FABRIZZIO RODRIGUES COSTA

Caracterização tecnológica do minério de ouro da Mina Morro do Ouro – Paracatu,
MG

São Paulo
2016

FABRIZZIO RODRIGUES COSTA

Caracterização tecnológica do minério de ouro da Mina Morro do Ouro – Paracatu,
MG

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título Mestre em
Ciências

São Paulo
2016

FABRIZIO RODRIGUES COSTA

Caracterização tecnológica do minério de ouro da Mina Morro do Ouro – Paracatu,
MG

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título Mestre em
Ciências

Área de Concentração:
Engenharia Mineral

Orientador:
Prof. Dr. Henrique Kahn

São Paulo
2016

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 15 de março de 2016.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Catálogo-na-publicação

Costa, Fabrizzio Rodrigues

Caracterização tecnológica do minério de ouro da Mina Morro do Ouro – Paracatu, MG / F. R. Costa – versão corr. – São Paulo, 2016.

148 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1. Caracterização tecnológica de minérios 2. Minérios auríferos 3. Análise de imagens automatizada 4. Microscopia eletrônica de varredura I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II. t.

DEDICATÓRIA

*Dedico esse texto à minha família que me acompanhou
nessa jornada.*

Ariane, Wilson, Ana Clara e Henrique...amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Henrique Kahn pela oportunidade de realizar este trabalho, pela paciência e dedicação à pesquisa. A Profa. Dra. Carina Ulsen, Dra. Manuela Tassinari e Dra. Giuliana Ratti pelos ensinamentos.

Aos meus amigos do LCT que sempre estiveram de prontidão para ajudar. Aos técnicos Juscelino, Erílio, Ingled e Fernanda, aos geólogos Daniel Uliana, Juliana Antoniassi, Sheila Schuindt, Renato Contessotto, ao engenheiro de minas Guilherme Nery e os químicos Saulo Colenci e Paulo Feldbaum. Dedico também aos amigos Daniel Bortoleto e toda a turma da Geologia USP de 2000.

Agradeço à empresa Kinross Brasil Mineração por possibilitar a realização deste estudo por meio do fornecimento das amostras em especialmente para aos amigos da Gerência de Serviços Técnicos; Eldrick Esper, Reginaldo Rugolo, Luis Fernando e Wardan Martins pela inestimável ajuda e contribuição.

E finalmente, agradeço a minha esposa Ariane e aos meus pais, Adão e Iracema, pela confiança, dedicação e carinho. Aos meus irmãos, Ludmilla e Jerryson pelo apoio. Serei eternamente grato a vocês!

"O mestre disse a um dos seus alunos: Yu, queres saber em que consiste o conhecimento? Consiste em ter consciência tanto de conhecer uma coisa quanto de não a conhecer. Este é o conhecimento".

(Confúcio)

RESUMO

As unidades de beneficiamento de minério de ouro buscam cada vez mais uma produção de baixo custo e maximização dos ganhos financeiros. A caracterização tecnológica está inserida em uma abordagem multidisciplinar que permite agregar conhecimento, alternativas de otimização e redução nos custos de operação.

Inserida como uma ferramenta na caracterização tecnológica, a análise de imagens automatizada tem importante papel no setor mineral principalmente pela rapidez das análises, robustez estatística e confiabilidade nos resultados. A técnica pode ser realizada por meio de imagens adquiridas em microscópio eletrônico de varredura, associada a microanálises químicas sendo utilizada em diversas etapas de um empreendimento mineiro.

Este estudo tem como objetivo a caracterização tecnológica de minério de ouro da Mina Morro do Ouro, Minas Gerais na qual foi utilizado a técnica de análise de imagens automatizada por MLA em um conjunto de 88 amostras.

Foi possível identificar que 90% do ouro está na fração acima de 0,020 mm; o quartzo e mica representam cerca de 80% da massa total do minério; os sulfetos apresentam diâmetro de círculo equivalente entre 80 e 100 μm e são representados por pirita e arsenopirita, com pirrotita, calcopirita, esfalerita e galena subordinada.

Também foi possível observar que o ouro está majoritariamente associado à pirita e arsenopirita e com o aumento de teor de arsênio, cresce a parcela de ouro associado à arsenopirita. As medianas das distribuições de tamanho dos grãos de ouro apresentam um valor médio de 19 μm . Verificou-se que a composição dos grãos de ouro é bastante diversa, em média 77% de ouro e 23% de prata.

Para material abaixo de 0,50 mm observa-se uma parcela expressiva de perímetro exposto dos grãos de ouro (média 73%); o ouro incluso (21% do total dos grãos de ouro) está associado a pirita e arsenopirita, sendo que em 14 das 88 amostras este valor pode superar 40% do total de ouro contido.

A ferramenta da análise de imagens automatizada mostrou-se bastante eficiente definindo características particulares o que fornece de forma objetiva subsídios para os trabalhos de planejamento de mina e processamento mineral.

Palavras-chave: análise quantitativa de imagens; minério de ouro; arsenopirita

ABSTRACT

Evolution in gold ore processing units are increasingly focused towards efficiency seeking routines, leading to a low-cost and maximal financial gain. The mineral characterization, inserted into a multidisciplinary approach enables a knowledge adding dynamics that results in optimization alternatives and consequent operating cost reduction.

Being one of commonly used tools in mineral characterization, automated image analysis plays an important role in the mining sector mainly due to its rapid analysis, statistical robustness and reliability of the results. The technique can be performed using images acquired in a scanning electron microscope, usually associated with chemical microanalysis having applications in different stages of a mining venture.

The following study aims to produce a mineral characterization using an automated image analysis technique by MLA in a set of 88 samples from the Morro do Ouro gold mine, located in Minas Gerais State, Brazil.

Results showed that 90% of gold content is above the 0,02mm size fraction; quartz and mica are the mayor mineral phases identified representing roughly 80% of the total; sulfides have equivalent circle diameter ranging from 80 to 100 μm present mainly as pyrite and arsenopyrite.

It was also noted that gold is mainly associated with pyrite and arsenopyrite and that there is a correlation between the higher share of gold associated with arsenopyrite as a function of higher contents in arsenic. The median size distributions of gold grains have an average of 19 μm . It was found that the composition of the gold is highly diverse, on average 77% gold and 23% silver.

For material below 0.50 mm, was observed that a significant portion of the exposed gold grains circumference (average 73%); the included gold (21% of total grains of gold) is associated with pyrite and arsenopyrite, and that in 14 of 88 samples this value may exceed 40% of the gold contained.

The automated image analysis tool proved to be very efficient defining particular features, which provides an objective subsidy for mine planning work and mineral processing.

Keywords: automated image analysis; gold ore; arsenopyrite

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	página
Figura 2.1 - Esquema dos ambientes de formação dos depósitos de ouro.....	21
Figura 2.2 - Produção de ouro em escala industrial e garimpeira (1988 – 2014).....	28
Figura 2.3 - Cotação média anual do preço do ouro (1968 – 2014).....	30
Figura 2.4 - Recuperação de ouro em relação ao tamanho do grão	34
Figura 2.5 - Partícula binária seccionada em distintas regiões	42
Figura 2.6 - Esquema geral de classificação no MLA	45
Figura 2.7 - Ilustração do fenômeno de difração de raios X.....	49
Figura 2.8 - Mapa Geológico da Faixa Brasília	52
Figura 2.9 - Coluna estratigráfica dos grupos Canastra, Vazante e Ibiá	53
Figura 2.10 - Amostras do depósito Morro do Ouro	54
Figura 2.11 - Seção esquemática do depósito Morro do Ouro indicando horizontes mineralizados.	55
Figura 2.12 - Seção esquemática do corpo de minério tipo B2.....	57
Figura 2.13 - Fluxograma da usina de processamento I	59
Figura 2.14 - Fluxograma da usina de processamento II - Cominuição	60
Figura 2.15 - Fluxograma da usina de processamento II - Flotação	61
Figura 3.1 - Amostragem de testemunho de sondagem	65
Figura 3.2 - Amostragem na de frente de lavra	66
Figura 3.3 - Fluxograma das atividades realizadas	67
Figura 3.4 - Aspecto geral das amostras estudadas – amostra tal qual.....	68
Figura 3.5 - Equipamentos utilizados para cominuição e divisão da amostra	68
Figura 3.6 - Peneirador Haver EML 450 utilizado no peneiramento a úmido	69
Figura 3.7 - Procedimento de separação por líquidos densos e equipamento.....	71
Figura 3.8 - Equipamentos utilizados para difração de raios X	72
Figura 3.9 - Equipamentos utilizados para divisão da amostra	73
Figura 3.10 - Procedimento de coleta e processamento dos dados - MLA.....	74
Figura 4.1 - Relação entre teores de arsênio e ouro – banco de dados da Kinross..	78

Figura 4.2 - Relação entre teores de enxofre e ouro - banco de dados da Kinross ..	79
Figura 4.3 - Correlação entre teores de enxofre, arsênio e ouro nas amostras estudadas.....	81
Figura 4.4 - Distribuição de massa para peneiramento em 0,020 mm	82
Figura 4.5 - Distribuição de enxofre para peneiramento em 0,020 mm.....	83
Figura 4.6 - Distribuição de arsênio para peneiramento em 0,020 mm.....	83
Figura 4.7 - Distribuição de ouro para peneiramento em 0,020 mm	84
Figura 4.8 - Distribuição em massa para separações em líquido denso (fração- 0,50+0,020 mm)	85
Figura 4.9 - Distribuição de enxofre para separações em líquido denso (fração - 0,50+0,020 mm)	86
Figura 4.10 - Distribuição de arsênio para separações em líquido denso (fração - 0,50+0,020 mm)	87
Figura 4.11 - Distribuição de ouro para separações em líquido denso (fração - 0,50+0,020 mm)	87
Figura 4.12 - Sobreposições dos difratogramas de raios X das amostras estudadas	89
Figura 4.13 - Composição mineralógica das amostras estudadas (fração -0,50+0,020 mm)	90
Figura 4.14 - Composição normalizada dos sulfetos (fração -0,50+0,020mm)	91
Figura 4.15 - Distribuição de enxofre entre os principais sulfetos (fração -0,50+0,020 mm)	92
Figura 4.16 - Correlação entre sulfetos na amostra e teor de enxofre (fração - 0,50+0,020 mm)	93
Figura 4.17 - Medianas das distribuições de tamanho de grãos de ouro (D ₅₀ ; ECD)	94
Figura 4.18 - Medianas das distribuições de tamanho para clusters de sulfetos (D ₅₀ ; ECD)	95
Figura 4.19 - Associação dos grãos de ouro por perímetro de contato - acessível, não encapsulado e incluso (produto afundado, fração -0,50+0,020 mm)	96

