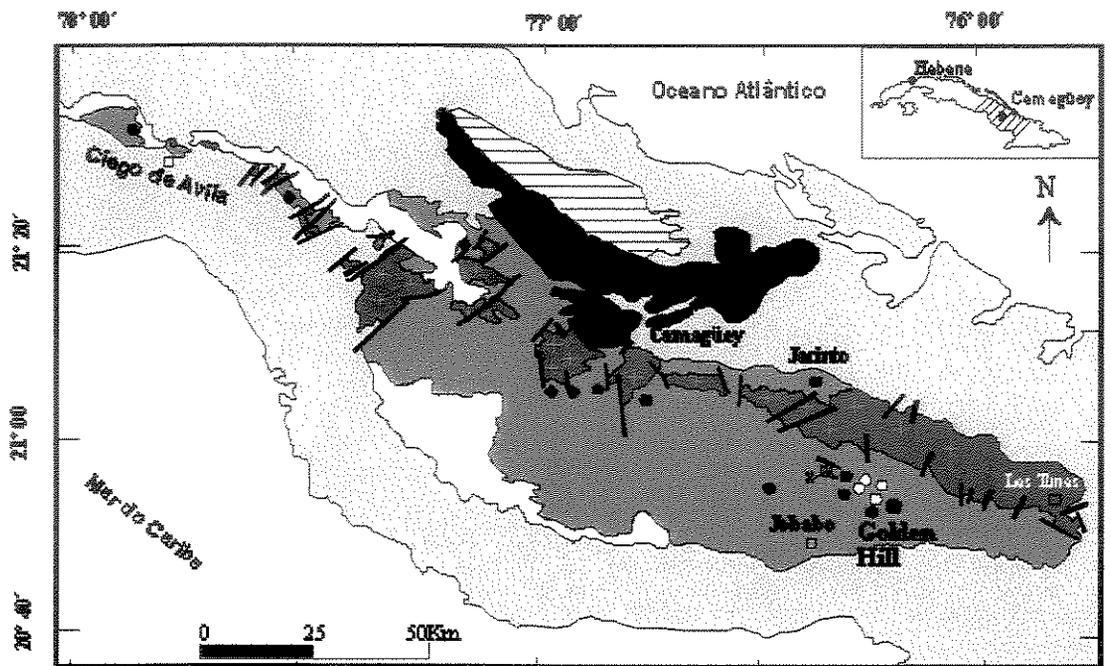
### 1.3 – MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS EM CUBA

Em Cuba, as mineralizações auríferas são conhecidas desde a colonização espanhola, quando os trabalhos de prospeção concentravam-se na procura de depósitos aflorantes. Em 1830 foram registrados os primeiros dados sobre a geologia e mineralização de ouro em “História Física de Cuba” de R. de la Sagra. Nesta obra são descritas as características gerais dos veios e rochas hospedeiras situados ao sul de Las Villas (Santa Rosa, San Juan de Maleza e San Fernando), como também citados alguns relatórios datados de 1515 e 1538 sobre a exploração do ouro em veios em serpentinito e ouro em pláceres dos rios Arimao e Agabama (*apud* Cabrera 1986).

A partir de 1930 até o final da década de 50 trabalhos de pesquisa e exploração foram desenvolvidos por geólogos holandeses e norte-americanos destacando-se na produção histórica de ouro, os depósitos epitermais Florencia, Las Animas, Maclama, Georgina, Iron Hill, situados na região de Ciego Camagüey-Las Tunas.

Desde então a região Ciego-Camagüey-Las Tunas tem sido objeto de vários estudos orientados à definição do arcabouço geológico com implicações na exploração mineral de mineralizações de Cu-Au epitermais, Au – Fe em skarns e Cu-Mo do tipo porfiritico (Fig. 1.4) (Shevshenko 1976, Belmustakok *et al.* 1981, Ovchinikov *et al.* 1983, Cabrera *et al.* 1984, Echevarría *et al.* 1986, Escobar *et al.* 1988,). Como resultado de um programa de prospeção para Au e metais base desenvolvido em 1992 por várias empresas multinacionais de mineração, tais como, a Joutel Resources, Caribgold, Republic Mining, Minería Siboney Ltd e MacDonald Ltd, todas do Canadá, e a Geominera S.A., de Cuba, os depósitos situados na região de Ciego-Camagüey-Las Tunas foram reavaliados e novas ocorrências encontradas. Como destaque deste

programa tem-se a descoberta dos depósitos El Pilar, Santa Elena e Golden Hill, com mineralização epitermal de Cu-Au.



**Legenda**

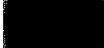
- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|  | Sedimentos do Neógeno-Quaternário   |    | Seqüências de Margem Continental do Jurássico Superior |
|  | Rochas sedimentares do Eoceno   |    | Associação Ofiolítica Mesozóica                        |
|  | Rochas Vulcânicas do Arco Cretácico, incluindo a Formação Crucero Contramaestre | <b>Prospectos</b>   |  |
|  | Granitóides do Arco Vulcânico Cretácico   |    | Au   |
|   |   |  | Au-Fe  |
|   |   |  | Cu-Mo  |
|   |   |    | Depósito epitermal Cu-Au GOLDEN HILL                   |

Figura 1.4- Mapa geológico da região Ciego-Camagüey-Las Tunas, setor centro oriental de Cuba, com a localização do depósito de Cu-Au Golden Hill (modificado de Pérez & Sukar 1997).

O depósito de Cu-Au Golden Hill, em particular, situa-se a 8 Km ao N-NE da localidade de Jobabo, Província Las Tunas, Cuba (Fig.1.4). A mineralização do depósito Golden Hill

encontra-se hospedada em brechas com clastos de andesito, traqui-andesito, andesito-basalto e tufos da Formação Crucero Contramaestre de idade Cretácica Inferior-Campaniano. Melling (1998), a partir de estudos mineralógicos, alteração hidrotermal e geoquímica, classificou este depósito como do tipo alta sulfetação, com a mineralização geneticamente associada à zonas de alteração argílica avançada, sugerindo uma possível relação genética com intrusões epizonais, portadoras de cobre do tipo porfirítico.

As reservas de metal contido nos corpos de minério oxidado e primário, foram estimadas em 6,2 toneladas métricas de Au, a um teor entre 1,0 e 2,5 g/t de Au, e 21.000 toneladas métricas de Cu, a um teor entre 0.5-1.5% de Cu (Melling *et al.* 1996, 1997, *apud* Melling 1998).

#### 1.4 – OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Embora trabalhos anteriores tenham contribuído de forma significativa para um melhor conhecimento da gênese do depósito Golden Hill, este estudo focalizou-se principalmente na caracterização físico-química e evolução do fluido hidrotermal responsável pela precipitação do Cu e Au.

No presente trabalho, estudos mineralógicos e texturais da zona de alteração argílica avançada e mineralização associada, conjuntamente com a microtermometria e micro-espectroscopia Raman de inclusões fluidas, foram desenvolvidos com o objetivo de reconstruir o ambiente físico-químico de precipitação de Cu e Au no depósito Golden Hill. Um estudo desta natureza também tem como meta fornecer elementos adicionais que contribuam para um melhor equacionamento do modelo genético do depósito, com implicações nos modelos exploratórios que visam encontrar depósitos similares e, como consequência, aumentar do potencial aurífero de Cuba.

Cabe ainda ressaltar que esta pesquisa consolidou os conhecimentos da autora sobre a metalogênese de depósitos auríferos epitermais, como também na utilização adequada de diversas ferramentas analíticas, cujos dados permitiram a compreensão de vários aspectos físico-químicos da gênese destes depósitos.

O regulamento do curso de Pós-Graduação em Geologia da UNICAMP permite que a Dissertação de Mestrado possa ser estruturada na forma de artigo para ser submetido para

publicação em periódico com corpo editorial. Neste contexto, esta Dissertação de Mestrado centraliza-se no artigo: “Natureza e evolução dos fluidos hidrotermais no depósito cupro-aurífero Golden Hill, Camagüey, Cuba”, desenvolvido no Capítulo 2 desta dissertação.

## CAPÍTULO 2

# **NATUREZA E EVOLUÇÃO DOS FLUIDOS HIDROTERMAIS NO DEPÓSITO CUPRO-AURÍFERO GOLDEN HILL, CAMAGUEY, CUBA.**

## 2.1 - GEOLOGIA REGIONAL DE CUBA CENTRO-ORIENTAL

O sistema epitermal Ciego-Camaguey-Las Tunas desenvolveu-se em ambiente de arco de ilhas vulcânicas durante a subducção da borda ativa da antiga placa proto-caribenha no Cretáceo (Aptiano-Albiano). Há diferentes opiniões sobre a posição da zona de subducção, porém a mais aceita é a de que esta esteve sempre situada ao sul do arco, inclinada para o norte (Iturralde 1997). A colisão do arco com a margem continental da placa norte-americana, no Paleógeno Inferior, após a subducção, levou as zonas frontais e axiais do arco, juntamente com resíduos da crosta oceânica, a uma reativação muito intensa (Ianev *et al.* 1993). Como consequência, as particularidades estruturais e tectônicas primárias do arco encontram-se relativamente preservadas apenas em algumas porções de Cuba, particularmente nas províncias de Santa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey e Las Tunas (Ianev *et al.* 1993).

As rochas do complexo vulcano-sedimentar do arco vulcânico na região de Ciego-Camagüey-Las Tunas consistem de rochas efusivas, piroclásticas e sedimentares, agrupadas em várias seqüências litoestratigráficas. Nesta região as rochas plutônicas estão associadas temporal e espacialmente a rochas vulcânicas formando complexos plutônico-vulcânicos os quais, segundo as suas assinaturas geoquímicas, foram sub-divididos da seguinte forma (Morales 1997; Pérez & Sukar 1997):

1. Série cálcio-alcálica sódica, caracterizada por gabro e plagiogranito.
2. Série cálcio-alcálica sódico-potássica, constituída por granodiorito e granito, representando o maior volume das rochas plutônicas.
3. Série alcálica, com tendência sub-alcálica, dominada por gabro, sienito e monzonito

As idades de 107 Ma. e 74 Ma, determinadas mediante os métodos de K-Ar, Ar-Ar e U-Pb, podem representar o início do magmatismo de arco e o resfriamento da atividade ígnea, respectivamente (Iturralde 1997; Morales 1997; Pérez & Sukar 1997; Pérez *et al.* 1997; Melling 1998).

Somente a série cálcio-alcálica (2) encontra-se representada na área do depósito Golden Hill.

## 2.2 - DEPÓSITO CUPRO-AURÍFERO GOLDEN HILL

O depósito Cu-Au Golden Hill é parte integrante do sistema epitermal da região Ciego-Camagüey-Las Tunas e situa-se a 8 km ao N-NE da localidade de Jobabo, Província Las Tunas, onde 5 corpos mineralizados foram individualizados: Little Hill, Big Hill, Three Hills, Castle Rock e Raul's Ridge (Fig.2.1), abrangendo uma área de aproximadamente 7,2 km<sup>2</sup>. Little Hill, Big Hill e Three Hills destacam-se pelos seus conteúdos significativos em ouro, com minério somando 1,811 kg de Au (56,328 onças) na parte oxidada. A geologia da área do depósito é dominada pela Formação Crucero Contramaestre que consiste de uma seqüência de 2800 m de sedimentos depositados em ambiente marinho e sub-aéreo, incluindo tufos, arenitos tufáceos, arenitos, calcários, rochas silicosas, e conglomerados, formados pelo transporte de materiais de proveniência vulcânica e piroclástica. Uma série de diques de composição andesítica a traquiandesítica cortam todas as litologias da Formação Crucero Contramaestre, assim como os corpos de minério e zonas de alteração hidrotermal associadas ao depósito Golden Hill.

