UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005341

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA DOS
GOSSANS PORTADORES DE OURO DA REGIÃO DE
SÃO BARTOLOMEU-GO.

Nelson Marinho de Oliveira

Orientadora: Profa. Dra. Sonia Maria Barros de Oliveira

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome
Presidente:	<u>Dr^a S.M.B.de Oliveira</u>
Examinadores:	<u>Dr. E.Ribeiro Filho</u>
	<u>Dr. J.B.Moreschi</u>

ass.
<u>SOTBOL</u>
<u>Eduardo B. Filho</u>
<u>João B. Moreschi</u>

SÃO PAULO
1991

"A educação é base para a vida em comunidade, por meio de legítimos processos de aprendizagem que fomentam as motivações de crescimento e evolução do indivíduo.

Não apenas um preparo para a vida, mediante a transferência de conhecimento pelos métodos da aprendizagem. Antes é um processo de desenvolvimento de experiências, no qual educador e educando desdobram as aptidões inatas, aprimorando-as como recursos para a utilização consciente, nas múltiplas oportunidades da existência."

Joana de Angelis

I N D I C E

AGRADECIMENTOS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUÇÃO	
1. Histórico da pesquisa	1
2. Objetivos	3
3. Localização e acessos	6
II. MATERIAIS E MÉTODOS	
1. Materiais estudados	8
2. Métodos de estudo	11
a. Trabalhos de campo	11
b. Petrografia e mineralogia das amostras	11
c. Quimismo dos materiais	13
d. Tratamento dos dados químicos	13
III. O ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO SOBRE O INTEMPERISMO DE SULFETOS E A FORMAÇÃO DE GOSSANS	
1. Conceituação	17
2. O Ambiente geoquímico de alteração de sulfetos	20
3. Os Mecanismos de alteração de sulfetos	24
4. A Mineralogia dos gossans	27
5. Feições Texturais dos gossans	28
6. A Geoquímica dos gossans	31
IV. QUADROS MORFOCLIMÁTICO E GEOLÓGICO	
1. Aspectos morfoclimáticos	34
a. Geomorfologia e relevo	34
b. Vegetação	36
c. Clima	38
2. Quadro Geoestrutural	41

a. Província tectônica	41
b. Geologia regional	43
c. Estruturas regionais	45
d. Geologia local	46
e. Estruturas locais	50
V. MINERALIZAÇÃO PRIMÁRIA	
1. Descrição macroscópica	53
2. A rocha hospedeira	54
3. A mineralogia sulfetada	57
4. Controle estrutural da mineralização	60
VI. MINERALIZAÇÃO SECUNDÁRIA	
1. Caracterização macroscópica	64
2. Aspectos mineralógicos e texturais dos gossans	68
a. Mineralogia	68
b. Texturas	73
3. Geoquímica	79
a. Tratamento Estatístico	79
a.1. Tratamento univariável	79
a.2. Tratamento multivariável	82
a.2.1. Correlação	82
a.2.2. Variação das médias para as faixas de teores de Fe_2O_3 e ouro	88
a.2.3. Análise dos componentes principais	90
b. Comparação entre os gossans estudados e alguns descritos na literatura, com relação aos dados geoquímicos	95
4. A evolução do perfil	98
VII. ANÁLISE DO PROBLEMA DO OURO	
1. Generalidades	100
2. Morfoscopia do ouro primário e secundário: dados da literatura	102
3. Análise das formas das partículas de ouro do ACS	105
4. Modelos possíveis de concentração do ouro nos gossans	107

	111
VIII. CONCLUSÕES	112
IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
X. ANEXOS	120
1. Fotografias de 1. a 30	
2. Descrição das amostras de T6	
3. Tabela de análises químicas	

RELAÇÃO DE FIGURAS

iv

01 - Mapa de localização e acessos	07
02 - Geologia do Alvo Cabeça Seca	09
03 - Zonamento clássico do perfil gossânico	18
04 - Diagrama Eh-pH obtido por Sato (1960) para águas de minas de depósitos de cobre em oxidação.	22
05 - Limites teóricos de Eh-pH para a oxidação de sistemas naturais de sulfetos (Sato, 1960).	23
06 - Resultados de Eh-pH obtidos por Thornber (1975) para águas de corpos de minério de cobre em oxidação em Kambalda, Austrália.	24
07 - Diagrama esquemático do processo eletroquímico de oxidação de corpos de sulfetos maciços.	26
08 - Geomorfologia da região de São Bartolomeu-GO.	37
09 - Perfil esquemático de interação entre as fisionomias da savana e a posição geográfica das mesmas no relevo.	39
10 - Compartimentação tectônica da região central brasileira.	42
11 - Mapa geológico regional da área em estudo.	44
12 - Geologia da região de São Bartolomeu-GO	47
13 - Seção tipo do Alvo Cabeça Seca.	49
14 - Perfil esquemático mostrando as estruturas regionais e os tipos de rochas controladas estruturalmente.	52
15 - Modelo conceitual para uma zona de cisalhamento.	61
16 - Desenho esquemático mostrando o aspecto brechóide do material gossânico.	66

17 - Desenho esquemático mostrando a estruturação dos ocelos de pirita.	66
18 - Diagrama mostrando a composição mineralógica das amostras.	72
19 - Canal preenchido por goethita, hematita e maghemita zonadas.	77
20 - Crescimentos botrioidais de hematita nas bordas internas dos canais.	77
21 - Histogramas de frequência dos teores.	83
22 - Projeção das variáveis no espaço dos CP1 e CP2.	93
23 - Projeção das amostras no espaço dos CP1 e CP2.	94
24 - Perfil esquemático mostrando o modelo de mineralização proposto pela METAGO para o depósito do Alvo Cabeça Seca.	109
25 - Elementos constituintes do minério após a exumação e oxidação dos "charutos" de sulfetos.	110
26 - Modelos possíveis para a concentração de ouro no topo dos corpos gossânicos.	111

RELAÇÃO DOS QUADROS

01 - Síntese dos trabalhos de prospecção e pesquisa que conduziram à descoberta do Alvo Cabeça Seca.	04
02 - Principais diferenças entre gossans e lateritas.	20

RELAÇÃO DE TABELAS

vi

01 - Descrição resumida das principais texturas réplicas em gossans.	30
02 - Composição geoquímica dos principais tipos de gossans e formações ferruginosas associadas.	33
03 - Análises de fluorescência de metapelitos do Grupo Canastra.	56
04 - Mineralogia das amostras de T6 e T8 fornecidas por raios-X.	70
05 - Composição mineralógica dos gossans.	71
06 - Parâmetros estatísticos da população em estudo.	81
07 - Coeficientes de correlação Pearson para pares de variáveis.	84
08 - Coeficientes de correlação com o Au para o total das amostras e para sub-populações nas quais $Au > 0,99\text{ppm}$ e $Au < 0,99\text{ppm}$.	86
09 - Coeficientes de correlação do Cu, Pb, Zn e Ag com o Au para sub-populações nas quais $Fe_2O_3 > 30\%$, 40% e 50% .	87
10 - Médias dos teores dos traços para o total das amostras e para sub-populações.	89
11 - Autovalores e porcentagem de variância total explicada para os 13 componentes principais calculados.	92
12 - Pesos das variáveis em CP1 e CP2.	92
13 - Conteúdo geoquímico em ppm de elementos traços em gossans de diferentes ambientes de oxidação	96

RELAÇÃO DE FOTOGRAFIAS

vii

(Anexo 1)

- 01 - Ilustração da fisiografia.
- 02 - Características do filito serícito encaixante dos corpos gossânicos.
- 03 - Amostra de gossan com a estrutura ocelar do sulfeto primário preservada.
- 04 - Impregnação pervasiva da solução sulfetada no filito.
- 05 - Agregado cisalhado da pirita de primeira geração.
- 06 - Ocelos formados por grãos de pirita intensamente fraturados.
- 07 - Agregado maciço de pirita de segunda geração.
- 08 - Calcopirita e galena preenchendo fraturamentos na pirita.
- 09 - Morfologia de afloramento dos "charutos" gossânicos.
- 10 - Idem.
- 11 - Aspecto brechóide do material gossânico.
- 12 - Idem.
- 13 - Faixas de filito sericitico intercaladas com faixas de óxidos de ferro.
- 14 - Idem.
- 15 - Grãos secundários de quartzo preenchendo cavidades nos ocelos.
- 16 - Agregado granular de goethita em pseudomorfoses sobre macro-cristais de pirita.
- 17 - Agregados de goethita em réplica de micro-cristais de pirita.
- 18 - Goethita envolvendo descontinuidades nos grãos de quartzo.
- 19 - Textura coloforme.
- 20 - Hematita botrioidal nas margens internas de um canal.

- 21 - Partícula de ouro inclusa em massa nodular de óxidos de ferro. viii
- 22 - Idem.
- 23 - Partícula de ouro em forma de gota dentro de uma pseudomorfose de goethita.
- 24 - Partícula de ouro xenomórfica inclusa numa massa nodular de goethita.
- 25 - Início da alteração da pirita.
- 26 - Oxidação da pirita em Ehs mais elevados.
- 27 - Estágio final de oxidação dos sulfetos.
- 28 - Remanescentes finais de "boxworks".
- 29 - Nodulações ferrugineas.
- 30 - Canais ferruginosos.

AGRADECIMENTOS

A todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho, expresso os meus mais sinceros agradecimentos:

A Profa. Dra. Sônia pela orientação irrestrita ao desenvolvimento da dissertação e ao meu amadurecimento pessoal na abordagem das questões científicas.

Ao amigo Olavo Caramore que não poupou esforços pessoais junto a METAGO para me oferecer todas as condições necessárias à realização deste trabalho.

As instituições METAGO, UFMT, USP e CAPES que me proporcionaram as condições financeiras e estruturais para a aquisição dos dados.

A minha esposa Marlene pela companhia e incentivo durante os trabalhos.

Aos meus filhos Pedro Henrique, Felipe e André que souberam tolerar minhas faltas quando lhes devia companhia paterna.

Aos colegas de pós-graduação Luíza, Arnaldo, Helder, Roseli e outros pela amizade e incentivo.

A memória saudosa do amigo Francisco João de Souza que me conduziu à realização do mestrado.

Aos professores do DGE-USP Aledir e Evaristo que me auxiliaram na microscopia de minério e sugestões ao texto.

A Profa. Dra. Raquel Quadros da UFMT, pelas sugestões e apoio à confecção do texto final.

Aos professores da UFMT Amarildo, João Matos, Deocleciano, Francisco Pinho, Dharani Sundaram, Carlos Alvarenga, Gerson Saes, Cleverson Cabral, Maria Zélia, Joaquim Goulart e Lucila pelas sugestões, discussões e incentivo à realização do trabalho.

A Profa. Alda, Vera, Regina e Clélia da Sub-reitoria de pós-graduação da UFMT pelo apoio básico que nos deram em Cuiabá quando da oportunidade de minha estadia em São

Paulo.

Aos técnicos de mineração e companheiros de ETFGO Willy, Jacy e Abadio que me auxiliaram nos trabalhos de campo e laboratoriais na METAGO.

Aos colegas Silvio Mattos e Paulo Afonso Barbosa da METAGO pelas opiniões e discussões sobre a geologia do depósito do ACS.

Ao Ismael e a Sônia do laboratório de geoquímica da USP pelos trabalhos de laminação e impregnação dos materiais.

Aos graduandos da UFMT Mickaelson, Manoel Correa, Manoel Vitória e Salatiel pelos trabalhos de desenho e apoio no computador, os quais ajudaram a melhorar a qualidade de nosso trabalho.

Aos amigos Ana Cirlene, Celma Lúcia e Dani pela amizade fraterna que procuraram me oferecer como forma de incentivo à realização desta tarefa.

Muitos outros, enfim, talvez sem o saber ou que não me vieram à lembrança neste momento, contribuíram de alguma forma para o sucesso deste projeto. A todos agradeço profundamente.

RESUMO

No presente trabalho utilizou-se de estudos petrográficos, geoquímicos e morfoescópicos para a caracterização dos gossans auríferos constituintes do depósito de ouro de São Bartolomeu-GO.

O depósito de ouro de São Bartolomeu, situado dentro de uma zona de cisalhamento, é constituído por um pacote de filito hidrotermalizado com presença de vênulas e "boudins" de quartzo mineralizados, e por um conjunto de corpos sulfetados maciços ou parcialmente maciços, mais ou menos oxidados, alongados em forma de "charuto" e encaixados nos filitos do Grupo Canastra (proterozóico médio) segundo sua foliação principal.

O minério consiste de uma massa de oxi-hidróxidos de ferro secundários, impregnada de ouro. Estes óxidos derivam da oxidação dos corpos de sulfetos maciços formadores da mineralização primária. Apresentam as texturas dos sulfetos quase inteiramente preservadas, e constituem gossans na acepção clássica do termo.

Os gossans são compostos por dois tipos de materiais misturados em várias proporções. O primeiro deles é o produto de alteração dos sulfetos e constitui-se de material ferruginoso; o segundo são restos do filito, com textura parcialmente conservada e fortemente ferruginizado.

A mineralogia é dominada por goethita, sericita e quartzo; hematita ocorre em quantidades subordinadas, assim como óxidos de ferro amorfos em variados graus de hidratação. Restos de sulfetos frescos e grãos de ouro de dimensão micrométrica que assumem formas esféricas, placóides ou dendríticas podem aparecer disseminados no plasma ferruginoso.

As texturas réplicas detectadas nos gossans são relacionadas às formas de ocorrência da pirita no minério primário. A principal forma de ocorrência da goethita é a cúbica, mas são muito frequentes as formas retangulares e poligonais.

além de ramificações dendríticas. Frequentemente a goethita apresenta textura coloforme nos núcleos das cavidades dos "boxworks" ou margens de canais secundários.

Geoquimicamente os gossans são caracterizados pela assembléia: Cu-Pb-Zn-Au-Ag. A análise dos coeficientes de correlação entre os elementos mostrou que o material é constituído por dois polos geoquímicos: o grupo da SiO_2 e Al_2O_3 que também abrange o B, Ti, V, Y; La, e Sc; e o grupo do Fe_2O_3 e pF que inclui o Zn, Pb, Cu e Au. FeO e Ag não apresentam correlação significativa com nenhum dos dois grupos. Esses grupos correspondem aos dois tipos de materiais que compõem as amostras.

A correlação do ouro com os demais elementos mostrou que da grande associação Fe_2O_3 -PF-Cu-Pb-Zn-Au-Ag há duas sub-associações: Fe_2O_3 -PF-Cu-Pb-Zn e Fe_2O_3 -PF-Au-Ag. O ouro, embora associado ao Fe_2O_3 não parece associado ao Cu, Pb e Zn.

As análises morfooscópicas das partículas de ouro indicaram haver ouro tanto de origem primária, quanto de origem secundária nos gossans, indicando a ação de algum enriquecimento supérgeno nas porções mais superficiais dos mesmos.

ABSTRACT

In this present work different approaches are made utilizing petrographic, geochemical and morphoscopic studies for the characterization of gold gossans which form the gold deposits of São Bartolomeu, Goiás State, Brazil.

The São Bartolomeu gold deposit is situated in a shear zone made up of a sequence of hydrothermal phyllite with the presence of veinlets and boudins of quartz mineralized and also by massive or semi massive sulphide bodies, more or less oxidized and they are in the form of cigarette and are enclosed in the sequence of hydrothermal phyllite of Canastra Group following its principal foliation direction.

The ore is made up of a mass of oxy-hydroxides of secondary iron impregnated with gold. These oxides are derived from the oxidation of bodies of massive sulphides forming the primary mineralization. They also possess textures of sulphides almost entirely well preserved and thus constitute gossan in the commonly accepted terminology.

The gossans are composed of two types of materials mixed in different proportions. The first one is the alteration product of sulphides and consists of ferruginous material; the second one is the rest of phyllite with texture partially conserved and highly ferruginous.

The mineralogy is dominated by goethite, sericite and quartz. Hematite occurs subordinately along with oxides of amorphous iron in different grades of hydration. Remains of fresh sulphides and grains of gold of micrometric dimensions have the shapes spherical, platy or dendritic may appear disseminated in the ferruginous plasma.

The replica textures observed in the gossans are related to the forms of primary pyrite occurrence. The principal shape of goethite is cubic and rectangular and polygonal forms, and dendritic ramification are also frequent. Commonly goethite represents colloform texture in the nucleus of cavities of

boxworks or in the border of secondary channels.

Geochemically the gossans are characterized by Cu-Pb-Zn-Au-Ag assembly. The correlation coefficient analysis shows that the material is made up of two geochemical poles. The first one consists of SiO_2 , Al_2O_3 and also includes B, Ti, V, Y, La e Sc; the second group is made up of Fe_2O_3 , PF and includes Zn, Pb, Cu and Au. FeO and Ag do not show any correlative relation with these two types. These two groups show a great deal of correspondence with two types materials of which they are made up of.

The correlation of gold with other elements demonstrate a greater association Fe_2O_3 -PF-Cu-Pb-Zn-Au-Ag consisting of two subassociations Fe_2O_3 -PF-Cu-Pb-Zn and Fe_2O_3 -PF-Au-Ag. The gold though associated with Fe_2O_3 does not appear associated with Cu-Pb-Zn.

The morphoscopic analyses of gold particles show that the gold in the gossans can be of primary or secondary origin, indicating some action of supergene enrichment in the higher levels of the deposits.

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA DOS GOSSANS PORTADORES DE OURO DA REGIÃO DE SÃO BARTOLOMEU - GO.

I. INTRODUÇÃO

1. Histórico da Pesquisa

A descoberta das ocorrências de ouro nas vizinhanças de São Bartolomeu - GO deve-se às atividades exploratórias desenvolvidas pela Metais de Goiás - METAGO - em 1988, na região de Luziânia-GO, sobre os filitos do Grupo Canastra. Estas se basearam para a escolha da área na semelhança de ambiente geológico com a jazida aurífera de Paracatu, na exploração por diversas companhias de mineração das ocorrências de ouro da região e em anomalias de chumbo, possivelmente relacionadas a mineralizações auríferas, como em outros depósitos conhecidos.

A ocorrência de ouro na região de Luziânia é conhecida desde a época colonial (1756), descoberta por bandeirantes portugueses, os quais fundaram, próximo aos garimpos, o povoado de Santa Luzia, denominado mais tarde Luziânia (Palacin, 1979).

O minério, àquela época, era relacionado às porções superiores das unidades de filitos pretos, lavrados em "cavas" a céu aberto, num sistema rudimentar, cujos "sluices" eram entalhados nas vertentes das colinas e as principais ferramentas utilizadas eram pás e picaretas. A mão-de-obra constituía-se predominantemente de escravos africanos. As cavas iam a profundidades de até 20 metros, e os pré-concentrados eram levados principalmente para Minas Gerais, para o processamento final (Hagemann, 1988).

A produção de ouro nesses sítios próximos a Luziânia permaneceu até o final do século passado (como sistemas de garimpo), quando decresceu o teor de ouro nos filitos e foram descobertas novas jazidas com teores mais elevados em outras regiões do país. Permanecem na área, encobertos pela vegetação de cerrado, as escavações, os rejeitos, os canais d'água, etc., dessa época de trabalhos manuais da mineração colonial (Hagemann, 1988).

Acompanhando a crescente demanda mundial e o concomitante aumento dos preços nos anos 80, diversas companhias de mineração (RTZ, METAGO, CONVAP e outras menores) voltaram a explorar a área para as ocorrências de ouro, inclusive os antigos sítios explorados pelos bandeirantes. Perfurações mais recentes renovaram os interesses no potencial econômico dos depósitos da região, nos quais pesquisas complementares (geofísicas, sondagens, etc.) ainda prosseguem. Um desses programas exploratórios resultou na descoberta da anomalia de Au-Ag-Cu-Pb-Zn, denominada Alvo Cabeça Seca, na região de São

Bartolomeu, distrito de Luziânia, em 1988, pela METAGO.

A idéia básica para o início dos trabalhos de prospecção pela METAGO veio da constatação de que as ocorrências de ouro conhecidas eram delimitadas por chumbo nos trabalhos de cunho regional em sedimentos de drenagem, os quais haviam sido desenvolvidos por outras empresas na região (DOCEGEO e DNPM/CPRM). Isto permitiu selecionar uma faixa a leste do Rio São Bartolomeu com características geoquímicas e geológicas semelhantes às áreas anômalas já conhecidas. Os trabalhos de prospecção levaram à identificação de anomalias de ouro e metais bases, que permitiram chegar a uma zona mineralizada (Alvo Cabeça Seca), contendo até 20ppm de Au e 50 ppm de Ag no minério (Barbosa et al., 1988).

Os trabalhos de pesquisa realizados pela METAGO que levaram à descoberta e caracterização preliminar do depósito de ouro de São Bartolomeu estão sumarizados no Quadro 1.

2. Objetivos

O depósito de ouro de São Bartolomeu é formado por um pacote filítico hidrotermalizado, com presença de vênulas e "boudins" de quartzo mineralizados, que hospeda um conjunto de corpos sulfetados, mais ou menos oxidados, alongados em forma de "charutos", de dimensões de alguns metros de comprimento por

menos de um metro de espessura, orientados segundo a direção regional.

SERVICOS	ESPECIFICAÇÃO	QUANTIFICAÇÃO
GEOQUÍMICA REGIONAL	Levantamento geoquímico regional por concentrados de bateia e sedimentos ativos de corrente numa densidade de aproximadamente 1 amostra por km ² .	Aproximadamente 875km ²
MAPEAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL	Mapeamento geológico regional em escala 1:100.000, cobrindo a área prospectada.	Aproximadamente 875km ²
MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE	Mapeamento geológico detalhado em malha do ACS.	Aproximadamente 2,5km ²
LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS DE MALHA	Levantamentos planimétricos por balizamentos sucessivos em célula de 40 X 40m.	Aproximadamente 50km de picadas numa área de 2,5km ²
GEOQUÍMICA DE DETALHE	Amostragem de solos com concentração em bateia e contagem de pintas de ouro e de solos "in natura" para análises químicas.	1500 amostras de concentrados de bateia e 1100 de solo "in natura".
ESCAVAÇÕES DE POÇOS E TRINCHEIRAS	Escavações de trincheiras com 0,80m de largura e profundidade média de 3m e poços de 2m X 2m.	17 trincheiras com 1300m lineares e dois poços com 15m de profundidade.
LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PARA SONDAGEM	Levantamento plani-altimétrico por teodolito para dar suporte a sonda-gem.	Área de aproximadamente 0,854km ² .
SONDAGEM	Furos de sonda verticais com diâmetro 80mm.	13 furos de sonda totalizando 521,50m.
ESTUDOS TECNOLÓGICOS PRELIMINARES	-Cianetação em coluna de laboratório com amostras britadas em 19mm e 6,3mm (lixiviação em pilhas). -Cianetação com polpa agitada com amostras cominuídas e 200 mesh tuler (CIP). -Flotação em escala de laboratório.	Aproximadamente 800kg de amostras de filito gossanizado.

Quadro 1. Síntese dos trabalhos de prospecção e pesquisa que conduziram à descoberta do Alvo Cabeça Seca (Neto e Mattos, 1990).

O minério principal consiste de uma massa de oxi-hidróxidos de ferro secundários, impregnada de ouro. Estes óxidos derivam da oxidação dos corpos de sulfetos maciços, ou parcialmente maciços, formadores da mineralização primária. Apresentam as texturas dos sulfetos quase inteiramente preservadas, formando gossans conforme definição estabelecida por Kosakevitch (1979), ao discutir o problema terminológico das diferentes categorias de formações ferríferas supérgenas.

Quando a METAGO constatou a forma de distribuição do ouro no depósito do Alvo Cabeça Seca ("boudins" de quartzo e "ore shoots" sulfetados) e uma tendência pouco pronunciada de enriquecimento nas porções mais superficiais dos corpos oxidados, houve interesse em caracterizar a zona de oxidação dos depósitos. O principal objetivo era determinar se aqueles altos teores (até 20 ppm de Au e 50 ppm de Ag) estavam associados a um processo de enriquecimento supérgeno, para planejamento de futura lavra e para a continuidade da pesquisa, visando corpos sulfetados em profundidade. Ao mesmo tempo, procurávamos uma área para desenvolver um projeto de pesquisa sobre a ação do intemperismo em depósitos de minério com ouro associado. A combinação dos interesses levou a esta dissertação de mestrado. Como objetivos específicos deste trabalho destacam-se:

- a. Caracterização mineralógica e geoquímica dos gossans;
- b. Caracterização preliminar da mineralização primária;

c. Análise do comportamento do ouro: os altos teores detectados nos gossans, principalmente em suas porções mais superficiais, representam o resultado da mobilização do ouro pelo intemperismo ou constituem-se apenas em ouro primário residual concentrado por lixiviação dos outros elementos?

3. Localização e Acessos

A área estudada situa-se cerca de 50 km a sudeste de Luziânia, e cerca de 50 km ao norte de Cristalina (Figura 1), na região compreendida entre o rio São Bartolomeu e o ribeirão Pamplona. Constitui o alvo de pesquisa mineral denominado Cabeça Seca, doravante indicado como ACS.

O acesso é feito a partir de Luziânia, pela BR-040/050, sentido Cristalina, até o povoado de São Bartolomeu numa distância de 45 km. A partir de São Bartolomeu o ACS é alcançado por estrada secundária, percorrendo-se 23 km até a Fazenda Bananal.

Figura 1 - Localização e acessos do Alvo Cabeça Seca

II. MATERIAIS E MÉTODOS

De maneira a realizar a melhor descrição dos materiais sob estudo e tornar possível uma discussão sobre os possíveis processos envolvidos na concentração do ouro nos corpos de minério, foram desenvolvidos os seguintes trabalhos: consultas bibliográficas, amostragem das lentes de minério no campo, análise estatística de dados químicos de 158 amostras para 26 elementos, estudos petrográficos sob luz refletida e transmitida em amostras selecionadas, análises mineralógicas por raios-X e análise morfológica de partículas de ouro sob lupa binocular.

1. Materiais Estudados

O ACS está compreendido em uma área de $2,5\text{km}^2$ e foi mapeado numa escala de detalhe de 1:8000. Contém centenas de lentes formadoras do minério encaixadas no filito, sendo que, de porte métrico encontram-se da ordem de duas dezenas delas. O mapa geológico do Alvo Cabeça Seca esboçando os locais de maior concentração das lentes, bem como suas relações com as estruturas, está representado na Figura 2.