Figura 4.20 - Associação dos grãos de ouro por perímetro de contato (produto afundado, fração -0,50+0,020 mm)	96
Figura 4.21 - Composição média estimada dos grãos de ouro	99
Figura 4.22 - Composição média estimada dos grãos de ouro e sua relação com o diâmetro de círculo equivalente do ouro	100
Figura 5.1 - Distribuição mineralógica dos sulfetos nas amostras – classes de teor de arsênio (% massa; fração -0,50+0,020 mm)	105
Figura 5.2 - Distribuição de enxofre nos sulfetos – teores de arsênio por classe....	106
Figura 5.3 - Distribuição acumulada abaixo – tamanho dos grãos de ouro por classe de teor de arsênio (%).....	107
Figura 5.4 - Distribuição granulométrica dos sulfetos por faixa de teor de arsênio - fração -0,5+0,020 mm	108
Figura 5.5 - Distribuição da associação mineral por perímetro de contato – associação do ouro com os principais minerais - fração -0,50+0,020 mm.....	110
Figura 5.6 - Perímetro exposto das partículas de sulfetos - fração -0,50+0,020 mm	111
Figura 5.7 - Associação mineral por perímetro de contato – Sulfetos totais; fração - 0,50+0,020 mm	112
Figura 5.8 - Ouro acessível, não encapsulado e incluso determinados a partir dos perímetros de contato dos grãos de ouro (produto afundado; fração -0,50+0,020 mm)	113
 Quadro 2.1 - Principais depósitos de ouro de escala mundial	22
Quadro 2.2 - Tipos de minérios auríferos, modo de ocorrência e exemplos	31
Quadro 2.3 - Principais trabalhos relacionados ao depósito Morro do Ouro	63
Quadro 3.1 - Condição de coleta dos difratogramas	72
 Fotomicrografia 2.1 - Ilustração sobre a acessibilidade do ouro	46
Fotomicrografia 2.2 - Ouro potencialmente não extraído – 2D.....	48

Fotomicrografia 4.1 - Detalhe de grãos de ouro observados no MEV/EDS – produto afundado, fração -0,50+0,020 mm	98
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Reservas minerais de ouro por unidade de federação.....	27
Tabela 2.2 - Principais empresas produtoras de ouro em 2012, incluindo garimpo ..	29
Tabela 2.3 - Principais minerais, compostos e conteúdo de ouro	33
Tabela 2.4 - Principais técnicas analíticas para análise de ouro	40
Tabela 3.1 - Composição e densidade dos principais minerais presentes no depósito Morro do Ouro	70
Tabela 3.2 - Propriedades dos grãos de ouro a partir do perímetro de contato (modelo de extração dos dados do MLA – <i>grain properties</i>).....	76
Tabela 4.1 - Medianas das distribuições de tamanho de sulfetos (D50 - μm ; ECD) nas amostras estudadas	93
Tabela 4.2 - Sumário das associações dos grãos de ouro por perímetro de contato (produto afundado, fração -0,50+0,020 mm).....	97
Tabela 5.1 - Relação das amostras classificadas	102
Tabela 5.2 - Análise granulométrica, teores e distribuição de ouro, arsênio e enxofre para as classes de minério.....	103
Tabela 5.3 - Sumário comparativo das separações minerais por líquido denso (TBE 2,95g/cm ³)	104
Tabela 5.4 - Associação mineral de grãos de ouro por perímetro de contato para as classes de minério (fração -0,5+0,020 mm)	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BSE	<i>backscattered electrons</i> - elétrons retroespalhados
BWI	<i>work index</i> de Bond
CFEM	compensação financeira pela exploração de minérios
CIC	carvão em coluna
CIL	carvão em lixiviação
CIP	carvão em polpa
cm ³	centímetro(s) cúbico(s)
CSF	Cráton do São Francisco
d ₅₀	diâmetro médio na qual 50% das partículas estão abaixo da fração
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EDS	<i>energy dispersive spectroscopy</i> – espectrômetro de energia dispersiva
FBM	Faixa Brasília Meridional
FBS	Faixa Brasília Setentrional
GSB	<i>Greenstone belts</i>
g	gramas
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IOCG	<i>Iron Oxide Copper Gold</i>
kg	quilogramas
Ma	milhões de anos
MEV	microscópio eletrônico de varredura
MLA	<i>Mineral Liberation Analyser</i>
Mt	milhões de toneladas - 10 ⁶ toneladas
Mt/a	milhões de toneladas por ano
Oz	unidade de medida ouro em onças
ppb	partes por bilhão
ppm	partes por milhão
QEMSCAN	<i>Quantitative evaluation of minerals by scanning electron microscopy</i>
ROM	<i>Run of mine</i> – movimentação de minério da mina
SAG	moagem semiautógena

SedEx	depósitos sedimentares exalativos
SPL_LT	<i>Sparse Phase Liberation Analysis</i>
t	toneladas
US\$	unidade monetária norte americana
VMS	depósitos sulfetos maciços vulcanogênicos
XBSE	<i>Extended BSE Liberation Analysis</i>
WAD	<i>weak acid dissociable cyanide</i>
µm	micrômetro

SUMÁRIO

	página
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVO	18
1.2 RELEVÂNCIA DA PESQUISA.....	18
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DEPÓSITOS DE OURO	20
2.1.1 Modelo metalogenético do depósito do Morro do Ouro	25
2.2 PANORAMA DO OURO	26
2.2.1 Evolução dos preços no mercado nacional e internacional	29
2.3 MINÉRIOS AURÍFEROS	31
2.3.1 Ocorrência de ouro.....	31
2.3.2 Formas de associações.....	32
2.3.3 Fatores que afetam a extração do ouro	33
2.3.4 Beneficiamento mineral	35
2.3.4.1 <i>Princípios da cominuição</i>	35
2.3.4.2 <i>Concentração densitária</i>	36
2.3.4.3 <i>Flotação</i>	36
2.3.4.4 <i>Extração hidrometalúrgica</i>	37
2.3.4.5 <i>Circuito de cianetação</i>	37
2.3.4.6 <i>Adsorção em carvão ativado</i>	38
2.4 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	39
2.4.1 Estereologia e análise de imagens.....	41
2.4.2 Erros associados às análises de imagens	42
2.4.3 Microscopia eletrônica de varredura e mineralogia quantitativa automatizada	43
2.4.4 Grau de acessibilidade do ouro.....	45
2.4.5 Difração de raios X.....	48
2.5 DEPÓSITO DE MORRO DO OURO.....	49
2.5.1 Histórico da exploração de ouro no Morro do Ouro	49
2.5.2 Enquadramento geológico-geotectônico	51
2.5.3 Geologia local.....	54

2.5.4	Lavra	57
2.5.5	Beneficiamento mineral	58
2.5.5.1	<i>Usina de processamento I</i>	58
2.5.5.2	<i>Usina de processamento II</i>	59
2.5.6	Trabalhos sobre caracterização do minério do Morro do Ouro	62
3	MATERIAIS E MÉTODOS	65
3.1	MATERIAIS	65
3.2	PROCEDIMENTOS ADOTADOS	66
3.2.1	Cominuição e homogeneização	67
3.2.2	Peneiramento e deslamagem	69
3.2.3	Separações minerais em líquidos densos	69
3.2.4	Difração de raios X e análises químicas	71
3.3	CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E ASSOCIAÇÕES	73
3.4	CÁLCULO DAS ASSOCIAÇÕES DOS GRÃOS DE OURO EM PERÍMETRO DE CONTATO	75
4	RESULTADOS	78
4.1	CORRELAÇÕES QUÍMICAS A PARTIR DO BANCO DE DADOS ANALÍTICO ...	78
4.2	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA	79
4.2.1	Composição química das amostras estudadas	79
4.2.2	Correlação entre teores nas amostras estudadas	80
4.2.3	Peneiramento em 0,020 mm	81
4.2.4	Separação minerais por líquido denso	84
4.2.5	Composição mineralógica das amostras estudadas	88
4.2.6	Distribuição de enxofre entre os principais sulfetos	92
4.2.7	Tamanho de grãos de ouro e de clusters de sulfetos	93
4.2.8	Associações dos grãos de ouro por perímetro de contato	95
4.2.9	Formas de ocorrência e estimativa da composição de ouro	97
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	101
5.1	AGRUPAMENTO POR TEOR DE ARSÊNIO	101
5.2	CLASSIFICAÇÃO POR PENEIRAMENTO EM 0,020 MM	102
5.2.1	Análise granulométrica e separações minerais	102
5.3	SEPARAÇÕES MINERAIS POR LÍQUIDOS DENSOS	104

5.4	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA.....	105
5.5	DISTRIBUIÇÃO DE ENXOFRE	106
5.6	TAMANHOS DOS GRÃOS DE OURO E DE SULFETOS.....	107
5.7	ASSOCIAÇÕES MINERAIS DE OURO E SULFETOS	109
5.8	ESTIMATIVA DA DISTRIBUIÇÃO DE OURO	112
6	CONCLUSÕES.....	114
6.1	SUGESTÕES DE TRABALHOS COMPLEMENTARES.....	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
	APÊNCIDE 1 - Proveniência e composição química das amostras	128
	APÊNCIDE 2 - Distribuições em massa e teores (-0,50+0,020 mm).....	130
	APÊNCIDE 3 - Separações em líquido denso (3,30 g/cm ³ ; -0,50+0,020 mm)	132
	APÊNCIDE 4 - Composições mineralógicas das amostras estudadas (fração - 0,50+0,020 mm)	134
	APÊNCIDE 5 - Estimativa da distribuição de enxofre estudadas (fração -0,50+0,020 mm)	136
	APÊNCIDE 6 - Granulação média dos sulfetos (fração -0,50+0,020 mm)	138
	APÊNCIDE 7 - Caracterização dos grãos de ouro (fração -0,50+0,020 mm).....	140
	APÊNCIDE 8 - Características dos grãos de ouro (fração -0,50+0,020 mm).....	142
	APÊNCIDE 9 - Associações dos grãos de ouro por perímetro de contato (2D).....	144
	APÊNCIDE 10 - Imagens de elétrons retroespalhados - Grãos de ouro acessível .	146
	APÊNCIDE 11 - Imagens de elétrons retroespalhados - Grãos de ouro não encapsulado.....	147
	APÊNCIDE 12 - Imagens de elétrons retroespalhados - Grãos de ouro inclusos...	148

1 INTRODUÇÃO

A constante busca por um empreendimento de mineração cada vez mais eficiente, com uma produção de baixo custo e aliado a um ganho financeiro maximizado é o objetivo da indústria, não só mineral, mas de todo o setor produtivo.

Em uma unidade de beneficiamento de minério de ouro, as instalações de processamento respondem por grande parte do custo geral no empreendimento mineiro. Um estudo mineralógico, em referência ao desempenho do minério na usina de processamento, permite agregar conhecimento gerando alternativas de otimização e consequente redução dos custos no processamento.