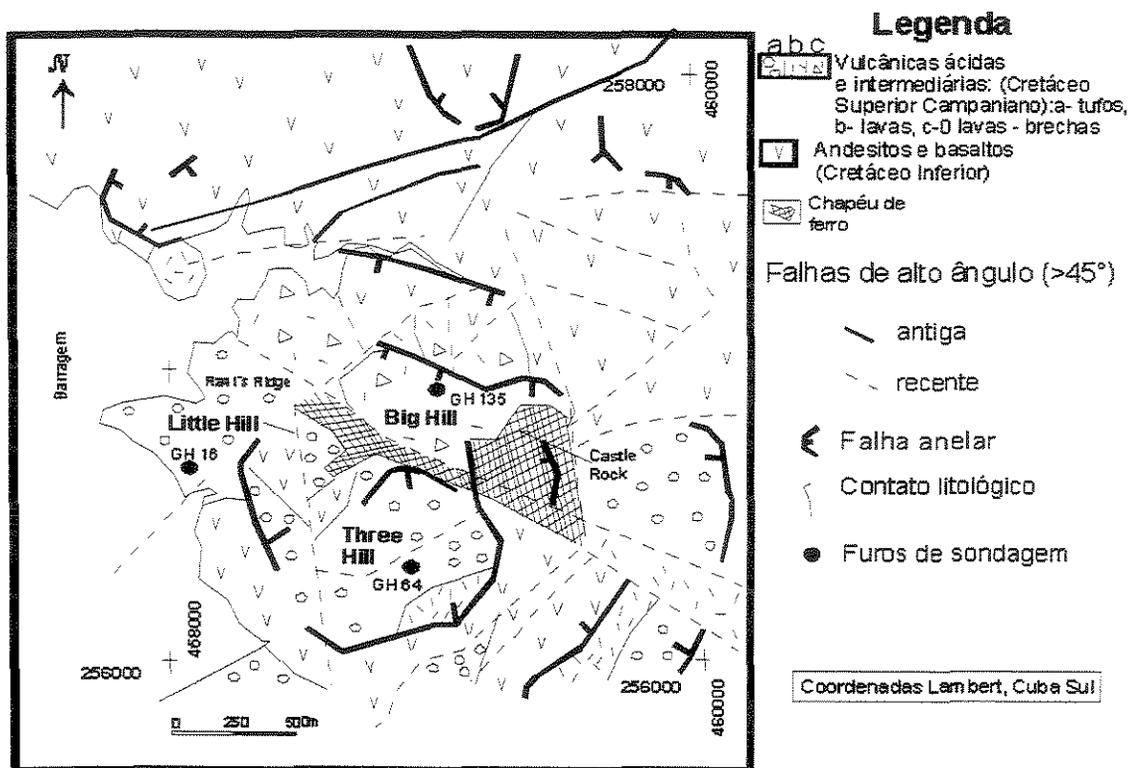


Figura. 2.1 – Mapa geológico do depósito Golden Hill, com a localização dos principais corpos de minério (modificado de Capote 1999).

As rochas sedimentares de origem marinha da Formação Crucero-Contramaestre foram observadas apenas a distâncias de poucos quilômetros do depósito Golden Hill, mas nunca na área deste.

A mineralização de Cu-Au no depósito encontra-se hospedada por brechas andesíticas (traqui-andesíticas), andesito-basalto e tufos da Formação Crucero Contramaestre, em um ambiente de cratera de um paleo-vulcão (Melling 1998; Pérez *et al.*1998), (Fig. 2.1). O vulcanismo foi aparentemente controlado por um sistema de falhas de direção NNW, N-S e NE, também conhecido como Trend Golden Hill, o qual deve ter favorecido a circulação de fluidos hidrotermais e a deposição de Cu e Au (Melling 1998).

A mineralização de Cu-Au do depósito concentra-se em corpos lenticulares de sulfeto maciço com espessuras que variam entre 25m e 40m(Fig. 2.2). Estes corpos se estendem por algumas centenas de metros, ao longo da direção, podendo atingir até 40m ao longo de mergulho de 40 a 60° SE (MacDonald Exploration Ltd 1996 e 1997; *apud* Capote 1999). O teor de ouro varia de 1.0 a 2.5 g/t e 0.5 a 1.5% de Cu (Melling 1998).

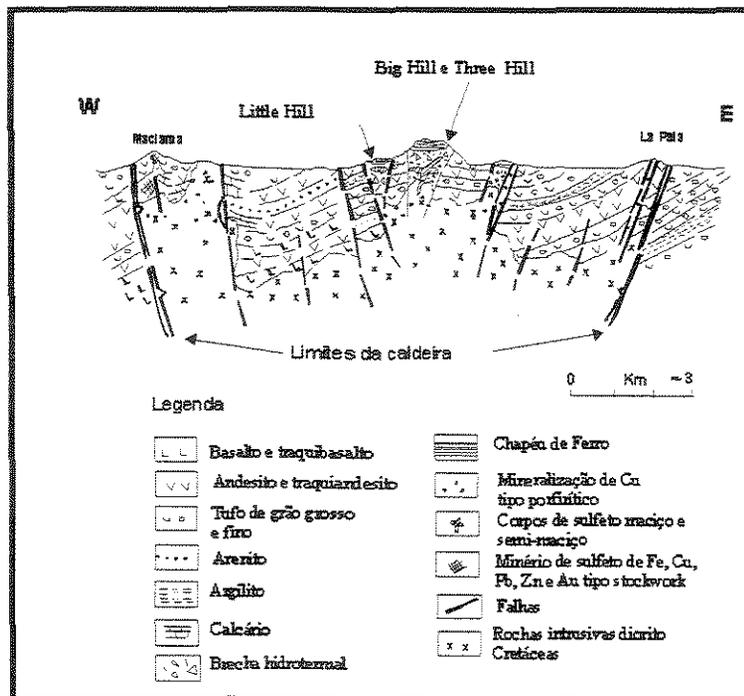


Figura 2.2 – Contexto geológico do depósito de Cu-Au Golden Hill e o modo de ocorrência dos corpos de minério Little Hill, Big Hill e Three Hill (Perez *et al.* 1998)

A alteração hidrotermal associada ao depósito Golden Hill é pervasiva, com assembléias típicas de depósitos de alta sulfetação, formada por alteração silícica, argílica e argílica avançada, que substituem uma alteração propilitica anterior. Estas alterações hidrotermais desenvolvem-se em uma superfície de aproximadamente 8 km<sup>2</sup> e foram detectadas até uma profundidade de 150 m.

A alteração silícica manifesta-se pela intensa silicificação das vulcânicas hospedeiras, particularmente em brechas andesíticas, e formação de geodos de quartzo na parte superior do sistema hidrotermal (Fig 2.3A). A alteração argílica é intermediária à zona argílica avançada, sendo que esta última é a que envolve os corpos auríferos sulfetados do depósito Golden Hill.

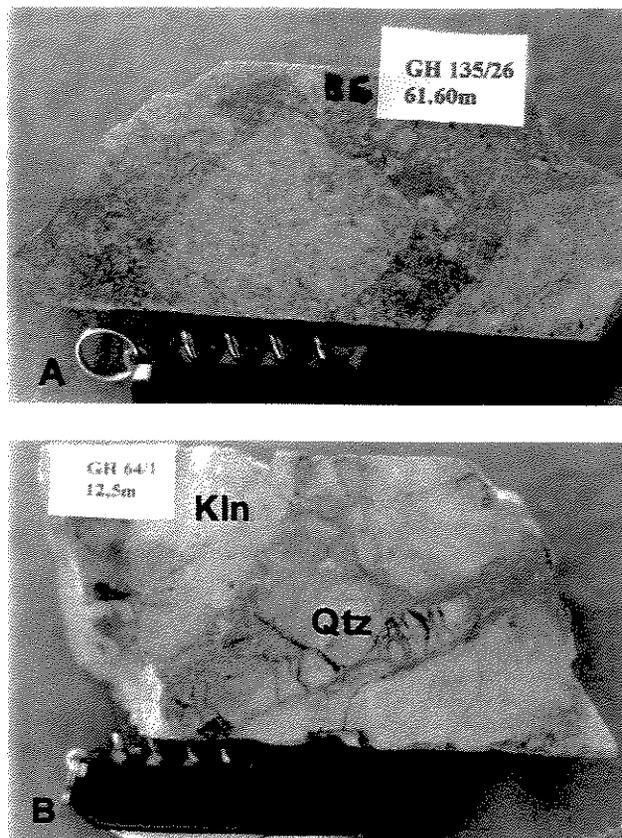


Figura 2.3- O estilo de alteração hidrotermal no depósito Golden Hill: A) Brecha andesítica silicificada, constituída essencialmente por quartzo fino na matriz e clastos de andesito; B) Tufo da zona de alteração argílica avançada, intensamente caolinitizado e silicificado. Kln-caolinita, Qtz-quartzo.

Em superfície, ocorre uma zona oxidada formada por processos supergênicos que atinge profundidades entre 15m e 60 m, sendo constituída por limonita terrosa friável e pulverulenta, envolta por domínios com quartzo, caolinita e jarosita subordinada.

### 2.3 - MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo da mineralogia e paragênese da alteração argílica avançada e o de inclusões fluidas foram realizados a partir das amostras do minério primário e rochas encaixantes coletados em afloramentos (14 amostras) e furos de sondagem (80 amostras; furos GH 16, GH 135 e GH 64) efetuados no período de 1996-1997 pela Companhia MacDonald Ltd.

O estudo do minério e rochas encaixantes foi orientado para detalhar a composição mineral, suas relações texturais, e transformações sofridas durante o processo de mineralização e alteração hidrotermal, buscando estabelecer a ordem de deposição mineral, reconstruir o ambiente de precipitação de sulfeto e ouro, principalmente no que se refere a parâmetros físico-químicos. Para isso, um total de 52 lâminas delgada-polidas e polidas de amostras de minério e rochas encaixantes foram sistematicamente investigadas ao microscópio petrográfico convencional, com apoio da análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), utilizando-se equipamento modelo LEO 430i (Cambridge/Leica), com espectrômetro de energia dispersiva CatB.

O estudo de inclusões fluidas foi direcionado para definir a composição química dos fluidos envolvidos na alteração hidrotermal e mineralização, incluindo possíveis tendências evolutivas. Para o desenvolvimento deste estudo foram selecionadas 12 amostras de quartzo (veios, geodo, e matriz da brecha) e barita (veio e bolsão). A microtermometria e micro-espectroscopia Raman foram desenvolvidas em lâminas com aproximadamente 50µm de espessura, polidas em ambas as faces. Os dados de microtermometria foram obtidos em uma platina de resfriamento/aquecimento Linkam TMSG-600, acoplada a um microscópio petrográfico convencional no Laboratório de Inclusões Fluidas do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas. A calibração da platina foi efetuada utilizando-se de um conjunto de inclusões sintéticas padrões, manufaturada pela SYN FLINC. As temperaturas de mudanças de fase registradas foram as fusão do gelo ( $T_{fg}$ ) e de homogeneização total ( $T_h$ ), com

precisões de  $\pm 0,1$  °C e  $\pm 5$  °C, respectivamente. Os dados da microtermometria foram obtidos principalmente em inclusões primárias e pseudosecundárias e complementados com análises efetuadas na fase vapor destas inclusões, com o objetivo de se detectar a possível presença de voláteis dissolvidos. Estas análises foram realizadas através de um sistema de micro-espectroscopia Raman JOBIN-YVON, modelo T64000, utilizando-se uma fonte de laser de argônio, com irradiação através da linha 514.5 nm, e intensidade de 600 mW, durante 300 segundos, para cada composto considerado.

## 2.4 - ALTERAÇÃO ARGÍLICA AVANÇADA

A assembléia de alteração argílica avançada é formada por quartzo, caolinita, alunita, zunyita, diásporo e pirofilita, sendo a pirofilita e a zunyita comuns em Big Hill e Three Hill, enquanto que em Little Hill a pirofilita é escassa e a zunyita ausente.

Com base na associação mineralógica e relações texturais foram identificados dois estágios de alteração hidrotermal no desenvolvimento da alteração argílica avançada:

**2.4.1 - Estágio I** É composto por quartzo-caolinita-alunita-zunyita-diásporo e rutilo.

O quartzo ocorre formando agregados com grãos variando de 40 a 760  $\mu\text{m}$ , as vezes intercrescidos com caolinita e, em conjunto, substituem completamente a assembléia mineral original das rochas vulcânicas hospedeiras. Localmente, as vulcânicas hospedeiras ainda preservam relíctos da textura porfírica original, embora os fenocristais de feldspatos já se encontrem substituídos por caolinita e sericita (Fig.2.4A). A dickita, polimorfo de caolinita, ocorre como finas lâminas associadas à alunita.

No estágio I dois tipos de minerais do grupo da alunita foram identificados:

(i) Woodhouseita e florencita em grãos euhédricos-subhédricos, com dimensões entre 3.5-120  $\mu\text{m}$ , em associação com quartzo e pirita na matriz da brecha andesítica silicificada. Análises por MEV nestes isomorfos de alunita indicaram a presença de Sr, Ca e P, na woodhouseita, enquanto que a florencita contém elementos de terras raras, além de Sr.

(ii) Alunita rica em potássio que se desenvolve nas bordas dos fenocristais caolinizados e sericitizados ou, mais subordinadamente, como disseminações na matriz das vulcânicas hospedeiras.

A zunyita ocorre em grãos tetrahédricos, isolados ou como agregados no interior de massas de quartzo-alunita.

Diásporo, em grãos com dimensões variáveis entre 50 a 210  $\mu\text{m}$ , ocorrem em contato com quartzo e mostram evidências de cristalização contemporânea.