CONVENÇÕES

DRENAGEM

ESTRADA

FILITO SERICITICO COM NIVEIS GOSSANICOS DE COLORACAO AVERMELHADA

FILITO SERICITICO COM NIVEIS FERRIFICADOS

FILITOS DE COLORACAO CREME SERICITICOS AS VEZE COM NIVEIS CLORITICOS E OU CARBONOSOS

LIMITE DE ZONA COM MAIOR INCIDENCIA DE BOUDIN DE QUARTZO

40° ATITUDE DE FOLIACAO MILONITICA - 5m

10° EIXO DE GRENULACAO/EIXO MAIOR BOUDIN

AC AMOSTRA PARA CARACTERIZACAO TECNOLÓGICA

T-12 TRINCHEIRA

0 160m
ESC. GRAFICA

Figura 2 - Geologia do Alvo Cabeça Seca. Contém a localização dos "charutos" gossânicos e suas relações com as estruturas regionais (Neto e Mattos, 1990).

Destas, 7 lentes foram escolhidas pela METAGO para amostragem de detalhe em função dos expressivos teores de Au, Ag e metais bases detectados durante a campanha de geoquímica de detalhe, quais sejam: 3 lentes em T6, 1 lente em T7, 1 lente entre T1 e T4 e 2 lentes em T8. Nessas lentes, em seções longitudinais e transversais foram coletadas 137 amostras de canaletas espaçadas de 0,5m. Na tentativa de tornar a amostragem a mais significativa possível, todo o material extraído das canaletas foi utilizado na composição da amostra. De cada canaleta foi extraída uma amostra formada por blocos de tamanhos decimétricos e peso de aproximadamente 1,0 kg, para a realização de análises químicas.

Para a consecução deste projeto de pesquisa, reamostraram-se com a mesma metodologia as lentes que apresentavam teores de ouro mais elevados. São essas a lente 1 que corta a trincheira T6 (11 amostras) e a lente a leste da trincheira T8 (10 amostras). Além das amostras de 1.0kg para análises químicas e petrografia, coletou-se, adicionalmente, em cada canaleta, uma amostra de aproximadamente 3,0kg para a concentração de partículas de ouro por bateamento, visando-se o estudo de morfologia das mesmas. O material amostrado consistiu sempre de gossans.

Além deste material, coletaram-se mais 5 amostras de sulfeto fresco, ou parcialmente fresco, sendo que uma foi extraída da trincheira T16 e as restantes de furos de sondagem, cujas seções polidas foram confeccionadas e cedidas pela METAGO.

2. Métodos de Estudo

a. Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo tiveram como base geológica e topográfica mapas confeccionados pela METAGO durante as diferentes fases de pesquisa na região. Além dos mapas de natureza regional ou local, serviram também de apoio à amostragem, os mapas das trincheiras, bem como perfis geoquímicos das 7 lentes previamente amostradas em detalhe e analisadas para Cu, Pb, Zn, Ag e Au, durante a fase de avaliação do depósito.

No campo, inicialmente procedeu-se a um reconhecimento geológico local seguido de discussão com os geólogos da Companhia sobre os conhecimentos geológicos e geoquímicos produzidos até aquele momento sobre o depósito, após o que, escolheram-se as duas lentes já mencionadas no item materiais estudados, para a amostragem em detalhe.

b. Petrografia e Mineralogia das Amostras

Como parte da preparação das seções para a petrografia, foram impregnadas no laboratório de impregnação do Instituto de Geociências da USP (IG) as 21 amostras do material gossânico, mais a amostra de sulfetos coletada na trincheira T16.

Visando-se caracterizar a mineralogia e textura dos materiais, bem como a forma de ocorrência do ouro sob microscópios óticos com luz transmitida e refletida, foram confeccionadas no laboratório de laminação do IG uma seção delgada, uma seção polida e uma seção polida/delgada de cada uma das 21 amostras. Além disto, foram concentradas partículas de ouro de cada amostra, por bateamento, nos laboratórios da METAGO, para análises morfooscópicas. Para subsidiar o reconhecimento dos minerais ao microscópio, realizou-se difração de raios-X sobre as 21 amostras e determinou-se o teor de AlO_3 nas goethitas de 5 amostras selecionadas.

A avaliação do material gossânico quanto à petrografia foi realizada principalmente sobre seus aspectos texturais, tendo em vista que apresenta uma variação mineralógica restrita e uniforme através de todo o material.

No minério primário a avaliação efetuou-se através da observação ao microscópio ótico das fases presentes.

As análises morfooscópicas das partículas de ouro colhidas por bateamento das amostras de gossan foram realizadas em lupa binocular.

c. Quimismo dos Materiais

No total 158 amostras foram dosadas quimicamente (Anexo 3), sendo que 137 se referiam às amostras coletadas durante a campanha de geoquímica de detalhe pela METAGO e 21 se referiam às amostras coletadas por este projeto de pesquisa nas trincheiras T6 e T8. Os métodos de análises químicas utilizados foram os seguintes:

- Espectrofotometria de Absorção Atômica: Ag, Cu, Pb, Zn e Au;
- Espectrografia de Emissão Ótica: B, Bi, Be, Ti, Sn, Mo, V, Ag, Zr, Y, La, Se, Sr, Nb, Ba, e Ga;
- Análise Química por Via Úmida: Al, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Si e PF.

Todas as análises químicas foram realizadas na Seção de Análises Químicas (D.Q.) da METAGO. As análises por Absorção Atômica foram realizadas em Espectrofotômetros modelos 5000 e 503, de fabricação da Perkin/Elmer, ano 1979, enquanto que a Emissão Ótica utilizou o Espectrógrafo Jarrel Ash (3,4 meter Ebert Spect). A análise por via úmida utilizou o Espectrofotômetro digital ultravioleta e visível Perkin/Elmer.

d. Tratamento dos Dados Químicos

Os dados químicos foram utilizados em dois

caminhos principais:

1. No cálculo da composição mineralógica quantitativa das fases maiores constituintes dos gossans (Tabela 5);
2. Na análise estatística: parâmetros estatísticos, correlação entre variáveis e análise de componentes principais.

Os cálculos da composição mineral obedeceram ao seguinte esquema:

a. Magnetita (mag):

Obs.: pressupõe-se que todo Fe^{2+} está na magnetita.

$$\text{mag} = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ mag}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ mag} = \frac{\text{FeO} \times 160}{72}$$

b. Óxidos de Ferro e Alumínio Secundários (OxII Fe, Al):

Obs.: pressupõe-se 5% da molécula AlOOH na FeOOH , conforme se deduz dos dados de raios-X.

$$\text{OxII Fe(Al)} = \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ OxII} + \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ OxII} + \text{H}_2\text{O OxII}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ OxII} = \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ mag}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ OxII} = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ OxII} \times 102 \times 5}{160 \times 100}$$

$$\text{H}_2\text{O OxII} = \text{PF} - \text{H}_2\text{O sericita}$$

c. Sericita (ser):

Obs.: pressupõe-se que todo o Al não incluído em b está na sericita.

$$\text{Ser} = \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ ser} + \text{SiO}_2 \text{ ser} + \text{K}_2\text{O ser} + \text{H}_2\text{O ser}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ ser} = \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ OxII}$$

$$\text{SiO}_2 \text{ ser} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ ser} \times 360}{306}$$

$$\text{K}_2\text{O ser} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ ser} \times 94}{306}$$

$$\text{H}_2\text{O ser} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ ser} \times 36}{306}$$

d. Quartzo (Qz):

Obs.: Quartzo = SiO_2 restante.

$$\text{Qz} = \text{SiO}_2 \text{ qz}$$

$$\text{SiO}_2 \text{ qz} = \text{SiO}_2 - \text{SiO}_2 \text{ ser}$$

Sob tratamento estatístico, os dados geoquímicos foram, inicialmente, dispostos em uma matriz "n vezes m"

utilizando-se como arcabouço a planilha de cálculo lotus 123*. Estes dados foram convertidos posteriormente para um padrão compatível com o pacote estatístico "STATGRAPHIC", utilizando-se uma das opções do próprio pacote.

Após a padronização dos dados, calcularam-se os parâmetros estatísticos mais comuns para a população (Tabela 6). Estes padrões serviram como guia para os passos seguintes da análise. Utilizou-se da opção de geração de matriz de correlação para correlacionar linearmente os dados iniciais. O pacote utiliza-se da matriz inicial e gera uma matriz de correlação com base no método Q. Utilizando-se da matriz de correlação gerada, aplica-se a opção de análise de componentes principais, cujos dados foram utilizados para produzir as Tabelas 11 e 12, e os diagramas das Figuras 22 e 23.

O pacote utilizado ("Statgraphic") funciona sob o ambiente operacional DOS e utiliza-se de co-processador aritmético (opcionalmente). O pacote apresenta diversas opções estatísticas e a escolha das mesmas é feita interativamente.

Na confecção do presente texto utilizou-se o programa CHIWRITER, com o auxílio gráfico dos programas PLOTTER e FLOW.

III. O ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO SOBRE O INTEMPERISMO DE SULFETOS E A FORMAÇÃO DE GOSSANS

1. Conceituação

Próximo à superfície, as assembléias minerais de sulfetos hipógenos são instáveis na presença de agentes do intemperismo. A ação destes agentes leva os corpos de sulfetos a se reequilibrarem eletroquimicamente e transformarem-se em sulfetos secundários e em óxidos.

A interação dos agentes de intemperismo com os corpos de sulfetos em reações progressivamente oxidantes em direção à superfície gera um perfil de alteração verticalmente zonado. Idealmente, o perfil clássico de gossanização é composto na base pelo minério hipógeno, que grada para uma zona de sulfetos secundários sobrejacentes. Esta zona, em função dos processos de oxidação que ocorrem na interface sulfeto-óxido, pode ser enriquecida em metais (zona de cementação ou zona de transição). Em direção à superfície, a faixa de sulfetos secundários passa para a zona de óxidos, lixiviada de metais (zona de lixiviação), a qual é capeada pelo gossan em superfície (Figura 3). Essa progressão completa raramente é encontrada nos perfis de oxidação dos corpos de sulfetos. Encontram-se descritas na literatura as mais diversas variações da zonalidade ideal

descrita acima, tendo em vista a natureza complexa do intemperismo e a ação de fatores como clima, geologia, geomorfologia e movimento do lençol freático no desenvolvimento de tais perfis (Blain e Andrew, 1977).

Figura 3 - Perfil genérico de um veio contendo sulfetos, mostrando o zonamento clássico desenvolvido com o processo de oxidação (baseado em descrição de Blain e Andrew, 1977).

Os gossans se formam através de processos de oxidação que ocorrem a partir da interface de transformação sulfeto-óxido, através da corrosão eletroquímica (não hidrolítica) dos sulfetos primários e secundários, próximo ao lençol freático. O principal fator determinativo da natureza das reações químicas e dos precipitados aí ocorrentes será o pH. Este será função, principalmente, do tipo de minério, da composição da

encaixante, da natureza das reações de tamponamento de pH e da cinética global do sistema (Blain e Andrew, 1977).

Do ponto de vista da nomenclatura, há uma certa confusão na utilização dos termos "chapéu de ferro" e "gossan" pelos prospectores, principalmente quando se quer enquadrá-los num esquema genético de classificação. Kosakevitch (1979), procurando elaborar critérios de separação entre ambos, definiu "chapéus de ferro" como sendo "formações residuais fortemente enriquecidas em minerais ferríferos supérgenos e que provêm da oxidação meteórica de corpos mineralizados que apresentam uma forte concentração inicial de minerais ricos em ferro". Um "chapéu de ferro" é, portanto, uma formação ferruginosa de superfície que "cobre" um corpo mineralizado situado em profundidade, que é o minério primário, de onde ele é proveniente. O minério primário pode ser sulfetado, carbonatado ou silicatado. O termo "gossan", uma categoria de chapéu de ferro de definição mais restrita, fica reservado apenas aos "chapéus" de alteração de concentrações de sulfetos mais ou menos maciços, economicamente exploráveis ou não.

Os gossans distinguem-se das formações lateríticas, por estas serem resultado da concentração supérgena de ferro, saído principalmente de silicatos ferríferos, em uma química de alteração hidrolítica, resultando em aspectos texturais e geoquímicos totalmente distintos (Wilhelm e Kosakevitch, 1979).

O Quadro 2 mostra as principais diferenças entre gossans e lateritas.

GOSSAN	LATERITA
- extensão localizada	- extensão regional
- forma em quaisquer condições climáticas	- forma em clima tropical
- derivado de sulfetos maciços podendo preservar-lhes as texturas	- derivada de rochas comuns, geralmente sem vinculação textural com as mesmas
- química de alteração eletrolítica	- química de alteração hidrolítica
- sem caulinita	- com caulinita
- altos teores de Cu, Pb, Zn, Ag, Sn, Au, Pd, Pt, Ir, Se, Te, Mo e Ba	- altos teores de Cr, Ni, U, Ti e Mn

Quadro 2 - Principais diferenças entre gossans e lateritas

2. O Ambiente Geoquímico de Alteração de Sulfetos

A principal diferença entre os processos de alteração de rochas silicatadas e corpos de sulfetos maciços é a natureza das reações químicas: hidrolíticas no primeiro caso e eletroquímicas no segundo. Disso resultam as diferenças na zonalidade entre o perfil de rocha e o perfil gossânico (Blain e Andrew, 1977).

As variações de Eh e pH nas zonas de intemperismo de corpos de sulfetos foram estudadas de forma sistemática

primeiramente por Sato (1960 I e II), cujos resultados se embasaram em medidas diretas de Eh e pH de águas de minas nas vizinhanças de corpos de minério em oxidação. Os resultados dessas investigações são apresentados na Figura 4. Fica assim definida uma área de formato cuneiforme sobre o diagrama Eh-pH que representa as condições sob as quais os sulfetos comumente se oxidam.

Baseado em cálculos termodinâmicos e em observações geológicas de sistemas naturais, Sato (1960) deduziu os limites teóricos destes ambientes em termos das funções Eh-PH (Figura 5). Conforme assinalam Blain e Andrew (1977), a exatidão dessas condições limitantes é dependente da validade dos dados termodinâmicos com os quais elas foram calculadas, ressaltando-se que ainda existem poucos dados termodinâmicos disponíveis, suficientemente precisos, sobre os minerais de sulfetos, bem como insuficientes dados de Eh-pH sobre os perfis de minério em oxidação.

Um problema relativo à confiabilidade dos dados de Sato (1960) é que suas medidas foram realizadas em águas diretamente expostas ao oxigênio atmosférico pelos trabalhos de mineração e, portanto, os valores de Eh medidos poderiam ser mais altos que os valores de Eh naturais no ambiente de pré-mineração.

Este problema foi contornado por Thornber (1975), quando estimou as condições de Eh e pH do minério de níquel oxidante em Kambalda (W da Austrália), em seu ambiente de pré mineração. Seus resultados, mostrados na Figura 6, estão em aproximada concorância com as condições químicas de alteração

supérgea deduzidas por Sato (1960), embora o Eh em ambiente profundo seja, talvez, ainda menor que o predito.

Figura 4 - Medidas de Eh-pH obtidas por Sato (1960) em águas de minas associadas a depósitos de cobre em processo de oxidação no sudeste dos EUA (Blain e Andrew, 1977; adaptado de Sato, 1960).

Figura 5 - Variações teóricas de Eh-pH estabelecidas por Sato (1960), para sistemas naturais de sulfetos em processo de oxidação (Blain e Andrew, 1977; adaptado de Sato, 1960).

Figura 6 - Resultados alcançados por Thornber (1975) para valores de Eh-pH em corpos de minério de cobre situados em Kambalda, Austrália, antes de serem explotados (Blain e Andrew, 1977).

3. Os Mecanismos de Alteração de Sulfetos

Segundo Blain e Andrew (1977), a medida em que os

corpos de minérios são progressivamente exumados, eles encontram uma zona no regime intempérico onde os sulfetos, gradualmente, tornam-se quimicamente instáveis em relação às águas superficiais e subterrâneas carregadas com agentes oxidantes.

Inicialmente um ponto é alcançado onde o Eh das águas excede o valor do Eh de equilíbrio das fases sulfetadas, ocorrendo, então, alteração incipiente destas, ora instáveis. Se a cinética da reação for favorável, o mineral se oxida através de uma reação de meia cela de oxidação, liberando elétrons para serem consumidos em outro lugar por um par redutor complementar. Nesta situação, o corpo de minério estará sofrendo corrosão eletroquímica.

Na liberação de elétrons, os minerais oxidantes tornam-se positivamente polarizados e formam, em profundidade, um ânodo. No topo do corpo de minério condutor, o oxigênio atmosférico dissolvido em água subterrânea é reduzido para o agrupamento OH^- , e o consumo de elétrons causa polarização negativa na região catódica (Figura 7).

Assim, durante a alteração supérgena, corpos de sulfetos maciços se comportam como grandes celas de corrosão eletroquímica. Na natureza, o desequilíbrio necessário para a efetivação deste fenômeno pode ser sustentado pela exumação gradual do corpo de sulfetos ou por movimentos verticais do lençol freático.

Figura 7 - Diagrama esquemático do processo eletroquímico de oxidação de corpos de sulfetos maciços, mostrando o fluxo de elétrons e íons (modificado de Rose, Hawkes e Webb, 1970).

Esse mecanismo de alteração leva à zonalidade vertical do perfil, com geração de faixas cada vez mais oxidadas em direção à superfície. No mecanismo de oxidação, cada faixa se comporta, provisoriamente, como meia cela de oxidação complementada pelas faixas redutoras mais superficiais.

Acima do lençol freático, muitos sulfetos supérgenos da zona de transição, sob a influência de soluções oxigenadas percolantes, corroem-se muito rapidamente. Considerando-se que águas subterrâneas induzem reações eletroquímicas dentro do perfil de sulfetos, reações de eletrólise podem ser acompanhadas pelo fluxo de corrente externa complementar através do sistema de águas subterrâneas. Nesse

processo, a formação de óxidos de ferro estáveis componentes dos gossans, no topo dos perfis condutores, é o último passo na sequência de reações anódicas.

4. A Mineralogia dos Gossans

Os principais minerais da maior parte dos gossans (conforme descrição de Blain e Andrew, 1977) são descritos como "limonita" e sílica. O termo "limonita", utilizado principalmente no campo, implica numa mistura de óxidos de ferro amorfos, coloidais ou finamente cristalizados, com sílica, jarosita e óxidos subordinados, misturados em várias proporções e diferentes estados de hidratação.

As séries de óxidos de ferro presentes nos gossans compreendem quatro espécies minerais: goethita (α FeO.OH), lepidocrocita (β FeOOH), maghemita (γ Fe₂O₃) e hematita (α Fe₂O₃), os quais mostram uma variação decrescente em seus conteúdos de água adsorvidos.

A goethita de natureza coloidal, pobremente cristalina, associada com sílica-gel co-precipitada, muito comum em gossans, foi descrita por Blanchard (1968, apud Blain e Andrew, 1977), como "Jasper limonítico", o qual pode apresentar variedades dominantes de goethita ou hematita.

Quartz residual em gossans comumente contém

traços do sulfeto primário como inclusões. Dependendo do grau de evolução do gossan, alguns silicatos mais estáveis podem também ser encontrados em sua mineralogia, seja como relictos da mineralização primária, seja como "micro-xenólitos" da encaixante no minério.

Os principais minerais acessórios encontrados nos gossans são óxidos, numerosos fosfatos (de Ca, Al, Fe, Pb, etc.), sulfatos de Ca, arsenatos, diversos produtos coloidais e alguns minerais acessórios primários, como por exemplo os óxidos de titânio. Carbonatos são os oxidados predominantes, seguidos pelos silicatos. Os sulfatos, fosfatos e haletos mais solúveis são preservados somente em climas particularmente áridos. Os óxidos são principalmente representados por minerais oxidados de manganês e, menos abundantemente, de cobre.

5. Feições Texturais dos Gossans

O exame petrográfico dos produtos de oxidação dos sulfetos mostra que muitos minerais no estágio incipiente de oxidação alteram-se preferencialmente ao longo de planos cristalográficos específicos, notadamente no limite dos grãos, clivagens, planos de partição, limites de geminação, etc. Os produtos de alteração, principalmente "limonitas" e sílica importada, crescem lateral e simetricamente em relação a estes

planos, formando uma rede entrelaçada. Até mesmo com a subsequente lixiviação de todos os sulfetos remanescentes, a rede precocemente formada pode sobreviver como um delicado "boxwork", classicamente associado aos gossans. A morfologia desses "boxworks" é geneticamente relacionada à simetria cristalográfica de seus sulfetos precursores (Blain e Andrew, 1977).

A preservação das texturas dos minerais ("boxworks" ou pseudomorfoses) é comumente devida à precipitação "in situ" do ferro ou a um influxo lento da sílica, quando o minério estiver se oxidando. Os fatores químicos controladores desse processo, dependentes da natureza das reações produzidas na interface sulfeto-óxido, são delicadamente balanceados e, se sujeitos a perturbações, podem resultar em condições que são suficientemente corrosivas para destruir todas as texturas relacionadas com os sulfetos que poderiam ser preservadas nos gossans. Onde isto ocorre, o aspecto textural não pode ser utilizado como ferramenta para a avaliação de gossans (Blain e Andrew, 1977).

A Tabela 1 apresenta uma descrição resumida das principais texturas réplicas diagnósticas em gossans.

Mineral	Planos de controle de simetria	Texturas réplicas diagnosticas	Mineral	Planos de controle de simetria	Texturas réplicas diagnosticas
SULFEIOS			OXI-HIDROXIDOS		
Pirita (FeS_2)	(100)	- Pseudomorfoses cúbicas ou cavidades.	Goethita (FeOOH)		- "Boxworks" celulares, esféricas (textura gel).
Isométrica	(100)	- "Boxworks" concêntricos ou enxames cúbicos, comumente com modificação octaédrica.	Ortorrômica		- "Boxworks" em hieróglifos fracamente conectados.
	(111)	- "Boxworks" (teia de aranha) concêntricamente zonadas ou anédricas.	Magnetita (Fe_3O_4)	(111)	- Formas externas alongadas, com septos paralelos densos.
Marcassita	(110)	- "Boxworks" aciculares com "espinha de peixe" (herringbone) nas paredes.	Ilmenoma magnetita ($\text{FeTiO}_3\text{-Fe}_3\text{O}_4$)		- Pseudomorfoses ou "boxworks" octaédricos.
	(110)	- Pseudomorfoses com texturas fibrorradiadas.			- "Boxworks" octaédricos, entrelaçados após leucoxênio na magnetita.
Pirrotita (Fe_{1-x}S)	(0001)	- Amplas "boxworks" hexagonais com textura gráfica ou celas hexagonais.	Hexagonal	(111)	
Hexagonal ou Monoclínica	(001)	- "Boxworks" celulares, compactamente espaçados, para os e paredes delgadas.	Isométrico		
		- "Boxworks" em hieróglifos pobremente conectados	CARBONATOS, SILICATOS E GANGA MINERAL		
Calcopirita	(111)	- Formas curvi-lamelar a esferoidal: fraturas de contração concêntricas.	Calcita (CaCO_3)	(1011)	- "Boxworks" ou pseudomorfoses romboédricos regulares: ângulo agudo exatamente de 72° .
	(201)	- "Boxworks" retangulares com paredes paralelas e perpendiculares densas com ângulos de 95° a 110° .	Hexagonal		
	(111)	- "Boxworks" equidimensionais, quadrangulares, grosseiros, frequentemente com paredes espessas.	Siderita (FeCO_3)	(1011)	- "Boxworks" ou pseudomorfoses romboédricos curvados: ângulo agudo exatamente de 73° .
Bornita (Cu_5FeS_4)	(111)	- "boxworks" triangulares esféricas.	Hexagonal		
Isométrica			Fluorita (CaF_2)	(111)	- "Boxwork" carbonático octaédrico, paredes muito finas e delicadas: pobremente silicificado.
Tetradrita [$(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Ag})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$]		- "Boxworks" em forma de trincheira com contornos sinuosos.	Isométrico		
Isométrica			Serpentina		- Rede ao acaso (como olivina) com inclusões de magnetita residual.
Pentlandita [$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$]	(111)	- "Boxworks" octaédricos, delicado com paredes delgadas.	Monoclínico		
Isométrica		- Delgada borda de violarita desenvolvida ao longo do plano basal (0001) da pirrotita original.	Anfibólio	(110)	- Pseudomorfoses fibro-lamelar, como palhetas
Galena (PbS)	(100)	- "Boxworks" regulares, cúbicos e concêntricos (mais regular que a pirita)	Monoclínico		
	(111)	- "Boxworks" piramidal com degraus.	Mica	(001)	- Pseudomorfoses de goethita entrecruzados a foliados, escamosos.
Isométrica		- "Boxworks" de cerussita, rombic: paredes espessas, septos múltiplos, paralelos com ângulo agudo idealmente de 62° .	Granada	(110)	- Formas dodecaédricos, idiomórficos com textura hieroglífica interna.
			Isométrico		
Esfalerita (ZnS)	(110)	- "Boxworks" angular: bem conectados, paredes com cruzamento oblíquo (45°) e contínuas, longas paredes paralelas produzem sub-celas triangulares.			
Molibdenita (MoS_2)		- "Boxworks" com paredes delgadas, foliadas. Paredes circulares e polidas: vestígios de interstícios originais.			
Hexagonal					

Tabela 1 - Descrição resumida das principais texturas réplicas em gossans (Blain e Andrew, 1977).

6. A Geoquímica dos Gossans

Conforme descrevem Blain e Andrew (1977), no processo de intemperismo de sulfetos, uma parte (embora variável) do metal liberado é, comumente, retida dentro do sistema químico formador do gossan, ainda que muitas outras formações supérgenas enriquecidas em ferro de derivação não sulfetada possam conter acumulações significativas de metais.

Os fatores químicos controladores da retenção e acumulação de metal em gossans são complexos. Parece que a melhor explicação para o fato se relaciona à adsorção e/ou co-precipitação dos metais com goethita finamente cristalina ou "limonita gel" amorfa. Em alguns gossans, disseminações microcristalinas de metal em oxissais, óxidos e grãos de sulfetos residuais podem também ser suficientemente abundantes para contribuir para a detecção dos conteúdos de elementos traços (Wilhelm e Kosakevitch, 1979).

Um problema sério na caracterização geoquímica dos gossans é a grande heterogeneidade dos resultados analíticos, observada tanto ao nível das amostras de um mesmo gossan, quanto entre gossans desenvolvidos sobre corpos distintos de sulfetos, ainda que pertencentes a um mesmo ambiente. Por causa desta heterogeneidade quase sempre é necessário um tratamento estatístico para poder-se caracterizá-los melhor.