A mina Morro do Ouro, localizada no município de Paracatu, Minas Gerais, responde por 29% da produção nacional de ouro (IBRAM, 2012). Em 2013 foram produzidas 500.380 onças troy de ouro e em 2014, 521.026 onças representando um aumento de 4,1% na produção¹.

Embora o empreendimento esteja em atividade desde os anos 90, o conhecimento em relação as características tecnológicas do minério ainda são escassas, principalmente quanto a precisão dos dados.

No presente trabalho foram analisadas as características tecnológicas de amostras que compõe três corpos de minério definidos pela empresa em relação ao seu conteúdo de arsênio, enxofre e ouro. As amostras foram analisadas quanto a sua composição mineralógica, associações entre os sulfetos e ouro e características dos grãos de ouro e partículas de sulfetos. Foram analisadas um conjunto de oitenta e oito amostras pontuais provenientes de sondagens e frentes de lavra (representatividade de 1 a 3 m). Para a determinação de composição mineralógica, identificação dos grãos de ouro, suas características e associações com sulfetos foi empregada análise de imagens automatizada por meio do sistema MLA (*Mineral Liberation Analyser*).

¹ <http://2014annualreport.kinross.com/pdf/annual-report-2014.pdf>

1.1 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é estabelecer as associações mineralógicas e características dos sulfetos e dos grãos de ouro do depósito Morro do Ouro.

1.2 RELEVÂNCIA DA PESQUISA

As recentes mudanças no setor mineral implicam em um novo ambiente de trabalho de intensa competição não só no Brasil, como no exterior. As tendências de internacionalização das operações bem como o fluxo de investimento fazem com que as empresas adotem técnicas de avaliação e processamento dos minérios visando à redução do risco e maximização do investimento.

Dentro dessa perspectiva, aliado ao sistema teórico e prático, a possibilidade de geração de conhecimento através do estudo das características das associações mineralógicas do ouro e dos sulfetos, pode propiciar melhorias no planejamento de lavra e no desempenho no processamento do minério na usina, o que significa melhor aproveitamento dos recursos minerais e maior retorno financeiro.

Outro fator relevante é a contribuição do trabalho em relação ao estudo da caracterização tecnológica para minérios auríferos. Encontram-se escassos trabalhos científicos acerca do tema abordado na dissertação que vão desde a fundamentação teórica até a relação do ouro com o arsênio.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se organizada em sete capítulos:

Capítulo 1 – Introdução: O capítulo situa a dissertação no contexto do tema escolhido apresentando ao leitor o objetivo e relevância da pesquisa.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: Apresenta o contexto atual da caracterização tecnológica e a suas aplicações no processamento mineral. São descritas nesse capítulo também as principais técnicas de caracterização tecnológica e o contexto geológico da área de estudo.

Capítulo 3 – Materiais e métodos: Descreve e detalha o procedimento experimental empregado e os materiais estudados.

Capítulo 4 – Resultados: Apresenta os principais resultados obtidos a partir da metodologia aplicada para as amostras estudadas.

Capítulo 5 – Discussão dos Resultados: Discute os resultados obtidos, correlacionando os principais aspectos e suas diferenças.

Capítulo 6 – Conclusões: O capítulo retoma os principais aspectos discutidos e os resultados mais significativos da dissertação. O último subitem sugere estudos adicionais acerca do tema.

Referências bibliográficas: Trabalhos utilizados para discorrer e analisar acerca do tema abordado.

Nas figuras, tabelas e quadros produzidos pelo próprio autor, onde não há referência na parte inferior, entende-se como fonte: do autor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DEPÓSITOS DE OURO

O ouro possui alta resistência ao ataque químico, alta condutividade elétrica, ductilidade e alta densidade ($19,3 \text{ g/cm}^3$). É um metal raro e o seu teor médio na crosta terrestre é de 3 ppb e em jazidas é 10.000 vezes maior, ou seja, cerca de 0,3 ppm (O'CONNOR et al., 1994).

O ouro tem sido um bem mineral mais almejado por, pelo menos, 7.000 anos. No Egito antigo, a região do deserto oriental enquadrado no embasamento pré-cambriano Arabian–Nubian abasteceu o império com cerca de 250 minas com a produção durante as diferentes dinastias egípcias (KLEMM et al., 2001).

Em geral, a classificação dos depósitos minerais promove um cenário essencial para delimitação das estratégias de pesquisa, avaliação de prospectos e de recursos em uma determinada área (ROBERT et al., 1997).

Os depósitos de ouro sempre detiveram um grande trabalho e esforço na sua classificação devido à sua grande diversidade genética. Além disso, as classificações são levadas em consideração sob diferentes aspectos, seja pela sua gênese, geoquímica, potencial econômico ou pelo contexto geotectônico, o que amplia cada vez mais quando essas variáveis são relacionadas e integradas.

Na sua classificação, também pode ocorrer a superposição de eventos com dois ou mais sistemas hidrotermais constituindo depósitos híbridos ou, ainda, a superposição de ambientes geotectônicos distintos, tal como arcos continentais superpostos em terrenos vulcânicos, acarretando dificuldades na determinação das feições geológicas relativas a cada ambiente (SILLITOE, 1994).

Desde o Arqueano, os depósitos de ouro têm sido formados em uma grande variedade de ambientes. Essa variabilidade implica em diferentes agentes de transporte e concentração como, por exemplo, interações magmáticas, hidrotermais (rocha-fluído) e processos sedimentares (GROVES et al., 2005; BIERLEIN et al., 2006). Exemplo importante de formação aurífera no Arqueano são os depósitos orogênicos hospedados em *greenstone belts* (GSB), os quais hospedam mineralizações de ouro

de classe mundial, com mais de 500 toneladas de ouro. No Brasil, por exemplo, tem-se operações no *greenstone belts* de Crixás (JOST et al., 1991), pela empresa AngloGold Ashanti (Mineração Serra Grande) e Rio Itapicuru (MELLO et al., 1996), com a Brio Gold (Mineração Fazenda Brasileiro).

Segundo FRIMMEL (2008), um modo de classificar os depósitos auríferos é com base no seu ambiente geotectônico e geológico de formação. A Figura 2.1, sumariza os principais ambientes geotectônicos e o Quadro 2.1 apresenta os principais exemplos proeminentes para cada tipo.

Figura 2.1 - Esquema dos ambientes de formação dos depósitos de ouro

Esquema ilustrando os ambientes litosféricos em grande escala da formação dos principais tipos de depósitos de ouro. Modificado de (GROVES et al., 2005).

Os depósitos de paleoplacers consistem em camadas estratiformes associadas a conglomerados e arenitos com enriquecimento em finas camadas carbonáticas e associados a corpos intrusivos juntamente com corpos orogênicos. Exemplos nesse contexto incluem os depósitos em conglomerados da Bacia Sul Africana de Witwatersrand e de Jacobina (MASCARENHAS et al., 1998). Nos depósitos de Witwatersrand ocorrem anomalias de urânio-ouro desenvolvidas em quatro fases principais, sendo a primeira com a concentração de minerais pesados controlada por processos de sedimentação detríticas que resultou na formação do delta e em horizontes de ouro. A segunda fase provocou a maturação da matéria orgânica

existentes nas rochas sedimentares o que ocasionou nódulos de betume que enveloparam as maiores concentrações de uraninita. A fase seguinte foi responsável pela fase de maturação e circulação de fluidos ricos em hidrocarbonetos seguido pela precipitação de sulfetos e ouro antigênicos (ROBB et al., 1995). Esse depósito atingiu um pico de produção de 1.000 toneladas de ouro em 1970, sendo notadamente a maior bacia produtora de ouro em escala global, correspondendo por cerca de 40% de todo ouro já produzido (HARTNADY, 2009).

Quadro 2.1 - Principais depósitos de ouro de escala mundial

Depósito/província	País	Feição geotectônica	Au (t)	Teor (ppm)
Paleoplacers				
Witwatersrand	África do Sul	Cráton do Kaapvaal	96,703	2.0 - 10
Berelekh	Rússia	Plataforma da Sibéria	2,179	12.0
Tarkwa	Gana	Cráton africano	2,158	1.5
Orogênicos e intrusivos				
Muruntau (1º)	Uzbequistão	Orogenia Tien Shan	6,137	3.5
Ashanti	Gana	Cráton africano	3,169	2.0 – 7.0
Golden Mile	Austrália	Cráton do Yilgarn	2,079	2.0
Telfer	Austrália	Orogenia Paterson	1,527	1.5
Homestake	Canadá	Orogenia TransHudson	1,237	8.3
Olimpiada (8º)	Rússia	Cráton da Sibéria	1,030	3,5
Sukhoi Log	Rússia	Cráton da Sibéria	1,361	2.5
Pórfiros de Cu-Au em arcos vulcânicos				
Grasberg (2º)	Indonésia	Arco de Ilha	6,817	0.9
Kalmakyrsk	Uzbequistão	Arco continental	1,299	0.6
Boddington (10º)	Austrália	Cráton do Yilgarn	1,277	0.9
Cananea	México	Arco continental	1,269	0.3
Ok Tedi	Papua Nova Guiné	Arco de Ilha	1,128	1.0
Porgera	Papua Nova Guiné	Arco de Ilha	1,113	3.5
Bingham	Estados Unidos	Arco continental	1.001	0.3
Epitermal				
Pueblo Viejo (3º)	República Dominicana	Arco de Ilha	12,5	1,4
Ladolam (Lihir)	Papua Nova Guiné	Arco de Ilha	2,074	3.2
Veladero (9º)	Argentina	Arco continental	21,49	0,6
Yanacocha (4º)	Peru	Arco continental	1,956	1.2
Tipo Carlin				
Newmont	Estados Unidos	Back arco	2,788	1.7
Betze Post	Estados Unidos	Back arco	1,702	4.1
Carlin Trend (5º)	Estados Unidos	Back arco	1,278	1.6
Cortez (6º)	Estados Unidos	Back arco	1,258	1.4
Goldstrike (7º)	Estados Unidos	Back arco	1,957	0.3

Depósito/província	País	Feição geotectônica	Au (t)	Teor (ppm)
Depósitos IOCG				
Olympic Dam	Austrália	Cráton Gawler	1,995	0.6
Salobo	Brasil	Província dos Carajás	1,000	0.4
Ernest Henry	Austrália	Orogenia Barramundi	0,200	0.5
Vulcânicos – VMS		<i>Back</i> arco	1,611	
Horne	Canadá	Abitibi Greenstone Belt		6,1
Mount Morgan	Austrália	Arco de ilha Calliope	0,300	4,8
Escarnitos		Arcos vulcânicos	1,467	
Magmáticos		Terrenos ultramáficos	1,333	
Sin-sedimentares		Margem passiva	1,070	

Principais classes de depósitos de ouro, acima de 1000 t de ouro. Adaptado de FRIMMEL (2008). Entre parênteses, a classificação quanto a produção de ouro em 2014 [<http://www.mining.com/the-worlds-top-10-gold-mines/>].