O rutilo geralmente aparece disperso na matriz formando conjuntos de agregados de grãos euhédricos.

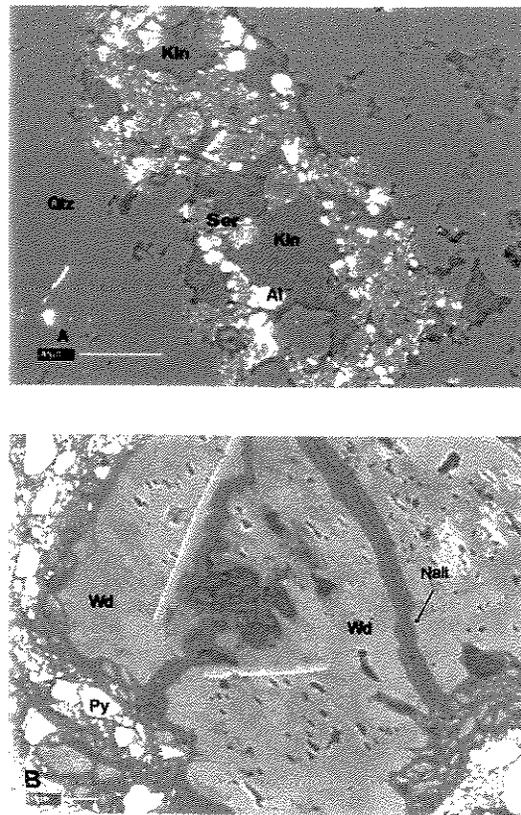


Figura 2.4- Fotomicrografias ilustrando as relações paragenéticas dos minerais de alteração argílica avançada do depósito de Golden Hill. A) Relictos de fenocristais de clastos andesíticos dos tufos, substituídos por caolinita do estágio I; B) Woodhouseita do estágio I substituída nas bordas por natroalunita do estágio II. Qtz- quartzo, Kln-caolinita, Wd-woodhouseita e Natl-natroalunita.

#### 2.4.2 - Estágio II

Caracteriza-se pela assembléia mineral quartzo – natroalunita - pirofilita que substitui os minerais de alteração do estágio I.

O quartzo e a pirofilita, esta última em quantidades que variam de 3% a 35%, formam massas microcristalinas e vênulas que substituem ou cortam a assembléia de alteração do estágio I.

A natroalunita desenvolve-se nas bordas da woodhouseita, ou como finas lâminas dispersas no interior dos grãos deste mineral, como também o penetra sob a forma de vênulas, indicando um processo de substituição (Fig. 2.4 B).

Barita e gipsita são fases minerais tardias da alteração argílica avançada e de ocorrência comum no depósito, sendo que a primeira preenche cavidades no minério com deposição posterior ao quartzo do estágio II e forma bolsões isolados, enquanto que a segunda, ocorre principalmente em veios.

A distribuição em profundidade das assembléias minerais características dos estágios I e II da alteração argílica avançada do depósito Golden Hill e suas relações com as zonas mineralizadas a Cu e Au podem ser observadas na Figura 2.5. O quartzo e rutilo são comuns ao longo de todo o perfil dos furos de sondagem investigados, porém a caulinita concentra-se principalmente em porções mais superficiais do depósito. A alunita rica em potássio concentra-se preferencialmente em profundidades de até 60m, ao passo que seus isomorfos woodhouseita e florencita, em conjunto com a zunyita (2 a 5%) e diásporo (até 5%), aparecem de forma significativa entre 50 e 130m, geralmente em associação espacial com zonas mineralizadas (sulfeto maciço ou semi-maciço) (Fig. 2.5). A pirofilita e a natroalunita formadas no estágio II do processo de alteração são mais abundantes em profundidade (40 e 140 metros), sendo que a primeira mostra concentrações mais importantes próximas às zonas mineralizadas (Big Hill e Three Hill; Fig. 2.5).

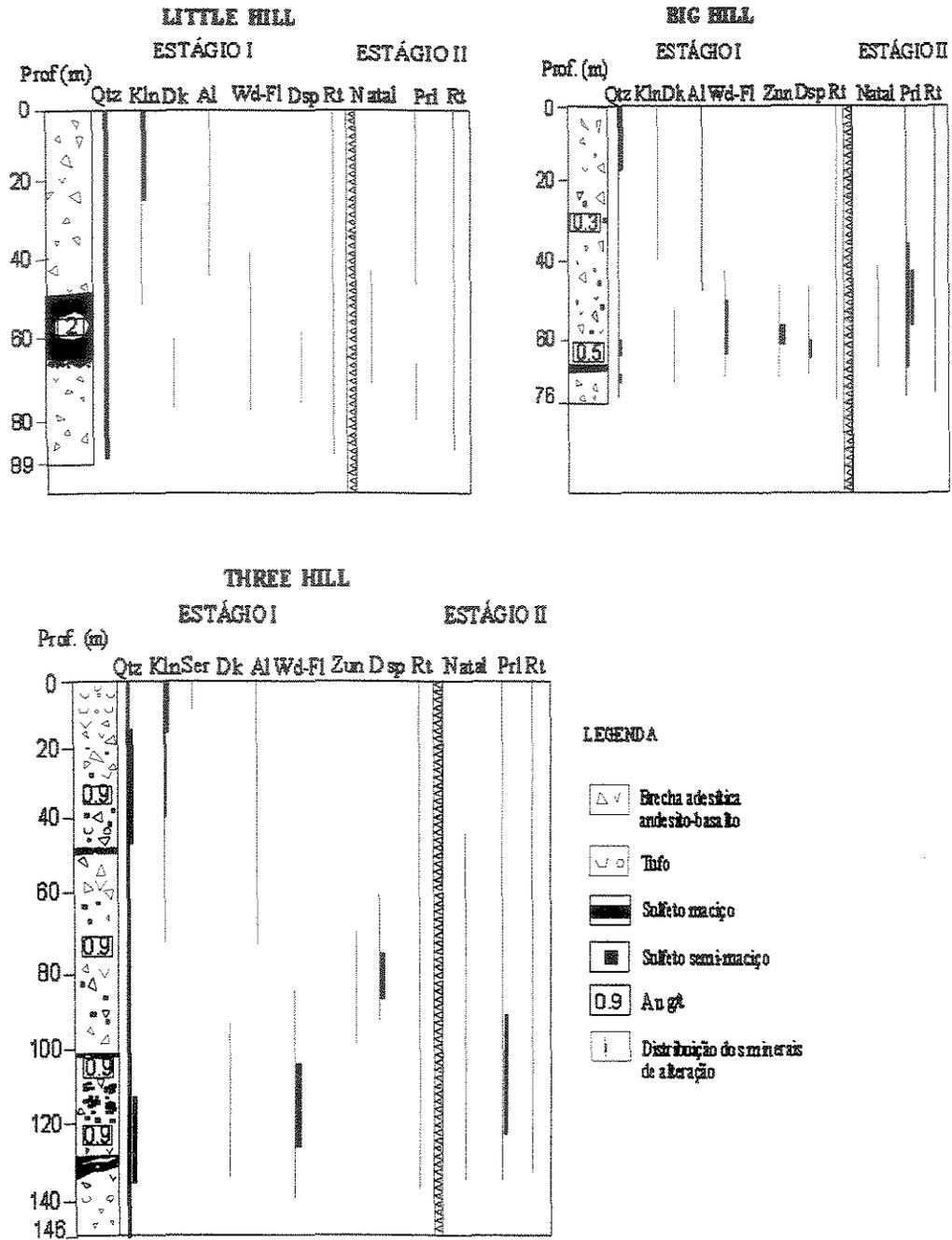


Figura 2.5 – Distribuição das assembléias de alteração argílica avançada dos estágios I e II em profundidade, ao longo de furos de sondagem (GH 16; GH 135; GH 64) do depósito Golden Hill. Qtz-quartzo, Kln-caolinita, Dk-dickita, Al-alunita, Wd-FI- woodhouseita-florencita, Ser-sericita, Pri-pirofilita, Rt-rutilo, Natal-natroalunita, Dsp-diásporo, Zun-zunyita.

## 2.5 - PARAGÊNESE DO MINÉRIO E ASPECTOS TEXTURAIIS

No depósito Golden Hill pirita e enargita são os minerais de minério predominantes e quando ocorrem em concentrações superiores a 50 %, definem corpos de sulfeto maciço, enquanto que em concentrações < 45% os corpos de minério são denominados de semi-maciço (Fig.2.6). Este tipo de classificação, inclusive com as respectivas concentrações, segue a adotada nos trabalhos de Guilbert & Park (1986) e Sillitoe & Lorson (1994). Tanto a pirita como a enargita apresentam evidências texturais (frambóides de pirita englobados por enargita e enargita substituída nas bordas por pirita compacta do estágio II) que sugerem uma deposição contemporânea.

Nos corpos de sulfeto maciço a pirita contribui com 50 a 95 % e a enargita aparece comumente em concentrações subordinadas entre 10% e 0,1% embora, localmente, possa atingir até 45% em volume (Fig. 2.6A). A enargita, possui inclusões micrométricas de luzonita-famatinita, sulfosais de Cu-Bi-Mo, esfalerita, galena e, raramente, calcopirita. Adicionalmente, barita, quartzo, alunita e wolframita preenchem microcavidades em pirita no minério de sulfeto maciço. Nos corpos do minério semi-maciço a pirita (2 a 45%) e, subordinadamente, enargita ocorrem como grãos disseminados e massas irregulares associados a quartzo, caolinita, isomorfos de alunita e barita (Fig. 2.6 B).

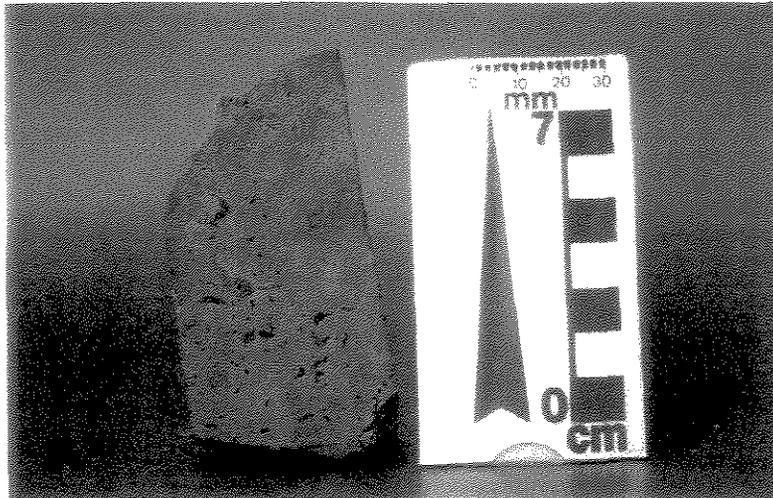


Figura 2.6 – Tipos de minério do depósito Golden Hill. A) Sulfeto maciço do corpo Little Hill, constituído por 85% de sulfetos, predominantemente pirita (furo GH 16/52.20m); B) Sulfeto semi-maciço do corpo Big Hill constituído por 35% de sulfeto, pirita principalmente (furo GH 135/ 63.70m).

Com base na mineralogia e relações texturais a seqüência de deposição de sulfetos nos corpos de minério maciço e semi-maciço do depósito Golden Hill também pode ser vinculada aos estágios I e II de alteração argílica avançada anteriormente definidos.

### 2.5.1 - Estágio I

Caracterizado pela assembléia pirita – enargita, sendo que a pirita forma estruturas esféricas, com diâmetros que variam de 15,0  $\mu\text{m}$  a 40,0  $\mu\text{m}$ , constituídas por agregados de cristais cúbicos, com dimensões uniformes em torno de 1,0  $\mu\text{m}$ , o que lhe confere uma textura framboidal (Fig. 2.7A). Este tipo de textura é freqüentemente observada no corpo de sulfeto maciço e apenas localmente nos corpos de sulfeto semi-maciço. Em termos genéticos, a pirita framboidal tem sido interpretada em vários trabalhos como de origem orgânica (Schneiderhöhn 1923; Love 1958; Skripchenko 1970; Locquin *et al.* 1978; *apud* England *et al.* 1993), enquanto outros argumentam sua formação em seqüências piroclásticas durante o estágio tardio de atividade vulcânica, em torno de 280°C (Özgür 1985; *apud* Schneider *et al.* 1988), ou por substituição de vacúolos das lavas (Rickard 1970).

Adicionalmente a pirita ocorre disseminada, como cristais euhédricos com tamanhos entre 10  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ , e também como concreções (i.e. Corpo Three Hill). Estas concreções são constituídas por agregados de cristais de pirita pouco agrupados e intercrescidos com quartzo microcristalino, formando sub-esferas de dimensões de 0.5cm a 2 cm (Fig. 2.7B).