Cada associação sulfetada particular irá gerar uma associação geoquímica que lhe é diagnóstica. De modo geral, a

caracterização de gossans se baseia nos conteúdos de elementos imóveis tais como: As, Sn, Au, Pd, Pt, Ir, Se, Te, Mo, Ba, Pb, Ag e Hg, e em elementos mais móveis como Cu, Zn e Mn. Esse grupo de elementos permite assim uma boa distinção entre gossans sobre jazidas sulfetadas e lateritas que, ao contrário, são enriquecidas em elementos como Cr, V, Ti, Mn e P. (Wilhelm e Kosakevitch, 1979).

Blain e Andrew (1977) apresentam valores médios de elementos traços para os principais tipos de gossans e outras formações supérgenas (Tabela 2). Percebe-se pela análise da tabela que o intervalo de variação para os teores num mesmo gossan às vezes é muito amplo e que há superposição entre os intervalos dos valores para um determinado elemento em diferentes materiais. No entanto, os gossans sempre apresentam assinaturas geoquímicas características com Cu, Pb, Zn, Ag, etc.

	n	p	Ni PPM	Co PPM	Cu PPM	Zn PPM	Fe %	Mn PPM	Cr PPM	As PPM	Te PPM	Pd PPM	Pt PPM
Gossans de níquel	16	m	9200	300	2600	30	40	500	800	220		1.1	8.35
Gossans de níquel (silicosos)	5	m	2600	110	500	54	5	110	500	7-800		0.15-4.5	0.04-1.0
Gossans de níquel*	33-47	md	7000	260	1500	42-55	4.4-5.7	225-735	32-1040				
Provável Gossan de níquel	10-30	md	1100-25000	50-850	500-16000	50-250	4.3-57.0		1150	23	0.95		
Tufos Gossânicos em Rochas Ultramáficas	16-19	md	3200	740	600	50	55		430-2300	3-170	0.57-6.4		
Rochas Ultramáficas lateritizadas	37-48	md	450-22000	65-360	65-2500	25-170	5.0-60.0		900	30	1.6		
Gossan sobre sulfetos de ferro em Rochas Ultramáficas	11-16	md	350	80	250	250	45		230-2500	0-110	0.31-7.4		
		r	120-2500	55-200	45-650	100-720	3.7-57.0		320	50	0.85		
		r	1300	140	100	90	8		60-1700	5-600	0.005-0.40		
		r	1200-3400	30-400	15-570	40-320	3.5-50.0		2300	45	0.005		
		r	1100	100	340	150	57		400-11000	5-350	0.004-0.10		
		r	320-3200	75-1100	45-3100	70-360	10.0-60.0		430	7	0.05		
		r							150-5700	2-25	0.004-0.11		
	n	p	Ni PPM	Co PPM	Cu PPM	Zn PPM	Pb PPM	Mn PPM	Cr PPM	Ba PPM	Ag PPM	Cd PPM	
Gossans de Cobre - Zinco	50	m	27	70	1800	90	250	110		1000	8	2	
Gossans de Cobre - Zinco (silicosos)	19	m	25-50	40-120	600-3400	40-170	125-650	40-250		110-9400	2-12	1-4	
Gossans de Chumbo - Zinco	5	m	32	20	370	500	105	125	75	5900	2	7	
Gossans de Zinco - Cobre	19	m	25-40	10-40	150-960	160-1300	60-220	60-215	40-115	1300-18000	1-4	6-8	
Gossans de sulfetos de ferro Estratiforme (Cu - Zn subordinados)	22	m	30	40	330	800	3000	3300	50	720	9		
Gossans de Cobre (tipo veio)	11	m	19-35	20-60	75-15500	160-2840	400-7500	170-7000	20-90	300-1500	3-32		
Gossans de Pirita (tipo veio)	12	m	24	25	115	600	6200	360	65	260	7		
Ferricretas	32	m	13-30	10-35	40-220	210-1910	420-22500	110-760	40-100	55-660	3-17		
		r	10-20	40-120	1100-8000	240-3500	100-350	200-2200		140	8		
		r	270	240	15200	50	220	330	45	50	2-12		
		r	80-750	60-460	8500-22000	30-90	150-315	30-320	25-80	20-90	2-4		
		r	25	20	45	45	30	70	25	30			
		r	20-40	12-30	10-75	20-80	15-40	20-270	12-35	15-40			
		r	75	15	105	65	1250						
		r	30-175	5-60	25-300	20-115	320-5000						

Tabela 2 - Composição geoquímica dos principais tipos de gossans e formações ferruginosas associadas. Os gossans de Ni-Cu e formações ferruginosas associadas são do oeste da Australia.

Os gossans de Cu-Zn e Pb-Zn e formações ferruginosas associadas são da África do Sul (Blain e Andrew, 1977).

r = intervalo de variação nos limites dos percentis 10 e 90

md = mediana

m = média

n = número total de amostras

IV. QUADRO MORFOCLIMÁTICO E GEOLÓGICO

1. Aspectos Morfoclimáticos

a. Geomorfologia e Relevo

O estudo de geomorfologia e morfogênese no Brasil foi amplamente influenciado por Lester King (1956), que no seu trabalho "A Geomorfologia do Brasil Oriental" procurou definir em amplitude regional os eventos geomorfológicos que esculpiram o relevo brasileiro. Assim, observando os remanescentes de superfícies de erosão que se distribuem em diversos níveis na paisagem brasileira, ele pôde reconhecer cinco ciclos geomorfológicos aos quais denominou de "Gondwana", "Post Gondwana", "Sul-Americano", "Velhas" e "Paraguaçu".

Seus conceitos, estabelecidos em bases precárias tanto de cartografia, quanto de mapeamento geológico do território brasileiro, apresentaram equívocos e dados passíveis de atualização, porém influenciaram consideravelmente as pesquisas subsequentes que levaram ao conhecimento mais preciso das feições topográficas hoje definidas no relevo brasileiro (Braun, 1971).

Desta maneira, a partir dos conceitos de

peneparação de King (1956), Braun (1971) estudou e identificou no relevo do Brasil Central as superfícies "Post-Gondwana", "Sul-americana", "Velhas" e "Paraguaçu", esta última derivada de um sub-ciclo do ciclo "Velhas". A superfície Sul-americana, constituída por formas tabulares com altitudes médias em torno de 1000 metros é a melhor representada na área em estudo e apresenta-se sempre coberta por couraças lateríticas ou solos concrecionários.

O relevo da região de Brasília, Luziânia, Cristalina e São Bartolomeu foi incluído no sub-compartimento do Planalto Central Goiano denominado Planalto do Distrito Federal por Mamede e outros (1983), ao estudarem a geomorfologia da folha SE.22 Goiânia, Projeto RADAMBRASIL. Este Planalto, na região de São Bartolomeu, constitui-se de uma superfície tabular (Superfície Sul-americana), caracterizada por chapadas pediplanizadas relativamente bem dissecadas pela Bacia do Rio São Bartolomeu, com chapadões de topos planos e largos interflúvios, e por um patamar rebaixado de dissecção, geralmente conectado à superfície plana através de escarpas erosivas com desníveis da ordem de 150 m. (Foto 1/Prancha 1).

O ACS está localizado na zona de dissecção da Superfície Sul-americana em uma altitude de aproximadamente 900 metros, dentro da bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu, à margem direita do córrego Pamplona, seu afluente. O mapa da Figura 8 exhibe os elementos da paisagem local descritos acima. O solo sobre a superfície dissecada é quase inexistente e, quando ocorre, é do tipo litólico. As cristas que se destacam neste

relevo referem-se a aspectos de erosão diferencial sobre litologias mais resistentes do Grupo Canastra, bem como às cristas ferruginosas constituintes dos gossans.

b. Vegetação

A cobertura vegetal original da área foi grandemente descaracterizada pela ação antrópica, a qual vem se processando há anos, através das atividades de culturas cíclicas ou de pastagens. Na região, os remanescentes da vegetação original às vezes confundem-se com a vegetação secundária. A vegetação da área, inteiramente compreendida dentro do território intertropical, foi estudada e conceituada de acordo com a fitogeografia brasileira por Veloso e Góes Filho, 1982 (apud Magnago et al., 1983). Dentro deste sistema classificatório, Magnago et. al. (1983) reconheceram na área as formações tipo Savana Arbórea Aberta com floresta de galeria e tipo Savana Parque.

A Savana Arbórea Aberta (Campo Cerrado) é caracterizada como uma "formação campestre com arvoretas (scrub) exclusivas das áreas areníticas lixiviadas, em geral queimadas todos os anos. Sua composição florística é semelhante à da Savana Arbórea Densa (cerradão), mas de estrutura mais aberta e bem mais baixa ($\pm$ 5m.). No centro-oeste brasileiro é chamado de campo cerrado e é

caracterizado por um contínuo tapete gramíneo-lenhoso, entremeado de árvores gregárias, geralmente raquíticas ou degradadas pelo fogo anual" (Veloso e Goes Filho, 1982, apud Magnago et al. 1983).

A Savana Parque (parque de cerrado) é conceituada como sendo uma "formação essencialmente campestre natural ou antrópica. Quando natural, tem posição geográfica delimitada pelas áreas encharcadas das depressões, onde o tapete graminóide apresenta uma cobertura arbórea esparsa com uma só espécie. Quando antrópica é encontrada em toda a savana alterada pela devastação, ampliada para pastoreio e cuja cobertura arbórea esparsa é ordenada para refúgio do gado nas horas de maior insolação" (Veloso e Góes Filho, 1982, apud Magnago e outros, 1983). A Figura 9, mostra um perfil esquemático interativo entre as fisionomias da savana e a posição geográfica das mesmas no relevo. Na Foto 1/Prancha 1, podem-se observar as principais características da vegetação descritas acima, destacando-se as matas galerias bem desenvolvidas seguindo o curso do Ribeirão Pamplona.

c. Clima

Os totais pluviométricos anuais oscilam entre 1.300

Figura 9 - Perfil esquemático de interação entre as fisionomias da savana (cerrado) e a posição geográfica das mesmas no relevo (Mamede et al., 1983).

- 1 - Savana arbórea densa (cerradão),
- 2 - Savana arbórea aberta (campo cerrado),
- 3 - Savana parque (parque de cerrado),
- 4 - Savana gramíneo lenhosa (campo).

e 1.750 mm. O trimestre mais chuvoso vai de dezembro a fevereiro. Nos meses de junho e julho, a precipitação pode ser considerada nula, sendo neste último mês que ocorrem as temperaturas mais baixas. O mês mais quente é aquele que antecede às chuvas, em geral outubro, podendo ser o mês de novembro, quando as primeiras precipitações atrasam-se (Barbosa et al., 1981).

A temperatura média varia entre 18° e 20°C durante o ano. No período de maio a agosto as temperaturas médias podem declinar em alguns locais a menos de 20°C, caracterizando clima tropical mais ameno. As máximas absolutas são altas, de 35° a 40°C e são registradas onde o relevo é de menor altitude; aí, mesmo durante o inverno é comum assinalar mais de 30°C. A média das mínimas fica entre 16°C e 18°C. De maio a agosto elas estão abaixo de 15°C, caracterizando quatro meses com presença de frio, porém, nunca atingindo menos de 10°C. (Barbosa et.al., 1981).

A umidade relativa tem uma variação sazonal marcada. A média mensal fica em torno de 50% a 60% nos meses mais secos; somente na estação chuvosa é que ultrapassa 80% (Magnago et al., 1983).

O clima da região é, na classificação de Koppen, do tipo Aw, o qual domina praticamente toda a área do Planalto Central. Este tipo de clima é característico das savanas tropicais, que se caracteriza por duas estações únicas: uma rigorosamente seca que corresponde ao outono e ao inverno, indo do mês de abril ao mês de outubro, e outra, úmida com chuvas torrenciais que corresponde ao período da primavera e verão (Barbosa et. al., 1981).

2. Quadro Geoestrutural

a. Província Tectônica

O depósito de ouro de São Bartolomeu ocorre encaixado em uma sequência psamo-pelítica carbonatada pertencente ao Grupo Canastra, unidade litoestratigráfica do Cinturão de Dobramentos Brasília e Uruaçu (Figura 10).

As faixas de dobramentos Brasília e Uruaçu, de idade proterozóica, expostas nas regiões central de Goiás e oeste de Minas Gerais, englobam um conjunto de unidades estratigráficas metassedimentares, dobradas e metamorfizadas em pelo menos dois ciclos tectônicos: o Ciclo Uruaçuano (1000-1300 Ma.) e o Ciclo Brasília (570-700Ma.) (Schobbenhaus et al., 1984).

Essas faixas dobradas, assentadas sobre um embasamento granito-gnáissico arqueano, situam-se tectonicamente entre o cráton São Francisco, a leste, e o Maciço Mediano de Goiás, a oeste. Este último constitui-se num alto do embasamento pré-uruçuano que foi envolvido pelos dobramentos, metamorfismo e intrusões graníticas sintectônicas dos ciclos acima referidos. A Faixa Uruaçu é representada pelos grupos Araxá, Serra da Mesa, Araf, Natividade e Canastra, e a Faixa Brasília pelos Grupos Paranoá, Bambuí e Formação Vazante (Schobbenhaus et al., 1984).

Figura 10 - Compartimentação tectônica da região central brasileira (Schobbenhaus et al., 1984).

- 1 - Crátons: São Francisco (I) e Amazônico (II);
- 2 - Maciços: Goiás (III) e Guaxupé (IV);
- 3 - Faixa de dobramentos Uruaçu;
- 4 - Faixa de dobramentos do ciclo brasileiro: Brasília (V); Paraguai-Araguaia (VI), Sudeste (VII);
- 5 - Coberturas sedimentares do brasileiro;
- 6 - Coberturas sedimentares e vulcano-sedimentares fanerozóicas;
- 7 - Borda cratônica;
- 8 - Feição estrutural de Pirenópolis;
- As setas indicam vergência;

b. Geologia Regional

Na região são encontradas três unidades litoestratigráficas distintas: Grupo Canastra, Grupo Paranoá e Grupo Macaúbas, além de coberturas detrítico-lateríticas de idade terciária/quaternária, conforme mostrado no mapa geológico da Figura 11.

O Grupo Canastra (Barbosa, 1955), recentemente considerado como correspondente lateral do Grupo Araxá por Teixeira e Danni, 1978 (apud Neto e Mattos, 1990), é representado por uma sequência psamo-pelítica, com níveis carbonáticos associados. Sua litologia é composta por filitos sericíticos cinza esverdeados, filitos cinza-claro a pretos, carbonosos, com ocasionais intercalações de lentes quartzíticas, além de espessos corpos lenticulares de calcoxistos (calcofilitos) e calcários (Faria, 1985). Este Grupo é a unidade predominante, em termos areais, na região.

O Grupo Paranoá (Dardenne, 1978) ocorre na região do Domo de Cristalina. Foi subdividido por Faria (1985) em cinco sub-unidades, designadas da base para o topo como segue: Unidade A - metarritmito inferior; Unidade B - quartzitos finos; Unidade C - metarritmito intermediário; Unidade D - quartzito grosseiro; Unidade E - metarritmito superior.

O Grupo Macaúbas (Faria, 1985) é de ocorrência restrita às bordas do Domo de Cristalina, constituindo uma auréola com largura média de 600 m. Limita-se na parte superior

Figura 11 - Mapa geológico regional segundo Dardenne, 1978, apud Schobbenhaus et al., 1984.

com os filitos do Grupo Canastra por um cavalgamento de oeste para leste, que recobriu a estrutura dômica como uma nappe. É formado por paraconglomerados de matriz siltico-arenosa, de coloração esverdeada, com clastos predominantes de quartzitos, subordinadamente chert, filito hematítico e raros calcários.

Estas unidades encontram-se recobertas por extensas crostas lateríticas, associadas ao encouraçamento da Superfície Sul-americana.

As demais unidades litológicas das faixas Brasília-Uruaçu aflorantes na região encontram-se representadas no mapa da Figura 11.

c. Estruturas Regionais

Estruturalmente, a feição mais marcante na região é relacionada ao Domo de Cristalina, que ocorre como um braquiforme assimétrico desventrado, no qual o núcleo expõe rochas mais jovens que os flancos, onde as rochas do Grupo Paranoá, orladas pelos paraconglomerados do Grupo Macaúbas, ambos do Proterozóico superior, estão flanqueadas pelas sequências pelito-carbonatadas do Grupo Canastra, do Proterozóico médio, (Faria, 1985).

Observam-se grandes estruturas rúpteis, definindo sequências de empurrões, os quais representam zonas de

cavalgamentos com vergência para sudeste, adjacentes ao cráton São Francisco. Apresentam dois padrões principais de direções: um de N35°E e outro de N30°W. Um padrão subordinado de direção N-S também aparece em fotografias aéreas. Estes cavalgamentos foram definidos como zonas de cisalhamento, as quais compreendem rochas miloníticas, bem como meta-pelitos cisalhados. (Hagemann, 1988)

Fluidos hidrotermais ricos em silicatos, migrando ao longo dos planos de cavalgamento depositaram veios de quartzo, os quais, em muitos casos, foram boudinados posteriormente. Comumente associados aos planos de cavalgamento, encontram-se lineações tipo "slickenside", sobre superfícies de veios e "boudins" de quartzo (Hagemann, 1988).

d. Geologia Local

O depósito de ouro de São Bartolomeu ocorre principalmente na forma de "charutos" sulfetados de tamanhos centimétricos a métricos, encaixados na sequência psamo-pelítica do Grupo Canastra, dispostos paralelamente à foliação principal (NE), e apresentando um leve mergulho em torno de 15° para norte. A geologia da região de São Bartolomeu está representada no mapa da Figura 12.

O Grupo Canastra nos limites do ACS é representado por filitos sericíticos com porções mais carbonosas em alguns

Figura 12 - Geologia da região de São Bartolomeu - GO. (Netto e Mattos, 1990).

locais e mais carbonatadas em outros, aos quais ocorrem intercaladas lentes quartzíticas. Os corpos de sulfetos oxidados e "boudins" de quartzo mineralizados em ouro estão limitados principalmente aos filitos sericíticos de coloração marrom esverdeada, com níveis mais carbonosos de coloração cinza escuro (Figura 13).

Esta sequência, quando ocorre ao nível da cota de 1000m, encontra-se recoberta por crostas lateríticas, formando chapadões, mas, ao nível de ocorrência do ACS, em torno de 900m., encontra-se dissecada, recoberta apenas por uma fina cobertura coluvionar que constitui um solo tipo litólico. Os níveis gossânicos afloram como pequenas cristas ressaltadas no terreno, com extensão de até 10m de comprimento.

As rochas filíticas apresentam-se moldando colinas subarredondadas, e afloram na forma de lageados e cristas. Apresentam coloração esverdeada quando frescas, e marrom-amareladas quando alteradas. Quando são mais carbonosas, sua coloração passa a ser cinza escura. Exibem uma foliação milonítica bem desenvolvida, gerada pelo intenso cisalhamento, o qual ocasiona uma transposição generalizada, com recristalização de quartzo leitoso sacaroidal e quartzo fumê, na forma de veios boudinados, formando vênulas, ocelos e/ou "bolachas" dispostos paralelamente à foliação principal (Neto e Mattos, 1990). De maneira geral, no ACS, estas rochas encontram-se bastante alteradas com muita ferruginização nas discontinuidades, (Foto 02/Prancha 1). Apresentam uma mineralogia dominada por sericita/muscovita e quartzo, mais raramente clorita, carbonatos,

SEÇÃO TIPO DO ALVO CABEÇA SECA (TRINCHEIRA 06)

Figura 13 - Seção tipo do Alvo Cabeça Seca (Neto e Mattos, 1990).

turmalina e opacos. Esta paragênese caracteriza um metamorfismo de grau fraco de fácies xisto-verde da zona da clorita.

Os dados de escavações e sondagens mostraram que o pacote filítico torna-se menos venulado, com menor presença de "boudins" de quartzo, à medida que se afasta da zona de cisalhamento, onde aparentemente houve maior atividade hidrotermal.

e. Estruturas Locais

Estruturalmente a área apresenta como feição melhor desenvolvida uma xistosidade (Sn), com atitude média N20°E/30°NW, marcada pela orientação de minerais micáceos. Esta xistosidade, na realidade uma foliação milonítica, apresenta-se crenulada, com desenvolvimento de uma clivagem plano-axial, verticalizada, com eixos subhorizontalizados, direção NS e leve caimento para norte. Associadas, aparecem dobras apertadas, isoclinais, com espessamento apical e eixos com atitude 20°/NS; além destas, aparecem dobras de flanco curto, flanco longo, tipo "S" e "Z", indicando o fechamento de uma fase anticlinal para oeste (Neto e Mattos, 1990).

Estas estruturas estão relacionadas a movimentos de empurrões em uma fase inicial compressiva, que se deram de leste para oeste, através de uma deformação evolutiva, a

qual ocasionou inicialmente o desenvolvimento de um cisalhamento de baixo ângulo, com foliação milonítica (Sn) de atitude média N20E/30NW e lineações de estiramento (eixo x) com atitude 20°/N50°-70°E. Veios de quartzo boudinados estão intercalados na sequência, com o eixo maior (eixo x), caindo cerca de 15° a 20° para norte. Estas estruturas, aparentemente, passaram mais tardiamente por outra fase de cisalhamento com desenvolvimento de lineações de estiramento paralelas ao eixo maior da primeira fase (20°N) (Neto e Mattos, 1990).

Esta interpretação, segundo os geólogos da METAGO, é consubstanciada pela orientação dos "charutos" sulfetados e também pela ocorrência de estruturas sugestivas de dobras tipo bainhas, com eixos paralelos à direção de movimento, bem como através de secções delgadas, onde podem-se observar duas direções de estiramento sub-perpendiculares. A orientação das lentes pode ser interpretada como apenas um processo de boudinamento relacionado à fase de crenulação.

A Figura 14, extraída de Hagemann (1988), exhibe as relações entre as zonas de cisalhamento e a xistosidade regional.

Figura 14 - Perfil esquemático mostrando as estruturas regionais e os tipos de rochas controladas estruturalmente (Hagemann, 1988).

V. MINERALIZAÇÃO PRIMÁRIA

1. Descrição Macroscópica

Os dados geológicos, petrográficos, estruturais e geoquímicos até agora produzidos sobre a mineralização primária do depósito de ouro do ACS não são suficientes ainda para caracterizá-lo, seja quanto aos aspectos físico-químicos de sua geração, seja quanto ao controle estrutural de sua deposição. Desta maneira, a abordagem da mineralização primária será conduzida dentro do campo aproximativo, considerando-se os dados atuais disponíveis existentes, bem como o que relata a literatura para mineralizações auríferas em zonas de cisalhamento dúcteis (ZCD).

O minério de São Bartolomeu, situado dentro de uma ZCD, é constituído por um pacote de filito hidrotermalizado, com presença de vênulas e "boudins" de quartzo mineralizados (Foto 2/Prancha 1), e por um conjunto de corpos de sulfetos maciços ou parcialmente maciços, mais ou menos oxidados, alongados em forma de "charutos" e encaixados no filito segundo sua foliação principal. Os "charutos" possuem dimensões variadas e compreendem tamanhos que vão desde alguns decímetros até uma dezena de metros em extensão. Estruturalmente esses "charutos" apresentam-se formados por feições oclares (Foto 3/Prancha 2) que variam em

tamanho, de escala microscópica a alguns decímetros de comprimento. Os ocelos, além de formarem os "charutos" como feição principal, podem ocorrer isoladamente dentro do filito milonitizado como produtos típicos da evolução de uma ZCD (Foto 2/Prancha 1).

A mineralização no domínio dos "charutos" se processou através de um mecanismo de impregnação pervasiva do filito milonitizado, formando os núcleos ocelares maciços com alguns xenólitos da encaixante parcialmente assimilados em seu interior. Quando não assimilados ou substituídos pelas soluções mineralizantes, os planos de descontinuidade do filito foram preenchidos pela solução sulfetada. Geralmente os níveis de filito parcialmente preservados dentro dos corpos de sulfetos encontram-se nos espaços inter-ocelares e estão intensamente deformados. Nesta circunstância, os sulfetos preservam as estruturas do filito milonitizado, apresentando-se dobrados e crenulados (Foto 4/Prancha 2).

2. A Rocha Hospedeira

A rocha hospedeira da mineralização é um carbonato-quartzo-sericita xisto, com turmalina, clorita e opacos subordinados, sem zona de alteração hidrotermal caracterizada até os estudos atuais. Hagemann (1989), estudando a petrologia e

estrutura do Grupo Canastra, dosou quatro amostras de filitos alterados hidrotermalmente provenientes de garimpos próximos a Luziânia, conforme mostra a Tabela 3. Naquela localidade, silicificação e sericitização acompanham a assembléia de pirita-arsenopirita-calcopirita-tetraedrita e galena, a qual está associada o ouro.

Comumente o filito apresenta-se com coloração cinza, às vezes cinza-esverdeado ou avermelhado, granulação fina e com a foliação principal crenulada. Ao microscópio, o alinhamento plano paralelo das palhetas de mica e o estiramento dos cristais de quartzo definem uma foliação bem desenvolvida e caracterizam uma textura granolepidoblástica.

A sericita é o constituinte mais abundante e encontra-se intimamente associada com lamelas de clorita, algum carbonato e alguns opacos. Apresenta-se às vezes com "kink-band" incipientemente desenvolvida.

O quartzo tem distribuição ampla. Encontra-se geralmente como uma massa de granulação fina, incipientemente recristalizada ou, subordinadamente, ocorre em agregados mais grosseiros, onde os grãos apresentam contornos xenomórficos e extinção ondulante em faixas. Forma estruturas sigmoidais, às vezes.

Os carbonatos ocorrem como porções irregulares ou distribuem-se aleatoriamente no filito. As vezes orientam-se segundo uma direção e, comumente, estão distribuídos nos níveis quartzosos. Exibem formas irregulares e a mesma tendência de reestruturação observada nos grãos de quartzo.