Os depósitos em zonas extensionais ocorrem preferencialmente em ambiente de retroarco (*back arc*) e são tipicamente corpos mineralizados hospedados em rochas sedimentares clásticas em *greenstone belts*. Nesse contexto, se inserem também os depósitos VMS. A mineralização aurífera ocorre principalmente na forma disseminada, associada aos sulfetos como pirita, marcassita, arsenopirita, entre outros. O principal modelo genético para esse tipo de depósito é o tipo Carlin localizado em Nevada, EUA e está relacionado ao enriquecimento de ouro, antimônio, mercúrio, tálio e bário transportados por fluídos metamórficos e magmáticos (CLINE et al., 2005).

Os depósitos denominados do tipo Carlin são epigenéticos hospedados em rochas sedimentares de baixo grau (siltitos e carbonatos). Os sulfetos ocorrem disseminados e em corpos alongados com controle estrutural, estratigráfico e associados com sistemas de corpos intrusivos distais (CLINE et al., 2005). Este tipo de depósito corresponde a 9% de todo ouro produzido mundialmente e são reconhecidos no nordeste do estado americano de Nevada e noroeste de Utah sendo os mais importantes produtores de ouro no oeste dos Estados Unidos.

Os depósitos orogênicos são associados a zonas orogênicas, ou seja, zonas de fechamento orogênético e que não necessariamente se aplicam ao Arqueano ou a terrenos GSB. Esse termo foi proposto por GROVES et al., (1998), em substituição do termo depósito de ouro mesotermal. O mesmo autor sugere a denominação devido ao fato dos depósitos serem formados durante os processos de deformação compressional e transpressional em margens de placas convergentes em ambientes

de orogenia acrescionária ou colisional. Neste tipo de depósito, as associações mais frequentes na fácies xisto verde incluem carbonato - sulfeto $\pm$ mica $\pm$ clorita que resultam na interação de fluidos de baixa salinidade e ricos em CO₂. Exemplos clássicos de depósitos de ouro orogênicos são os depósitos no Quadrilátero Ferrífero, Grupo Nova Lima (LOBATO et al., 2001), base do Grupo Quebra Osso (SCHORSCHER et al., 1978).

Os depósitos IOCG² incluem mineralização principalmente de cobre, por vezes associado a ouro, com controle estrutural proeminente em veios hidrotermais, brechas e abundância de óxidos de ferro com baixo teor de titânio (magnetita e/ou hematita) e assinatura geoquímica distinta (elementos terras raras, Co, Ag, $\pm$ U, P), entre outras (WILLIAMS et al., 2005). Os depósitos polimetálicos da Província de Carajás (Igarapé Bahia, Alemão, Cristalino, Gameleira, Salobo e Sossego) são relacionadas a esse tipo genético. O depósito de Sossego compreende em duas grandes jazidas com estilos distintos de alteração hidrotermal com diferentes rochas hospedeiras e intensidade de interação rocha-fluído distintas (MONTEIRO et al., 2008).

Os depósitos do tipo VMS³ são as maiores fontes de Zn, Cu, Pb, Ag e Au, tendo como subprodutos Co, Sn, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Ga e Ge. Eles ocorrem tipicamente como lentes de sulfetos polimetálicos que se formam próximo do assoalho oceânico em ambientes de vulcanismo submarino por meio de focos de descargas de fluidos hidrotermais ricos em metais. Embora os depósitos do tipo SedEx⁴ sejam classificados como exalativos, ele não são considerados um subtipo do depósito VMS por não ter associação com vulcanismo ativo (GALLEY et al., 2007).

Os depósitos de ouro pórfiro são uma variante dos depósitos de cobre pórfiro que tem como característica teores de ouro acima de 1,5 ppm. No geral, os depósitos de cobre pórfiro ricos em ouro não diferem dos demais depósitos porfiríticos de Cu-Mo, entretanto, os primeiros apresentam uma maior quantidade de magnetita hidrotermal em relação aos demais. Os depósitos de Cu-Au estão associados com arcos de ilhas, enquanto os depósitos de Cu-Mo pórfiro estão associados com arcos continentais.

² IOCG: *iron oxide copper-gold*.

³ VMS: *sulfetos maciços vulcanogênicos*

⁴ SedEx: *depósitos sedimentares exalativos*

São exemplos nesse contexto, os depósitos localizados em arcos de ilhas no sudoeste do Pacífico, tais como Grasberg e Batu Hijau na Indonésia; Panguna e Ok Tedi em Papua Nova Guiné (SUN et al., 2015).

Depósitos epitermais nas quais se encontram mineralizações de ouro são aqueles que são formados em profundidade de até 1 km da superfície através de sistemas hidrotermais de baixas temperaturas (abaixo de 300° C) e são associados a ambientes vulcânicos. Os depósitos formados nesse tipo de ambiente podem ter formas e tamanhos muito variados mas geralmente estão relacionados a estruturas de amplitude regional. Podem ocorrer na forma de veios, *stockworks* ou ainda disseminados.

A característica principal dos depósitos epitermais é a alteração hidrotermal produzida nas rochas encaixantes, que podem fornecer importantes informações na caracterização dos depósitos. (HEDENQUIST et al., 1996). A classificação mais utilizada foi proposta por HENLEY (1991). Este autor divide os depósitos epitermais em dois tipos: alta sulfetação (ou ácidosulfato) e baixa sulfetação (ou adularia-sericita) baseados principalmente no tipo de alteração e mineralogia do depósito.

2.1.1 Modelo metalogenético do depósito do Morro do Ouro

O depósito Morro do Ouro é um depósito disseminado em filitos deformado e metamorfizado em fácies xisto-verde de baixo grau (Formação Paracatu, Membro Morro do Ouro), no Brasileiro (850-500 Ma), com dobras isoclinais, recumbentes e zonas de cisalhamento de caráter dúctil-rúptil (SCHOBENHAUS et al., 2001).

Para OLIVER et al., (2015), o depósito de ouro de baixo teor está associado a um intenso cisalhamento e cavalgamento ocorrido no ciclo Brasileiro. Lentes maciças e lâminas de quartzo-sulfetos-carbonatos alterada, ocorrem associados a mineralização de ouro formado nos estágios iniciais da história de deformação. Essas lentes e veios foram transformadas em *boudins*, durante o avanço progressivo das zonas de cisalhamento (*shear strain*). Perfis geoquímicos realizados em amostras de minério de ouro permitiu o reconhecimento de um protólito homogêneo em relação aos elementos Ti, Al, Zr, V, e terras raras, incluindo a lapa com atributos similares às do minério. Isótopos de oxigênio, hidrogênio e enxofre não revelaram uma fonte externa

distinta de fluido, que ao contrário, revela um equilíbrio fluido-rocha com o filito durante o metamorfismo regional (fáceis xisto-verde).

Trabalhos realizados na década de 90 já sinalizaram para um contexto orogênico, definindo a mineralização de ouro como sendo hospedada em filitos grafitosos associado geneticamente em zonas de cisalhamento nesse contexto (FREITAS SILVA et al., 1996; MYASHITA, 2005).

Para MYASHITA (2005), as observações de campo sugerem mineralização ou remobilização sin-tectônica da assembleia sulfetada, pois são frequentes as concentrações de sulfetos em sombras de pressão e zonas de distensão. Desta forma, a indicação da gênese em depósito do tipo Carlin tornam-se dificultadas, já que as observações de campo não permitem inferir a respeito de remobilizações e zonas de sulfetos sobrepostas após o evento tectônico, além da não constatação de granitogênese concomitante à formação dos litotipos do Grupo Canastra.

2.2 PANORAMA DO OURO

Segundo relatório da *World Gold Council*⁵, no primeiro trimestre de 2015, o consumo global de ouro foi de 55% para a indústria de joias, 10% para tecnologia e 35% para ativos financeiros.

Embora o Brasil apresente ampla distribuição territorial, cerca de 90% da produção aurífera interna é proveniente de apenas cinco estados: Minas Gerais (51,6%), Goiás (18,8%), Bahia (11,7%), Pará (10,1%) e Mato Grosso (7,8%). Por outro lado, as maiores reservas de ouro estão no Estado da Bahia com 1.291.355 kg de ouro contido lavrável, seguido por Minas Gerais, com 581.814 kg (DNPM, 2010). A Tabela 2.1 apresenta as principais reservas minerais de ouro por unidade de federação.

⁵ *World Gold Council* - <http://www.gold.org/supply-and-demand/gold-demand-trends>

Tabela 2.1 - Reservas minerais de ouro por unidade de federação

Unidades da federação	Reservas (kg)			Lavrável (kg)
	Medida	Indicada	Inferida	
Alagoas	4.040	10.176	-	4.040
Amapá	13.581	27.910	34.550	33.390
Amazonas	4.967	2,152		654
Bahia	1.342.755	75.637	134.600	1.291.355
Goiás	48.583	85.771	29.965	71.050
Maranhão	441.125	155.638	10.793	22.675
Mato Grosso	183.693	114.238	179.495	73.885
Minas Gerais	789.916	464.707	308.046	581.814
Pará	465.487	704.64	1.062.543	488.104
Paraíba	792	404	54	
Paraná	7.197	8.695	4.187	14.010
Rio Grande do Norte	1.418	220		547
Rio Grande do Sul	7.97	1.557	2.292	3.314
Rondônia		3.332	8.189	3.332
Santa Catarina	1.590	1.246	961	
São Paulo	1.620	2.104	468	1.627
Tocantins	2.092	3.154	6.475	2.092

Fonte: adaptado de DNPM (2010).

No ano de 2012, a exportação de ouro no Brasil representou 6,1% do setor mineral que teve como predomínio o minério de ferro, com 80,1% do total (IBRAM, 2012)⁶. No ano de 2015, a taxa de arrecadação fiscal (CFEM) representou um aumento de 21,1% (70,3 milhões de reais) em relação ao ano anterior (55,4 milhões de reais). Em relação a todo o bem mineral explorado, o ouro representou, em 2015, 4,6% de toda a arrecadação e em 2014, 3,2%. Esse aumento expressivo se deve principalmente a caída da arrecadação para o minério de ferro, que de 2014 para 2015 foi de 36,3%. (2014: 1,1 bilhões reais e 2015: 790 milhões de reais)⁷.

A Figura 2.2 apresenta a evolução da produção de ouro para a indústria e lavra garimpeira. Os dados mostram que a produção aurífera em escala industrial vem aumentando, enquanto a produção proveniente dos garimpos vem diminuindo, refletindo uma inversão na situação comparativamente com os anos de 1980 e 1990.