A enargita ocorre como cristais idiomórficos de 1 a 2 mm de dimensão, disseminados entre os cristais euhédricos de pirita intercrescidos com quartzo.

Nesse estudo, o ouro, no seu estado nativo e como grãos livres, não foi observado no estágio I, possivelmente pelo baixo teor das amostras investigadas (i.e 0.94 g/t Au) ou pelo fato do ouro neste estágio ocorrer provavelmente de forma sub-microscópica.

### 2.5.2 - Estágio II

Caracteriza-se pela assembléia pirita-enargita-luzonita-famatinita e Au que encontra-se melhor representada no sulfeto maciço e pouco desenvolvida no sulfeto semi-maciço.

A pirita mostra uma textura compacta e engloba restos de frambóides. Esta textura compacta é interpretada como o resultado de um contínuo processo de recristalização sobre os frambóides de pirita, conferindo-lhes uma textura em anel, até sua recristalização total (Fig 2.7C).

Adicionalmente, a pirita também mostra textura zonada possivelmente por interrupção do crescimento do cristal, textura colomórfica com núcleos circulares de pirita de granulação fina a

grossa intercrescida e, localmente, textura cataclástica, com os espaços entre os clastos preenchidos por woodhouseita, natroalunita e pirofilita. Estanita e rutilo ocorrem como inclusões micrométricas na pirita.

A enargita ocorre na forma de agregados irregulares que englobam frambóides de pirita, ou como finas vênulas, atestando a sua origem tardia em relação à pirita do estágio I. Porém a enargita pode ser substituída nas suas bordas por pirita do estágio II (Fig. 2.7D).

Os polimorfos luzonita-famatinita e sulfosais de Cu-Bi-Mo e, mais raramente, calcopirita, esfalerita e galena ocorrem com muita frequência como inclusões micrométricas na enargita.

Grãos livres de ouro nativo, com dimensões entre 1 e 20  $\mu\text{m}$ , irregulares e arredondados, geralmente associam-se à pirita compacta do estágio II, seja preenchendo cavidades ou em contato brusco com suas bordas (Fig. 2.7E). A concentração de Ag em grãos de ouro varia de 15 a 34%.

Teluretos de Au-Ag (Estrugo 1997 comunicação pessoal) e telureto com Fe, determinado em MEV neste trabalho, são minerais escassos e aparecem nas cavidades da pirita e incluso na enargita.

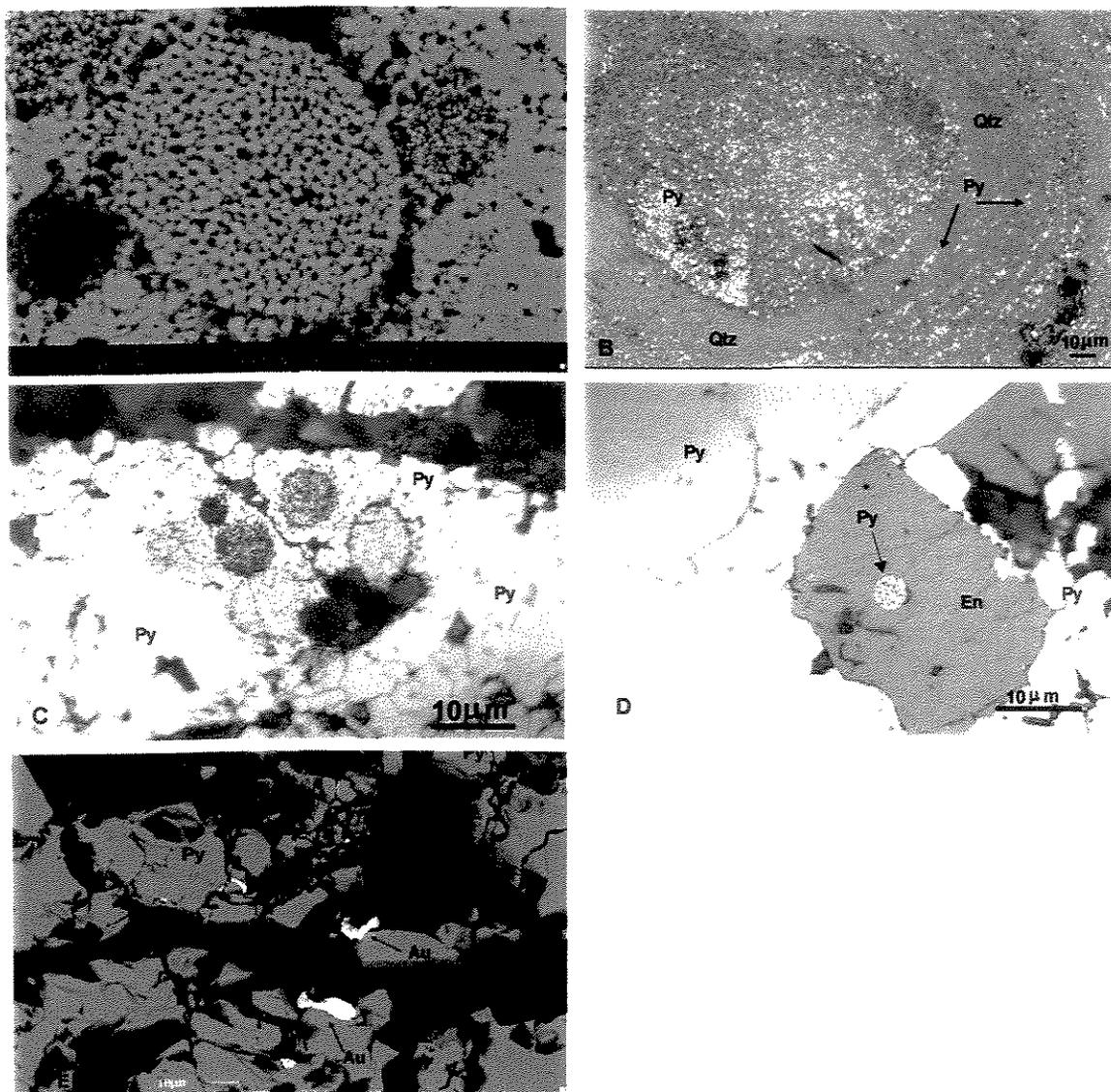


Figura 2.7 – Textura framboidal da pirita do estágio I, com os cristais organizados na forma de cubos; B) Concreções constituídas por agregados de pirita e finas laminações concêntricas de pirita, típicas do estágio I; C) Textura anelar de pirita derivada de pirita framboidal englobada por pirita mais compacta; D) Pirita framboidal englobada em grão de enargita, por sua vez, envolta por pirita compacta que também substitui a enargita nas bordas; E) Grãos de ouro em contato com a pirita do estágio II. Py-pirita, Qtz-quartzo, En-enargita, Au-ouro.

A covelita ocorre como agregados finos ao longo das bordas da enargita ou a corta em forma de vênulas, assim como preenche cavidades na pirita, sendo interpretadas como de origem supergênica.

Um resumo da seqüência de formação da paragênese de minério nos estágios I e II da alteração argílica avançada definidos no depósito Golden Hill pode ser observada na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1 - Seqüência de desenvolvimento da paragênese do minério nos estágios I e II de alteração argílica avançada no depósito Golden Hill.**

	Estágio I	Estágio II	Supergênico
rutilo	-----		
pirita	-----		
estanita		-----	
enargita		-----	
luz-famatinita		-----	
calcopirita		-----	
esfalerita		-----	
galena		-----	
ouro	----- ?	-----	-----
covelita			-----
barita			-----
gipsita		-----	
jarosita			-----
goethita			-----
hematita			-----

## 2.6 - INCLUSÕES FLUIDAS

### 2.6.1 - Tipos e modos de ocorrência

Apenas 7 amostras de quartzo do estágio II e 1 amostra de barita de formação tardia no estágio II apresentaram populações de inclusões fluidas com dimensões adequadas para o estudo microtermométrico. Devido as suas pequenas dimensões (<5µm) não foi possível obter dados microtermométricos em inclusões fluidas em quartzo do estágio I.

As seguintes amostras representativas do estágio II foram analisadas:

- (i) quartzo em geodo coletado em superfície no corpo de Big Hill;
- (ii) quartzo de veio e em cavidades de brecha mineralizada, coletado no furo de

sondagem GH 64 no corpo de Three Hill.

(iii) barita extraída em superfície do corpo de Little Hill.

Grande parte das inclusões investigadas nestas amostras são submicroscópicas e as maiores, escassas, encontram-se entre 5 e 10  $\mu\text{m}$ . Com base nos seus modos de ocorrência as inclusões fluidas foram classificadas em primárias e pseudosecundárias, de acordo com os critérios de Roedder (1984).

Considerando as relações de fases observadas à temperatura ambiente (22°C) as inclusões fluidas investigadas foram agrupadas nas de tipo I – monofásicas aquosas (L); tipo II – bifásicas aquosas, com fase líquido predominante (L>V); tipo III – inclusões bifásicas aquosas, com fase vapor predominante (V>L).

As inclusões do tipo I foram identificadas em quartzo associado ao minério, quartzo em geodo e em barita. Estas inclusões são as mais freqüentes e distribuem-se de forma isolada ou em grupos isolados, com formas irregulares ou arredondadas, sendo interpretadas como de origem primária (Fig. 2.8A).

Inclusões tipo do II, embora menos freqüentes que as do tipo I, também foram identificadas em quartzo e barita, nas mesmas associações. Estas inclusões apresentam geralmente contornos variáveis de cristal negativo e ocorrem isoladas e em grupos, como inclusões primárias (Fig. 2.8B), ou ao longo de trilhas curtas e arranjos planares intragranulares, típicas de pseudosecundárias (Fig. 2.8C e D). O grau de preenchimento ( $V_{\text{líquido}} / V_{\text{total da inclusão}}$ ) destas inclusões é bastante constante, variando de 0.9 a 0.8. Em quartzo de geodo e associado ao minério ocasionalmente foram observadas fases sólidas no interior das inclusões do tipo II. Estes sólidos são incolores e apresentam forma prismática e sua identificação não foi possível devido ao seu tamanho reduzido.

Inclusões do tipo III, coexistindo com inclusões tipo II, foram observadas particularmente em cristais euhedrais de quartzo imersos em matriz de quartzo microcristalino em zonas mineralizadas. Este tipo de inclusões aparece com formatos arredondados, em grupos e isoladas, sendo consideradas de natureza primária. O grau de preenchimento nestas inclusões é de 0.2 a 0.4.

Evidências de estrangulamento foram freqüentemente observadas em inclusões hospedadas em quartzo de geodo e em barita.

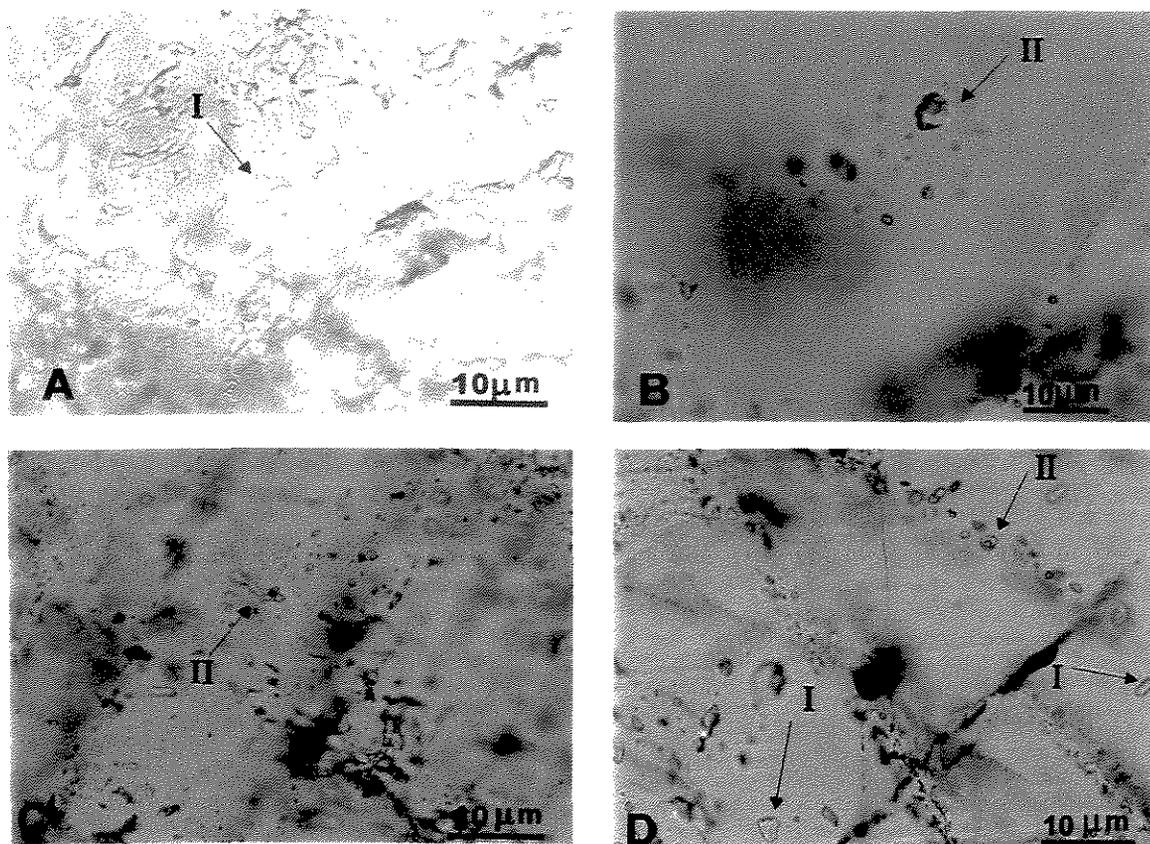


Figura 2.8- Modos de ocorrência e tipos de inclusões fluidas investigadas neste trabalho. A) Quartzo de geodo estágio II, contendo inclusões monofásicas aquosas primárias (tipo I); B) Inclusões primárias do tipo II em grupo hospedado por quartzo de geodo; C) Inclusões pseudosecundárias dos tipos I e II orientadas perpendicular às zonas de crescimento do cristal de quartzo de geodo; D) Inclusões pseudosecundárias e primárias dos tipos I e II ao longo de microfraturas cicatrizadas em barita.