OXÍDO \ AMOSTRA	6	16	206	19/2	14	19	18b	155A	20	22	114.	18
SiO ₂	53.26	60.26	59.39	64.19	89.6	58.11	59.90	52.58	54.44	55.73	62.81	60.29
Al ₂ O ₃	21.19	16.34	16.28	14.99	2.71	15.80	12.74	20.87	19.87	20.04	13.89	16.01
CaO	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.09	0.16	0.05	0.04	0.05	0.09	0.15
MgO	0.69	0.95	1.72	0.74	0.17	0.65	2.49	0.74	0.50	0.80	0.56	1.59
Fe ₂ O ₃	7.10	5.88	7.34	2.91	1.14	9.81	13.47	8.57	7.95	5.13	8.56	6.78
TiO ₂	1.29	1.03	1.11	1.04	0.22	1.27	0.69	1.33	1.16	1.37	0.90	1.08
K ₂ O	5.07	4.97	3.67	4.13	0.82	3.25	1.89	5.16	3.06	5.80	3.97	3.99
Na ₂ O	0.29	0.21	0.18	0.23	0.09	0.16	0.17	0.20	0.16	0.30	0.21	1.00
Total	88.95	89.69	89.74	88.29	91.89	88.42	91.54	89.50	87.18	89.22	90.99	90.89

Tabela 3 - análises de fluorescência de raios-x em rocha total de metapelitos do Grupo Canastra (Hagemann, 1989).

Fe₂O₃ = Fe total

As amostras 6, 16, 206, 19/2 são de filitos alterados hidrotermalmente

A amostra 14 é de veio de quartzo mineralizado em ouro

As amostras 19, 18b e 155A são de sericita-quartzo-filito

As amostras 20, 22, 114 e 18 são de quartzo-filito

A clorita ocorre em lamelas associadas às faixas de ocorrência da sericita. A turmalina é o acessório mais comum.

3. A Mineralogia Sulfetada

Pirita é o mais abundante sulfeto da mineralização. Ocorre ubiquamente formando os ocelos constituintes dos "charutos"; forma também os ocelos centimétricos isolados dentro do pacote filítico; ocorre disseminada nos planos estruturais do filito, forma dobras, preenche fraturas, plano axiais de crenulação, etc., e ocorre ainda associada aos "boudins" de quartzo, como inclusão, preenchendo fraturas ou incrustadas em suas bordas externas. Sua principal forma de ocorrência é em agregados maciços, formando cristais idiomórficos, desenvolvidos, de tamanhos variados, cujas arestas vão de 0.01 mm. até 0.4 mm. aproximadamente. Seus agregados ocorrem sempre com um nítido controle estrutural, apresentando-se, ora concordantes com a foliação principal, ora cortando-a em planos de fraturamentos secundários ou preenchendo planos axiais da clivagem de crenulação.

Dentro deste controle estrutural podem ser detectadas duas gerações de pirita:

A primeira geração é caracteristicamente cisalhada, crenulada e apresenta-se como ocelos ou inteiramente cataclásada

(Fotos 5 e 6/Prancha 2). Os grãos são quebrados e em alguns pontos formam agregados coalescentes em intercrescimentos de contatos irregulares. Exibe uma variação textural que vai de fina a grosseiramente granulada. É dobrada, fraturada e em seus planos de descontinuidade se alojam os sulfetos de Cu, Pb, Zn. A granulação desta geração de pirita está intimamente associada à ação tectônica sofrida pela mesma: quando ocorre em regiões de alívio de pressão (charneiras de dobras, microboudins, planos axiais), apresenta granulação mais grosseira, inclusive com coalescência de grãos. Quando impregna o filito milonitizado ou ocorre em níveis compressivos, é finamente granular, com grãos, às vezes, de dimensões quase imperceptíveis ao microscópio petrográfico comum. A segunda geração de pirita ocorre na forma de micro-agregados granulares, cristais idiomórficos, não cisalhados. É maciça, sua granulação é inteiramente fina e está sempre associada aos planos axiais da clivagem de crenulação, ou em faixas maciças cujas relações com as estruturas não são nítidas. É afetada por duas gerações de fraturamentos, cujos planos estão preenchidos por quartzo e goethita, mas não apresenta sinais de deformação dúctil (Foto 7/Prancha 2).

Constituindo os minerais dos metais bases, a galena, a calcopirita e a esfalerita são os outros sulfetos mais frequentes no minério. Arsenopirita e pirrotita são subordinados e ocorrem frequentemente como inclusões da pirita. A arsenopirita às vezes atinge valores de até 1% como inclusões em secções de agregados maciços de pirita.

A esfalerita, com cristais que vão de 0.05 a

3.0mm, constitui agregados maciços de forma muito irregular, preenche planos de descontinuidade no filito ou preenche fraturamentos da pirita de primeira geração. As vezes assume feição sigmoidal. Apresenta frequentes inclusões de calcopirita, galena e pirita. As inclusões de pirita são bem desenvolvidas e chegam a atingir 0.35 mm, enquanto que as de calcopirita e galena não ultrapassam 0.1 mm.

A galena também forma massas muito irregulares distribuídas nas fraturas da pirita. Contém muitas inclusões de calcopirita e pirita. Em alguns cristais, as inclusões de calcopirita preenchem planos de clivagem e podem representar ex-solução deste mineral na galena.

A calcopirita forma cristais alotriomórficos bem desenvolvidos e preenche os espaços intergranulares da pirita "brechóide" (Foto 8/Prancha 2). Pode conter inclusões de galena, pirita, esfalerita e pirrotita. Alguns de seus cristais apresentam bordas alteradas para covelita.

A análise das texturas indica que há um relativo encaixamento da mineralização formada por calcopirita, galena, blenda e pirita de segunda geração nos planos axiais e fraturamentos da crenulação. Fato bem observado é seu alojamento nos planos de fraturamento da pirita crenulada de primeira geração, transformada em ocelos, conforme se observa na Foto 6/Prancha 2.

Apesar de as análises petrográficas revelarem partículas finíssimas de ouro associadas à goethita no material gossânico, em nenhum momento pode-se detectar ouro visível

associado aos sulfetos primários. Este problema pode estar associado a três causas principais:

a. pequena quantidade de sulfeto fresco disponível para confeccionar secções polidas;

b. granulação muito pequena do ouro livre, não visível ao microscópio ótico;

c. forma de ocorrência do mesmo, o qual pode estar associado aos sulfetos como micro inclusões, preenchendo diminutos fraturamentos ou tomando parte do retículo cristalino, impedindo sua visualização ótica.

Portanto, apesar de o ouro ser provavelmente um componente importante da mineralização primária, não foi possível, ao nível apenas dos dados petrográficos, caracterizar-lhe a forma ocorrência. Este fato impedirá uma tentativa de traçar-lhe um caminho mais preciso dentro do perfil de intemperismo.

4. Controle Estrutural da Mineralização

A mineralização, como um todo, apresenta um nítido controle estrutural associado à evolução de uma zona de cisalhamento dúctil e está relacionada à percolação de fluidos hidrotermais na mesma, com concentração de ouro, prata, e metais básicos (Neto e Mattos, 1990).

A Figura 15 de Sibson (1977) mostra esquematicamente a configuração das zonas de cisalhamento e seus produtos. Groves et al. (1987) realçam que a presença de zonas de alto "strain" ("shear zones"), circundadas por zonas de baixo "strain", que penetram profundamente a crosta, constituem sistemas importantes e preferenciais para a coleta e circulação de fluidos mineralizantes. Nestas zonas, a deformação dúctil é caracterizada pelo comportamento plástico e fluxo milonítico dos materiais, nos quais predominam mecanismos de cisalhamento simples.

Figura 15 - Modelo conceitual para uma zona de cisalhamento (Sibson, 1977).

Uma das respostas dos materiais sob deformação numa zona de cisalhamento dúctil é caracterizada pelo fenômeno "strain softening", o qual pode ser compreendido como um estado de relaxamento alcançado pelos materiais rochosos a partir de um determinado nível de pressão, em que adquirem um comportamento plástico-viscoso. Esta propriedade é extremamente importante para entender-se a configuração e mecânica das zonas de cisalhamento dúcteis, esclarecendo o porquê da tendência destas zonas concentrarem cada vez mais a deformação, impedindo de tal forma sua propagação para as regiões adjacentes, as quais geralmente permanecem indeformadas ou deformadas homoganeamente (Ramsay e Grahem, 1970).

Um dos principais produtos do "strain softening" nas zonas de cisalhamento duplo são os conhecidos "pods", que constituem regiões pouco ou nada deformadas, de formas elípticas podiformes, visualizadas em todas as escalas, fornecendo um aspecto anastomosado à foliação (Ramsay e Grahem, 1970).

Os depósitos de ouro ou outros metais nestas zonas de cisalhamento dúcteis são condicionados à existência de estruturas distencionais subordinadas às mega-estruturas. Portanto, suas concentrações serão localizadas, com controle estrutural muito específico, inerente a cada ZCD, apresentando ao prospector menos especializado na geologia estrutural destas feições, uma natureza aleatória e de difícil compreensão.

No ACS falta um estudo aior do controle estrutural para se estabelecer uma relação definitiva entre a fase de deformação e o processo de mineralização, bem como para

prognosticar as estruturas específicas dentro da zona de cisalhamento, onde as soluções mineralizadas preferencialmente se alojaram.

Dentro das observações realizadas neste trabalho, adicionadas aos dados produzidos pela METAGO, parece possível prever que as duas fases de deformação que atuaram na região serviram para remobilizar fluidos sulfetados para a zona de cisalhamento, formando na primeira fase os "ore-shoots" de pirita ocelar sem os metais bases e preciosos associados. Este fato é comprovado pela natureza de ocorrência da pirita de primeira geração, a qual está dobrada e sublinha a foliação milonítica e demais estruturas deformacionais, conferindo-lhe uma gênese sin-tectônica à fase de milonitização (S_n). A segunda fase de deformação ($S_n + 1$) que crenulou a foliação milonítica também afetou os "ore shoots" de pirita, cataclasando-os. Nesta fase, a mineralização polimetálica alojou-se nas fraturas da primeira geração de pirita, ocupando, às vezes, planos axiais ($S_n + 1$) no pacote de filito.

Os "pods" típicos das ZCD seriam representados pelos "charutos" em macro-escala e ocelos em micro-escala, formando o arcabouço estrutural no qual se alojou a mineralização de Cu, Pb, Zn.

VI. MINERALIZAÇÃO SECUNDÁRIA

1. Caracterização Macroscópica

No ACS, os gossans se apresentam como corpos ferruginosos de aspecto maciço, brechados, formando cristas alongadas segundo a foliação principal e com caimento suave para norte. Estas cristas interrompem o plano suave de caimento das vertentes, ressaltando-se na paisagem local como "cocarutos" decimétricos a métricos de largura, por alguns metros de comprimento, atingindo às vezes 10 m. (Fotos 9 e 10/Prancha 3).

Os gossans são compostos por dois tipos de materiais misturados em várias proporções. O primeiro deles é o produto da alteração dos sulfetos e constitui-se de material ferruginizado; o segundo são restos do filito, com textura parcialmente conservada e fortemente ferruginizado. As fácies encontradas nestes materiais são bastante variadas: maciça, escoriácea, geódica, xistosa, arenosa, conglomerática, bréchica, etc. O Anexo 2 apresenta descrições detalhadas das amostras coletadas em T6. De modo sucinto, o material pode ser assim descrito:

Rocha cinza avermelhada, às vezes amarelada, marcada por uma feição geral escoriácea, com cavidades que se apresentam de forma ligeiramente orientada em faixas que seguem

a foliação milonítica. É bem coesa, de densidade superior à do filito, aspecto característico brechóide, às vezes cisalhado e, em alguns locais preserva parcialmente as texturas foliares do filito, principalmente onde o material não deriva da oxidação de sulfetos maciços. As vezes chega a assumir aspecto arenoso ou de "osso decomposto" em função da deformação e recristalização do quartzo (Fotos 11 e 12/Prancha 3 e Figura 16). Pode ser dominada pela presença dos ocelos que variam de tamanho de alguns milímetros a alguns decímetros, sendo a dimensão mais frequente a de 2 a 3 centímetros.

Comumente os ocelos apresentam a seguinte estruturação, do centro para a borda (Figura 17):

- Núcleo: esponjoso, contendo cavidades de contornos retilíneos que variam em tamanho de milimétricas a centimétricas;

- Primeira borda interna: material relativamente maciço, com poucas cavidades cúbicas e retangulares; constituído por óxido de ferro vermelho - lilás em forma de agregados; subordinadamente, pode ocorrer material quartzo-sericítico amarelado intercalado.

- Segunda borda interna: material de aspecto semelhante ao da primeira borda, só que contém abundantes cavidades de dimensões menores que as da primeira borda.

- Borda externa: fina faixa amarelo-avermelhada, de aspecto bem compactado, formada pela mistura de óxidos de ferro, quartzo e sericita.

Estes núcleos de óxidos de ferro maciço apresentam contato gradativo com o filito em auréolas elípticas ou

Figura 16 - Desenho esquemático mostrando o aspecto "brechóide" característico do material gossânico.

Figura 17 - Desenho esquemático mostrando a estruturação mais frequente dos ocelos de pirita.

subarredondadas, cada vez mais ferrificadas quanto mais próximas dos núcleos ocelares. O material é menos coeso no domínio do filito. Na verdade, o filito, na maior parte do material, se apresenta apenas como finas faixas que separam os ocelos ferruginosos uns dos outros, formando mosaicos de estruturação irregular.

As auréolas de contato entre os ocelos e o filito apresentam "front" interdigitado, no qual a xistosidade do material filítico vai se tornando menos nítida à medida que se aproxima do núcleo maciço. A granulação dos cristais de sulfetos oxidados cresce da borda para o núcleo, apresentando-se sub-milimétrica na borda externa de reação com o filito a subcentimétrica no núcleo. Esta é a causa da variação de tamanho das cavidades herdadas pela lixiviação dos sulfetos dentro dos ocelos.

O filito inter-ocelar é dobrado, crenulado, comumente amarelado. É quartzoso, com grãos de quartzo estirados, formando faixas de "micro-pods" junto com a sericita (Foto 13/Prancha 3). Apresenta micro-dobras desarmônicas, micros-planos de deslocamento na xistosidade, crenulação (Foto 14/Prancha 3), dobras intra-foliáres, boudinamento de vênulas de quartzo e veios milimétricos de sulfetos oxidados concordantes com a foliação. Apresenta remanescentes da foliação primária, mas sempre numa configuração fragmentar, de natureza brechóide.

Dentro das cavidades dos ocelos ocorrem quartzo e óxidos de ferro micro-cristalinos, de origem secundária. Os óxidos de ferro às vezes assumem feições botrioidais ou

denteadas, enquanto o quartzo comumente forma cristais disformes (Foto 12/Prancha 4) ou, localmente, pequenos dentes de aspecto geódico. Estes óxidos de ferro são diferenciados daqueles provenientes diretamente da alteração dos sulfetos pela forma de cristalização (agregados cúbicos e retangulares nos segundos versus formas botrioidais e denteadas nos primeiros), e pela coloração (vermelho-sangue-lilás nos segundos versus amarelo-alaranjado ou cinza-escuro nos primeiros). Esses materiais de preenchimento assumem aspecto esponjoso, completamente dominado por micro-cavidades. Algumas cavidades apresentam paredes capeadas por fina camada quartzosa. Finas vênulas de quartzo leitoso às vezes os cortam.

Nas amostras provenientes das partes mais superficiais dos "charutos", aparecem canais que comumente interligam os ocelos entre si e são preenchidos por óxido de ferro vermelho-escuro maciço, muito coeso, semelhante àquele do preenchimento das cavidades descritas acima.

2. Aspectos Mineralógicos e Texturais dos Gossans

a. Mineralogia

A identificação ótica em seções delgadas e polidas da mineralogia das 21 amostras coletadas permitiu reconhecer quartzo, sericita, goethita, hematita, maghemita e diversos componentes mais ou menos hidratados de ferro, bem como grãos de ouro, na massa de goethita.

A composição mineralógica das 158 amostras de gossan foi avaliada através de um tipo de cálculo normativo (ver capítulo II), a partir da composição química e da informação fornecida pela difração de raios-X nas 21 amostras (Tabela 4). Essa tabela mostra que os principais minerais presentes são o quartzo, sericita, goethita e hematita. Além da composição mineralógica, a difração de raios-X indicou que a goethita possui em torno de 5% da molécula de AlOOH . Os resultados desses cálculos estão mostrados na Tabela 5.

Os valores para as 3 fases predominantes, quartzo, óxidos de ferro e sericita foram recalculados para 100% e projetados no diagrama da Figura 18. O diagrama representa ora o domínio do polo ferruginoso, quando a amostragem recaiu sobre os núcleos maciços de sulfetos oxidados, ora o domínio do polo rochoso, cujo componente principal é a sericita, quando a amostragem recaiu principalmente sobre o filito. O quartzo manteve uma variação mais estreita e, possivelmente, os maiores valores estão associados às amostras em que houve contribuição adicional de quartzo de precipitação supérgena. Os maiores teores de ouro encontram-se nas amostras com maiores teores de Fe_2O_3 , indicando a associação primária deste metal com os sulfetos.

Amostra	Mineralogia
01/T8	quartzo, goethita, sericita, (hematita)
02/T8	quartzo, goethita, sericita, hematita
03/T8	quartzo, goethita, sericita, hematita
04/T8	quartzo, goethita, sericita, ((hematita))
05/T8	quartzo, goethita, sericita, (((hematita)))
06/T8	quartzo, goethita, sericita, (((hematita)))
07/T8	quartzo, goethita, sericita, hematita
08/T8	quartzo, goethita, sericita, (hematita)
09/T8	quartzo, goethita, sericita,
10/T8	goethita, quartzo, ((sericita))
01/T6	goethita, quartzo, sericita, ((hematita))
02/T6	quartzo, goethita, sericita
03/T6	quartzo, goethita, sericita, (hematita)
04/T6	quartzo, goethita, sericita, ((hematita))
05/T6	quartzo, goethita, sericita, (hematita)
06/T6	quartzo, goethita, sericita, ((hematita))
07/T6	goethita, quartzo, ((sericita)), hematita
08/T6	goethita, quartzo, (sericita), ((hematita))
09/T6	quartzo, goethita, sericita, (hematita)
10/T6	quartzo, sericita, goethita, hematita
11/T6	goethita, quartzo, (sericita)

Tabela 4 - Mineralogia fornecida por difração de raios-x.

Os minerais entre parenteses são pouco abundantes.

	Min.	Max.	media	desvio padrao
Quartzo	0,1	37,9	17,5	7,2
Sericita	10,3	66,9	33,7	11,6
Ox-hidroxi.Fe	10,1	79,1	46,9	15,5

Tabela 5 - Composição mineralógica (% em peso) dos gossans (n=158).

Com a finalidade de estimar o grau de hidratação dos óxidos de ferro, foi efetuado o cálculo da porcentagem de H₂O na goethita teórica de fórmula: $(\text{Fe}_{0,95} \text{ Al}_{0,05})_2 \text{ O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Esse cálculo resultou no valor 10,28%. Comparando-se esse valor com aquele obtido no cálculo da razão $\text{H}_2\text{O oxII Fe, Al} \times 100 / \text{oxII Fe, Al}$ para as amostras estudadas, pode-se ter uma idéia do grau de hidratação destas. Assim, se o valor calculado for superior a 10,28%, a amostra apresentará provavelmente, além de goethita, óxidos de ferro amorfos hidratados. Caso contrário, a amostra apresentará provavelmente hematita. Para as 158 amostras estudadas, somente 27 apresentam valores dessa razão inferiores a 10,28%. A maior parte das amostras, portanto, deve apresentar óxidos de ferro mais hidratados que a goethita, como aliás já tinha sido observado nas seções polidas, ao microscópio ótico.

Figura 18 - Composição mineralógica das amostras (n = 158).

b. Texturas

As texturas réplicas detectadas nos gossans de São Bartolomeu, estão intimamente relacionadas às formas de ocorrência da pirita no minério primário. Assim, as seguintes feições são identificáveis nas análises microscópicas: ocelos de óxidos derivados de sulfetos maciços, faixas de contato entre os ocelos e o filito, faixas de quartzo-sericita, canais secundários preenchidos por óxidos de ferro, nodulações, sulfetos pseudomorfizados em óxidos disseminados no filito e camadas de sulfetos oxidados seguindo a foliação.

A goethita pode apresentar cristalização bem desenvolvida, com macro-cristais formando agregados, quando replica os núcleos dos ocelos de pirita, comumente com orientação pouco visível ao nível da secção petrográfica (Foto 16/Prancha 4). Quando substitui agregados micro-cristalinos de sulfetos primários, apresenta-se como agregados de granulação fina, orientados ou não, conforme a geração de pirita que replica (Foto 17/Prancha 4) e, quando representa a oxidação de grãos de sulfetos minúsculos presentes nas impregnações dos filitos, apresenta-se fibrosa, fibroradiada, como camadas seguindo a xistosidade ou como feição tipo "espinha-de-peixe" (Foto 11/Prancha 3). É reticulada e dentrítica quando sublinha bordas e fraturas de grãos de quartzo (Foto 18/Prancha 4). Quando observada em aumento de 500x, a goethita apresenta-se como cristais formados por uma mistura criptocristalina de coloração

avermelhada, amarelada e cinza escura, com diminutas porções da fase residual em seu interior. Assim observada, teria a configuração de "casa de abelha" com geometria cúbica.

A principal forma de ocorrência da goethita é a cúbica, mas são muito frequentes as formas retangulares, poligonais e triangulares, além de ramificações dendríticas. Frequentemente apresenta textura coloforme nos núcleos das cavidades dos "box-works" ou margens de canais. Esta é marcada pela alternância de faixas de óxidos com graus de cristalinidade e hidratação diferentes (Foto 19/Prancha 4).

Observada à luz transmitida, a goethita apresenta-se em várias nuances da cor vermelha. Quando forma os cristais bem desenvolvidos, de granulação média a grossa, assume coloração vermelho-sangue de tonalidade viva. Quando constitui os micro-agregados, sua coloração passa a vermelho-sangue sem tonalidade viva. Assume coloração marrom-avermelhada a castanha, quando representa a oxidação da mistura de cristais micro a criptocristalinos de sulfetos com filito intensamente cisalhado e, finalmente, aparece com coloração cinza-escuro-avermelhada quando o material não apresenta nenhum indício de desenvolvimento de cristalinidade, parecendo amorfa. Quaisquer desses tipos de goethita, além de replicar os cristais, podem aparecer preenchendo bordas internas de cavidades em "box-works". Neste caso, o material apresenta uma variação granulométrica que vai de criptocristalina no núcleo à granulação média a grossa nas bordas. A relação inversa também não é rara. Quando os cristais cinza-escuros são dominantes, as texturas réplicas tornam-se

camufladas e, portanto, suas relações com os sulfetos primários são pouco visíveis.

Quando a goethita pseudomorfiza cristais de calcopirita, ela aparece bem cristalizada, com granulação média a grossa, coloração vermelho-sangue vivo e, obedecendo à forma irregular do sulfeto primário, aparece alotriomórfica entre grãos de bordas regulares proveniente da pirita. Neste caso, as texturas coloformes são bem desenvolvidas, bem como são visíveis alguns cristais de goethita fibrorradiada.

A medida que se examinam amostras das porções mais superficiais dos gossans, os efeitos das ações pedogenéticas começam a surgir. Assim, o domínio textural passa de pseudomorfoses a completos esqueletos de "box-works". Estes são destruídos parcialmente, ficando apenas restos de antigos edifícios cristalinos. Suas cavidades são preenchidas por agregados xenomórficos de quartzo e óxidos supérgenos. Aparecem oólitos de óxidos de ferro dispersos e, como feição mais marcante, desenvolvem-se canais milimétricos a centimétricos, os quais são preenchidos por hematita, goethita e maghemita, numa estruturação zonada e simétrica em relação ao centro do canal (Figura 19). As margens externas dos canais são formadas por uma massa compacta de óxidos de ferro constituídos pela mistura íntima de goethita e maghemita. As margens internas são bordejadas por faixas simétricas alongadas de goethita fibro-radiada a acicular. A hematita forma glóbulos que aderem às bordas internas (Foto 20/Prancha.4). Nestes canais, ou outras cavidades sob a influência do meio externo, é muito frequente a

presença de crescimentos botriodais em uma estruturação textural e mineralógica semelhante à descrita acima (Figura 20).

A hematita cristaliza-se basicamente sob três formas: micro-cristalina, globular ou formando faixas alternadas com goethita nos coloformes. Além disso, constitui paredes internas ou externas em alguns "box-works" formados por goethita. Em outros pontos forma pseudomorfoses ou "box-works" isolados. Aparece em secções delgadas quase sempre com coloração preta, praticamente opaca e de difícil distinção da goethita cinza-escuro-avermelhada. Em secções polidas é melhor identificada porque aparece com coloração branco brilhante quando próxima da goethita, e com poucas inclusões ou reflexões internas.

A maghemita, constituindo as paredes dos canais, aparece sempre maciça.

A sericita e quartzo constituem o polo silicatado, e são comumente envolvidos pelo plasma ferruginoso. Formam faixas alongadas, micro-pods, micro-dobras ou crenulações entre os agregados maciços de sulfetos oxidados. Dentro destes podem constituir micro-xenólitos parcialmente assimilados.

A sericita pode apresentar-se bastante deformada, e aí dispõe-se em pacotes dispersos por todo material, com foliação cisalhada e caótica, cujos contornos externos e clivagens são sublinhadas pelos óxidos de ferro. Em locais onde predomina o polo silicatado, apresenta-se parcialmente bem orientada, alternada com faixas de grãos de quartzo estirados, caracterizando bem a textura granolepidoblástica.

Figura 19 - Canal preenchido por goetita, hematita e maghemita numa estruturação zonada e simétrica em relação ao centro do canal.

Figura 20 - Crescimentos botrioidais de hematita nas bordas internas dos canais.

O quartzo ocorre estirado seguindo a foliação, ou boudinado. É constituído por diminutos grãos (0.1mm - 0.2mm), xenomorfos a hipidiomorfos e com extinção ondulante. Forma comumente agregados policristalinos de contornos irregulares, os quais são sempre sublinhados por óxidos de ferro formando reticulados ferruginosos disformes. Em geral, não apresenta sinais de corrosão. Existe também uma outra forma de quartzo que preenche as cavidades e demais vazios, principalmente nas partes mais superficiais do perfil. Constitui agregados de grãos xenomórficos, micro-cristalinos, parecendo ser de origem secundária (Foto 15/Prancha 4).