⁶ <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00003797.pdf>

⁷ https://sistemas.dnpm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao_cfem_substancia.aspx

Figura 2.2 - Produção de ouro em escala industrial e garimpeira (1988 – 2014)

Fonte: DNPM⁸

A produção oriunda da mineração oscilou em torno de 40 mil toneladas na década de 1990. O declínio da atividade garimpeira teve início no final da década de 1980 em decorrência do projeto de lei (Lei 7.805 de 18 de julho de 1989⁹) que regulamenta a atividade garimpeira sob permissão concedida pelo DNPM à pessoa física ou corporativa de garimpeiros autorizada a funcionar como empresa. O órgão exige ainda a obrigatoriedade da licença ambiental prévia, que deveria ser concedida pelo órgão ambiental competente sendo considerado punível com prisão a realização de trabalhos de extração de substâncias minerais, sem a competente permissão, concessão ou licença. Um outro projeto de lei (Lei no. 8.176 de 8 de fevereiro de 1991¹⁰) veio a agravar a situação dos garimpeiros levando-os à clandestinidade ao considerar como crime, na modalidade de usurpação, a produção de bens ou a exploração de matéria-prima pertencentes à União, sem autorização legal ou em desacordo com as obrigações impostas pelo título autorizativo.

⁸ <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/economia-mineral>

⁹ http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7805.htm

¹⁰ http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/leis/L8176.htm

No Brasil, 10 empresas respondem por 88% da produção de ouro; as principais empresas produtoras de ouro do Brasil em 2012, segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2012) estão relacionadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Principais empresas produtoras de ouro em 2012, incluindo garimpo

Empresa	UF	Participação (%)
Kinross Brasil Mineração S.A.	MG	29,0
AngloGold Ashanti Brasil Mineração Ltda.	MG/GO	22,0
Yamana Gold	GO/BA	17,0
Jaguar Mining	MG	7,0
Outras		13,0
Garimpos		12,0

Fonte: adaptado de IBRAM (2012).

O Brasil é o décimo primeiro maior produtor de ouro, com produção de 70 toneladas em 2014. A China é a maior produtora, com 450 toneladas (15,7% da produção mundial), seguida pela Austrália com 10,6%, pela Rússia (8,5% da produção mundial) e EUA (7,3%) (USGS, 2015).

2.2.1 Evolução dos preços no mercado nacional e internacional

O ouro durante um longo período serviu como garantia de valor, o que, em períodos de grande instabilidade no setor financeiro, tem conduzido muitos investidores a mantê-lo como valor de refúgio, ou seja, o ativo (ouro) mantém seu valor em períodos conturbados ou de condições adversas de mercado (BAUR et al., 2010). O grande aumento do preço do ouro a partir de 2005 deve-se essencialmente à sua procura para a indústria da ourivesaria, de tecnologia e pelo fato do mercado ter sido impulsionado por investidores que procuram um meio seguro de investimento. Para estes investidores, a aquisição de ouro é vista como uma garantia numa situação de crise.

Ao longo da década de 1970, houve um aumento significativo nos preços dos metais, tendo o ouro vivido, no período, um crescimento muito expressivo (Figura 2.3). Essa subida no preço do metal foi ocasionada pela suspensão da conversibilidade entre o dólar e o ouro tomada pelos Estados Unidos o que, a partir de então, gerou incertezas quanto ao valor da moeda americana ao longo do tempo, mas não o ouro como

referência. Dessa forma, criou-se uma quebra histórica estável entre os dois ativos, favorecendo à especulação do ouro. Em pouco mais de 5 anos, o ouro passou de 35 US\$/oz¹¹ em 1970 para 161 US\$/oz em 1975. Para Araújo (2013), as flutuações do preço do ouro podem estar ligadas a seis fatores: a evolução do dólar, rendimento de outros ativos, a demanda (oferta e procura) de ouro, as reservas internacionais de ouro, a inflação e as influências macroeconômicas.

O aumento dos preços do ouro em 1980 foi ocasionado principalmente pela instabilidade da economia americana, o aumento no preço do petróleo, a intervenção da antiga União Soviética no Afeganistão e a revolução iraniana. Outro aumento significativo nos preços do ouro foi a partir de 2001 com o aumento forte da economia chinesa e pela instabilidade dos mercados globais.

Fonte: London Bullion Market Association - LBMA¹²

¹¹ US\$/oz: Preço da onça por dólar sendo 1 onça troy equivalente a 31,103 gramas

¹² <http://www.lbma.org.uk/pricing-and-statistics>

2.3 MINÉRIOS AURÍFEROS

2.3.1 Ocorrência de ouro

Os minérios auríferos são comumente classificados no processo metalúrgico em duas categorias principais: “*free-milling*” e minérios refratários. Minérios de ouro do tipo “*free-milling*” são definidos como aqueles onde mais 90% de ouro pode ser recuperado por lixiviação via cianetação convencional. Minérios refratários são aqueles que tem baixa recuperação de ouro ou recuperação aceitável com a utilização significativa de reagentes ou processos mais complexos de tratamento (ustulação, etc.) (ZHOU et al., 2004).

Com base nas características mineralógicas e técnicas de processamento mineral, os minérios auríferos podem ser agrupados em 11 tipos (ZHOU et al., 2004). O Quadro 2.2 apresenta as suas principais formas de ocorrência e exemplos de depósitos relacionados.

Quadro 2.2 - Tipos de minérios auríferos, modo de ocorrência e exemplos

Tipos de minério	Modo de ocorrência do ouro	Exemplos
placers	ouro livre ou liberado nos processos iniciais com tamanho médio de 50-100µm	Witwatersrand (África do Sul); Jacobina (Brasil)
veios de quartzo	ouro nativo em veios de quartzo com porções de telúrio e raramente auroestabite e maldonita.	Timmins Camp; Hollinger-McIntyre (Canadá), Muruntau (Uzbesquistão), Linglong (China)
oxidados	ouro ocorre parcialmente liberado com incremento da liberação em zonas de alteração	Pierina e Yanacocha (Peru), Yilgarn (Australia)
minérios ricos em prata	ouro ocorre como electrum embora kustelita possa estar presente.	Rochester, Candelaria e tombstone (EUA); La Coipa (Chile)
minérios de cobre sulfetado	ouro ocorre como grãos grossos liberados e finos encapsulado em pirita e sulfeto de cobre	Grasberg (Indonésia); Oyu Tolgoi (Mongólia)
minérios de ferro	ouro ocorre como partículas liberadas, mistas ou inclusas em sulfetos (pirita, marcassita e pirrotita) ou como grãos submicroscópicos em sulfetos.	Corpos sulfetados
minérios com alto teor de arsênio	ouro liberado e incluso principalmente em arsenopirita e produtos oxidados	Giant Yellowknife (Canadá), São Bento e Morro do Ouro (Brasil)
minérios telúricos	ouro ocorre na forma nativa ou em teluretos/teluratos, podendo estar associadas a sulfetos.	Cripple Creek, Emperor (Fiji), Kalgoorlie (Australia)
minérios carbonosos	ouro ocorre em finos grãos e submicroscópico em sulfetos e sua superfície pode adsorver material orgânico e FeOx	Carlin, Cortez, Getchell, Betze e Meikle (EUA), Jinya, Gaolong, Lannigou (China)

Fonte: adaptado de ZHOU et al., (2004).

Desde o início dos anos 1980, uma grande quantidade de trabalhos tem sido publicada a respeito da caracterização de minérios de ouro, particularmente minérios refratários (HENLEY, 1989; CHRYSSOULIS et al., 1990; KOJONEN et al., 1999). Por outro lado, os minérios de ouro tidos como “*free-milling*” vêm sendo cada vez mais explorados e, conseqüentemente, mais raros, ao passo que os refratários vêm recebendo mais atenção à sua complexidade no processo de beneficiamento.

A forma de ocorrência é de fundamental importância para o tratamento de minérios auríferos. Em um contexto de formação dos depósitos auríferos em ambiente magmático, o ouro, devido às suas propriedades siderófilas (fraca afinidade com silicatos e alta por metais), tende a se concentrar nos fluídos hidrotermais residuais e nas subsequentes fases metálicas e sulfídicas, ao invés da fase silicatada, que se forma nos estágios iniciais de cristalização do magma (MILTZAREK, 2000).

2.3.2 Formas de associações

O ouro, devido ao seu caráter pouco reativo, é encontrado na natureza principalmente em sua forma nativa (metálica). Entretanto, sua composição é muito variável em virtude de substituições por outros metais em solução sólidas e apresenta ocorrência em expressivo número de compostos e minerais. A Tabela 2.3 apresenta uma classificação abrangente quanto aos compostos de ouro (ZHOU et al., 2004).

Ouro e prata apresentam grande afinidade e formam soluções sólidas com diferentes proporções. *Electrum* é um mineral que consiste numa variedade de ouro nativo contendo 25% ou mais de prata, apresentando o mesmo padrão de estrutura cristalina. Outras variações de ouro podem ocorrer com cobre, paládio e menos comumente, com mercúrio. Outros minerais importantes são a aurostibita (AuSb_2) e minerais com telúrio como a calaverita (AuTe_2), krennerita (Au,AgTe_2) e aurostibita (AuSb_2) (HARRIS, 1990).

Tabela 2.3 - Principais minerais, compostos e conteúdo de ouro

Mineral	Fórmula	Conteúdo de Ouro (%)
ouro nativo	Au	>75
electrum	Au, Ag	50 – 75
kustelita	(Au,Ag)	<50
aurostibita	AuSb ₂	43-51
auricupreto	Cu ₃ Au	50-56
tetraauricupreto	CuAu	70-76
maldonita	Au ₂ Bi	63-68
weishanita	(Au,Ag) ₃ Hg ₂	56.9
anyuiita	AuPb ₂	27-33
yuanjiangita	AuSn	62.4
zvyagintsevit	(Pd,Pt,Au) ₃ (Pb,Sn)	
teluretos e teluratos		
calaverita	AuTe ₂	39-44
krennerita	(Au,Ag)Te ₂	30-44
sylvanita	AgAuTe ₄	24-30
montbrayita	(Au,Sb) ₂ Te ₃	38-45
kostovita	CuAuTe ₄	~25
sulfetos e selenetos		
liujinyita	Ag ₃ AuS ₂	18.6-36
untlenbogaardita	Ag ₃ AuS ₂	27-35
nagyagita	Pb ₅ Au(Te,Sb) ₄ S _{5,8}	10
fischesserita	Ag ₃ AuS ₂	~27.3

Fonte: adaptado de ZHOU et al., (2004).