### 2.6.2 - Microtermometria das inclusões fluidas

A homogeneização total ( $Th_t$ ) das inclusões dos tipos II e III em todas as populações investigadas ocorreu invariavelmente na fase líquida. No quartzo associado à mineralização sulfetada, as  $Th_t$ 's concentraram-se em um intervalo de 188°C a 330°C, com uma média de 241°C, para ambos os tipos de inclusões (Fig. 2.9A). As temperaturas de fusão do gelo ( $Tfg$ ) para

estas mesmas inclusões variaram de  $-1,2^{\circ}\text{C}$  a  $-2,7^{\circ}\text{C}$ , indicando salinidade de 2 a 4,5 eq. % peso de NaCl.

No quartzo de geodo as inclusões dos tipos II mostraram  $Th_t$  entre  $172^{\circ}\text{C}$  e  $274^{\circ}\text{C}$ , com uma média de  $198^{\circ}\text{C}$  (Fig. 2.9B), e Tfg's entre  $-0,3^{\circ}\text{C}$  e  $-6,1^{\circ}\text{C}$ , correspondendo a um intervalo mais amplo de salinidade de 0,5 a 9,3 eq. % peso NaCl.

A fase sólida presente em algumas inclusões de tipo II nestes tipos de quartzo com sulfeto e de geodo não desapareceram durante o procedimento de homogeneização total, mesmo até  $400^{\circ}\text{C}$ , indicando que podem ser sólidos aprisionados acidentalmente e não cristais de saturação verdadeiros.

As  $Th_t$ 's das inclusões primárias e pseudosecundárias do tipo II na barita variaram de  $155^{\circ}\text{C}$  a  $247^{\circ}\text{C}$ , com uma média em  $209^{\circ}\text{C}$  (Fig. 2.9C). Nestas inclusões, as Tfg's entre  $-2,1$  a  $-4,1$ , forneceram valores de salinidade entre 3,5 a 6,5 eq. % peso NaCl.

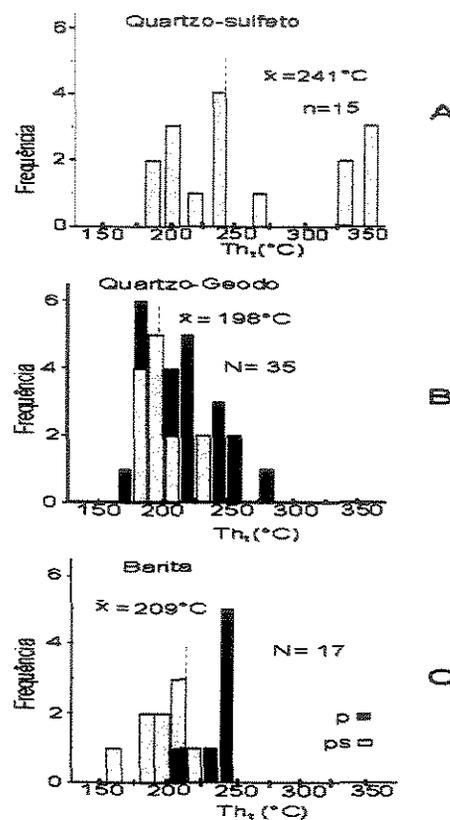


Figura 2.9 – Histogramas mostrando a distribuição da temperatura de homogeneização total ( $Th_t$ ) de inclusões do tipo II em quartzo do estágio II e em barita. p-inclusões primárias, ps-inclusões secundárias, N-número de inclusões analisadas.

### 2.6.3 - Micro-espectroscopia Raman

Análises por micro-espectroscopia Raman em várias inclusões dos tipos II em quartzo associado à mineralização sulfetada e em geodo do estágio II revelaram que a fase vapor destas inclusões contém concentrações abaixo de 2 moles % de  $\text{CO}_2$ , caracterizado pela ocorrência de picos de baixa intensidade em  $1388,2 \text{ cm}^{-1}$  e  $1285 \text{ cm}^{-1}$  (Fig. 2.10). Esta baixa concentração de  $\text{CO}_2$  é corroborada pela microtermometria que mostra a ausência de formação de clatratos durante o resfriamento.

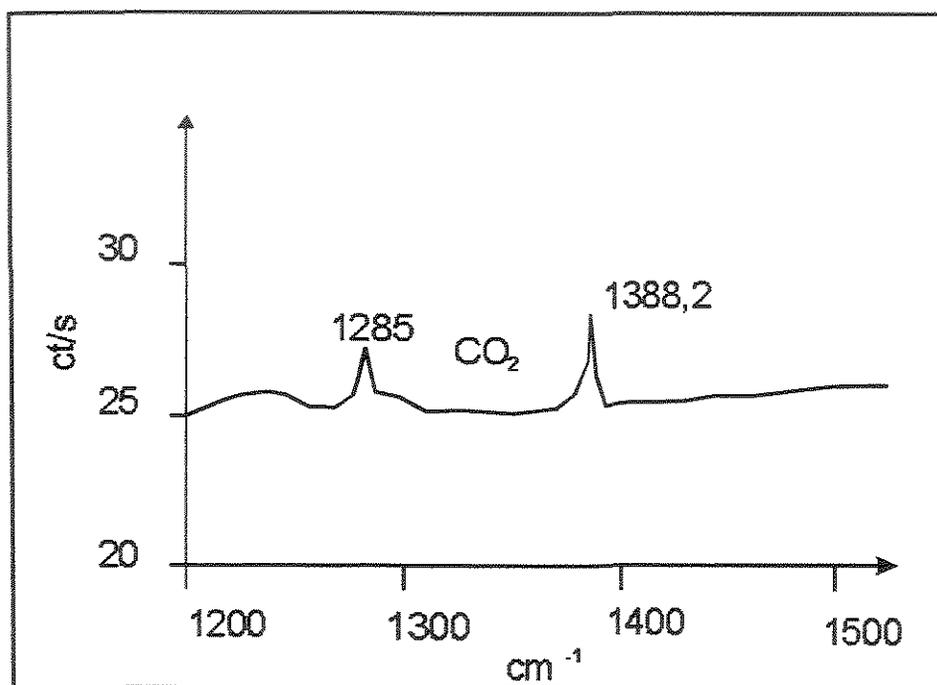


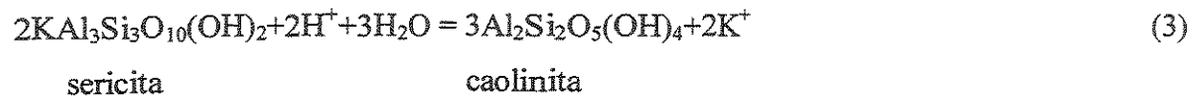
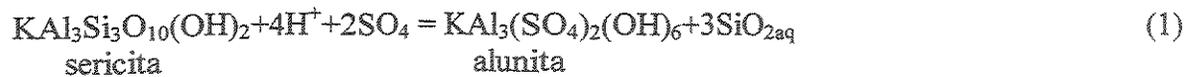
Figura 2.10 – Espectro Raman mostrando a presença do  $\text{CO}_2$  em baixas concentrações (<2 mol%) na fase vapor de inclusões fluidas em quartzo do estágio II.

## 2.7 - DISCUSSÃO

### 2.7.1 - Alteração argílica avançada

Nesta seção são analisadas as relações paragenéticas e possíveis reações químicas entre minerais envolvidos no processo de alteração, com o objetivo de compreender a evolução do fluido hidrotermal durante a alteração argílica avançada.

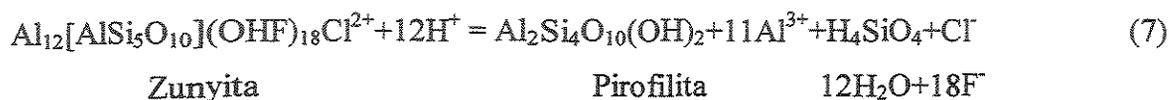
A alteração pseudomórfica dos feldspatos no estágio I, envolvendo a formação de sericita, caolinita e alunita, pode ter se desenvolvido através das seguintes reações químicas (Hemley *et al.* 1969, 1980; Knight 1977):



Na figura 2.11 é apresentado um diagrama esquemático da relação da estabilidade dos minerais de alteração que participam das reações acima, em função das atividades de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . A alunita com potássio, woodhouseita e florencita aparecem como fases estáveis apenas quando a solução atinge concentrações elevadas de  $\text{aH}_2\text{SO}_4$  no estágio I, ou seja, condições mais ácidas, acompanhada pela substituição total da mineralogia primária da rocha.

Particularmente o Sr presente nos minerais woodhouseita e florencita deve ter sido originado da alteração de fenocristais de plagioclásio cálcico ou da dissolução da apatita das rochas vulcânicas hospedeiras do minério.





Na reação (7) a alteração mineral para pirofilita libera H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> como parte do sistema de substituição. No processo de alteração o H<sup>+</sup> é continuamente envolto e consumido a medida que a solução migra.

### 2.7.2 - Condições físico-químicas da mineralização

As características químicas do fluido mineralizante e as condições físico-químicas de deposição dos sulfetos de cobre e do ouro no depósito Golden Hill podem ser estimadas com base nas relações paragenéticas dos minerais de minério e de alteração definidos para os estágios I e II, utilizando-se da relação  $f\text{O}_2$  -pH do diagrama da Figura 2.12.

Neste diagrama, as associações caulinita e pirita-enargita revelam que a alteração argílica avançada e a mineralização sulfetada do estágio I formaram-se a partir de um fluido ácido (pH=2.5), em condições redox de  $10^{-36}$  bar (área I na Fig. 2.12). Neste trabalho, os frambóides de pirita do estágio I são interpretados como de origem orgânica, embora matéria orgânica não tenha sido observada em associação com estes. A ocorrência de uma seqüência carbonatada com fauna, particularmente em Maclama e La Pala, a 8km e 6 km de Golden Hill, indica que houve condições para o desenvolvimento de matéria orgânica no ambiente de arco vulcânico onde se localiza o depósito. A sua não preservação no depósito, no entanto, pode ser atribuída à sua evaporação ou dissolução durante a piritização.

Em contraste, o equilíbrio alunita-pirofilita e a associação pirita-enargita-luzonita-famatinita, calcopirita, esfalerita, galena e barita definem condições mais oxidantes ( $f\text{O}_2 = 10^{-35}$  a  $10^{-30}$  bar) para o fluido responsável pela alteração argílica avançada e deposição dos sulfetos e Au do estágio II (área II na fig. 2.12).