O ouro ocorre em finíssimas partículas (0.05mm - 0.1mm) inclusas em massa ferruginosa que pode ou não estar pseudomorfizando grãos de sulfetos. Comumente forma cristais hipidiomórficos com algumas faces bem definidas e em contato brusco com a massa ferruginosa (Fotos 21 e 22/Prancha 5). Em algumas circunstâncias, pode apresentar contornos irregulares e parece estar intercrescidos com a goethita (Fotos 23 e 24/Prancha 5), mas essas relações são muito obscuras e não podem ser visualizadas nitidamente. Em exame sob lupa binocular, podem-se observar grãos de ouro em associação íntima com óxidos de ferro, parecendo que apresentam inclusões de goethita.

Outra feição comum dos grãos de ouro encontrados nos gossans é a presença de uma textura rugosa, micro-globular, nas faces dos cristais. Entre nicóis cruzados, a extinção dos mesmos não é totalmente homogênea, ressaltando-se linhas de possíveis "crescimentos" mas, de difícil visualização e pouca

nitidez.

3. Geoquímica

a. Tratamento Estatístico

Com a finalidade de caracterizar os materiais estudados com respeito à sua composição multielementar e investigar a relação entre os diferentes elementos, procedeu-se ao tratamento estatístico dos dados químicos.

a.1. Tratamento Univariável

A Tabela 6 mostra os parâmetros estatísticos calculados para as 26 variáveis analisadas em uma população de 158 amostras.

As médias caracterizam o material quanto à abundância de cada elemento. As medianas também se prestam a essa finalidade, apresentando a vantagem de não serem tão sensíveis quanto as médias aos valores extremos. De modo geral, para os materiais estudados, seus valores são mais baixos que os das

médias, principalmente no caso dos elementos Ag, Cu, Pb, Zn e Au, que são justamente aqueles que apresentam, em algumas amostras, valores anômalos bem elevados.

O desvio-padrão, referido porcentualmente à média (coeficiente de variação), dá uma boa indicação do grau de variação dos teores em torno da média. Elementos cujos teores estão sempre muito próximos do limite de detecção do método analítico utilizado apresentarão coeficiente de variação muito baixo. Como os teores medidos para esses elementos têm pouco significado, resolveu-se excluí-los da análise que se segue. Para isso, arbitrou-se para os traços um valor mínimo de coeficiente de variação igual a 0,45, abaixo do qual ficam o Bi, Be, Mo, Sn, Zr, Sr, Nb, Ba e Ga. Os valores de Ag(2), dosados por emissão ótica, também foram excluídos porque a dosagem desse elemento é muito mais precisa por absorção atômica. Os valores para essa dosagem, expressos na Tabela como Ag(1) serão doravante referidos apenas como Ag.

Na última coluna da Tabela 6 são mostrados os teores médios dos elementos-traços na crosta terrestre (clarkes), com a finalidade de compará-los com os valores encontrados nos materiais estudados. Essa comparação, feita tanto com relação à média, como com relação à mediana, mostra que Ag, Cu, Pb, Zn e Au apresentam-se bastante enriquecidos nos gossans, constituindo sua assinatura geoquímica característica. Quase todos os demais elementos considerados estão aí muito pouco enriquecidos ou empobrecidos.

Elementos	Maximo	Minimo	Amplitude	Media	Mediana	Desvio-padrão	Coefficiente de variacao	Clarke
Ag(1)	83	0,5	82,5	3,9	2	7,1	1,89	0,07
Cu	350	10	240	135,1	120	68,5	0,51	55
Pb	3.200	35	2.165	855,4	670	576,8	0,67	13
Zn	2.565	25	2.540	624,3	215	680	1,09	70
Au	29,86	0,1	28,96	2	0,4	4,2	2,10	0,004
B	150	7	143	33,7	30	26,4	0,78	10
Bi	7	7	-	7	7	0	0	0,2
Be	2	0,7	1,3	1,4	1,5	0,3	0,21	2,8
Li	7.800	700	6.300	2.342,4	3.800	1.373,8	0,41	4.400
Mo	7	2,5	4,5	3,6	3,5	0,5	0,13	1,5
Sn	7	5	2	6,1	7	1	0,17	2
V	200	10	190	69,5	70	32,9	0,47	135
Ag(2)	20	0,25	19,75	1,2	0,5	2,7	2,17	0,07
Zr	200	50	150	103,5	100	34,4	0,33	165
Y	70	10	60	39,3	50	17,7	0,45	33
La	70	14	56	25,8	20	12	0,47	30
Sc	70	7	63	16,6	15	7,9	0,48	22
Sr	70	50	20	69,6	70	2,7	0,04	375
Nb	10	7	3	7,9	7	1,4	0,17	20
Ba	500	50	450	268,8	300	115,6	0,43	425
Ga	30	3,5	26,5	16,5	15	7,4	0,45	15
Al ₂ O ₃	26	5,9	20,1	14,2	14,5	4,1	0,29	
FeO	0,5	0,01	0,49	0,3	0,25	0,1	0,47	
Fe ₂ O ₃	67,7	8,8	56,9	40,6	40,95	13,4	0,33	
SiO ₂	61,5	10,2	51,1	32,7	33,15	10,5	0,32	
PF	10,8	3,65	7,15	7,2	7,25	1,9	0,26	

Tabela 6 - Parâmetros estatísticos da população em estudo (n=158)

Teores expressos em porcentagem: FeO, Fe₂O₃, SiO₂ e PF

Teores expressos em ppm: demais elementos

Ag(1) - dosagem da prata por absorção atômica

Ag(2) - dosagem da prata por emissão ótica

Foram construídos histogramas de frequência dos teores para cada elemento, com a finalidade de visualização das distribuições (Figura 21). Ag, Pb, Zn, Cu e Au mostram distribuições assimétricas positivas, com poucos valores muito superiores à média. São distribuições que se assemelham à log-normal, comumente encontrada para os elementos-traços nos materiais geológicos (Ahrens, 1966). Para o B, Ti, V, Y, La e Sc, o método analítico utilizado (emissão ótica) leva ao agrupamento dos teores em faixas descontínuas, o que prejudica a avaliação visual da forma da distribuição. Os elementos maiores, expressos por seus óxidos, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 e PF mostram distribuições menos assimétricas, indicando que tanto valores maiores, como valores menores que as médias, estão igualmente representados.

a.2. Tratamento Multivariável

a.2.1. Correlação

Foi calculado o coeficiente de correlação Pearson para cada par de variáveis padronizadas. A Tabela 7 mostra os valores para os quais a hipótese H_0 de $r=0$, isto é, que não há correlação entre as variáveis, pode ser excluída num nível de confiança de 99%.

Figura 21 - Histogramas de frequências dos teores (frequência expressa em número de casos).

	Ag	Cu	Pb	Zn	Au	B	Ti	U	Y	La	Sc	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	pf
Ag	-															
Cu	-	-														
Pb	-	0,2418	-													
Zn	-	-	0,5436	-												
Au	-	-	-	-	-											
B	-	-	-	-0,3522	-											
Ti	-	-	-0,2117	-0,2682	-0,2099	0,4367										
U	-	-0,2376	-0,4041	-0,6823	-	0,6425	0,4649									
Y	-	-	-0,3711	-0,4107	-0,2219	0,3869	0,5625	0,5429								
La	-	-	-	-	-0,2152	0,4758	0,4363	0,4281	0,3455							
Sc	-	-	-0,2373	-0,2599	-	0,2784	0,4425	0,3799	0,5481	0,3824						
Al ₂ O ₃	-	-0,2448	-0,2693	-0,3381	-0,2644	0,6432	0,6785	0,6817	0,5897	-0,5038	0,4328					
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Fe ₂ O ₃	-	0,2898	0,3991	0,5968	0,2828	-0,7244	-0,6206	-0,8261	-0,6374	-0,5263	-0,4534	-0,8758	-			
SiO ₂	-	-0,2692	-0,4740	-0,7275	-0,2272	0,6823	0,5299	0,8462	0,6346	0,4996	0,4179	0,7518	-	-0,9683		
pf	-	-	0,5217	0,8080	-	-0,3566	-0,2147	-0,6765	-0,3819	-	-0,2412	-0,3836	-	0,6226	-0,7411	-

Tabela 7 - Coeficientes de correlação Pearson para pares de variáveis
(rejeição da hipótese H₀ para um nível de confiança de 99%).

A análise da Tabela 7 indica que podem ser identificados 2 grupos de variáveis. Em cada um deles as variáveis apresentam entre si correlações positivas e correlações negativas com as variáveis do outro grupo. Assim, fica definido o grupo da SiO_2 e Al_2O_3 que também abrange o B, Ti, V, Y, La e Sc, e o grupo do Fe_2O_3 e PF que inclui o Zn, Pb, Cu e Au. FeO e Ag não apresentam coeficientes de correlação significativos com nenhum dos dois grupos. Esses grupos correspondem aos dois tipos de materiais que compõem as amostras: o material rochoso, formado por fragmentos de rocha ferruginizada, composto essencialmente por quartzo e serícita, e o material ferruginoso, proveniente da oxidação dos sulfetos e formado essencialmente por óxidos de ferro, mais ou menos hidratados.

Com a finalidade de investigar mais detalhadamente o comportamento do ouro, foi elaborada a Tabela 8, onde constam os coeficientes de correlação deste elemento com os demais, para o total das amostras e, separadamente, para as amostras mais ricas em Au ($\text{Au} > 0,99$) e para as amostras mais pobres em Au ($\text{Au} < 0,99$). Estão marcados os valores de r para um nível de confiança maior que 95%. Com relação ao conjunto de dados, permanece a tendência já apontada: o Au pertence ao grupo do Fe_2O_3 , apresentando, no entanto, valores muito baixos de r com relação ao Cu e Zn; a esse nível de confiança, um pouco mais baixo que o utilizado anteriormente, a Ag se mostra correlacionada positivamente com o Au. Quando se examina o sub-conjunto das amostras mais ricas em Au, as correlações do Au com o Fe_2O_3 e Ag aumentam, enquanto que aquelas para o Cu, Pb e

Zn diminuem. De fato, a correlação desses elementos com o Au é maior para as amostras pobres em Au.

	Total das amostras	Au > 0,99ppm	Au < 0,99ppm
SiO ₂	-0,23 [*]	-0,24	+0,02
Al ₂ O ₃	-0,26 [*]	-0,18	-0,15
Fe ₂ O ₃	+0,28 [*]	+0,32 [*]	+0,06
PF	+0,19 [*]	+0,18	-0,16
Cu	+0,09	+0,06	+0,13
Pb	+0,17 [*]	+0,08	+0,19 [*]
Zn	-0,08	-0,08	+0,25 [*]
Ag	+0,17 [*]	+0,39 [*]	+0,01
Y	-0,22 [*]	-0,19	-0,05
B	-0,18 [*]	-0,17	-0,09
Ti	-0,21 [*]	-0,29 [*]	-0,12
V	-0,20 [*]	-0,26	-0,03
Sc	-0,20 [*]	-0,20	-0,13
La	-0,22 [*]	-0,24	-0,19 [*]
n	158	45	113

Tabela 8 - Coeficientes de correlação com o Au para o total das amostras e para as sub-populações nas quais Au > 0,99ppm e Au < 0,99ppm. Os valores com * apresentam um nível de confiança maior que 95%.

Na Tabela 9, aparecem os coeficientes de correlação de Au com Ag, Cu, Pb e Zn para sub-populações definidas em função de valores mínimos nos teores de Fe₂O₃. Com o aumento do limite mínimo de Fe₂O₃, vão sendo consideradas

sub-populações de amostras onde o polo ferruginoso predomina e onde, portanto, essas correlações vão sofrendo cada vez menos a influência do efeito diluidor do polo silicatado. Deve-se, assim, esperar que, em direção aos valores maiores de Fe_2O_3 , as correlações apareçam melhor. De fato, para a Ag, o coeficiente de correlação com o Au é importante nas amostras mais ricas em Fe_2O_3 . Para os demais elementos, no entanto, fica abaixo do limite de confiança considerado. Nota-se, de qualquer forma, que para o Pb os coeficientes de correlação Pb-Au são crescentes com o aumento de teor em Fe_2O_3 ; no caso do Zn, são cada vez mais negativos e para o Cu se mantêm próximos de zero.

	$\text{Fe}_2\text{O}_3 > 30\%$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 > 40\%$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$
Au-Ag	0,15	0,12	0,53
Au-Pb	0,14	0,16	0,20
Au-Zn	-0,16	-0,21	-0,30
Au-Cu	0,01	0,01	0,00
n	125	83	38

Tabela 9 - Coeficientes de correlação do Cu, Pb, Zn e Ag com o Au, para as sub-populações nas quais $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 30\%$, 40% e 50% . Os valores com * apresentam um nível de confiança maior que 95%

Desta análise, resulta a conclusão de que dentro da grande associação Fe_2O_3 -PF-Cu-Pb-Zn-Au-Ag há duas sub-associações: Fe_2O_3 -PF-Cu-Pb-Zn e Fe_2O_3 -PF-Au-Ag. O ouro, portanto, embora associado ao Fe_2O_3 , não parece associado ao Cu, Pb e Zn. Esses elementos, no entanto, servem para marcar materiais derivados da alteração de sulfetos em oposição aos materiais lateríticos que, embora também ricos em ferro, não seriam portadores de ouro. Além disso, esse estudo também revelou a correlação Au-Ag nas amostras ricas em Au, o que não era evidente da análise da totalidade das amostras.

a.2.2. Variação das Médias Para as Faixas de Teores de Fe_2O_3 e Au

Prosseguindo a investigação do comportamento dos elementos, uns com relação aos outros, foi elaborada a Tabela 10 na qual constam as médias dos teores dos elementos-traços, calculadas para as sub-populações definidas em função de valores mínimos de Fe_2O_3 e para as sub-populações definidas em relação ao teor de Au.

O grupo de elementos B, Ti, V, Y, La e Sc mostra suas médias decrescendo regularmente com o aumento do teor em Fe_2O_3 da sub-população considerada. As médias para a população mais rica em Au são menores que para a população menos rica em

Au. Esses dados confirmam mais uma vez a associação desses elementos com o polo rochoso, pobre em Fe_2O_3 e pobre em Au.

	Total	$\text{Fe}_2\text{O}_3 > 20\%$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 > 30\%$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 > 40\%$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 > 60\%$	Au > 0,99ppm	Au < 0,99ppm
Ag	3,89	4,12	4,44	5,32	4,5	4,13	5,02	3,43
Cu	135,0	140,0	148,0	151,0	139,0	118,0	146,0	130,0
Pb	855,0	873,0	925,0	1.012,0	1.197,0	1.233,0	1.041,0	781,0
Zn	624,0	659,0	739,0	892,0	1.306,0	1.584,0	558,0	653,0
Au	2,01	2,13	2,46	2,97	3,28	4,79	6,28	0,31
B	34,0	31,0	25,0	18,0	12,0	9,0	25,15	37,0
Ti	3.342,0	3.244,0	3.031,0	2.736,0	2.213,0	1.493,0	2.904,0	3.576,0
V	69,0	65,0	59,0	51,0	34,0	18,0	60,0	73,0
Y	39,0	38,0	36,0	31,0	21,0	15,0	33,0	42,0
La	26,0	24,0	23,0	21,0	20,0	17,0	21,0	28,0
Sc	16,0	16,0	15,0	14,0	10,0	8,0	14,0	18,0

Tabela 10 - Médias dos teores dos traços para o total das amostras e para sub-populações.

Com relação ao grupo formado por Cu, Ag, Pb, Zn e Au, a situação é mais complexa. Apenas o Pb, Zn e Au se comportam segundo o esperado, isto é, com teores médios crescentes nas sub-populações mais ricas em Fe_2O_3 . Ag e Cu mostram comportamento irregular, apresentando médias máximas nas faixas de teores de Fe_2O_3 intermediárias. Com relação ao Au, o grupo todo, com exceção do Zn, tem comportamento regular: está enriquecido nas amostras mais ricas em Au.

Em vista destes resultados, a conclusão que se pode tirar até o momento é que o Pb é o elemento do polo ferruginoso que tem o comportamento mais coerente com o comportamento do ferro e com o Au, e que é, portanto, o melhor elemento a ser utilizado na identificação dos gossans auríferos.

a.2.3. Análise dos Componentes Principais

Este procedimento consiste em calcular, a partir da matriz de correlação das variáveis padronizadas, novas variáveis formadas por uma combinação linear das variáveis originais e que explicam parte da variância total dos dados (Davis, 1973). O cálculo foi efetuado para 158 amostras e 13 variáveis: Ag, Cu, Pb, Zn, Au, B, Ti, V, Y, La, Sc, Al_2O_3 e Fe_2O_3 . SiO_2 e PF foram excluídas porque Al_2O_3 e Fe_2O_3 já representam suficientemente bem os dois polos considerados.

A Tabela 11 mostra a porcentagem da variância

total explicada para os 13 componentes principais calculados a partir dos autovalores extraídos da matriz de partida. O CP1 explica 42% da variância total e o CP2 explica mais de 11%. Assim, o modelo de 2 componentes principais, explicando mais de 50% da variância total, é adequado para descrever o comportamento das amostras.

Na Tabela 12 estão indicados os pesos com que cada variável entra no CP1 e no CP2.

A Figura 22 ilustra graficamente a composição de cada um dos CPs considerados. Assim, o CP1 é carregado positivamente nos elementos que acompanham o Fe_2O_3 e negativamente nos elementos que acompanham o Al_2O_3 . Serve, portanto, para separar as amostras onde predominam o polo ferruginoso daquelas onde predomina o polo silicatado. Já o CP2 apresenta os maiores coeficientes positivos para o Au e Ag e os maiores coeficientes negativos para o Pb e Zn. Deve então separar, entre as amostras originalmente ricas em sulfetos, aquelas ricas em Au e Ag, daquelas ricas em Pb e Zn. A análise dos coeficientes de correlação do Au para as amostras mais ricas e mais pobres nesse elemento já havia, aliás, indicado que era possível distinguir um grupo de variáveis englobando o Au e Ag e outro relacionado ao Cu, Pb e Zn. O Fe_2O_3 faria parte de ambos os grupos. A posição de equidistância do Fe_2O_3 em relação aos agrupamentos Au-Ag e Pb-Zn, muito bem evidenciada na Figura 22, confirma esse resultado.

Componente Principal	Autovalor	Porcentagem de variança	% variança acumulada
1	5.46606	42.04661	42.04661
2	1.44914	11.14724	53.19385
3	1.08910	8.37771	61.57156
4	1.06884	8.22188	69.79344
5	.90829	6.98687	76.78031
6	.73792	5.67634	82.45665
7	.55380	4.25998	86.71664
8	.52091	4.00700	90.72364
9	.36875	2.83652	93.56016
10	.32723	2.51716	96.07732
11	.28099	2.16144	98.23876
12	.17687	1.31436	99.55312
13	.05810	.44688	100.00000

Tabela 11 - Autovalores e porcentagem de variança total explicada para os 13 componentes principais calculados.

Ag (1, 1)	0.084144	(1, 2)	0.288365
Cu (2, 1)	0.131261	(2, 2)	-0.136798
Pb (3, 1)	0.197673	(3, 2)	-0.504873
Zn (4, 1)	0.257406	(4, 2)	-0.545225
Au (5, 1)	0.138832	(5, 2)	0.325757
B (6, 1)	-0.309769	(6, 2)	-0.164774
Ti (7, 1)	-0.306437	(7, 2)	-0.163371
V (8, 1)	-0.364587	(8, 2)	0.166285
Y (9, 1)	-0.31991	(9, 2)	0.013122
La (10, 1)	-0.25198	(10, 2)	-0.365603
Sc (11, 1)	-0.247916	(11, 2)	-0.070479
Al (12, 1)	-0.369669	(12, 2)	-0.138292
Fe ³ (13, 1)	0.405464	(13, 2)	-0.020657

Tabela 12 - Pesos das variáveis em CP1 e 2

Figura 22 - Projeção das variáveis no espaço dos CP1 e CP2.

A situação das amostras no modelo de 2 componentes principais é mostrada na Figura 23. As amostras com valores mais baixos de CP2 (metade inferior da figura) distribuem-se por toda a faixa de variação de CP1, o que quer dizer que tanto os materiais silicatados, como os materiais ferruginosos, podem ser desprovidos de teores mais altos em Ag e Au. No entanto, as amostras com CP2 elevado (quadrante NE da figura) são também amostras com CP1 elevado, indicando que, se o alto teor em Fe_2O_3 não é condição suficiente para se encontrarem altos teores em Au e Ag, é condição necessária.

Em resumo, a análise dos componentes principais veio confirmar a hipótese de que entre as amostras ricas em Fe_2O_3 , e, portanto, resultantes da oxidação dos sulfetos

de ferro, também são aquelas ricas em Cu, Pb e Zn e em Au e Ag, não estando, entretanto, esses dois grupos associados.

Esta pode ser uma feição herdada do minério primário e, nesse caso, significaria que Au e Ag estão associados à pirita e não aos sulfetos de Cu, Pb e Zn. Mas pode também ser uma feição adquirida durante o processo intempérico: Au e Ag, embora associados primariamente aos sulfetos de Cu, Pb e Zn, com a oxidação mostram comportamento discrepante em relação a eles e vão se acumular em pontos distintos dos gossans. Esta última hipótese parece mais provável, considerando-se que a associação de Au e Ag com sulfetos de metais base são frequentes no contexto tectônico de evolução de uma zona de cisalhamento, relacionados a sua fase deformacional tardia, rúptil, e comumente de natureza "brechóide".

Figura 23 - Projeção das amostras no espaço dos CP1 e CP2.

b. Comparação Entre os Gossans Estudados e Alguns Descritos na Literatura, Com Relação aos Dados Geoquímicos

Nickel (1982b e 1984), estudando a geoquímica e mineralogia dos gossans de Teutonic Bore e Whim Creek, sobre depósitos de sulfetos de Pb-Zn-Cu-Ag, no oeste e norte da Austrália, respectivamente, chegou a uma associação muito semelhante à estabelecida para os gossans de São Bartolomeu. Resultados semelhantes foram também obtidos por Togbe et al. (1990), ao estudarem as variações geoquímicas dos gossans situados na unidade estrutural de Atacora, Togo (Tabela 13).

Sanzolone e Domenico (1985) avaliaram o conteúdo de elementos traços em quatro minas no Distrito Mineiro de Cu-Zn West Shasta na Califórnia, e observaram pequenas diferenças em seus teores quando comparados valores da rocha parcialmente alterada com amostras de gossan. As quatro minas apresentaram teores bastante variáveis em relação ao conteúdo dos elementos, tanto quando comparado um sítio com outro, quando comparadas amostras do mesmo sítio. A assembléia melhor ressaltada desses materiais inclui Cu-Zn-Pb-As-Mn-Sn-Au-Ag.

Outra informação que se pode tirar da assembléia geoquímica característica dos gossans do ACS, ainda por comparação com os dados bibliográficos, é a natureza química distintiva desses materiais em relação aos materiais lateríticos.

LOCALIDADE	ELEMENTOS QUÍMICOS																						
	Ag	Cu	Pb	Zn	Au	B	Bi	Be	Ti	Mo	Sn	V	Zr	Y	La	Sc	Sr	Hf	Ba	Ga	Ni	Co	Cr
SAO BARTOLOMEU (Goiás)	3,90	135,1	855,4	624,30	2,000	33,7	7,00	1,4	3.342,4	3,6	6,1	69,5	103,5	39,3	25,0	16,6	69,6	7,9	268,8	16,4	-	-	-
IOGO (Africa)1	-	54,1	-	2.986,50	-	-	-	-	-	-	-	30,7	31,5	42,9	19,4	5,5	22,9	3,0	1.642,7	-	133,50	81,70	20,6
TAMBO - GRANDE (Peru)2	2,50	308,1	483,4	75,99	0,192	5,0	49,00	-	3.201,2	15,7	27,6	163,2	366,0	-	-	-	307,5	-	2.624,1	-	4,10	5,25	33,0
BODENAC (Espanha)2	5,70	1.907,4	883,1	123,30	0,070	10,3	209,50	-	1.027,6	2,2	18,0	47,5	161,2	-	-	-	14,6	-	125,8	-	4,90	30,00	33,0
ROUEZ (França)2	0,80	255,6	1.592,0	115,00	0,972	43,2	15,00	-	2.516,1	9,1	34,0	45,6	115,4	-	-	-	23,3	-	112,5	-	6,60	5,00	31,5
SAIN BEL (França)2	4,90	215,7	299,9	39,80	0,230	29,9	27,00	-	7.962,3	85,6	20,2	109,3	360,0	-	-	-	307,7	-	4.557,6	-	32,60	12,60	91,3
CHIZENIL (França)2	4,70	849,6	170,9	2,90	0,121	6,2	7,70	-	1.016,0	21,9	20,6	11,3	132,5	-	-	-	238,4	-	2.335,6	-	22,70	5,00	59,9
IMARSIG-FILLOU SUR (Espanha)2	50,70	770,7	0.360,7	73,60	1,213	9,3	130,40	-	3.916,9	9,2	360,6	50,7	166,7	-	-	-	34,7	-	404,8	-	8,10	50,00	66,7
PRADO VICIOSO (Espanha)2	14,70	552,3	4.553,1	258,70	0,405	39,3	160,20	-	3.189,3	9,7	399,4	40,2	117,1	-	-	-	67,8	-	119,4	-	13,50	34,70	46,5
JUDAL SAYID (Arábia)2	1,70	1.000,0	355,7	300,00	0,642	5,0	5,00	-	1.933,1	60,7	41,5	86,4	55,9	-	-	-	736,5	-	1.241,4	-	3,00	5,00	19,6
LA CHABANNE (França)2	0,51	111,4	99,8	90,70	0,050	37,9	0,64	-	3.794,1	107,1	19,8	965,2	147,9	-	-	-	104,7	-	1.543,4	-	152,00	11,90	204,0
LA ZORZA (Espanha)2	0,13	247,8	26,3	193,20	0,062	24,4	5,00	-	1.841,0	1,5	20,1	119,0	39,6	-	-	-	21,2	-	105,6	-	2,60	5,00	46,3
HATHOTH MINE (California)3	76,70	43,5	91,8	50,00	9,500	31,1	67,50	-	-	43,7	40,7	31,7	18,7	18,5	-	-	-	-	22,0	-	-	-	39,7
SPREAD EAGLE MINE (California)3	1,60	15,5	0,7	N.A	2,000	10,1	2,00	-	-	9,0	3,9	23,7	16,4	15,3	-	-	-	-	20,4	-	-	-	N.A
TEUTONIC BORE (Australia)4	15,00	1.000,0	6.000,0	800,00	-	-	37,00	-	400,0	-	-	2.732,0	233,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N.D
IRON MOUNTAIN MINE (California)3	15,00	10,0	2,5	15,30	7,500	14,7	1,90	-	-	10,5	49,6	13,6	19,3	20,3	-	-	-	-	3,3	-	-	-	23,4

Tabela 13. Conteúdo geoquímico em ppm de elementos traços em gossans de diferentes ambientes de oxidação.