2.3.3 Fatores que afetam a extração do ouro

A opção pela concentração gravítica e flotação no processamento de minério de ouro, pré-tratamento (oxidação por pressão, biooxidação e moagem ultrafina) e extração (lixiviação) depende da forma na qual o grão de ouro se apresenta, seja ele livre, submicroscópico, coloidal ou ainda pelas suas características mineralógicas, tais como tamanho do grão e forma, composição e associação. Na maioria dos depósitos de ouro, o minério passa por algum processo de cominuição para que se obtenha um grau de liberação adequado ao processamento. Assim, os principais fatores que podem afetar a recuperação metalúrgica do ouro são discutidos a seguir.

Tamanho do grão: O tamanho de grão de ouro pode ser um fator significativo na eficiência nos processos de recuperação, principalmente nos processos de

concentração gravítica. Na etapa de lixiviação, o ouro em granulção grossa pode ser incompletamente lixiviado devido a relação tamanho e tempo de residência. Outro fator é a ineficiência da aderência do grão de ouro às bolhas na flotação e a tendência de acúmulo na base das células de flotação devido à sua alta densidade. Por outro lado, ouro abaixo de 5 μm apresenta baixa eficiência na flotação, problema que pode ser ocasionado principalmente pela remoagem do material SIMON et al., (1999). No Figura 2.4, observa-se a relação do tamanho da partícula com a sua recuperação no processo de flotação.

Figura 2.4 - Recuperação de ouro em relação ao tamanho do grão

Fonte: adaptado de SIMON et al., (1999).

Recobrimento (*slime coating*):

Os minerais argilosos classificados como ganga ocorrem em uma variedade de depósitos de minério de ouro, cobre pórfiro, níquel de baixo teor, minério do grupo da platina, entre outros. Em alguns casos, a proporção de minerais de argila associados aos minérios pode chegar a 80% (FORBES et al., 2014).

As partículas finas (< 10 μm), principalmente de argila e óxidos de ferro, podem causar problema na flotação de muitos minerais, principalmente de sulfetos. Essas finas partículas aderem à superfície do mineral hidrofóbico tornando-o hidrofílico, o que dificulta a flotação dessas partículas. As operações unitárias de deslamagem que separam as finas partículas previamente à flotação tem sido usado para minimizar tal efeito (HUYNH et al., 2000).

Preg-robbing:

O termo conhecido como *preg robbing*, refere-se às perdas de ouro pela absorção do complexo aurodicianeto ($\text{Au}(\text{CN})_2$) da solução cianetada por constituintes do próprio minério. Estes constituintes podem ser matéria carbonosa (carbono amorfo e grafite), clorita, calcopirita (RESS et al., 2000) e minerais argilosos (ilita, caolinita e pirofilita) (ADAMS et al., 1998).

2.3.4 Beneficiamento mineral

2.3.4.1 Princípios da cominuição

Os processos de cominuição agrupam um conjunto de operações unitárias que tem por finalidade reduzir, por ação mecânica externa e interna, um sólido de determinado tamanho em fragmentos de tamanho menor. Nesse sentido, a cominuição consiste em estágios de britagem (britadores de mandíbulas, giratórios, cônicos, de impacto e rolos, entre outros), e se aplica desde a mina até a sua adequação ao processo industrial com a moagem (vibratórios, barras, bolas, autógena ou semiautógena, rolos de alta pressão e verticais, entre outros). A depender das características do minério, pode-se utilizar moagem autógena ou semiautógena em combinação com outras operações de cominuição (GALLERY, 2011).

Os mecanismos de fragmentação podem ser classificados de acordo com as características do minério e nas etapas na qual o minério se encontra. A britagem é a operação de fragmentação dos blocos maiores obtidos através dos mecanismos de compressão e impacto enquanto que a moagem é um refinamento para a adequação em um produto para o processo industrial (pelotização, lixiviação, combustão, flotação, concentração física, etc). O principal mecanismo atuante na moagem é a abrasão e o produto obtido é da ordem de centenas ou dezenas de micrometros (SILVA, 2012).

Ainda segundo Silva (2012), os principais mecanismos de fragmentação envolvidos na cominuição são:

- Impacto: quando a força é aplicada de forma rápida e com intensidade bem superior à resistência da partícula

- Compressão: a força é aplicada de forma lenta, promovendo a propagação de fraturas que aliviam os esforços
- Atrição/abrasão: a concentração localizada de esforços provoca o surgimento de pequenas fraturas superficiais, com pequena diminuição de tamanho da partícula original e geração de partículas finas.

2.3.4.2 *Concentração densitária*

A concentração densitária é o processo pelo qual partículas de diferentes tamanhos, formas e massa específica são separadas umas das outras pela força da gravidade ou pela força centrífuga (SAMPAIO et al., 2005). No beneficiamento dos minérios auríferos, devido ao contraste de densidade entre os minerais de minério e os minerais de ganga, a concentração por processos densitários tem importante aplicação.

Este processo tem sua importância assegurada devido às altas tonelagens processadas e, em princípio, por serem os mais baratos em termos de investimento na instalação e custo operacional (CHAVES et al., 2013).

Os principais equipamentos utilizados industrialmente na concentração densitária do ouro são os jigues, as aspirais concentradoras, mesas oscilantes e os concentradores centrífugos.

2.3.4.3 *Flotação*

A flotação por espuma é uma operação de concentração mineral efetuada pela diferença nas propriedades superficiais das partículas. O método trata misturas heterogêneas de partículas suspensas em fase aquosa (pulpas).

A seletividade do processo de flotação se baseia nos distintos graus de hidrofobicidade da superfície de diferentes minerais, ou seja, está associado à sua molhabilidade pela água (PERES, 2007). Partículas mais hidrofóbicas são menos ávidas por água

A separação ocorre quando os minerais que se deseja flotar se tornam hidrofóbicos devido à adição de surfactantes (denominados coletores) que formam uma película hidrofóbica na superfície do mineral, impedindo a hidratação de sua superfície em

meio aquoso. Na sequência, bolhas de ar são inseridas ao sistema e possibilitam a adesão destas partículas às bolhas e consequente arraste à superfície, sendo removidos da camada de espuma por transbordo. Por sua vez, as partículas hidrofílicas são recobertas por moléculas de água e permanecem na fase aquosa acompanhando o fluxo de água.

Muitos minérios auríferos com comportamento refratário na cianetação direta, apresentam grãos de ouro altamente disseminados ou encapsulados em minerais sulfetados, como pirita e arsenopirita. Um procedimento para minimizar o efeito refratário é o processamento por flotação dos sulfetos (flotação *bulk*), na qual se tem melhores resultados do que na flotação seletiva do ouro (MARSDEN et al., 1992; BADRI et al., 2013).

2.3.4.4 Extração hidrometalúrgica

Após a obtenção do pré-concentrado do processamento mineral, a extração do metal de interesse (ouro) de sua ganga ocorre pelas reações de dissolução de ouro em meio aquoso. O cianeto utilizado na lixiviação provém de sais, como cianeto de sódio (NaCN), de potássio (KCN) e cálcio ($\text{Ca}(\text{CN})_2$), sendo os dois primeiros mais utilizados devido à maior solubilidade em água (CIMINELLI, 2002).

2.3.4.5 Circuito de cianetação

O perfeito entendimento das variáveis de processo do circuito de cianetação de determinado minério ou concentrado e de seu inter-relacionamento com as demais componentes, são requisitos básicos para uma operação adequada de cianetação (CIMINELLI, 2002).

A velocidade de reação de dissolução do ouro é dependente das concentrações de cianeto e oxigênio. Além destas concentrações, outras variáveis são: pH, granulometria das partículas, tempo de lixiviação, densidade e concentração de sólidos da polpa, temperatura, pré-aeração e agitação (GOMES, 1999).

2.3.4.6 Adsorção em carvão ativado

Carvão ativado é uma denominação genérica dada a uma grande quantidade de materiais carbonosos amorfos com elevada área de superfície específica (até 1.200 m²/g) devido à grande quantidade de poros em sua estrutura (GOMES, 1999). O carvão é utilizado para adsorção do ouro em soluções cianetadas e deve ter as seguintes características (FREITAS et al., 2002):

- elevada cinética de adsorção de espécie em fase líquida e capacidade de carregamento;
- resistência a abrasão para garantir um consumo aceitável de carvão e reduzir perda de ouro carregado nos finos de carvão;
- distribuição granulométrica relativamente grossa a fim de facilitar sua separação da polpa por peneiramento.

Os processos a base de carvão ativado, usualmente empregados na indústria para a recuperação do ouro a partir de soluções ou polpa cianetadas, passam por três etapas distintas:

- carregamento: adsorção do cianocomplexo Au(CN)₂ nos poros do carvão;
- eluição: dessorção do cianocomplexo, obtendo uma solução mais concentrada;
- produção: extração do metal contido no licor através de eletrólise com zinco.

Os seguintes processos de adsorção em carvão ativado são utilizados industrialmente para a recuperação do ouro a partir de soluções cianetadas (GOMES, 1999; FREITAS et al., 2002):

- CIP (*carbon in pulp*) – *carvão em polpa*: carvão ativado entra em contato com a polpa já cianetada, em fluxo contra-corrente;
- CIL (*carbon in leaching*) – *carvão em lixiviação*: a adsorção se realiza juntamente com a cianetação e é indicada para minérios que contém material carbonoso;
- CIC (*carbon in column*) – *carvão em coluna*: solução cianetada clarificada, proveniente de lixiviação em pilha ou tanques, alimenta uma série de colunas contendo carvão ativado.

- Lixiviação em pilha (*heap leaching*) – sistema de extração de ouro por lixiviação em pilha de minério britado na qual é composto por uma base impermeabilizante, tubulações centrais e periféricas e trincheiras também impermeabilizante.

2.4 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica, termo conhecido em inglês como *ore dressing, process mineralogy* ou *applied mineralogy* está intimamente ligada ao estudo de aspectos específicos dos corpos de minério e produtos da usina e fornece subsídios para metalurgistas, engenheiros de processos e geólogos no planejamento de lavra e desenvolvimento e otimização do processo de beneficiamento de minérios (HENLEY, 1983).

O termo caracterização tecnológica está voltada para a avaliação dos parâmetros básicos do corpo mineralizado, relacionado às alternativas tecnológicas de tratamento de minério (SANT'AGOSTINO et al., 1997). Segundo os mesmos autores, a expressão possui um sentido mais amplo na qual se reportam em dois seguimentos tecnológicos distintos: um deles ligado à exploração de lavra ou mina e o outro às técnicas de beneficiamento e processamento na adequação para a indústria de transformação.

Nos estudos de viabilidade e implantação de um empreendimento mineiro, a caracterização é de grande importância pois ajuda na determinação das características mineralógicas dos corpos de minérios, na caracterização do potencial de recuperação e identificação do seu comportamento frente ao processo de beneficiamento.

As aplicações das informações mineralógicas ajudam a entender e resolver problemas durante toda a cadeia mineral, desde a pesquisa mineral até os produtos gerados no beneficiamento ou mesmo na metalurgia. Isso envolve a interpretação dos dados na exploração mineral, processamento, rejeitos, hidrometalurgia, pirometalurgia e refino.