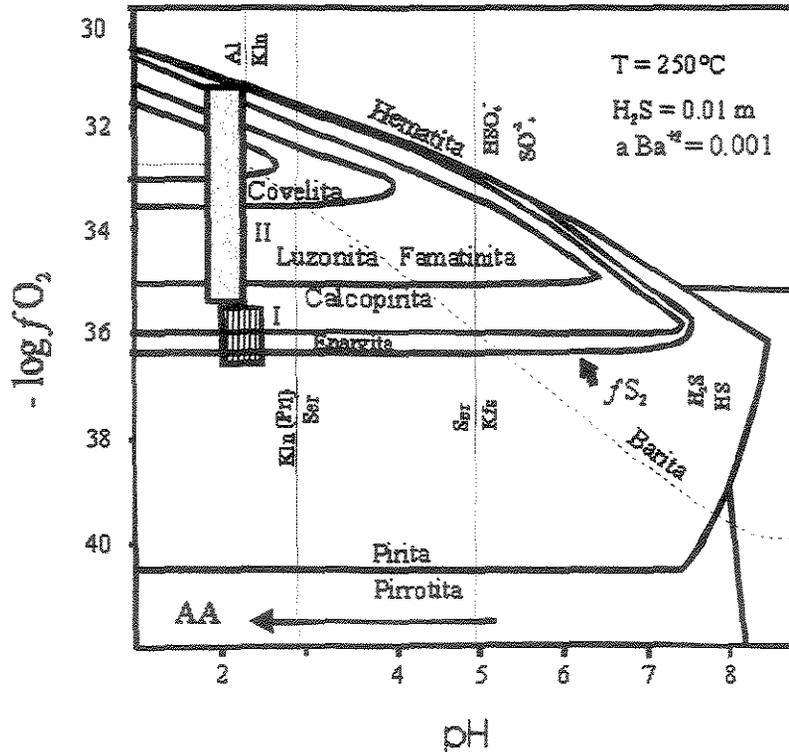


Figura 2.12 – Diagrama  $fO_2$  - pH mostrando as condições aproximadas de formação dos estágios I e II da alteração argílica avançada e mineralização sulfetada associada no depósito Golden Hill demonstrado pela seqüência evolutiva dos minerais da alteração argílica avançada e de minério (Heald *et al.* 1987, Muntean *et al.* 1990; Hannintong *et al.* 1997). Al-alunita, Kln-caolinita, Pri-pirofilita, Ser-sericita, Kfs-feldspato K e AA-alteração argílica avançada.

### 2.7.3 - Natureza do sistema hidrotermal

As observações realizadas neste trabalho indicam que no depósito Golden Hill a alteração argílica avançada e a mineralização de Cu e Au foram contemporâneas. Particularmente no estágio II, os estudos de inclusões fluidas em quartzo e barita revelam que a alteração argílica avançada e a mineralização ocorreram na presença de fluidos aquosos, de salinidade baixa (2-5% peso eq. NaCl), contendo  $CO_2$  em concentrações  $< 2$  mol % e a temperaturas entre  $172^\circ C$  a  $330^\circ C$ . Estas características definidas para os fluidos mineralizantes são típicas de fluidos de origem meteórica, ao passo que a presença de baixas concentrações de  $CO_2$  sugere que durante a

evolução do sistema hidrotermal deve ter havido a incorporação significativa de voláteis no fluido, provavelmente de fonte magmática, liberados pela degaseificação de intrusões epizonais em profundidade. A ocorrência de minerais com W e Bi-Mo no estágio II de mineralização reforça esta possível contribuição magmática no sistema hidrotermal do depósito Golden Hill. A oxidação do H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub> presentes nestes vapores magmáticos durante a sua incorporação em fluidos meteóricos levou à formação de espécies ácidas, tais como, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, respectivamente, que tiveram papel relevante no desenvolvimento da alteração argílica avançada.

A correlação entre valores de salinidade e as Tht's das inclusões dos tipos II, representada na Figura 2.13, revela um decréscimo significativo da salinidade dos fluidos destas inclusões investigadas em quartzo (com sulfetos associados) e barita tardia no estágio II, acompanhado de um decréscimo mais suave da Tht. Esta tendência evolutiva, no caso do depósito Golden Hill, pode ter sido provocada pela mistura de águas subterrâneas com águas superficiais mais diluídas, durante a recarga do lençol freático.

No estudo petrográfico das inclusões fluidas em quartzo de veio das brechas mineralizadas foi constatada a coexistência de inclusões do tipo II (ricas na fase líquida) e do tipo III (ricas na fase vapor), sugerindo que os fluidos mineralizantes poderiam estar em ebulição durante o aprisionamento. Porém, este fato não foi comprovado pela microtermometria, uma vez que as inclusões do tipo III homogeneizaram-se para o estado líquido, e não para o vapor, como esperado em um quadro de ebulição. Neste contexto, as inclusões do tipo III podem ser consideradas como produtos de modificações de inclusões do tipo II, após o seu aprisionamento, particularmente através da perda de H<sub>2</sub>O, com conseqüente aumento do volume da fase vapor (decréscimo do grau de preenchimento). O aumento do volume da fase vapor nestas inclusões faz com que estas passem a ter Tht's mais elevadas. Na Fig. 2.9, os valores de Tht's mais elevadas (> 350°C) correspondem as inclusões do tipo III, reforçando a interpretação dada para estas inclusões.

As condições físico-químicas de formação da paragéneses do minério também indicam que para o transporte do ouro, tiocomplexos do tipo Au(HS)<sub>2</sub><sup>-</sup>, seriam as formas mais estáveis. A desestabilização destes complexos durante a alteração hidrotermal, e conseqüente deposição do metal, foi favorecida pelo incremento significativo da  $fO_2$  (10<sup>-36</sup> a 10<sup>-30</sup> bar), o que levou à oxidação do H<sub>2</sub>S a sulfato e formação de luzonita, famatina e barita .

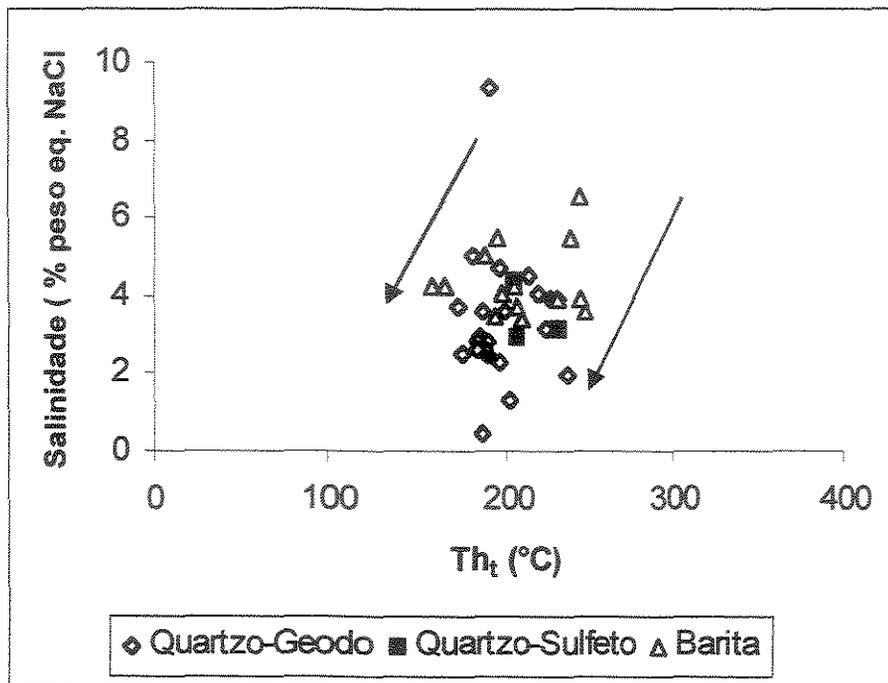


Figura 2.13 – Correlação entre temperaturas de homogeneização total ( $Th_t$ ) e valores de salinidade (% peso eq. NaCl) das inclusões fluidas dos tipos II no depósito Golden Hill. Notar a tendência de um leve decréscimo da temperatura acompanhada de decréscimos significativos da salinidade; mesmo considerando-se amostras individuais.

## 2.8 - CONCLUSÕES

Neste trabalho o estudo da paragênese do minério e alteração argílica avançada no depósito de Cu-Au Golden Hill, em combinação com os estudos de inclusões fluidas, permitiram adicionar vários parâmetros que contribuem para uma melhor avaliação da sua gênese, com destaque para os seguintes aspectos:

1) Dois estágios de mineralização correlacionados com o desenvolvimento da alteração argílica avançada foram definidos: (i) estágio I com quartzo-caolinita-alunita-zunyita-diásporo-rutilo-pirita-enargita, e possivelmente ouro sub-microscópico; (ii) estágio II com quartzo-natroalunita-pirofilita-pirita-enargita-luzonita-famatinita e ouro. No estágio I, em particular, a pirita com textura em frambóide é interpretada como de origem orgânica

2) Os estágios minerais I e II demonstram que o desenvolvimento da alteração argílica avançada e a deposição de sulfetos de Cu e do Au ocorreram a partir de soluções aquosas ácidas (pH 2,5), de salinidade baixa (2-5% peso eq. NaCl), contendo CO<sub>2</sub> em concentrações < 2 mol % e a temperaturas entre 172°C e 330°C. Estas soluções passaram progressivamente por incrementos de  $fO_2$  de 10<sup>-36</sup> bar no estágio I para 10<sup>-30</sup> bar no estágio II, conforme indicado pela ocorrência de luzonita-famatinita e barita na paragênese do minério relacionada ao estágio II.

3) Os estudos de inclusões fluidas não mostraram evidências que a ebulição destes fluidos aquosos tenha ocorrido durante a alteração e mineralização de Cu-Au de Golden Hill. O ouro foi transportado possivelmente através de tiocomplexos do tipo Au(HS)<sub>2</sub><sup>-</sup> e depositado pelo decréscimo da temperatura e incremento significativo na fugacidade de oxigênio.

4) A presença do CO<sub>2</sub> em baixas concentrações nas inclusões fluidas em quartzo do estágio II, juntamente com a ocorrência de minerais com W, possivelmente wolframita e sulfosais com Bi e Mo, sugerem uma importante contribuição de componentes magmáticos ao fluido mineralizante, possivelmente através de uma fase vapor derivada da degaseificação de intrusões epizonais. A oxidação do H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub> presente no vapor magmático para espécies ácidas H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> teve um papel relevante no desenvolvimento da alteração argílica avançada. Uma contribuição magmática também é sugerida pela geofísica, com a identificação de corpos intrusivos, o que pode implicar um potencial importante de ocorrência de mineralização de Cu-Au porfirítico em profundidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Belmustakov, E.; Dimitrova, E.; Ganev, M.; Haydoutov, Y.; Kostadinov, Y.; Ianev, S.; Ianeva, J.; Kojumdjieva, E.; Koshujarova, M.; Cabrera, R.; Iturralde, V.M; Díaz, C.; Roque, F. 1981. Informe del levantamiento geológico de las provincias de Ciego de Ávila, Camagüey y Oeste de Las Tunas, escala 1:250 000. Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba. Oficina Nacional de Recursos Minerales (Inédito), 940p.
- Capote, C. 1999. *Análise do controle estrutural metalogênico em Cuba centro-oriental, com base em dados integrados*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado: 222 p.
- Cabrera, R.; Kramer, J.L; Pantaleon, G. 1984. Vinculación del magmatismo y los yacimientos maníferos de Cuba con los procesos tectónicos. *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 9: 47-58.
- Cabrera, R. 1986. Geología y regularidades de la distribución de los yacimientos de cobre y oro de la región mineral Las Villas. Instituto de Geología y Paleontología. *Academia de Ciencias de Cuba*, 120 p.
- Cobett, G.J. & Leach, T.M. 1997. Southwest Pacific Rim Gold-copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. *Short Course Manual*, 225 p.
- Echevarría, B.; Talavera, C.F.; Tchounev, D.; Iordanov, I. 1986. Petrografía y geoquímica de las vulcanitas de la región Guáimaro-Las Tunas (Cuba). *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 11: 27-35.
- Echevarría, B.; Talavera, C.F.; Tchounev, D.; Tzankov, T.; Ianev, I. 1986. Datos preliminares sobre el arco volcánico cretácico en la región Río Jobabo-Ciudad de Las Tunas (Cuba). *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 11: 37-57.
- England, B.M; Ostwald, J. 1993. Framboid-derived structures in some Tasman fold belt base-metal sulphide deposits, New South Wales, Australia. *Ore Geology Review*, 7: 381-412.
- Escobar, E.; Roque, F.; Stanek, K.; Balvis, C.; Pérez, J.; García, a.; Jiménez, L.; Pereira, F. 1988. Proyecto de búsqueda orientativa y detallada de metales básicos y nobles en la zona Vidot-Siboney. Empresa Geólogo-Minera Camagüey. (inédito). Fondo Geológico Nacional, Habana: 221 p.