FONTE: 1 - Blot e Magat (1989)

2 - Wilhelm e Kosakevitch (1979)

3 - Sanzolone e Domenico (1985)

4 - Nickel (1984).

Em uma aproximação geral, Wilhelm e Kosakevitch (1979) afirmam que gossans sobre jazidas sulfetadas podem apresentar as seguintes assembleias geoquímicas em função do ambiente de oxidação:

- 1 - Ambientes não-carbonatados (intensa lixiviação se ocorre abundante pirita): Pb, Ag, Mo, Sn, Sb, Bi, Hg ou As. São deficientes em Cu, Zn e Mn.
- 2 - Ambientes carbonatados (pouca lixiviação): Cu, Pb, Zn, As, Bi, Na_2O , K_2O e outros traços móveis presentes no sulfeto primário.

Já os materiais laterizados são mais caracteristicamente enriquecidos em elementos traços como Cr, Ti, V, Mn, P e, acessoriamente, Cu-Zn, conforme o grau de evolução da alterita. Os elementos traços ligados aos sulfetos primários e, particularmente Mo, apresentam nestes materiais teores inferiores aos seus limites de detecção analítica. Portanto, geoquimicamente, fica bem caracterizada a natureza gossânica das formações ferruginizadas em estudo: enriquecidas em Cu-Pb-Zn-Au-Ag.

A Tabela 13, procura estabelecer comparação entre o conteúdo de diversos elementos-traços em gossans polimetálicos mineralizados economicamente e situados em diversas partes do planeta com os gossans de São Bartolomeu. Tais gossans sofreram evolução em variadas condições ambientais e suas mineralogias primárias, tanto do minério, como da encaixante, também são consideravelmente distintas para cada depósito. Pode-se perceber,

no entanto, que apesar das variações nas condições ambientais de alteração de cada depósito, uma assinatura geoquímica geral (semelhante àquela estabelecida por Wilhelm e Kosakevitch, 1979), pode ser estabelecida para esses materiais: Cu-Pb-Zn-Ag-Sb-Mo-Sn-Bi-Hg-As-(Ni-Au), ressaltando sempre a assembléia característica da associação sulfetada subjacente ao gossan.

4. A Evolução do Perfil

Os agentes do intemperismo, sendo derivados principalmente da atmosfera, comumente decrescem em concentração com o aumento da profundidade e, portanto, a alteração de corpos de sulfetos, geralmente, forma perfis de intemperismo verticalmente zonados, com minerais em estados de oxidação crescente em direção à superfície.

Em São Bartolomeu, não se conseguiu acompanhar o zonamento do perfil de alteração dos corpos de sulfetos devido a dois fatores principais: a forma de ocorrência do minério maciço ("charutos" descontínuos) e o grau avançado do processo de oxidação do minério, homogeneizando os volumes de alteração presentes. No entanto, pode-se, ainda, acompanhar as principais mudanças mineralógicas através de relictos dos sulfetos primários dispersos em todo o gossan.

Antes de ser exumado e submetido à alteração supérgena, os corpos de minério passaram provavelmente por um processo de alteração hidrotermal. Uma evidência desse processo são os veios de goethita e quartzo cortando cristais de faces planas de pirita, totalmente inalterados (Foto 5/Prancha 2).

O início da alteração supérgena em profundidade (baixo Eh) começou quando as soluções do intemperismo invadiram planos de fraqueza da pirita cisalhada (fraturas, clivagens, etc). Formaram-se nessas descontinuidades óxidos de ferro mais ou menos hidratados e alguma goethita, formando uma rede poligonal aberta. A precipitação do ferro foi "in situ" ao longo das direções cristalográficas da pirita (Foto 25/Prancha 6).

Em Ehs mais elevados, a pirita foi fortemente corroída. Seus restos permaneceram como cristais de contornos extremamente irregulares (Foto 26/Prancha 6). Estes cristais, na maioria dos casos apresentam contatos diretos com os óxidos de ferro, alguns identificados como goethita. O processo de pseudomorfização é intenso neste estágio.

Em um estágio mais avançado, os sulfetos são quase totalmente corroídos, restando apenas alguns núcleos submilimétricos no centro das pseudomorfoses. Localmente, desenvolve-se textura coloforme (Foto 27/Prancha 6).

No topo do perfil, sob influência pedogenética, passa-se ao predomínio de "box-works"; ocorre a destruição parcial dos mesmos e remobilização do ferro, preenchendo cavidades, canais, formando nodulações, cutans, etc (Fotos 28 e 29 e 30/Prancha 6).

VII. ANÁLISE DO PROBLEMA DO OURO

1. Generalidades

Um dos objetivos deste trabalho foi estudar a provável causa da concentração do ouro nas porções mais superficiais dos corpos gossânicos. Nesses corpos a concentração de ouro é bastante errática, porém verifica-se uma tendência de os maiores teores estarem localizados no topo dos mesmos, decrescendo tanto em relação à base do "charuto", como em direção à encaixante.

Para explicar essa situação, dois processos de enriquecimento poderiam ser propostos: primeiro, o ouro primário seria concentrado residualmente pelo intemperismo, através da lixiviação dos demais elementos (concentração relativa). Segundo, o ouro seria remobilizado a partir do minério primário e concentrado em determinados níveis (concentração absoluta).

Neste trabalho, em função da presença de partículas de ouro com morfologias diagnósticas de ouro secundário nos gossans, elaborou-se um modelo que combina a ação dos dois processos no desenvolvimento das concentrações auríferas no topo dos corpos.

As características peculiares encontradas no ouro das zonas de oxidação dos depósitos primários, tais como cristais com estrutura L-dimensional predominante, morfologia dendrítica,

associação com oxi-hidróxidos de ferro é caulinita, composição de alta pureza, etc. são explicadas em termos da dissolução e transporte do ouro no meio supérgeno, sob condições especiais de intemperismo.

A oxidação ácida de depósitos de ouro em veios com sulfetos ou em perfis lateríticos pode resultar em mobilização transitória de ouro como AuCl_4^- (Mann, 1984). Krauskopf (1951) e posteriormente Boyle (1979) verificaram que o complexo AuCl_4^- (tetracloreto de ouro), no campo de estabilidade da água, só ocorre em condições fortemente oxidantes ($E_h > 0,9\text{v}$), pH ácido ($< 4,5$) e na presença de alta concentração do íon cloro ($\text{aCl} > 10^{-9,2}\text{M}$).

A oxidação alcalina de depósitos de ouro com sulfetos e carbonatos pode resultar em mobilização transitória de ouro como $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ (tiossulfato de ouro). Dados teóricos, experimentais e de campo de Webster (1986) e Webster e Mann (1984), associados aos dados experimentais de Goldhaber (1983), Goleva (1970) e Lakin et al. (1974), fornecem as melhores evidências para a complexação e transporte do ouro como tiossulfato de ouro. Os complexos tiossulfatados são muito instáveis e precipitam facilmente de suas soluções devido a quaisquer variações no potencial redox ou pH do meio.

Em solos com vegetação ativa, o ouro pode ser mobilizado por dois mecanismos principais: como cianeto de ouro $[\text{Au}(\text{CN})_2^-]$ (Lakin et al., 1974), ou como organocomplexos (Baker, 1978), ambos abundantes neste meio. Esses últimos, por serem mais estáveis, parecem mais eficientes, considerando-se que o

cianeto de ouro tem sua mobilidade limitada devido à rápida hidrólise que sofre, com destruição enzimática do ion CN^- na natureza.

Quaisquer que sejam os mecanismos de solubilização e transporte do ouro, suas soluções seriam relativamente transitórias. A eficiência de cada mecanismo depende da capacidade de agressão e condições de estabilidade do sistema hidrogeoquímico supérgeno e de sua uniformidade lateral.

2. Morfoscopia do Ouro Primário e Secundário: dados da literatura

Os principais critérios para a identificação de ouro secundário são a morfologia e o quimismo de suas partículas. Entende-se por ouro secundário aquele decorrente de processos de solubilização e precipitação no meio supérgeno (1 atm, 25° C), em função da ação dos agentes de intemperismo.

A seguir realizar-se-á um estudo comparativo entre a morfologia das partículas de ouro recuperadas nos gossans de São Bartolomeu e o que relata a bibliografia sobre a natureza do ouro em função de sua forma.

Vasconcelos (1988) descreveu as formas primárias do ouro do depósito da Fazenda Brasileiro (BA) como cristais de contornos muito irregulares, com formas arredondadas,

sub-arredondadas, cilíndricas ou angulares. Alguns cristais apresentam feições relacionadas à estrutura do sulfeto no qual se desenvolveu. Os cristais são xenomórficos a idiomórficos, com presença de hábitos octaédricos. Porém, a feição ubíqua a todos os cristais é o seu caráter equidimensional, independentemente da forma ou tamanho do grão.

Webster e Mann (1984) descreveram o ouro secundário encontrado nos perfis lateríticos do W da Austrália como octaedros microscópicos, formas arborescentes e filamentosas, agregados desenvolvidos em cavidades, cristais planos e filmes sobre fraturas em óxidos de ferro. Na região de Papua, Nova Guiné, de clima úmido e uma geologia que contém carbonatos no perfil de alteração, observou-se melhor cristalinidade do ouro secundário em relação ao primário e formas como crescimentos dendríticos, margens esponjosas, bastões e delicados fios.

Freyssinet, Zeegers e Tardy (1989), trabalhando em perfis lateríticos do Mali, reforçaram a idéia de que a dissolução de Au é sugerida pelas feições de corrosão nas superfícies dos grãos. Lá o ouro é caracterizado por elevada pureza e tamanho geralmente menor que 1 mm. Possui formas particulares como micro-esferulitos e dendritos; forma-se, às vezes, córtex de ouro secundário em volta de grãos primários fortemente corroídos. Nesses perfis, os autores reconheceram duas formas de ouro primário: a primeira, corresponde a formas poligonais e xenomórficas, com faces de cristal planas e brilhantes, mostrando as marcas de grãos de quartzo

circunadjacentes; e a segunda, caracterizada por um aspecto sedoso, com forma estrelada e contornos denteados, típica de partículas de ouro de ambientes ricos em sulfetos. Nas porções superiores dos perfis lateríticos, foram encontradas, além das formas já mencionadas, partículas com arredondamento químico, apresentando formas ovais com contornos irregulares e covas de dissolução, partículas esféricas e micro-glóbulos. Estes às vezes mostram formas octaédricas e formam finas membranas sobre fraturas em óxidos de ferro.

Naho (1989), ao estudar a composição química e a morfologia das partículas de ouro da mineralização de Ity, pode caracterizar as diferenças morfológicas entre as partículas primárias e as partículas secundárias. Os grãos primários, de formas idiomórficas, constituem um conjunto de partículas cujas formas tem uma geometria mais regular, particularmente marcada pelo aspecto polido e contornos planos de suas superfícies. Apresentam uma arquitetura mais compactada e contêm poucas inclusões. Raramente apresentam poros e microporos e, se os possuem, são menos profundos que os dos grãos secundários, com contornos relativamente mais regulares. As superfícies são lisas, caracterizadas pela ausência de desenvolvimento de cristalitos de ouro e são muitas vezes marcadas por estrias e impressões de impactos, as quais testemunham seu transporte como partículas sólidas. Os grãos secundários de ouro são caracterizados, de um lado, pelo aspecto irregular e sinuoso de seus contornos e, de outro, por superfícies que apresentam uma micro-topografia muito acidentada com saliências que contornam os poros profundos das

formas irregulares e conferem-lhes, assim, uma textura esponjosa. As inclusões de óxido de ferro e quartzo são frequentes nesta categoria de partículas. Ao microscópio eletrônico, as superfícies "rugosas" dos grãos de ouro parecem constituídas de cristalitos em agrupamentos globulares e coliformes, com forma lamelar nas microfissuras. Sobre a superfície dos grãos observam-se sistemas de estrias quase paralelas, as quais são, por sua vez, recortadas por uma série de outros sistemas de estrias.

3. Análise das formas das partículas de ouro do ACS

A análise, sob lupa binocular, da tipologia morfológica das partículas de ouro do ACS revelou um conjunto de grãos caracterizados por tamanho muito pequeno (da ordem de 0.08 mm) e uma ampla variedade de formas.

Detectaram-se sete tipos distintos de partículas, cujas características principais seguem descritas:

- Tipo 1 - Partículas placóides de faces lisas, muito pequenas, apresentando faces muito planas e de brilho intenso. As vezes apresentam bordas de formato estrelado, bem como bordas corroídas em outras partículas. Aparecem às vezes incrustadas em grãos de quartzo fumé.
- Tipo 2 - Partículas placóides de faces rugosas, muito pequenas,

às vezes apresentam faces de contornos estrelado, superfície rugosa formada por microglóbulos, brilho embaçado (sedoso), com alguns pontos brilhantes (estes assemelhando-se a micro-octaedros).

- Tipo 3 - Grãos equidimensionais: brilho sedoso em alguns grãos e intenso em outros. Superfície de micro-topografia muito irregular, cristais xenomórficos e alotriomórficos, maciços.
- Tipo 4 - Partículas alongadas. Possuem formas de bastão, dedo ou cunha. Podem apresentar superfícies irregulares ou planas e brilho embaçado ou intenso. Os grãos são geralmente xenomórficos a idiomórficos.
- Tipo 5 - Partículas esféricas ou ovais. São constituídas por micro-precipitados formados por glóbulos, ou por polígonos arredondados. Os primeiros apresentam brilho embaçado e os segundos, intenso. As formas ovais provenientes do arredondamento de polígonos podem apresentar contornos regulares ou com reentrâncias.
- Tipo 6 - Polígonos. São partículas que comumente formam octaedros com faces planas bem definidas e brilho intenso. Não apresentam sinais de corrosão.
- Tipo 7 - Partículas dendríticas. São constituídas por partículas placóides (e nesse caso, algumas partículas apresentam brilho intenso) ou equidimensionais arborescentes. Neste conjunto, encontram-se partículas que estão associadas a óxidos de ferro. Estes estão intercrescidos, inclusos ou incrustados nos grãos de

ouro.

O predomínio é de partículas dendríticas placóides e dendríticas sub-equidimensionais e, subordinadamente, grãos equidimensionais com bordas irregulares, sub-arredondados.

A variedade de partículas de ouro presentes nas porções superficiais dos corpos gossanizados podem representar dois tipos distintos de ouro:

- a. cristais de ouro primário residual e,
- b. ouro secundário, derivado da dissolução e precipitação do ouro primário.

Os representantes principais de cada tipo são, respectivamente:

- a. grãos equidimensionais, grãos equidimensionais subarredondados, grãos poligonais com faces lisas bem desenvolvidas e,
- b. partículas placóides dendríticas, grãos esféricos com superfície micro-globular e agregados contendo inclusões de óxidos de ferro.

4. Modelos possíveis de concentração do ouro nos gossans

Em vista dos dados e considerações apresentadas ao longo deste trabalho, incluem-se além das

características mineralógicas e geoquímicas dos gossans, os dados da literatura sobre zonas de cisalhamento e morfologia de partículas de ouro secundário, um modelo, com duas alternativas possíveis, é apresentado, na tentativa de explicar o enriquecimento em ouro do topo dos corpos gossânicos no ACS.

a. O minério é o resultado da percolação de fluidos hidrotermais sulfetados em associação com a evolução de uma ZCD. Uma primeira geração de fluidos sulfetados formou os "charutos", constituídos essencialmente por pirita. Através de uma segunda geração de fluidos sulfetados, associados à fase "brechóide" de evolução da ZCD, encaixa-se a mineralização de Cu-Pb-Zn-(Au-Ag?). Nesse caso, a mineralização aurífera estaria distribuída segundo um controle estrutural em bolsões ou "amas". Este modelo de mineralização primária, elaborado pelos geólogos da METAGO, está representado na Figura 24.

b. Os "charutos" foram exumados quando da incisão da Superfície Sul-americana. Ocorreu, então, oxidação da parte superficial dos mesmos, comumente com conservação de volume e diminuição de massa. Estes processos estão esquematicamente representados na figura 25.

c. A partir daí, pode ter havido o enriquecimento do ouro através de dois caminhos:

1o. Ocorreria concentração residual do ouro por lixiviação dos outros elementos, com migrações locais e crescimento de partículas (concentração relativa), Figura 26a.

2o. Ocorreria o intemperismo e remobilização do ouro para níveis inferiores do perfil, com posterior erosão dos níveis

superiores (concentração absoluta), figura 26b.

No processo de oxidação Cu, Pb, Zn, Au e Ag sofreram mobilização diferencial e por isso não se encontram concentrados no mesmo local.

Figura 24 - Perfil esquemático mostrando o controle estrutural e o enriquecimento supérgeno das mineralizações de ouro e sulfetos de metais bases no Alvo Cabeça Seca (Neto e Mattos, 1990; modificado de Hagemann, 1988).

Figura 25 - Elementos constituintes do minério após a exumação e oxidação dos "charutos" sulfetados.

Figura 26 - Modelos possíveis para a concentração de ouro:

a - enriquecimento relativo em ouro.

b - enriquecimento absoluto em ouro.

VIII. CONCLUSÕES

Podem-se ressaltar as seguintes observações quanto ao minério de São Bartolomeu:

1. A mineralização primária é o resultado da percolação de fluidos hidrotermais sulfetados em associação com a evolução de uma zona de cisalhamento dúctil. Uma primeira geração de fluidos sulfetados formou os "charutos", constituídos essencialmente por pirita. Numa segunda geração de fluidos sulfetados, associados a fase "brechóide" de evolução da zona de cisalhamento, encaixou-se a mineralização de Cu-Pb-Zn (Au-Ag?). Nesse caso a mineralização aurífera estaria distribuída segundo um controle estrutural em bolsões.
2. O minério consiste de uma massa de oxi-hidróxidos de ferro secundários, impregnada de ouro. Estes óxidos derivam da oxidação dos corpos de sulfetos maciços, ou parcialmente maciços, formadores da mineralização primária. Apresentam as texturas dos sulfetos quase inteiramente preservadas, e constituem gossans na acepção clássica do termo. Nesse aspecto, mantêm íntima semelhança, não só nos aspectos texturais, como também mineralógico e geoquímico, com outros gossans de diversas partes do planeta, conforme descrito na literatura.
3. Os gossans são compostos por dois tipos de materiais misturados em várias proporções. O primeiro deles é o produto de alteração dos sulfetos e constitui-se de material ferruginoso; o

segundo são restos do filito, com textura parcialmente conservada e fortemente ferruginizado.

4. A mineralogia dos materiais é caracterizada pela presença ubíqua de goethita, precipitada em pseudomorfoses sobre os cristais de pirita e calcopirita. Além da goethita, os outros minerais presentes são a sericita, o quartzo e a hematita. Ouro, relictos de pirita e maghemita são os acessórios.

5. As texturas réplicas encontradas nos gossans são intimamente relacionadas às formas de ocorrência da pirita no minério primário. A principal forma de ocorrência da goethita é a cúbica, mas são muito frequentes as formas retangulares, triangulares e poligonais, além de ramificações dendríticas. Frequentemente a goethita apresenta textura coloforme nos núcleos das cavidades dos "boxworks" ou margens de canais.

6. Geoquimicamente os gossans são caracterizados pela assembléia: Cu-Pb-Zn-Au-Ag.

7. A análise dos coeficientes de correlação entre os elementos mostrou que o material é constituído por dois polos geoquímicos: o grupo da SiO_2 e Al_2O_3 que também abrange o B, Ti, V, Y, La e Sc; e o grupo do Fe_2O_3 e PF que inclui o Zn, Pb, Cu e Au. FeO e Ag não apresentam correlação significativa com nenhum dos dois grupos. Esses grupos correspondem aos dois tipos de materiais que compõem as amostras: o material rochoso, formado por fragmentos da rocha ferruginizada, composto essencialmente por quartzo e sericita, e o material ferruginoso, proveniente da oxidação dos sulfetos e formado essencialmente por óxidos de ferro, mais ou menos hidratados.

8. A correlação do ouro com os demais elementos mostrou que da grande associação Fe_2O_3 -PF-Cu-Pb-Zn-Au-Ag há duas sub-associações: Fe_2O_3 -PF-Cu-Pb-Zn e Fe_2O_3 -PF-Au-Ag. O ouro, embora associado ao Fe_2O_3 não parece associado ao Cu, Pb e Zn. Esses elementos, no entanto, servem para marcar materiais derivados da alteração de sulfetos em oposição às outras formações ferruginosas supérgenas.

9. A análise estatística dos dados geoquímicos mostrou que o Pb é, entre os metais base, o melhor indicador da presença de gossans auríferos.

10. Quanto ao problema do ouro, destacam-se os seguintes pontos:

- a. As análises petrográficas não identificaram ouro visível nos sulfetos frescos;
- b. As análises morfológicas das partículas de ouro indicaram haver ouro tanto de origem primária, quanto de origem secundária nos gossans;
- c. No "charuto" de sulfeto oxidado (gossan) como um todo, a distribuição do ouro é errática, e este não se concentra segundo um controle estrutural evidente;
- d. Nos gossans o ouro ocorre em finíssimas partículas (0,05mm - 0,1mm) incluídas em massa ferruginosa que pode estar ou não pseudomorfizando grãos de sulfetos.

IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENS, L. H. - 1954 - The lognormal distribution of the elements (A fundamental law of geochemistry and its subsidiary). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 5:49-73.
- BAKER, W. E. - 1978 - The role of humic acid in the transport of gold. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42:645-649.
- BARBOSA, O. - 1955 - Noticiário n. 3. In.: Congr. Bras. Geol., 4, Rio de Janeiro, 1955. Guia das excursões.
- BARBOSA, P. A. R.; BORGES, O. C.; COSTA, H. F. da; LACERDA NETO, A. P. - 1990 - Prospeção de ouro no Grupo Canastra - exemplo de Luziânia-GO. Congr. Bras. Geol., Natal, 1990. Anais... Natal, SBG, v. 3, p. 1472-1486.
- BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. G.; BAPTISTA, M. B.; DYER, R. C.; COTTA, J. C. - 1981 - Projeto Brasília; relatório final. Brasília, PROSPEC/DNPM.
- BLAIN, C. F. e ANDREW, R. L. - 1977 - Sulphide weathering and the evaluation of gossans in mineral exploration. *Min. Sci. Eng.*, 9(3):119-150.
- BLANCHARD, R. - 1968 - Interpretation of leached outcrops. Nevada Bureau of Mines. Bull. 66, 196p.
- BLOT, A. e MAGAT, P. - 1989 - Les chapeaux de fer polymétalliques à zinc du Togo (Afrique de l'Ouest). *C.P. Acad. Sci. Paris*, t. 309, série II:371-376.
- BOYLE, R. W. - 1979 - The geochemistry of gold and its deposits. *Geol. Survey of Canada*, 280, 584p..

- BRAUN, O. P. G. - 1971 - Contribuição à geomorfologia do Brasil Central. Revista Brasileira de Geografia, ano 32, jul-set/1971.
- DARDENNE, M. A. - 1978 - Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In.: Congr. Bras. Geol., 30, Recife, 1978. Anais... Recife, SBG, v. 2, p. 597-610.
- DAVIS, J. C. - 1973 - Statistics and data analysis in geology. New York, John Wiley & Sons, 646p.
- FARIA, A. - 1985 - Geologia do Domo de Cristalina, Goiás. Rev. Bras. Geoc., 15(3):231-240.
- FREYSSINET, Ph.; ZEEGERS, H.; TARDY, Y. - 1989 - Morphology and geochemistry of gold grains in lateritic profiles of southern Mali. J. Geoch. Explor., 32: 17-31.
- GOLDHABER, M. B. - 1983 - Experimental study of metastable sulfur oxyanion formation during pyrite oxidation at pH 6-9 and 30°C. Amer. Jour. of Sci., 283:193-217.
- GOLEVA, G. A.; KAIVENKOV, V.; GUTZ, Z. G. - 1970 - Geochemical trends in the occurrence and migration forms of gold in natural water. Geochim. Int., 7(3):518-519.
- GROVES, D. I.; PHILLIPS, N.; HO, S. E.; HOUSTON, S. M.; STANDING, C. A. - 1987 - Craton-scale distribution of archaean greenstone gold deposits: predictive capacity of the metamorphic model. Econ. Geol., 82:2045-2058.
- HAGEMANN, S. G. - 1988 - The structure, petrology and geochemistry of the gold bearing Canastra phyllites near Luziânia - Goiás, Brazil. University of Wisconsin-Milwaukee, 156p. (dissertação de mestrado inédita).

- HAGEMANN, S. - 1989 - The petrology and structural geology of the Proterozoic Canastra Group near Luziânia-Goiás, Brazil. Zbl. Geol. Palaont. Teil 1: 887-901.
- KING, L. - 1956 - A geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia, 18(2):148-263.
- KOSAKEVITCH, A - 1979 - "Chapeaux de Fer", problemes de définition et de nomenclature pratique, Bulletin du BRGM, section II, (2-3):141-149.
- KRAUSKOPF, K. - 1951 - The solubility of gold. Econ. Geol., 46: 858-870.
- LAKIN, H.; CURTIN, C. G.; HUBERT, A. E. - 1974 - Geochemistry of gold in the weathering cycle. U.S. Geol. Survey. Bull., 1330, 80p.
- MAGNAGO, H.; SILVA, M. T. M. da; FONZAR, B. C. - 1984 - As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SE. 22 Goiânia. Rio de Janeiro, 1984 (Levantamento de recursos naturais, 31).
- MAMEDE, L.; ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M.; NASCIMENTO, M. A. L. S. - 1983 - Geomorfologia. In PROJETO RADAMBRASIL. Folha SE. 22 Goiânia. Rio de Janeiro (Levantamento de Recursos Naturais, 31).
- MANN, A. - 1984 - Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: some observations from western Austrália. Econ. Geol., 79: 38-49.
- NAHO, J. - 1988 - Cycle supergene de l'or en milieu ferrallitique - exemple du gisement d'or d'Ity en Côte D'Ivoire. Nancy, Ecole Nationale Supérieure de Géologie. 131p. (these de

doutoamento inédito).