Um fator importante em qualquer técnica analítica é o conceito de amostragem, definida como uma sequência de operações que tem por objetivo retirar uma parte

representativa da amostra de um dado lote sem inserir mudanças significativas em suas outras propriedades (GY, 1998).

O ouro por ter uma alta densidade ($19,3 \text{ g/cm}^3$), é mais susceptível as diferenças no conteúdo da sub-amostra devido forte segregação quando liberadas (CHIEREGATI, 2007).

A Tabela 2.4 apresenta as principais técnicas empregadas na análise de minério de ouro: elas podem ser classificadas em duas categorias: convencional (itens de 1 a 5) e análises instrumentais (itens de 6 a 13).

Tabela 2.4 - Principais técnicas analíticas para análise de ouro

	Técnica	Abreviação	Limite de detecção	Aplicação
1	<i>Fire assay</i>	FA	0,1-50 ppm	determinação de ouro em todas as formas
2	Lixiviação (cianetação)	CN	-	recuperação de ouro por cianeto
3	Concentração gravimétrica	GC	-	concentração de ouro gravimétrico
4	Digestão ácida	ADL	-	determinação de ouro associado com carbonatos, sulfetos e silicatos
5	Microscopia ótica	OM	~0,2 – 0,5 μm	análise de partículas, mineralogia, texturas e alterações
6	Imagem automática digital	ADIS	-	escaneamento e medições – mineralogia e associações
7	Microscopia eletrônica de varredura	SEM	semi-quantitativa	Escaneamento, identificação mineral, morfologia e associações minerais
8	Mineralogia quantitativa automatizada por feixe de elétrons	Qemscan – MLA; TIMA: Mineralogic	-	escaneamento, identificação mineral, liberação e morfologia mineral
9	Microanálises química	EPMA	0,1 % EDS 0,02% WDS	composição de ouro e outros minerais
10	Espectrometria de massa de íons secundários	D-SIMS	ppm	quantificação e mapeamento de ouro em sulfetos e FeOx
11	Emissão de raios X por indução de prótons	μ -PIXE	ppm	quantificação e mapeamento de ouro em sulfetos e silicatos
12	<i>Laser ablation</i>	LAM-ICP-MS	ppm-ppb	quantificação de ouro em sulfetos, silicatos e óxidos
13	<i>Time of flight</i> espectrômetro de massa	TOF-LIMS	ppm	quantificação da área do ouro e composição química

Fonte: adaptado de (ZHOU et al., 2004)

A conexão entre a mineralogia e o desempenho do minério na usina já era descrito desde a década de 1970, com a caracterização de partículas quanto ao tamanho e composição determinada por microscopia eletrônica de varredura (GRANT et al., 1977). Após essa década, houve uma popularização do uso desta técnica juntamente com avanço dos equipamentos e desenvolvimento de sistemas acoplados com EDS e análise de imagens, como QEMSCAN e, posteriormente, o MLA - *Mineral Liberation Analyser*. Com isso, desenvolveu-se uma plataforma inovadora para a análise de imagens automatizada, hoje complementada por outros sistemas similares – TIMA, Mineralogic e IncaMineral, dentre outros.

Com o avanço a automatização das técnicas quantitativas de análise de imagens, a caracterização tecnológica tem sido utilizada em apoio nos estudos nas áreas de geologia, amostragem, mineralogia e processamento mineral com inúmeros exemplos de desenvolvimento e aplicações sendo publicadas ao longo das últimas décadas (HABERLAH et al., 2011; LOTTER, 2011).

2.4.1 Estereologia e análise de imagens

Estereologia é definida como o estudo de estruturas tridimensionais a partir de imagens bidimensionais, normalmente com a utilização de seções planas (RUSS, 1986).

A análise de imagens tem sido usada no ramo de mineralogia aplicada para determinação da mineralogia quantitativa, grau de liberação mineral, distribuição granulométrica de grãos, partículas e suas inclusões, associações minerais, entre outras características relacionadas à sua morfologia (PETRUK, 2000). Para FORTEY (1995), o termo se refere à análise computacional das informações quantitativas coletadas de forma digital.

A análise de imagem foi um campo que se expandiu rapidamente devido aos avanços na computação, algoritmos e no aprimoramento das técnicas de microscopia. Em geral, o método envolve a análise computacional bidimensional e são determinadas de forma direta, por uma variedade de métodos de análise de imagens incluindo estimativa visual, contagem de grãos, intercepto linear, medidas de área e outras (HENLEY, 1983).

2.4.2 Erros associados às análises de imagens

Existem muitas fontes de erro que podem ser relacionados à análise de imagens. Esses erros podem estar relacionados ao erro fundamental, que é o menor erro existente para uma amostra coletada em condições ideais, ou ainda erro relacionado à preparação da amostra e estatística das partículas.

RUSS (1986) considera que, como na maioria das medições há erros resultantes de viés nas técnicas utilizadas, torna-se necessário o uso de métodos estatísticos para avaliar a magnitude desses erros. O emprego de métodos automatizados de análise de imagens permite aumentar substancialmente o número de dados e, em consequência, ter maior robustez na análise estatística, minimizando o erro (JONES, 1987).

Um erro estereológico na análise uni e bidimensional pode resultar em dados superestimados conforme a posição em que a partícula é cortada e exposta. Dependendo da posição em que a partícula é seccionada, a seção exposta pode não representar as proporções médias das fases presentes. Na Figura 2.5, as três seções na partícula representam graus de liberação diferentes, apresentando partículas totalmente livres (partícula 1) e partículas mistas (partícula 3) (FANDRICH et al., 1998).

Figura 2.5 - Partícula binária seccionada em distintas regiões

Fonte: modificado de FANDRICH et al., 1998.

2.4.3 Microscopia eletrônica de varredura e mineralogia quantitativa automatizada

As ferramentas de análise de imagens quantitativas automatizadas vêm evoluindo ao longo dos últimos anos tornando-a mais robusta, rápida e com maior confiabilidade na geração de dados estatísticos confiáveis (PETRUK, 1989; FANDRICH et al., 2007).

Técnicas de microscopia óptica (MO) utilizadas em estudos mineralógicos em rochas, minérios e produtos de processamento mostram baixa robustez estatística, elevado tempo na coleta e baixo nível de detalhe. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma poderosa ferramenta por meio da qual é possível alcançar um nível de detalhe tanto maior quanto o seu poder de magnificação em relação à microscopia óptica.

As imagens geradas com detector de elétrons retroespalhados (BSE) permitem a distinção entre as fases presentes pela diferença de número atômico médio, representado pelos distintos tons de cinza; esta informação pode ser complementada com composição química pontual obtida a partir de espectrômetros por dispersão de energia (EDS) para facilitar a identificação de minerais presentes em uma amostra (GRANT et al., 1977). Outros detectores permitem a obtenção de informações como a catodoluminescência. Esse tipo de técnica permite observar diferenças composicional em uma mesma partícula de um determinado mineral através de elétrons secundários (GÖTZE, 2002).

A aplicação de mineralogia automatizada na exploração mineral é uma área relativamente nova, com aplicações que incluem o grupo da platina, ouro, minerais metálicos (DOBBE et al., 2009; AYLING, 2011).

Os dois principais sistemas comerciais de análise de imagem automatizada existentes no mercado são o MLA (*Mineral Liberation Analyser*) e o QEMSCAN (*Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy*), ambos atualmente comercializados pela empresa FEI. Outros sistemas similares foram introduzidos mais recentemente, tais como o TIMA (TESCAN), o INCAMineral (Oxford) e o Mineralogic (Zeiss). A seguir é apresentado uma descrição sucinta dos sistemas supracitados:

- QEMSCAN¹³ (*Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy*): emprega uma plataforma de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com uma fonte de feixe de elétrons em combinação com *hardware* exclusivo controlando até quatro detectores de energia dispersiva de raios X (EDS) (GOTTLIEB et al., 2000).
- MLA¹⁴ (*Mineral Liberation Analyser*): sistema de automação controla o sistema de EDS; o grande diferencial inicial do sistema MLA é o mecanismo que permitia combinar análise de imagens por elétrons retroespalhados (BSE) e espectros de raios X característicos (GU, 2003).
- TIMA¹⁵ (TESCAN *Integrated Mineral Analyzer*): é um sistema de análise de imagens automatizada integrado ao microscópio eletrônico de varredura desenvolvido essencialmente para coleta de BSE e EDS.
- INCAMineral¹⁶ (*Oxford Instruments*): módulo complementar ao *INCAFeature* que permite combinação de imagens e de raios X para a obtenção de dados de mineralogia modal, grau de liberação entre outros.

Esses sistemas possibilitam detalhar as características quantitativas de forma automatizada em curto espaço de tempo, com a coleta de um volume expressivo de informações como composição química e mineralógica, partição dos elementos químicos, associações minerais, liberação e distribuição de partículas mistas.

O princípio básico consiste na segmentação das fases minerais através da distinção de tons de cinza (contraste de número atômico – imagem de BSE) e aquisição de espectros de raios X em cada feição discriminada para posterior classificação dos minerais mediante comparação com um banco de padrões pré-definido, como exemplificado na Figura 2.6.

¹³ <http://www.fei.com/products/sem/qemscan/>

¹⁴ <http://www.fei.com/products/sem/mla/>

¹⁵ <http://www.tescan.com/en/products/tima/tima-lm>

¹⁶ <http://www.oxford-instruments.com/products/microanalysis/solutions/mineral-liberation>

Figura 2.6 - Esquema geral de classificação no MLA

Legenda: A foto A: mostra a imagem de BSE – contraste de número atômico. Nela é possível observar pelo menos 3 fases minerais distintas indicadas pelos tons de cinza. A imagem B, indica a segmentação e classificação dos minerais mediante comparação do banco de padrões pré-definido obtido pelos espectros das diferentes fases minerais (ouro, quartzo e pirita).

A partir das imagens digitais geradas e processadas, através de algoritmos próprios, estes sistemas são capazes de compilar em um banco de dados todas as informações relativas a cada partícula e grão mineral discriminado na análise.

2.4.4 Grau de acessibilidade do ouro

As operações unitárias de cominuição e concentração têm por objetivo a obtenção de um produto dentro da especificação para o aproveitamento industrial. As operações por separações e concentração são baseadas em diferenças físicas ou físico-químicas entre as espécies minerais e as suas propriedades diferenciadoras, como a densidade (concentração densitária), susceptibilidade magnética (concentração magnética) e propriedades de superfície (flotação, separação eletroestática). A eficiência na separação de componentes de um material depende da precisão do processo de concentração e será mais eficiente onde as fases minerais encontrem-se individualizadas ou livres, pois desta forma as diferenças entre as mesmas são mais evidentes.