- Guilbert, J.M. & Park, Ch. F. 1986. Deposits Related to Submarine Volcanism. In W.H. Freeman; Company/New York (eds.) *The Geology of Ore Deposits: 572-659*
- Hannington, M.D.; Poulsen, K.H.; Thompson, J.F.H.; Sillitoe, R.H. 1997. Volcanogenic gold and Epithermal-Style Mineralization in the VMS Environment. In Barrie, C.T.; Hannington, M.D.(eds.) *Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings*. Short Course. Carleton University, Ottawa, Ontario, 183-212.
- Heald, P.; Foley, N.K.; Hayba, D.O. 1987. Comparative Anatomy of Volcanic-Hosted Epithermal Deposits: Acid-Sulfate and Adularia-Sericite Types. *Economic Geology*, 82: 1-26.
- Hedenquist, J.W.; Matsuhisa, Y.; Izawa, E.; White, N.C.; Giggenbach, W.F.; Aoki, M. 1994. Geology, Geochemistry, and Origin of High Sulfidation Cu-Au Mineralization in the Nansatsu District, Japan. *Economic Geology*, 89: 1-30.
- Hemley, J.J.; Hostetler, P.B.; Gude, A.J.; Muontjoy, W.T. 1969. Some Stability Relations of Alunite. *Economic Geology*, 64(6): 600-612.
- Hemley, J.J.; Montoya, J.W.; Marinenko, J.W.; Luce, R.W. 1980. Equilibria in the System  $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$  and Some General Implications for Alteration/Mineralization Processes. *Economic Geology*, 75: 210-228.
- Ianev, S.N.; Tchounev, D.L.; Tzankov, T.V. 1993. El complejo vulcano-sedimentario Cretácico de Cuba Central, (Unificación litoestratigráfica y ambiente paleogeodinámico). *Doc. Lab. Géol. Lyon*, 125: 223-240.
- Iturralde, V.M.A. 1994. Cuban Geology: A New Plate-Tectonic Synthesis. *Journal of Petroleum Geology*, 17(1):39-70.
- Iturralde, V.M.A. 1997. Introducción a la geología de Cuba. In Furrázola, G.; Cambra, K.(eds.): *Estudios sobre geología de Cuba*. Centro Nacional de Información Geológica, Habana, 36-74.
- Knight, J.E. 1977. A Thermochemical Study of Alunite, Enargite, Luzonite, and Tennantite Deposits. *Economic Geology*, 72:1321-1336.
- Melling, D.R. 1998. Qualifying Report on the Florencia-Jobabo Concession and The Florencia Sector Camagüey and Las Tunas Provinces, Republic of Cuba. MacDonald Mines Exploration Ltd. <http://www.macmines.com/geoapril.html>.

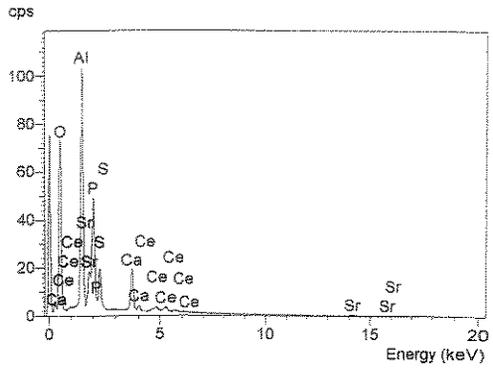
- Millan, G.T. 1997. Posición estratigráfica de las metamorfitas cubanas. In: Furrázola, G.; Cambra, K. (eds.) *Estudios sobre Geología de Cuba*. Centro Nacional de Información Geológica, Habana: 400-416.
- Morales, M.T. 1997. Particularidades de los granitóides de Ciego-Camagüey-Las Tunas consideraciones sobre su posición dentro del Arco de Islas. In: Furrázola, G.; Cambra, K. (eds.) *Estudios sobre Geología de Cuba*. Centro Nacional de Información Geológica, Habana: 400-416.
- Muntean, J.L.; Kesler, S.E.; Russell, N.; Polanco, J. 1990. Evolution of the Monte Negro Acid Sulfate Au-Ag Deposit, Pueblo Viejo, Dominican Republic: Important Factors in Grade Development. *Economic Geology*, 85:1738-1758.
- Ovchinnikov, V.; Díaz, G.; Bolotov, R.; Valkov, V.; Biriolin, V. 1983. Informe de los trabajos de búsqueda orientativa y detallada en la región Marti-Tunas. Empresa Geológica de Camagüey. Centro Nacional Fondo Geológico. (inédito): 450 p.
- Oyarzum, R. 1991. Mineralizaciones epitermales de metales preciosos. In Lunar, R. & Oyarzum, R. (eds). *Yacimientos Minerales Técnicas de Estudios-Tipos Evolución Metalogénica-Exploración*. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A. Madrid, 383-403.
- Pérez, M. & Sukar, K. 1997. Granitóides del Arco Volcánico Cretácico de la región Central de Cuba (antigua provincia de Camagüey). In Furrázola, G.; Cambra, K.(eds.) *Estudios sobre geología de Cuba*. Centro Nacional de Información Geológica, Habana: 388-398.
- Pérez, P.E.; Quintana, M.E.; Morales, M.T. 1997. Caracterización Geológica de los depósitos Vulcanógeno-sedimentarios de la región Ciego-Camagüey-Las Tunas. In Furrázola, G.; Cambra, K.(eds.): *Estudios sobre Geología de Cuba*. Centro Nacional de Información Geológica, Habana: 346-356.
- Pérez, P.E.; Pimentel, O.H.; Pardo, E.M.; Lugo, P.R. 1998. Interpretación Tectónica Estructural de los datos Geofísicos en la región Ciego de Ávila-Camagüey-Las Tunas. (inédito)Arquivo do IGP,
- Roedder, E. 1984. *Fluid Inclusions*. Reviews in Mineralogy. Mineralogical Society of America,12: 12-45.
- Rickard, D.T. 1970. The origin of frambooids. *Lithos*, 3:269-293.

- Schneider, H.J.; Özgür, N.; Palacios, C.M. 1988. Relationship between Alteration, Rare Earth Element Distribution and Mineralization of The Murgul Copper Deposit, Northwestern Turkey. *Economic Geology*, 83:1238-1246.
- Shevchenko, I.A.; Bello, D.V.; Dohnia, A.; Sata Cruz, G.J.; Lugo, P.R.; Eguipko, O.; Frolov, V.; Burov, V. 1976. Informe del levantamiento geológico a escala 1: 100000 en la región de Martí- Victoria de Las Tunas. CNFG, Habana.
- Sillitoe, R.H. 1993. Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features. In Kirkham, R.V.; Sinclair, W.D.; Thorpe, R.I.; Duke, J.M. (eds). *Mineral Deposit Modeling*. Geological Association of Canada, 40:403-417.
- Sillitoe, R.H. & Lorson, R.C. 1994. Epithermal Gold-Silver-Mercury Deposits at Paradise Peak, Nevada: Ore Controls, Porphyry Gold Association, Detachment Faulting, and Supergene Oxidation. *Economic Geology*, 89:1228-1248.
- Sillitoe, R.H.; Hannington, M.D.; Thompson, J.F.H. 1996. High Sulfidation Deposits in the Volcanogenic Massive Sulfide Environment. *Economic Geology*, 91:204-212.
- Simon, G.; Kesler, S.E.; Russell, N.; Hall, Ch.M.; Bell, D.; Piñero, E. 1999. Epithermal Gold Mineralization in an Old Volcanic Arc: The Jacinto Deposit, Camagüey District, Cuba. *Economic Geology*, 94:487-507.
- White, N.C. & Hedenquist, J.W. 1990. Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration, II. In Hedenquist, J.W.; White, N.C.; Siddeley, G. (eds). Epithermal Gold Mineralization of the Circum-Pacific: Geology, Geochemistry, Origin and Exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 36:445-474.

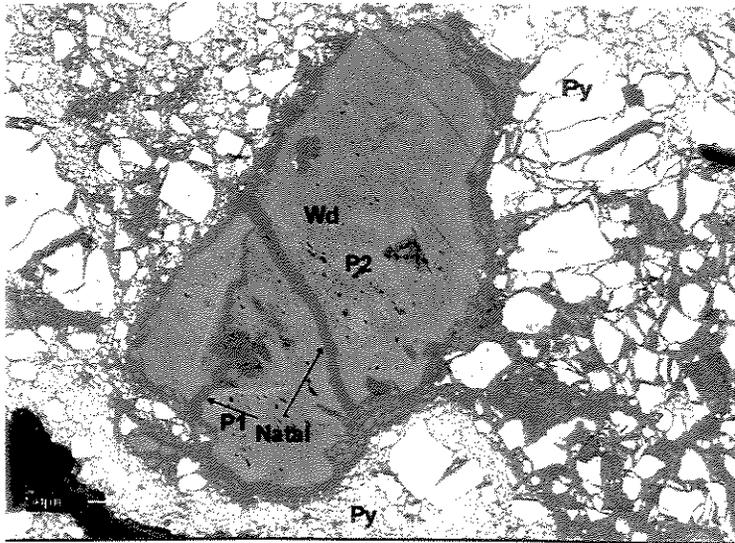
## BIBLIOGRAFIA

- Green, D. 1996. Alteration Mapping, Petrography and X-Ray Diffraction Studies. MacDonal Eploration Ltd & Geominera SA, Cuba. (inédito).
- Kramer, L.J.; Poznaikin, V.V.; Morales, A.; Echevarría, B.T; Rodriguez, R.; Cañete, C.C. 1990. Fundamentación de los trabajos de búsqueda de oro en el territorio de la Republica de Cuba, com la evaluación de los recursos pronósticos a escala 1:500000. Instituto de geología y Paleontología (IGP), Ministério de la Industria Básica, Habana (inédito). Archivo do IGP.
- Velinov, I.; Gorova, M.; Tcholakov, P.; Tchounev, D.; Ianeva, I. 1983. Secondary quartzites developed after cretaceous volcanic from Zaza Zona, Cuba. Revista Geologica Balcánica. Sófia, 13(6): 53-68.

## APÉNDICE



Florencita  $(\text{CeAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_2\text{OH})(\text{OH})_6)$   
 Woodhouseita  $(\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6)$   
 Natroalunita  $(\text{Na,K})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$



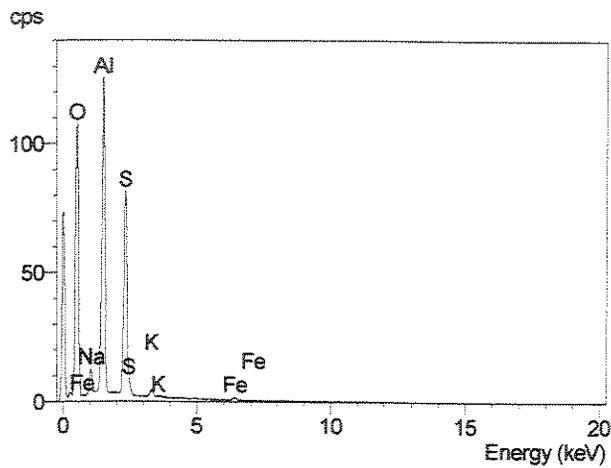
## ANEXO 1

**BIG GOLDEN HILL: furo GH 135**

SEMQuant results.