- NETO, A. P. L. e MATTOS, S. C. - 1990 - Prospeção e pesquisa das mineralizações de ouro, prata e sulfetos de metais básicos do Alvo Cabeça Seca 9ACSO, Luziânia, sudeste de Goiás. METAGO, Goiânia, 56p. (relatório inédito).
- NICKEL, E. H. - 1982b - The mineralogy and geochemistry of the Whim Creek gossan, Austrália. Inst. Mining Metall, 282: 33-45.
- NICKEL, E. H. - 1984 - The mineralogy and geochemistry of the weathering profile of the Teutonic Bore Cu-Pb-Zn sulfide deposit. J. Geoch. explor., 22: 239-264.
- PALACIN, L. - 1979 - O século do ouro em Goiás. Goiânia, Oriente. 72p.
- RAMSEY, J. G. e GRAHAM, R. H. - 1970 - Strain variation in shear belts. Canadian Jour. of Earth Sci., 7: 779-808.
- ROSE, A. W.; HAWKES, H. E.; WEBB, J. S. - 1979 - Geochemistry in Mineral Exploration. 2nd edition, Academic Press.
- SANZOLONE, R. F. e DOMENICO, J. A. - 1985 - Trace element content of gossans at four mines in the West Shasta massive sulfide District, Econ. Geol., 80: 2206-2212.
- SATO, M. - 1960 - Oxidation of sulfide ore bodies, 1. Geochemical environments in terms of Eh and pH. Econ. Geol., 55: 928-961.
- SATO, M. - 1960 - Oxidation of sulfide ore bodies, II. Oxidation mechanisms of sulfide minerals at 25°C. Econ. Geol., 55: 1202-1231.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. - 1984 - Geologia do Brasil. DNPM, Brasília, 501p.
- SIBSON, R. H. - 1977 - Fault rocks and fault mechanisms. Bull.

Geol. Soc. London, 133:191-213.

TEIXEIRA, N. A. e DANNI, J. C. M. - 1978 - Contribuição à estratigrafia do Grupo Araxá na região de Passos, MG. In.: Congr. Bras. Geol., 30, Recife, 1978. Anais... Recife, SBG, v. 3, p. 700-711.

THORNBUR, M. R. - 1975 - Supergene alteration of sulphides, I. A chemical model based on massive nickel sulphide deposits at Kambalda, western Austrália. Chem. Geol., 15:1-14.

TOGBE, K. A.; BLOT, A.; BESNUS, Y.; AFFATON, P. e SEDDOH, K. F. - 1990 - Contribution de l'étude des chapeaux de fer à la prospection minière au Togo. 2a. RAIST, Lomé (Togo).

VASCONCELOS, P. M. de P. - 1987 - Gold geochemistry in semiarid weathering environment: a case study of the Fazenda Brasileiro deposit, Bahia, Brazil, Ms. Thesis, Un. Texas, Austin, 254p.

VELOSO, H. P. e GÖES-FILHO, L. - 1982 - Fitogeografia brasileira; classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical. Boletim Técnico do Projeto RADAMBRASIL; série vegetação, Salvador, 1:1-85.

WEBSTER, J. G. - 1986 - The solubility of gold and silver in the system Au-Ag-O₂-H₂O at 25°C and 1 atm. Geochim. Cosmochim. Acta, 50:1837-1845.

WEBSTER, J. e MANN, A. - 1984 - The influence of climate, geomorphology and primary geology on the supergene migration of gold and silver. J. Geoch. Explor., 22:21-42.

WILHELM, E. e KOSAKEVITCH, A. - 1979 - Utilisation des chapeaux de fer comme guides de prospection. Bulletin du BRGM (deuxième série). Section II, (2-3):109-140.

IX. ANEXOS

- 1 - Aspectos morfológicos do Planalto do Distrito Federal na região do Alvo Cabeça Seca. Ao fundo destacam-se os relevos residuais tabulares da Superfície Sul-americana (3). O plano intermediário é formado pelo patamar de dissecação, constituído por um relevo suave ondulado (2). No primeiro plano destaca-se um relevo colinoso, quebrando a topografia onde afloram rochas filíticas com os "charutos" gossânicos (1). As trincheiras com direção aproximada W-E interceptam perpendicularmente os "charutos".
- 2 - Pacote de filito sericitico crenulado, com grande quantidade de vênulas e "boudins" de quartzo fumê. Ao centro ocorrem dois núcleos ocelares de sulfeto maciço, também crenulados. Estes, longitudinalmente, constituem os "charutos" mergulhando cerca de 15° para norte.

PRANCHA - 1

PRANCHA 2

- 3 - Amostra de gossan com a estrutura ocelar do sulfeto primário preservada.
- 4 - Impregnação pervasiva da solução sulfetada no filito. O sulfeto é o material cinza claro, e o filito o cinza-escuro.
- 5 - Agregado cisalhado da pirita (pi) de primeira geração. Observar grãos pseudomórficos de goethita (gt) de cor cinza entre os cristais idiomórficos de pirita. Representam evidências de alteração hidrotermal.
- 6 - Ocelos formados por grãos de pirita intensamente fraturados. Entre os mesmos ocorre calcopirita (cp) e pirita (pi).
- 7 - Agregado maciço (ao centro) de pirita de segunda geração. Parece ocorrer no plano axial de uma dobra formada pela pirita de primeira geração.
- 8 - Calcopirita (cp) e galena (gl) preenchendo fraturamentos na pirita (pi).

PRANCHA-2

PRANCHA 3

- 9 e 10 - Morfologia de afloramento dos "charutos" gossânicos. Formam cristais ou "cocarutos" ferruginosos ressaltados na topografia.
- 11 e 12 - Aspecto brechóide do material gossânico.
- 13 e 14 - Faixas do filito sericitico (brancas) intercaladas com faixas de óxidos de ferro (escuras). Notar aspecto micro-ocelar e feições tipo espinha-de-peixe em 13. As ondulações observadas em 14 referem-se à clivagem de crenulação que afeta o filito.

PRANCHA-3

PRANCHA 4

- 15 - Grãos secundários de quartzo (qz) preenchendo cavidades nos ocelos
- 16 - Agregado granular de goethita em pseudomorfoses sobre macro-cristais de pirita.
- 17 - Agregados de goethita em réplica de micro-cristais de pirita.
- 18 - Goethita (faixas escuras) envolvendo descontinuidades nos grãos de quartzo (brancos).
- 19 - Textura coloforme desenvolvida em cavidades das partes mais superficiais dos gossans.
- 20 - Hematita (HMD) botrioidal nas margens internas de um canal.

PRANCHA - 4

PRANCHA 5

- 21 e 22 - Partículas de ouro (Au) inclusas em massas nodulares de óxidos de ferro.
- 23 - Partícula de ouro (Au) em forma de gota, dentro de uma pseudomorfose de goethita, onde sua borda inferior esquerda parece intercrescer com o óxido escuro que preenche uma cavidade.
- 24 - Partícula de ouro (Au) xenomórfica, inclusa numa massa nodular de goethita, onde sua face inferior direita parece intercrescer com o óxido escuro que preenche uma cavidade.

PRANCHA - 5

PRANCHA 6

- 25 - Início da alteração supérgena da pirita. Os sulfetos (brancos) evoluem diretamente para óxidos (escuros).
- 26 - Em Ehs mais elevados a pirita (pi) residual oxida-se quase totalmente, passando a pseudomorfoses de goethita (gt).
- 27 - Estágio final de oxidação dos sulfetos. Há intensa pseudomorfização e desenvolvimento de coloformes nos núcleos dos "boxworks".
- 28 - Delicados "boxworks". Constituem os remanescentes finais da mineralização sulfetada.
- 29 e 30 - Nodulações (29) e canais ferruginosos (30). Indicam a ação pedogenética.

PRANCHA - 6

ANEXO 2 - DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS

Amostra T6-1

Macroscopia: rocha de coloração amarelada, com tonalidades marrom-avermelhadas. É estruturalmente constituída pela alternância de faixas componentes da rocha hospedeira e faixas componentes do material ferruginoso, as quais são crenuladas e possuem dimensões submilimétricas. As faixas avermelhadas representam níveis de óxidos de ferro intercalados nas faixas quartzo-sericíticas do filito (amareladas).

Exceto na porção noroeste da amostra, a xistosidade ocorre relativamente bem preservada, a qual apresenta-se truncada por pequenos planos de falhamentos da clivagem de crenulação. Na porção NW da amostra o material é formado por uma mistura brechóide de pedaços submilimétricos do filito com o material ferruginoso, que constitui sua matriz. Esta parte é separada do restante da amostra por uma superfície de descontinuidade sinuosa a qual é preenchida por óxidos de ferro. Ocorrem algumas pequenas cavidades nesta interface.

Em toda a amostra ocorrem cavidades que variam em tamanho de submilimétricas à centimétricas, possuem formas cúbicas e retangulares principalmente, e estão comumente orientadas segundo a foliação principal. Não são visíveis sulfetos frescos.

Microscopia: A goethita constitui a fase mineral mais abundante, ocorrendo em todos os elementos mineralógicos ou texturais da

seção. Sua cristalização é bem desenvolvida em pseudomorfoses sobre os sulfetos primários (principalmente pirita), variando a granulação conforme o tamanho do sulfeto primário que replica. Forma um plasma ferruginoso de geometria reticulada poligonal quando constitui paredes de grãos de quartzo, e fibroso quando preenche os planos de clivagem e outras descontinuidades dos grãos de sericita. Geometricamente as reticulações de goethita assumem diversas outras feições como resultado do arranjo textural da foliação deformada.

O quartzo e a sericita formam faixas residuais alinhadas, intensamente deformadas, entre as faixas de impregnação dos óxidos.

Tipo de rocha: filito ferrificado.

Amostra T6-2

Macroscopia: rocha de coloração amarelo-avermelhada, formada pela justaposição de ocelos ferruginosos, contendo faixas do filito crenulado intercaladas (Figura 16). O tamanho médio dos ocelos é de aproximadamente 2,5cm; e seus contatos com o filito é gradativo em auréolas elípticas cada vez mais ferrificadas em direção ao núcleo ferruginoso. Nestes, o material apresenta-se mais endurecido que no domínio do filito.

A rocha é muito fraturada, tem aspecto brechóide, é crenulada; os planos da clivagem de crenulação são preenchidos por óxidos de ferro.

Ocorrem cavidades de diversos tamanhos por todo o domínio ferruginoso, as quais são preenchidas por quartzo e um

óxido de ferro de coloração cinza-escuro de feição botrioidal.

Microscopia: seção formada por agregados maciços e microcristalinos de goethita, com formas cúbicas, triangulares, retangulares, etc. contendo pequenos grãos residuais de filito inclusos. A goethita pseudomorfiza os agregados primários de pirita dos núcleos ocelares e apresenta uma coloração que varia entre o vermelho-sangue e o cinza-escuro avermelhado. Em alguns cristais forma textura coloforme, principalmente nos núcleos de "boxworks".

Tipo de rocha: gossan.

Amostra T6-3

Macroscopia: rocha de coloração amarelo-avermelhada, marcada por um aspecto escoriáceo, esponjosa, com muitas cavidades que se apresentam orientadas em faixas que sutilmente seguem a foliação, quase totalmente destruída.

Esta amostra apresenta o contato entre os dois tipos de materiais formadores dos gossans: o filito sericítico ferrificado e o material ferruginoso mais ou menos maciço. Este é mais endurecido, tem um aspecto brechóide, forma ocelos, é muito poroso e vai perdendo a preservação da xistosidade à medida que se aproxima dos núcleos ocelares. O contato é, pois, gradativo entre os dois tipos litológicos. Algumas cavidades são preenchidas por óxidos de ferro cinza-escuros e outras por quartzo microcristalino, formando pequenos geodos, e outras ainda, por ambos.

Microscopia: as características de cada material são muito

semelhantes àquelas descritas nas amostras T6-1 e T6-2. Nesta seção, há maior presença de "boxworks" e coloformes.

Tipo de rocha: gossan.

Amostra T6-4

Macroscopia: rocha de coloração amarelada, com manchas vermelho-sangue dispersas por toda a amostra. Tem aspecto brechóide, é maciça, e não preserva a foliação primária do filito. É formada por agregados de aproximadamente 1.0mm de diâmetro, compostos por óxidos de ferro e sericita (e algum quartzo), separados uns dos outros por faixas submilimétricas de filito.

Estruturalmente a amostra é formada por ocelos com diâmetros maiores em torno de 1.0cm que apresentam, comumente, a seguinte organização interna:

- núcleo: esponjoso, contendo cavidades em torno de 1.0mm de diâmetro, preenchidas por óxidos de ferro cinza-escuros e quartzo. Este, predominantemente microcristalino, assume feição geódica.
- 1a. borda interna: material relativamente maciço, com poucas cavidades e constituído por agregados de coloração vermelho-lilás e um material quartzo-sericítico amarelado.
- 2a. borda interna: material semelhante à primeira borda, só que contém abundantes cavidades cúbicas de dimensões submilimétricas.
- borda externa: fina película amarelada de aspecto compactado, formada por óxidos de ferro, quartzo e sericita.

Microscopia: material formado pela pseudomorfização ubíqua de goethita sobre os agregados primários de pirita. Há o desenvolvimento de "boxworks" e texturas coloformes, principalmente nos núcleos destes. Quando a goethita forma as pseudomorfoses sua cor é vermelho-sangue intenso, e quando constitui as paredes dos "boxworks", passa a apresentar cor vermelho-escura a preta.

Tipo de rocha: gossan.

Amostra T6-5

Macroscopia: rocha de coloração amarelo-avermelhada, formada pela justaposição de ocelos com níveis de filito intercalados nos mesmos. Os ocelos são bem individualizados e apresentam muitas cavidades herdadas da lixiviação dos sulfetos primários, as quais estão, comumente, preenchidas por óxidos de ferro e quartzo secundários. Os ocelos são cortados por finas vénulas de quartzo leitoso.

Microscopia: as características microscópicas da goethita são semelhantes às descritas na amostra T6-2.

Tipo de rocha: gossan.

Amostra T6-6

Macroscopia: material formado pelo contato entre as duas fases maiores constituintes do minério: a fase residual de filito ferrificado em contato interdigitado com a fase ferruginosa, marcada por aspecto esponjoso, mosqueado e coloração vermelho-sangue escura. As maiores cavidades, subcentimétricas,

estão associadas aos núcleos ocelares. Em direção ao filito, esse material esponjoso torna-se mais compactado, com poucas cavidades de tamanho submilimétricos. Este material (muito semelhante ao de T6-4) é constituído por agregados ferruginosos, que formam as substituições pseudomórficas vistas em T6-4 e constituem o produto da oxidação dos agregados maciços de sulfetos primários.

O contato com o filito é irregular e interdigitado. O filito apresenta-se bastante sericítico, ferrificado e com pouca preservação da foliação. É cortado por vênulas submilimétricas de óxidos de ferro.

Microscopia:

- fase ferruginosa: constituída por pseudomorfoses e "boxworks" granulares de goethita sobre agregados cristalinos de pirita. A goethita assume coloração vermelho-sangue-vivo predominantemente, mas, às vezes, apresenta-se cinza-escura, quase opaca. Os núcleos de alguns "boxworks" são formados por essa goethita escura, os quais, em outros cristais apresentam textura coloforme.
- Fase rochosa: constituída por palhetas de sericita cataclástica dispersas em vários sentidos, envolvidas pelo plasma ferruginoso, que sublinha tanto os contornos externos, quanto a clivagem dos grãos. Nesse material a goethita é predominantemente criptocristalina, cristaliza-se em fibras (ou fibroradiada), obedecendo à foliação do filito. O quartzo é pouco abundante (aproximadamente 3.0%), ocorre estirado seguindo a foliação, apresenta extinção ondulante, às vezes é policristalino e não apresenta sinais de corrosão. Em outros locais, forma agregados policristalinos de quartzo secundário dentro das cavidades

deixadas pela lixiviação dos sulfetos.

Tipo de rocha: gossan.

Amostra T6-7

Macroscopia: rocha de coloração vermelho-sangue, com tonalidades amareladas, aspecto brechóide e natureza arenosa. Apresenta feição micromosqueada e é intensamente porosa.

Estruturalmente é formada por um conjunto de ocelos, cujas paredes são constituídas por uma mistura íntima de quartzo, sericita e óxidos de ferro bastante compactados. Os núcleos dos ocelos são intensamente porosos, em cujas cavidades ocorrem precipitações microcristalinas de óxidos de ferro de coloração amarelada e, localmente, cinza-escuro, às vezes com brilho metálico. Além dos óxidos, quartzo secundário, microcristalino, também é comum nas cavidades.

Nos espaços inter-ocelares, formando canais sinuosos, ocorre material ferruginoso de coloração cinza-escuro a vermelho-sangue, intensamente endurecido.

Não há preservação de foliação na rocha.

Microscopia: material formado por agregados microcristalinos de goethita em pseudomorfoses sobre diminutos cristais de pirita. A granulação da goethita nessas pseudomorfoses é muito fina, e assume um aspecto micro a criptocristalino de pouca visualização ao microscópio. A goethita tem cor vermelho-sangue a vermelho-escuro (quase opaca), com predomínio da segunda. Em alguns cristais a goethita assume feição fibrorradiada.

Há muitas cavidades apresentando textura coloforme

em seus núcleos, bem como "boxworks" cujas paredes internas são revestidas pela goethita vermelho-escuro.

Ocorre mobilização do ferro formando canais que ligam agregados pseudomórficos de goethita.

O quartzo, a fase residual melhor representada, é formado por diminutos grãos (0,1 a 0,2mm de tamanho) xenomórficos a hipidiomórficos, com extinção ondulante. Ocorre também como agregados microcristalinos (secundário), ocupando cavidades nos "boxworks". A sericita ocorre como poucas palhetas inclusas nos agregados de óxidos maciços.

Tipo de rocha: gossan.

Amostra T6-8

Macroscopia: rocha de coloração cinza-avermelhada, de aspecto mosqueado, marcada pela alternância de faixas de coloração amarelada com faixas avermelhadas.

É estruturalmente constituída por um conjunto decimétrico de ocelos ferruginosos, muito porosos, cujas cavidades são preenchidas por óxidos de ferro e quartzo secundário, principalmente. Algumas vénulas de quartzo leitoso cortam esse material. Os ocelos são separados entre si por fraturamentos que parecem relacionados à clivagem de crenulação, os quais são preenchidos por veios de óxidos de ferro vermelho-escuro muito endurecidos.

Intercalados aos ocelos, ou neles inclusos, a fase rochosa preserva parcialmente sua foliação, porém, está intensamente impregnada pelo material ferruginoso. É composta por

sericita predominantemente, e algum quartzo.

Microscopia: a seção é constituída por um agregado maciço de óxidos de ferro, de coloração cinza-escura e granulação pouco visível, cujas relações de pseudomorfização com os minerais primários de pirita são obscurecidas. Em outros locais, onde a granulação dos óxidos é melhor desenvolvida, percebe-se a nítida pseudomorfização da goethita sobre os cristais de pirita, bem como o desenvolvimento de "boxworks" em antigos cristais de pirita e calcopirita. Nessa última, o hábito alotriomórfico dos cristais primários é bem preservado nas pseudomorfoses, nas quais, também são melhor desenvolvidas as texturas coloformes, bem como alguns cristais fibrorradiados. Alguns "boxworks" são preenchidos por quartzo ou óxidos de ferro secundários.

Os grãos de quartzo residual apresentam-se como agregados policristalinos com extinção ondulante, euédricos a subédricos e com contornos sublinhados pelos óxidos de ferro, assumindo configuração reticulada. Não há sinais de corrosão em seus cristais, cujo tamanho médio dos grãos é de 0,1mm e a percentagem na seção delgada está entre 3-5%.

A sericita apresenta-se em palhetas dispersas por toda a seção, inclusa nos óxidos, cujas discontinuidades são preenchidas pelos óxidos. Ocupa aproximadamente 5% do total da seção.

Tipo de rocha: gossan.

Amostra T6-9

Macroscopia: rocha de coloração amarelo-avermelhada,

representante do filito cisalhado e intensamente ferrificado. Apresenta remanescentes da foliação primária numa configuração cataclástica, com microdobras desarmônicas e boudinamento de alguns grãos de quartzo. Apresentam algumas cavidades que são preenchidas por óxidos de ferro."

Microscopia: ao microscópio o material é caracterizado pelo sublinhamento das feições estruturais da rocha descrita acima, pelos óxidos de ferro, os quais impregnaram pervasivamente suas descontinuidades. Esses óxidos possuem fina granulação quando preenchem planos da xistosidade, fraturas, dobras, etc. e, quando ocupam locais distensivos dentro do filito, apresentam-se como agregados de granulação desenvolvida.

O mineral predominante é a sericita, que está relativamente bem orientada e alternada com faixas de grãos de quartzo estirados, caracterizando bem a textura granolepdoblástica.

Como feição geral, o material apresenta-se como um plasma ferruginoso predominantemente goethítico, formando reticulações alongadas em torno da fase residual, composta por sericita e quartzo. A forma de ocorrência da goethita é predominantemente fibrosa, obedecendo à orientação da estrutura primária.

Tipo de rocha: filito ferrificado.

Amostra T6-10

Macroscopia: rocha de coloração avermelhada, isotropicamente mosqueada por agregados vermelho-angue milimétricos.

Interagregados encontra-se um plasma ferruginoso endurecido com alguma sericita inclusa.

É estruturalmente formada pela justaposição de ocelos ferruginosos, originados da oxidação de agregados ocelares maciços de pirita.

Microscopia: material caracterizado por grande quantidade de vazios, destruição da maioria das estruturas herdadas (quando se preservam é do tipo "boxworks", praticamente inexistindo pseudomorfoses), e reorganização do ferro em feições texturais características do domínio pedogenético, tais como desenvolvimento de espessos canais (centimétricos), nodulações, cutans, etc. Os canais, às vezes, apresentam textura coloforme, mas uma feição muito comum é o desenvolvimento de glóbulos botrioidais de hematita em suas margens internas.

Tipo de rocha: gossan.

Amostra T6-11

Macroscopia: material amarelo-avermelhado, mosqueado, med/ anamente poroso, quartzoso e sericítico. Há presença de um ocelo ferruginoso cujo núcleo é mais enriquecido em cavidades e, em cujas cavidades, aparecem as maiores quantidades de quartzo secundário, o qual em alguns locais forma pequenos geodos.

Microscopia: material constituído por agregados granulares de goethita, em pseudomorfoses ou "boxworks" sobre cristais primários de pirita. Em alguns "boxworks" encontra-se textura coloforme. A goethita apresenta-se com coloração vermelho-sangue-vivo ou vermelho-esuro, essa última,

principalmente quando forma as texturas coloformes nos núcleos dos "boxworks". Há também a formação de goethita fibrosa, de granulação muito fina, quando preenche planos de clivagem nos cristais de sericita. Há um equilíbrio percentual entre a quantidade de pseudomorfoses e a quantidade de "boxworks" na seção.

A fase residual é formada por sericita e quartzo dispersos nos óxidos, cujas descontinuidades são preenchidas por óxidos de ferro. O quartzo residual apresenta-se em agregados com extinção ondulante e grãos subédricos a euédricos, sem sinais de corrosão.

Tipo de rocha: gossan.

Observação: As amostras da lente a leste de T8 são semelhantes às amostra de T6.