Spectrum label: GH 135/70.60m - p1

Elmt Type	Spect. Corr.	Inten. Corr.	Std %	Element %	Sigma %	Atomic %
O K	ED	0.837	1.00	57.03	0.31	71.19
Na K	ED	0.884	1.00	3.00	0.	2.61
Al K	ED	0.851	0.94	22.83	0.12	16.90
S K	ED	0.895	1.00	13.96	0.10	8.70
K K	ED	0.976	0.99	0.73	0.05	0.37
Fe K	ED	0.839	1.00	0.66	0.08	0.24
Total				98.21		100.00



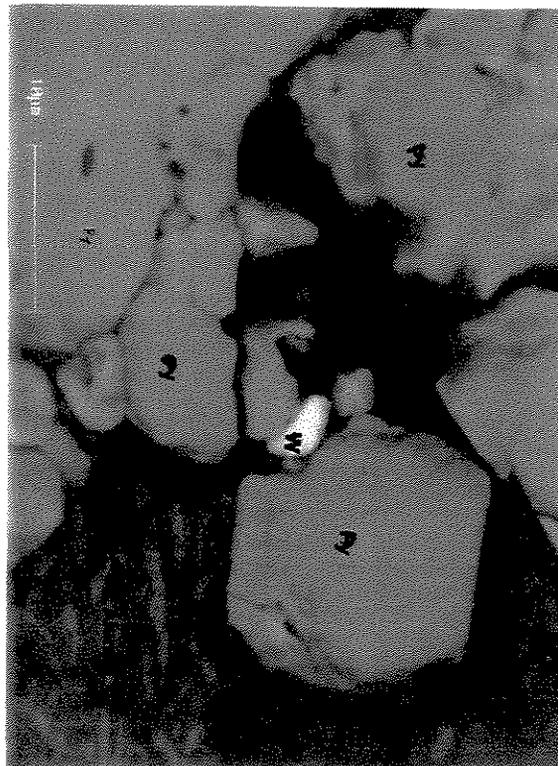
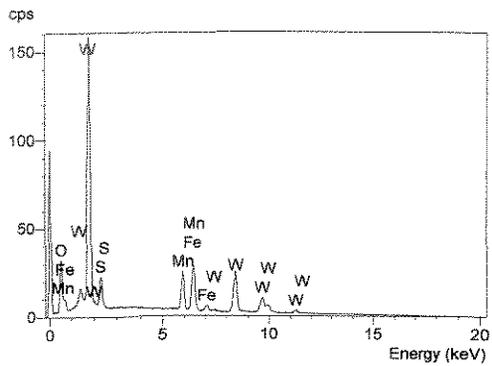
Atomic Spectrum label: GH 135/70.60m - p2

Elmt Type	Spect. Corr.	Inten. Corr.	Std %	Element %	Sigma %	Atomic %
O K	ED	0.651	1.00	49.90	0.34	69.90
Al K	ED	0.869	0.94	18.38	0.11	15.27
P K	ED	1.023	1.01	11.05	0.14	8.00
S K	ED	0.785	1.00	3.44	0.07	2.41
Ca K	ED	0.954	0.99	4.78	0.08	2.68
Sr L	ED	0.715	0.99	5.75	0.22	1.47
Ce L	ED	0.792	0.99	1.73	0.17	0.28
Total				95.03		100.00

## ANEXO 2

LITTLE GOLDEN HILL: furo GH 64  
Spectrum label: GH 64/72.10m - pl

Elmt	Spect. Type	Inten. Corr.	Std Corr.	Element %	Sigma %	Atomic %
O K	ED	0.693	1.00	16.93	0.24	55.54
S K	ED	0.696	1.00	3.31	0.08	5.41
Mn K	ED	0.986	1.00	9.26	0.16	8.84
Fe K	ED	1.137	1.00	13.40	0.23	12.59
W M	ED	0.764	0.98	61.70	0.32	17.61
Total				104.60		100.00

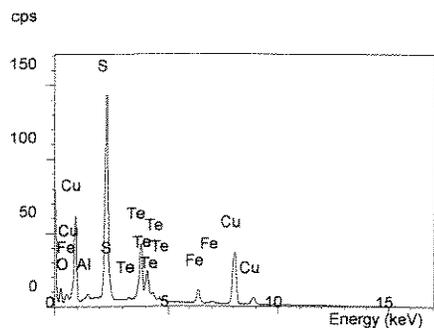
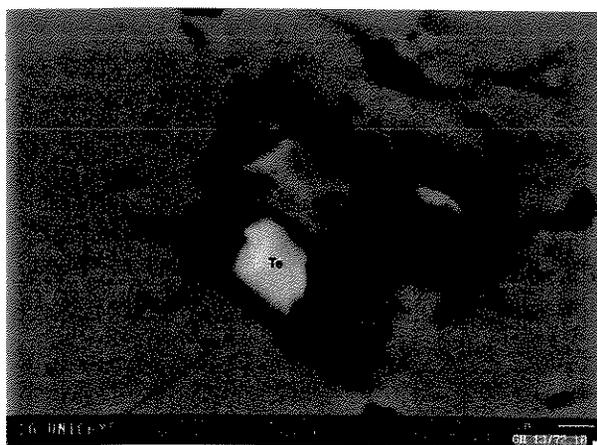


### ANEXO 3

LITTLE GOLDEN HILL: furo GH 13  
Spectrum label: GH 13/72.10m

Elmt	Spect. Type	Inten. Corr.	Std Corr.	Element %	Sigma %	Atomic %
S K	ED	0.928	1.00	25.97	0.15	46.98
Fe K	ED	0.984	1.00	5.07	0.15	5.27
Cu K	ED	0.947	1.00	37.95	0.46	34.65
Te L	ED	0.943	0.98	28.80	0.34	13.09
Total				97.79		100.00

Elmt	Spect. Type	Inten. Corr.	Std Corr.	Element %	Sigma %	Atomic %
O K	ED	0.763	1.00	2.75	0.14	8.89
Al K	ED	0.591	0.94	0.75	0.07	1.44
S K	ED	0.923	1.00	26.11	0.15	42.10
Fe K	ED	0.978	1.00	5.10	0.15	4.73
Cu K	ED	0.939	1.00	38.24	0.46	31.12
Te L	ED	0.939	0.98	28.93	0.34	11.72
Total				101.89		100.00

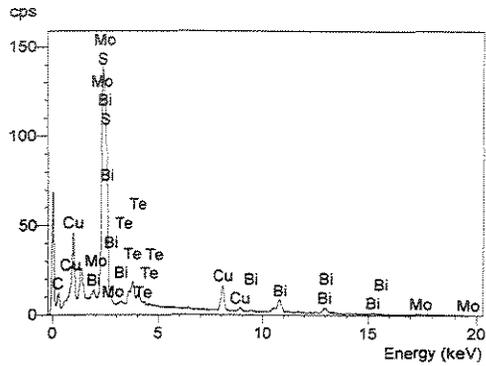


## ANEXO 4

### LITTLE GOLDEN HILL: furo GH 13 SEMQuant results

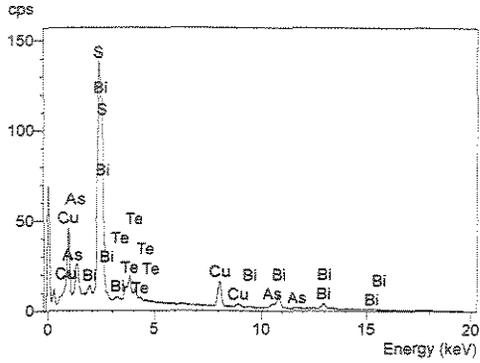
Spectrum label: 13/58.30m - p1

Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic
Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%	%
S K	ED	1.121	1.00	13.07	0.65	41.25
Cu K	ED	1.056	1.00	12.76	0.30	20.33
Mo L	ED	0.884	0.99	10.65	1.85	11.24
Te L	ED	0.828	0.98	6.75	0.31	5.35
Bi M	ED	0.861	0.98	45.07	0.67	21.83
Total				88.30		100.00



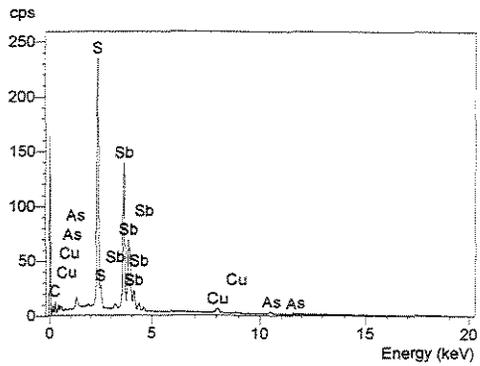
Spectrum label: mercedes GH 13/58.30m - p2

Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic
Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%	%
S K	ED	1.065	1.00	17.58	0.14	48.36
Cu K	ED	1.042	1.00	12.45	0.29	17.28
As L	ED	0.880	0.91	7.38	0.20	8.69
Te L	ED	0.827	0.98	6.77	0.31	4.68
Bi M	ED	0.820	0.98	49.70	0.57	20.98
Total				93.88		100.00

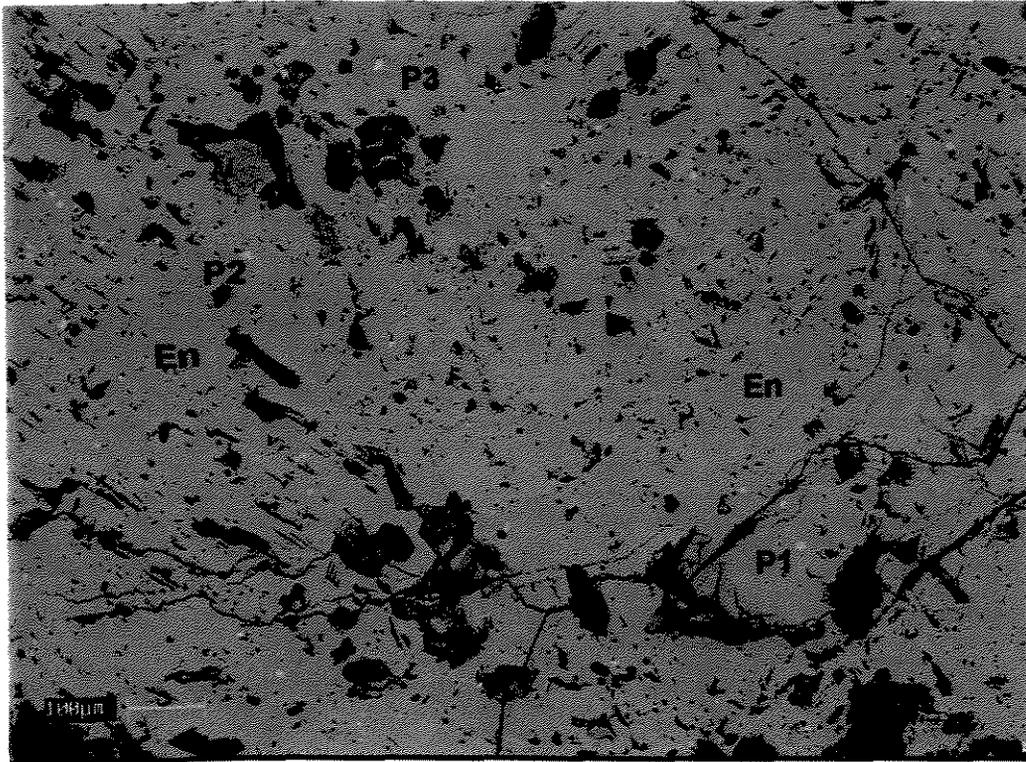


Spectrum label: GH 13/58.30m - p3

Elmt	Spect. Type	Inten. Corr.	Std Corr.	Element %	Sigma %	Atomic %
S K	ED	1.029	1.00	23.95	0.10	52.74
Cu K	ED	0.980	1.00	3.36	0.17	3.73
As L	ED	0.746	0.91	3.32	0.13	3.12
Sb L	ED	0.845	0.98	69.66	0.34	40.40
Total				100.29		100.00



Enargita  $Cu_4AsS_4$   
 Luzonita  $Cu_3AsS_4$   
 Famatina  $Cu_3SbS_4$



p1, p2, p3 ( mineral branco)

## Errata

Na página iii, na linha 9, no lugar de “AURÍFERO” leia-se “AURÍFEROS”.

Na página ix, último parágrafo, no meio da penúltima linha, no lugar de “são” leia-se “seriam”.

Na página 5, segundo parágrafo, ao final da linha 2, depois de “borda” se inclui “do bloco”.

Na página 7, terceiro parágrafo, ao principio da linha 4, no lugar de “Shevshenko 1976”, leia-se “Shevshenko *et al.* 1976”.

Na página 25, a primeira linha depois de “Figura 2.7” inclui-se letra “A”.

Na página 34, primeiro parágrafo linha 6 e 7, no lugar de “Estas características definidas para os fluidos mineralizantes são típicas de fluidos de origem meteórica, ao passo que a presença .... ” leia-se “Estes fluidos são de provável origem meteórica, e a presença ...”.

Na página 15 primeiro parágrafo, na linha 3 ao final de “propilítica anterior” inclui-se “(Green 1996)”.

Na página 32, reação (4) “ $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + 6\text{H} = (\text{Na}, \text{K}) \text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + \text{Ca}^+ + (\text{PO}_4)^{3-}$ ” substitui-se por “ $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + \text{K}^+ + \text{Na}^+ = (\text{Na}, \text{K})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + \text{Ca}^+ + (\text{PO}_4)^{3-}$ ”.

Na página 32, reação(5) “ $2\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + 12\text{SiO}_2 = 3\text{Al}_2\text{SiO}_{10}(\text{OH})_2 + 2\text{NaSO}_4 + 2\text{Ca}^+ + 2(\text{PO}_4)^{3-}$ ” substitui-se por “ $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + 4\text{SiO}_2 = \text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 2\text{SO}_4^- + \text{Ca}^+ + \text{Al}^{3+} + (\text{PO}_4)^{3-} + 2\text{H}_2\text{O}$ ”.

Na página 38, na linha 10, no lugar de “maníferos” leia-se “meníferos”.

Na página 40, na linha 15, no lugar de “Marti-Tunas” leia-se “Martí-Tunas”.

Na página 42, ao final da linha 2 no lugar de “Republica” leia-se “República”.

Na página 42, linha 4, no lugar de “geología” leia-se “Geología”.