ANÁLISES	-ANÁLISES QUÍMICAS-										-ANÁLISES QUÍMICAS-										-ANÁLISES QUÍMICAS-									
	Ag	Ca	Pb	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Ni	Ag	Ca	Pb	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Ni	Ag	Ca	Pb	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Co	Ni
305050	3,00	95	1635	1015	2,19	7	7	1,0	1500	3,5	5	20	0,35	70	15	20	7	70	7	70	7	200	10,0	8,7	0,20	60,5	18,0	9,40	10,40	10,40
305051	3,00	125	1640	1115	0,26	7	7	1,0	700	3,5	5	15	0,35	70	15	30	10	70	7	70	7	200	10,0	7,0	0,15	59,3	18,4	9,50	10,40	10,40
305052	2,00	115	1645	1340	0,16	30	7	1,5	3000	3,5	5	30	0,35	70	15	30	10	70	7	70	7	200	10,0	14,2	0,25	45,9	24,2	9,50	10,40	10,40
305053	3,00	125	2630	1975	0,40	10	7	1,5	2000	3,5	5	15	0,35	70	15	20	10	70	7	70	7	150	15,0	7,0	0,20	50,0	16,4	10,70	10,70	10,70
305054	8,00	110	1700	1190	11,95	7	7	1,0	1500	3,5	5	10	3,00	70	15	14	7	70	7	70	7	150	15,0	7,0	0,15	60,7	16,4	10,10	10,10	10,10
305055	7,00	165	930	770	12,86	7	7	0,7	2000	3,5	5	15	0,70	70	10	14	7	50	10	50	10	150	15,0	7,1	0,10	43,4	14,4	10,80	10,80	10,80
305056	4,00	175	1695	1570	7,31	7	7	1,0	1500	3,5	5	15	0,70	70	10	14	7	50	10	50	10	150	15,0	10,0	0,20	62,6	16,3	0,90	0,90	0,90
305057	2,00	90	1770	2395	0,17	15	7	1,5	3000	3,5	7	30	0,35	70	15	20	10	70	7	70	7	200	15,0	16,1	0,20	34,9	33,1	8,80	8,80	8,80
305058	2,00	95	1370	1545	0,20	30	7	1,5	7000	3,5	7	70	1,00	100	50	30	20	70	7	70	7	200	20,0	15,9	0,15	40,3	20,6	8,40	8,40	8,40
305059	4,00	140	1110	1000	0,19	30	7	1,5	7000	3,5	7	70	1,00	100	50	30	20	70	7	70	7	200	20,0	20,2	0,30	25,3	37,7	8,70	8,70	8,70
305060	2,00	125	865	665	0,16	50	7	1,5	7000	3,5	7	70	1,00	100	50	30	20	70	7	70	7	200	15,0	16,4	0,20	36,8	31,3	8,90	8,90	8,90
305061	2,00	125	1005	800	2,54	30	7	1,5	3000	3,5	7	30	1,50	70	20	30	10	70	7	70	7	200	10,0	11,7	0,15	51,4	21,5	10,10	10,10	10,10
305062	5,00	245	1210	1620	0,37	20	7	1,5	3000	3,5	7	30	2,00	70	50	30	15	70	10	70	10	200	10,0	17,0	0,15	39,0	27,3	9,40	9,40	9,40
305063	7,00	215	1165	1250	0,30	50	7	1,5	7000	3,5	7	70	1,00	100	50	30	20	70	7	70	7	200	10,0	20,3	0,35	29,8	33,8	8,60	8,60	8,60
305064	4,00	160	675	895	0,10	30	7	1,5	5000	3,5	7	70	1,50	100	50	30	20	70	7	70	7	200	15,0	17,8	0,30	32,5	32,3	7,30	7,30	7,30
305065	2,00	190	930	1055	0,10	30	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,70	70	50	30	15	70	7	70	7	200	15,0	15,7	0,30	34,4	35,0	7,30	7,30	7,30
305066	2,00	75	475	450	0,24	20	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,50	100	50	30	20	70	7	70	7	200	20,0	16,8	0,25	31,8	37,8	6,80	6,80	6,80
305067	2,00	115	550	245	0,31	20	7	1,5	7000	3,5	7	70	0,50	150	70	30	20	70	7	70	7	200	20,0	19,4	0,30	24,4	42,1	6,30	6,30	6,30
305068	1,00	65	395	200	0,30	30	7	1,5	7000	3,5	7	70	0,35	100	70	30	20	70	7	70	7	200	10,0	13,5	0,25	41,4	31,3	7,50	7,50	7,50
305069	2,00	140	385	155	0,47	15	7	0,7	5000	3,5	7	70	0,50	70	70	30	20	70	7	70	7	200	20,0	17,4	0,20	29,3	43,4	6,20	6,20	6,20
305070	1,00	90	300	215	0,46	20	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,70	70	50	30	20	70	7	70	7	200	20,0	16,6	0,30	31,0	30,1	6,00	6,00	6,00
305071	2,00	95	395	150	0,60	30	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,70	150	50	30	20	70	7	70	7	200	20,0	20,0	0,30	22,5	42,7	6,00	6,00	6,00
305072	1,00	85	365	100	0,30	20	7	1,5	7000	3,5	7	100	0,35	150	50	30	20	70	7	70	7	200	20,0	20,0	0,25	19,6	44,4	5,90	5,90	5,90
305073	0,50	80	295	330	0,16	50	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,70	70	30	20	20	70	7	70	7	200	10,0	14,3	0,25	30,4	32,1	6,40	6,40	6,40
305074	2,00	100	405	90	0,24	7	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,70	100	50	30	20	70	7	70	7	200	20,0	16,5	0,30	31,8	37,3	6,50	6,50	6,50
305075	2,00	150	300	190	0,24	20	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,70	150	70	30	20	70	7	70	7	200	10,0	16,4	0,30	29,5	35,5	6,80	6,80	6,80
305076	2,00	120	350	195	0,44	20	7	1,5	5000	3,5	5	100	0,35	100	50	30	15	70	10	70	10	200	20,0	16,5	0,20	22,7	40,4	4,50	4,50	4,50
305077	1,00	65	410	40	0,10	70	7	1,5	5000	3,5	5	100	0,35	100	50	30	20	70	10	70	10	200	20,0	17,0	0,20	24,6	45,0	4,90	4,90	4,90
305078	1,00	65	455	75	0,40	50	7	1,5	3000	3,5	5	100	0,35	100	50	30	20	70	10	70	10	200	20,0	17,0	0,25	26,0	44,3	5,20	5,20	5,20
305079	1,00	65	350	110	0,65	70	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,70	70	50	14	70	70	7	70	7	200	7,0	9,5	0,50	40,9	31,2	5,00	5,00	5,00
305080	7,00	65	240	65	0,30	10	7	1,5	2000	3,5	7	70	1,00	70	50	30	15	70	7	70	7	200	10,0	8,4	0,50	51,3	29,1	6,70	6,70	6,70
305081	2,00	170	455	80	0,23	10	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,50	150	50	30	20	70	7	70	7	200	20,0	17,4	0,50	35,9	38,5	5,80	5,80	5,80
305082	1,00	105	290	75	0,26	20	7	1,5	3000	2,5	7	70	0,50	100	50	30	20	70	7	70	7	200	15,0	16,0	0,15	33,6	39,7	6,70	6,70	6,70
305083	1,00	75	445	385	0,30	20	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,35	150	50	30	20	70	7	70	7	200	15,0	15,8	0,25	32,3	37,3	7,30	7,30	7,30
305084	1,00	65	615	515	0,10	20	7	1,5	3000	3,5	7	100	0,70	150	50	30	20	70	7	70	7	200	20,0	18,7	0,30	27,4	43,2	6,20	6,20	6,20
305085	1,00	75	355	295	0,10	20	7	1,5	3000	3,5	7	70	1,00	100	50	30	20	70	7	70	7	200	15,0	14,8	0,30	34,9	39,0	6,70	6,70	6,70
305086	2,00	120	445	235	0,43	20	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,35	150	50	30	20	70	10	70	10	200	20,0	18,0	0,30	25,7	44,0	6,10	6,10	6,10
305087	1,00	85	405	135	0,20	70	7	1,5	5000	3,5	5	100	0,35	100	50	30	15	70	10	70	10	200	15,0	14,5	0,20	35,9	40,5	6,00	6,00	6,00
305088	1,00	160	730	215	0,21	20	7	1,5	5000	3,5	5	70	0,35	150	50	20	15	70	7	70	7	200	20,0	14,9	0,25	30,4	45,0	5,80	5,80	5,80
305089	1,00	115	530	120	1,07	50	7	1,5	5000	3,5	5	100	0,35	150	50	30	20	70	7	70	7	200	20,0	16,5	0,30	33,7	37,4	7,10	7,10	7,10
305090	1,00	120	200	205	0,23	50	7	1,5	3000	3,5	5	100	0,35	150	50	30	20	70	10	70	10	200	20,0	18,3	0,20	24,7	46,0	5,60	5,60	5,60
305091	1,00	50	335	95	0,10	100	7	1,5	7000	3,5	7	150	0,35	200	50	50	15	70	10	70	10	200	30,0	22,0	0,30	11,5	54,3	7,70	7,70	7,70
305092	0,50	35	215	85	0,10	100	7	1,5	5000	3,5	7	150	0,35	150	50	50	20	70	7	70	7	200	30,0	24,0	0,25	9,8	55,0	5,40	5,40	5,40
305093	0,50	20	95	80	0,10	100	7	1,5	5000	3,5	7	70	0,50	70	30	20	10	70	7	70	7	150	15,0	12,2	0,30	41,3	34,1	6,40	6,40	6,40
305094	2,00	210	455	295	4,39	70	7	1,5	5000	3,5	5	150	0,35	150	70	30	15	70	7	70	7	200	20,0	17,3	0,20	24,1	44,5	5,50	5,50	5,50
305095	0,50	75	415	155	0,10	70	7	1,5	3000	3,5	7	150	0,70	100	30	20	20	70	7	70	7	200	20,0	17,0	0,25	27,1	41,0	6,00	6,00	6,00
305096	1,00	100	495	260	0,21	70	7	1,5	3000	3,5	7	100	0,35	100	30	30	20	70	7	70	7	200	20,0	16,5						

305987	1,00	115	485	2045	0,10	7	7	1,5	1500	3,5	5	15	0,35	70	15	14	7	70	7	150	5,0	7,6	0,30	60,4	19,1	9,00
305988	2,00	120	1075	2045	0,10	10	7	1,5	2000	3,5	5	15	0,35	70	15	20	7	70	7	150	5,0	8,2	0,40	62,9	13,8	10,70
305989	2,00	150	760	1020	0,10	10	7	1,5	3000	3,5	5	20	0,35	70	15	20	7	70	7	200	7,0	10,7	0,20	57,9	16,5	9,90
305910	1,00	95	990	1470	0,10	15	7	1,0	3000	3,5	5	15	0,35	70	15	20	15	70	7	200	7,0	10,8	0,20	59,4	17,2	9,70
305911	2,00	95	1595	1675	0,04	20	7	1,0	2000	3,5	7	15	0,70	70	15	14	7	70	7	200	10,0	8,8	0,30	58,7	19,9	9,40
305912	2,00	135	2730	2470	0,09	7	7	1,5	1500	3,5	5	10	0,35	50	20	20	7	70	7	150	5,0	7,7	0,25	63,1	14,9	10,50
305913	2,00	125	1780	2275	0,10	10	7	1,0	2000	3,5	5	10	0,70	70	20	20	10	70	7	200	7,0	8,3	0,10	64,0	14,3	10,00
305914	3,00	250	1995	830	0,33	70	7	1,5	5000	3,5	5	70	1,00	100	50	30	10	70	10	200	15,0	17,2	0,20	37,2	33,7	7,90
305915	3,00	175	1440	925	2,00	30	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,70	100	50	20	30	70	7	300	10,0	15,7	0,10	43,5	29,3	8,00
305916	2,00	95	1485	1120	2,67	20	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,35	70	50	14	15	70	7	300	15,0	16,5	0,15	44,7	25,1	8,40
305917	1,00	90	1565	1500	0,33	20	7	1,5	3000	3,5	7	50	0,35	70	50	20	20	70	10	500	15,0	16,3	0,30	47,0	25,0	9,40
305918	1,00	105	1340	2045	0,10	15	7	1,5	3000	3,5	7	30	0,35	70	20	20	15	70	7	300	10,0	13,1	0,25	52,3	21,7	8,80
305919	4,00	120	1130	745	0,10	70	7	2,0	5000	2,5	7	70	0,70	150	30	30	15	70	10	500	20,0	20,1	0,10	27,9	39,6	8,00
305920	0,50	90	545	630	0,10	50	7	1,0	7000	3,5	7	70	0,35	150	70	30	30	70	10	500	15,0	19,8	0,20	31,6	39,0	7,50
305921	1,00	110	470	955	0,10	30	7	1,0	5000	3,5	7	70	0,35	100	70	30	15	70	7	500	15,0	17,2	0,30	41,8	27,7	8,40
305922	0,50	75	745	595	0,16	50	7	1,0	3000	3,5	7	50	0,25	100	50	20	20	70	7	500	30,0	20,5	0,20	33,2	35,6	7,40
305923	2,00	125	945	900	3,16	20	7	1,0	3000	3,5	7	70	0,70	70	50	30	30	70	7	500	15,0	17,3	0,20	44,2	27,5	9,40
305924	4,00	195	1220	1545	10,10	7	7	1,5	2000	3,5	7	30	1,50	70	20	20	15	70	7	300	7,0	12,5	0,15	55,4	19,6	9,50
305925	6,00	120	785	1160	0,10	70	7	1,5	5000	2,5	7	70	1,50	100	50	30	15	70	10	500	30,0	20,8	0,15	33,2	32,9	7,60
305926	7,00	135	790	1625	0,10	30	7	1,5	3000	3,5	7	70	5,00	150	50	30	30	70	7	500	7,0	17,0	0,10	43,3	26,6	9,40
305928	6,00	235	1595	1505	2,69	50	7	1,5	3000	3,5	5	50	1,50	70	20	30	10	70	10	300	15,0	13,1	0,50	48,4	23,7	9,00
305929	3,00	215	1115	1140	0,26	20	7	1,5	5000	3,5	7	70	1,50	100	50	50	30	70	7	500	15,0	17,5	0,50	38,1	31,1	8,00
305930	5,00	255	1230	1540	0,10	20	7	1,5	3000	3,5	7	50	0,70	70	30	30	20	70	7	500	7,0	14,2	0,50	49,3	23,7	9,00
305931	2,00	395	1385	1655	0,10	10	7	1,5	3000	3,5	5	30	0,35	70	30	20	15	70	7	300	7,0	9,0	0,50	56,4	19,5	9,90
305932	2,00	350	1145	1660	0,20	10	7	1,5	3000	3,5	5	30	0,35	70	50	30	15	70	7	300	7,0	9,6	0,50	56,9	18,8	9,80
305933	4,00	350	1295	1310	0,10	50	7	1,5	5000	3,5	7	70	1,50	100	50	30	30	70	7	500	10,0	17,0	0,50	39,4	31,2	7,90
305934	1,00	305	875	1470	0,10	20	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,35	100	50	30	30	70	7	300	10,0	12,9	0,50	49,9	27,4	7,30
305935	4,00	290	920	1250	0,16	20	7	1,5	5000	3,5	7	70	1,00	100	50	30	20	70	7	300	10,0	14,4	0,50	45,2	29,0	8,40
305936	4,00	235	545	210	1,15	20	7	1,5	3000	3,5	5	70	1,50	100	20	20	15	70	7	150	15,0	12,3	0,50	44,6	32,0	7,00
305937	3,00	210	1000	130	0,83	30	7	1,5	3000	3,5	5	70	0,70	100	50	20	15	70	7	150	15,0	13,2	0,50	38,1	39,4	6,90
305938	1,00	190	715	335	0,37	50	7	1,5	3000	3,5	7	100	0,35	150	50	20	20	70	7	200	30,0	17,9	0,50	34,0	37,4	7,20
305939	0,50	40	1310	25	0,40	70	7	2,0	7000	3,5	7	200	0,35	200	70	50	20	70	10	300	30,0	26,0	0,50	10,8	54,0	5,60
305940	2,00	270	430	230	0,41	50	7	1,5	3000	3,5	7	100	1,00	150	50	20	20	70	7	300	15,0	16,5	0,50	35,7	37,1	8,00
305941	4,00	240	485	295	0,75	30	7	1,0	3000	3,5	5	70	1,00	100	30	30	15	70	7	150	10,0	11,3	0,50	51,0	29,0	7,90
305942	1,00	210	910	460	0,17	30	7	1,5	3000	3,5	5	70	0,35	100	30	20	20	70	7	200	15,0	12,3	0,50	39,7	34,3	7,40
306030	7,00	265	920	110	0,41	20	7	1,5	2000	3,5	5	70	1,50	70	20	20	10	70	7	150	10,0	12,3	0,15	46,3	30,7	4,35
306039	8,00	295	775	150	0,27	30	7	1,5	2000	3,5	5	70	1,50	70	20	14	15	70	7	150	15,0	12,8	0,10	42,7	32,1	4,50
306040	7,00	235	620	145	0,42	20	7	1,5	3000	3,5	5	70	1,50	100	30	14	15	70	7	200	15,0	12,6	0,10	42,9	34,7	4,05
306041	5,00	150	525	135	0,30	30	7	1,5	3000	3,5	5	70	1,50	100	30	14	15	70	7	200	15,0	14,0	0,15	32,5	40,6	4,35
306042	4,00	125	460	100	0,35	50	7	1,5	3000	3,5	7	70	1,00	100	30	20	20	70	7	200	15,0	17,9	0,20	27,0	42,6	4,20
306043	0,50	60	780	45	0,11	70	7	2,0	3000	3,5	7	150	0,35	200	50	50	30	70	10	300	30,0	20,6	0,15	9,8	57,6	3,75
306044	0,50	45	1310	35	0,10	70	7	1,5	3000	3,5	7	150	0,35	150	50	70	15	70	10	300	30,0	19,8	0,20	8,8	59,8	3,65
306045	3,00	220	1120	225	0,30	70	7	1,5	3000	3,5	7	100	1,00	100	70	20	20	70	10	300	20,0	17,9	0,20	24,1	43,5	5,20
306046	0,50	105	1270	70	0,74	100	7	1,5	7000	3,5	7	70	0,35	150	50	14	15	70	10	300	30,0	17,2	0,25	21,6	49,3	3,90
306047	1,00	200	1330	220	0,40	70	7	1,5	3000	3,5	7	100	0,35	150	50	30	30	70	10	150	20,0	19,5	0,30	13,2	56,9	4,50
306048	0,00	150	760	75	0,47	30	7	1,0	3000	3,5	7	70	3,00	100	50	14	20	70	7	300	20,0	15,3	0,10	42,2	32,3	3,95
306050	0,00	160	820	105	1,35	10	7	1,0	3000	3,5	5	70	20,00	70	20	14	15	70	7	200	10,0	10,9	0,10	52,2	26,7	3,00
306051	14,00	310	430	145	0,34	15	7	1,0	3000	3,5	5	70	5,00	70	50	14	15	70	7	150	15,0	12,5	0,15	48,1	27,9	3,05
306053	3,00	80	275	140	0,30	10	7	0,7	1500	3,5	5	70	0,35	70	15	14	7	70	7	150	7,0	5,9	0,10	42,4	32,8	6,10
306054	3,00	105	430	105	0,41	10	7	0,7	2000	3,5	5	70	0,35	70	15	14	7	70	7	150	10,0	7,1	0,10	57,9	22,4	5,50
306055	3,00	165	345	135	1,26	15	7	1,0	3000	3,5	5	70	0,35	70	15	14	10	70	10	150	10,0	9,8	0,20	42,4	34,5	5,30
306056	5,00	115	215	215	0,50	7	7	1,0	3000	3,5	5	70	0,70	100	20	14	7	70	7	150	10,0	13,0	0,15	52,4	25,1	6,00
306057	2,00	120	315	120	0,44	10	7	0,7	3000	3,5	5	70	0,35	100	20	20	10	70	10	150	10,0	9,2	0,10	51,1	27,1	6,80
306058	3,00	115	390	110	0,20	70	7	1,0	3000	3,5	7	70	0,70	150	50	20	20	70	7	200	20,0	14,6	0,20	39,5	41,5	5,10
306059	03,00	35	200	50	0,26	20	7	1,5	3000	3,5	5	70	15,00	100	20	14	15	70	10	200	15,0	12,3	0,20	42,6	35,7	4,70

...continuação do Anexo III.

304040	2,00	125	305	70	0,54	15	7	1,0	3000	3,5	5	50	0,35	100	50	70	10	70	7	200	30,0	11,0	0,30	40,4	37,1	5,40
304041	3,00	220	890	705	0,44	15	7	1,5	3000	3,5	5	70	0,70	100	50	20	15	70	7	200	30,0	14,5	0,20	35,5	36,9	7,10
304042	4,00	75	165	255	0,48	7	7	1,0	3000	3,5	5	70	1,00	150	50	14	10	70	7	150	15,0	12,3	0,30	40,6	34,3	6,60
304043	2,00	65	245	350	0,63	7	7	1,0	3000	3,5	5	70	0,70	100	50	20	10	70	7	150	15,0	11,9	0,20	44,7	30,7	6,90
304044	0,50	40	185	95	0,34	30	7	1,5	3000	3,5	7	100	0,35	150	50	20	15	70	7	300	30,0	19,7	0,25	17,8	48,0	4,70
304045	2,00	55	145	150	0,28	30	7	1,5	3000	3,5	7	100	0,35	100	50	20	10	70	7	300	30,0	17,8	0,15	24,1	45,6	4,30
304046	2,00	80	335	90	0,20	10	7	1,5	3000	3,5	5	70	0,70	150	70	20	15	70	7	200	15,0	12,6	0,20	43,3	33,6	4,30
304047	3,00	70	545	40	0,46	10	7	1,0	2000	3,5	5	70	0,70	100	30	20	10	70	7	150	15,0	10,4	0,20	49,7	30,5	3,70
304048	2,00	95	305	225	0,10	30	7	1,5	3000	3,5	7	100	0,70	150	70	20	15	70	10	300	30,0	15,8	0,50	31,8	42,1	4,50
304049	0,50	10	35	75	0,10	100	7	1,5	5000	3,5	7	100	0,35	200	70	70	15	70	10	300	30,0	20,8	0,50	10,0	61,5	4,10
304050	1,00	95	500	105	0,67	50	7	1,0	3000	3,5	5	70	0,35	100	70	20	20	70	7	200	30,0	12,0	0,50	35,4	39,9	6,00
304051	2,00	110	750	80	2,01	30	7	1,0	3000	3,5	5	100	0,35	150	50	20	20	70	7	200	20,0	10,1	0,50	40,1	36,6	6,50
304052	2,00	50	395	125	0,27	100	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,35	150	30	30	15	70	7	200	20,0	20,0	0,50	22,3	44,9	7,50
304053	0,50	40	410	140	0,23	70	7	1,5	5000	3,5	7	100	0,35	150	50	30	20	70	7	300	30,0	21,0	0,50	19,6	44,5	6,90
304054	4,00	100	545	135	1,24	50	7	1,0	3000	3,5	5	70	1,50	100	30	20	20	70	7	300	30,0	11,7	0,50	44,0	31,1	8,60
304055	2,00	135	620	135	1,42	30	7	1,0	3000	3,5	5	70	0,35	70	30	20	15	70	7	200	20,0	13,2	0,50	41,4	33,0	7,40
304056	3,00	140	400	100	2,30	30	7	1,0	3000	3,5	7	70	0,50	150	50	30	20	70	7	200	20,0	14,6	0,50	36,4	17,6	6,60
304057	2,00	95	470	70	4,13	30	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,35	100	30	30	20	70	7	200	20,0	13,4	0,50	35,2	40,2	6,00
304058	5,00	145	535	160	16,34	20	7	1,0	3000	3,5	5	70	0,35	100	50	14	15	70	7	150	15,0	8,8	0,50	44,2	33,7	7,20
304059	2,00	70	770	75	1,53	100	7	1,5	5000	3,5	7	100	0,35	150	70	30	20	70	10	300	20,0	16,0	0,50	28,6	42,8	5,00
304060	3,00	135	470	120	5,18	70	7	1,5	3000	3,5	7	100	1,00	150	70	20	20	70	7	300	30,0	15,5	0,50	30,8	43,6	6,30
304061	7,00	150	570	105	14,44	70	7	1,5	3000	3,5	5	70	1,50	100	20	20	20	70	7	200	20,0	11,9	0,50	36,7	37,3	8,20
304062	8,00	145	1670	165	21,30	30	7	1,0	3000	3,5	5	70	1,50	100	20	20	20	70	7	200	20,0	12,1	0,50	47,7	29,1	9,10
304063	3,00	115	2335	165	4,66	30	7	1,5	3000	3,5	5	50	0,50	100	50	14	10	70	10	200	15,0	10,7	0,50	48,6	28,0	8,00
304064	4,00	135	500	135	2,35	20	7	1,5	3000	3,5	5	70	1,00	100	70	20	20	70	7	200	20,0	7,5	0,50	51,6	28,4	7,50
304065	4,00	120	500	130	9,14	20	7	1,0	3000	3,5	5	70	1,00	100	70	20	20	70	7	200	20,0	7,5	0,50	52,1	28,0	7,50
304066	3,00	175	400	195	5,24	30	7	0,7	3000	3,5	5	70	0,35	100	50	14	20	70	7	150	15,0	8,4	0,50	47,4	33,6	6,70
304067	5,00	175	430	160	10,91	30	7	1,5	5000	3,5	5	70	0,50	100	50	14	10	50	10	300	20,0	13,2	0,50	42,3	36,0	6,60
312670	7,00	100	1660	1610	1,05	30	7	1,5	3000	3,5	5	30	7,00	100	30	30	10	70	10	200	15,0	14,2	0,42	47,5	23,3	9,40
312671	2,00	145	920	960	0,63	30	7	1,5	5000	3,5	5	50	0,50	100	30	20	15	70	10	200	15,0	19,6	0,27	34,1	33,2	8,50
312672	2,00	100	740	1120	0,69	30	7	1,5	3000	3,5	5	50	0,50	100	50	20	15	70	10	200	20,0	17,7	0,25	41,8	29,0	8,50
312673	5,00	110	860	1640	2,27	30	7	1,5	3000	3,5	5	50	0,50	150	30	20	10	70	10	200	10,0	13,8	0,24	51,3	20,3	8,50
312674	35,00	120	2130	1400	7,73	10	7	1,5	3000	3,5	5	50	0,70	70	20	20	7	70	7	150	10,0	11,7	0,01	53,0	21,3	9,20
312675	7,00	305	1940	1075	0,95	20	7	1,5	3000	3,5	5	50	1,50	70	20	20	10	70	7	200	15,0	11,1	0,22	47,1	26,0	8,60
312676	4,00	175	1510	1130	6,56	7	7	1,5	2000	3,5	5	20	0,70	70	15	20	7	70	10	70	5,0	7,5	0,34	64,9	16,5	9,20
312677	3,00	130	1150	1055	2,00	7	7	1,5	3000	3,5	5	50	0,35	70	15	14	10	70	10	150	10,0	9,8	0,32	53,4	21,1	8,90
312678	2,00	60	1200	1170	0,10	30	7	1,5	3000	3,5	5	50	0,50	100	30	20	15	70	10	200	15,0	13,6	0,25	41,8	29,5	8,20
312679	15,00	125	1435	470	29,04	7	7	0,7	1500	3,5	5	20	5,00	70	15	14	7	70	10	50	5,0	11,5	0,20	66,6	12,0	8,70
312680	3,00	95	3200	1520	4,68	7	7	1,5	3000	3,5	5	30	0,35	70	15	30	10	70	10	150	7,0	12,9	0,29	55,7	18,9	9,20
312681	4,00	270	715	200	5,14	20	7	1,5	2000	3,5	7	70	1,00	100	70	20	15	70	10	200	20,0	15,4	0,20	45,2	38,8	8,20
312682	1,00	100	910	75	0,58	30	7	1,5	3000	3,5	7	100	3,50	100	20	20	15	70	10	300	20,0	17,5	0,20	29,0	42,0	5,70
312683	4,00	125	620	125	11,61	20	7	1,5	3000	3,5	7	100	0,70	100	30	20	10	70	10	300	20,0	15,7	0,20	30,2	35,6	6,10
312684	4,00	150	630	100	7,33	20	7	1,5	2000	3,5	5	70	1,50	100	30	20	10	70	10	300	20,0	16,9	0,34	36,2	35,6	6,40
312685	5,00	205	545	195	19,13	20	7	1,0	2000	3,5	7	70	0,70	100	30	30	10	70	7	200	15,0	15,4	0,29	42,0	33,9	7,30
312686	3,00	105	1335	175	2,77	10	7	1,5	3000	3,5	7	70	0,50	70	15	20	10	70	10	150	15,0	13,3	0,22	45,7	27,9	7,80
312687	3,00	125	745	135	3,05	7	7	1,5	2000	3,5	5	70	0,50	70	20	30	10	70	10	150	10,0	12,1	0,22	47,6	28,1	7,60
312688	4,00	120	530	160	2,20	20	7	1,5	3000	3,5	7	100	0,70	100	50	20	15	70	7	200	15,0	14,6	0,17	38,3	33,8	6,80
312689	3,00	70	1260	2565	0,10	10	7	1,5	700	3,5	5	15	0,50	50	15	20	7	70	10	100	3,5	7,5	0,32	67,7	10,2	10,60
312690	4,00	55	445	2495	0,10	7	7	1,0	700	3,5	5	15	1,50	50	10	20	7	70	7	200	3,5	11,1	0,43	65,1	10,8	9,90

...continuação do Anexo III.