Existe uma relação entre liberação e fragmentação, ou seja, quanto mais fina a fragmentação, maior probabilidade das partículas estarem liberadas. Porém, a

fragmentação deve ser limitada ao estritamente necessário devido ao custo elevado das operações de cominuição e o desempenho insatisfatório de partículas ultrafinas (abaixo de 10 μm) nos processos de concentração.

A Fotomicrografia 2.1 apresenta diferentes graus de perímetro exposto para percolação de uma solução cianetada. Note que a figura, o grão de ouro mesmo não sendo livre possui um facilitador para percolação da solução, tornando-o acessível.

Fotomicrografia 2.1 - Ilustração sobre a acessibilidade do ouro

Legenda: Imagem A: grão de ouro totalmente livre, o que indica ser 100% recuperável e 100% exposto. Imagem B: grão de ouro com mínima porção exposta e acessível, passível de ser lixiviada. A associação mineral é inteiramente composta por pirita. Imagem C e D: grãos de ouro associado a arsenopirita com aproximadamente 40% (C) e 70% de superfície exposta (D).

Adicionalmente para minérios auríferos, o conceito clássico de grau de liberação descrito por Gaudin (1939), perde o seu significado quando os processos empregados para a sua recuperação e extração se baseiam em propriedades específicas desse elemento, como por exemplo, a formação de amálgamas com mercúrio e lixiviação por soluções alcalinas de cianeto. A definição clássica para liberação mostra que numa população de partículas de diferentes espécies minerais, o grau de liberação de uma das espécies consiste no percentual deste mineral que ocorre como partículas livres em relação ao total de partículas (mistas ou livres). Já o grau de associação corresponde ao percentual do mineral que se encontra misto (duas ou mais fases) em relação ao total (GAUDIN, 1939).

O ouro amalgamável constitui a parcela de ouro em relação ao ouro total contido passível de ser recuperada por processos densitários, seguidos de amalgamação pelo mercúrio. Para Tassinari (1996), a amalgamação é ineficiente para extração de ouro fino com limites de aplicação de 10 μm em condições operacionais usuais de processamento mineral. Por outro lado, em condições controladas de laboratório é possível recuperar as partículas de ouro liberadas até a granulação de 40 μm e também de partículas mistas em que o ouro constitua mais de 10% do perímetro exposto. O ouro passível de ser lixiviado é a parcela de ouro na qual se encontra com algum perímetro exposto a soluções alcalinas de cianeto, seja na superfície ou incluso em partículas cujo ouro seja acessível por microfraturas.

A Fotomicrografia 2.2 apresenta diferentes formas de inclusão dos grãos de ouro em imagem bidimensional (2D). Em ambos os exemplos, não seria possível a ação da solução, pois não há um meio facilitador/condutor para a percolação. Por se tratar de uma observação bidimensional, o ouro pode ser passível de extração por caminhos localizados em uma outra parte do grão, não visualizada na imagem. Assim, a informação de acessibilidade do ouro por análise de imagem pode ser subdimensionada.

Por critério, o termo “perímetro exposto” será definido como sendo a porção dos grãos de ouro passíveis de serem extraídos por ação de uma solução lixiviante, o que, em relação à sua superfície, apenas 1 pixel exposto configura o potencial de extração.

Fotomicrografia 2.2 - Ouro potencialmente não extraído – 2D

Pontos: Au (1), pirita (2)

Pontos: galena (1 e 2), ouro (3), arsenopirita (4), (calcopirita (5) e pirita (6).

Legenda: Imagem A: grão de ouro incluído na pirita. Por se tratar de uma imagem 2D, não é possível observar possíveis fraturas em outras posições da partícula. Imagem B: partícula mista com grãos de ouro em contato com duas ou mais fases. Essa situação é classificada como grãos de ouro não encapsulados.

2.4.5 Difração de raios X

A técnica de difração de raios X (DRX) apresenta uma grande variedade de aplicações em diversos campos do conhecimento correspondendo a uma das principais técnicas de caracterização de materiais cristalinos. Pode ser empregada na engenharia e ciências dos materiais, metalurgia, mineração, química e geociências, além de outras áreas do conhecimento.

Considerando pelo menos dois planos cristalinos, uma parcela dos raios X, ao atingir a superfície do material, sofre espalhamento elástico sem perda de energia (dispersão ou espalhamento coerente), ou seja, a difração dos raios X vai depender da diferença do trajeto percorrido entre dois planos “d”, o comprimento de onda da radiação incidente “ θ ” e o comprimento de onda da radiação incidente “ λ ”. Essa condição é expressa na equação de Bragg (eq. 1) (BISH et al., 1989).

A Lei de Bragg e o fenômeno de interação é expressa a seguir (Figura 2.7).

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (\text{eq. 1})$$

onde λ : corresponde ao comprimento de onda da radiação incidente, “ n ” à ordem de difração, “ d ” à distância entre planos para o conjunto de planos hkl (índice de Miller) da estrutura cristalina e θ ao ângulo de incidência dos raios X.

Figura 2.7 - Ilustração do fenômeno de difração de raios X

Fonte: Modificado de BISH et al., (1989)

Os instrumentos mais usuais de medida da difração de raios X em materiais geológicos são os difratômetros com análises de amostras pulverizadas (método do pó) (JENKINS, 1989). A identificação das fases cristalinas, de minerais, metais ou outros constituintes, é realizada a partir da comparação do difratograma coletado com fichas catalogadas em bancos de dados de estruturas cristalinas disponíveis e elaboradas pelo ICDD¹⁷ e outras instituições.

2.5 DEPÓSITO DE MORRO DO OURO

2.5.1 Histórico da exploração de ouro no Morro do Ouro

A descoberta do ouro de aluvião no início do século XVIII, próximo a um pequeno córrego junto ao Morro da Cruz das Almas, hoje Morro do Ouro, propiciou o surgimento da atual cidade de Paracatu, a noroeste do estado de Minas Gerais.

Como ocorreu em toda a colônia, a mão de obra na sua totalidade era escrava e seu desenvolvimento logo entrou em crise devido à escassez do ouro de aluvião frente aos novos desafios de desenvolvimento em uma área com rocha de dureza maior.

¹⁷ ICDD: International Centre for Diffraction Data

Assim, foi necessário o desenvolvimento tecnológico e de equipamentos para manter a prosperidade econômica na região.

No período de 1752 e 1787 houve um pico de produção de ouro em Paracatu. Documentos indicam que a partir de 1787, as jazidas já estavam em “estado de exaustão” e o então governador D. Luiz da Cunha Meneses ordenava o confisco dos bens de vários mineradores da cidade por falta de pagamento de impostos (CARVALHO, 1992).

A partir dessa data, vários exploradores a mando da coroa passaram pela região. Segundo o explorador austríaco POHL “a região de Paracatu é pobre, despida de atrativos. A extração é atualmente insignificante, por falta de água para lavagem, limita-se à estação chuvosa”. Como o Córrego Rico, nome proveniente da extinta abundância de ouro não justifica mais essa denominação, os donos de escravos foram obrigados a retirá-los das lavras para empregá-los no cultivo do campo.

O declínio da produção aurífera e as suas consequências, como a transferência da população urbana para a zona rural, fez florescer a atividade agropecuária na região. Essa nova atividade lançou as bases para o povoamento regional e desenvolvimento frente a estagnação da produção mineral. Apesar do franco declínio, a região manteve uma atividade pontual de garimpagem que sempre estava presente na rotina da cidade na forma de subsistência.

Somente a partir de 1970, Paracatu passou a atrair a atenção das empresas de exploração mineral, porém sem resultados imediatos, visto que a maioria delas não se sentiram atraídas pelo baixo teor do minério, considerado como não econômico.

Em 1984, a mineradora inglesa Rio Tinto (antes, *Rio Tinto Zinc* - RTZ) com base em uma pesquisa fundamentada na escavação e amostragem de algumas centenas de poços profundos intensificou os trabalhos para a viabilização da instalação do empreendimento mineiro. Em 1987, a Rio Tinto acertou com a Autram Mineração e Participações (antes TVX Gold Inc) a participação como sócia do empreendimento. Esta associação fez surgir numa nova empresa, Rio Paracatu Mineração S/A, cujo capital passou a ser de 51% da RTZ e 49% da Autram.

A Rio Paracatu Mineração iniciou a sua operação em 1988 com a construção da usina de beneficiamento I sob um capital inicial de 65 milhões de dólares.

Em dezembro de 2004, a companhia canadense Kinross Gold Corporation adquiriu a parcela da mina pertencente a Rio Tinto. Após a aquisição pela Kinross, o empreendimento passou por diversas fases de expansão, chegando à maior produtora de ouro nacional com produção de 520 mil onças de ouro em 2014, uma reserva de 6,541 koz (provada) e um teor médio de 0,41 g/t.

2.5.2 Enquadramento geológico-geotectônico

Este item propõe apresentar uma síntese da evolução geotectônica regional da área de estudo. Essa síntese é resultado da integração de dados estruturais, estratigráficos e geoquímicos.

A Faixa Brasília, na qual a área de estudo faz parte, é um sistema orogênico neoproterozóico situado entre os crátons Amazônico e São Francisco, desenvolvido no contexto colisional que culminou na amalgamação do supercontinente *Gondwana*. A Faixa Brasília bordeja o Cráton do São Francisco (CSF) enquanto as faixas Paraguai e Araguaia, bordejam o Cráton Amazônico.

MARINI et al., (1981); FUCK (1994) e DARDENNE (2000) definiram a faixa (Figura 2.8) como um conjunto de terrenos acrescidos associados à empurrões de escala crustal que convergiram para leste contra o Cráton do São Francisco. Essa faixa é marcada por dois segmentos distintos: a Faixa Brasília Setentrional (FBS), que tem como característica a orientação NE, e a Faixa Brasília Meridional (FBM) de orientação NW, limitadas pela Megaflexura de Pireneus.

A faixa externa da FBM é marcada por empilhamento tectônico de vários terrenos-estratigráficos limitados por importantes superfícies de cavalgamento, a maioria das quais representadas majoritariamente por unidades litoestratigráficas metassedimentares, tais como os grupos Vazante (inferior), Canastra, Ibiá, Paranoá e Araxá-Andrelândia (Superior). Descontinuidades metamórficas podem ocorrer entre os terrenos adjacentes.

O Grupo Canastra (ALMEIDA, 1967) compreende lascas tectônicas, separadas por falhas de empurrão, compostas por sequências de metassedimentos detríticos representados por quartzitos e filitos com fácies carbonatadas subordinadas. Foi metamorvisada em condições de fácies xisto verde. Segundo BARBOSA et al. (1969), as rochas originaram-se em um contexto bacinal de margem passiva, com sedimentos provenientes possivelmente do Cráton do São Francisco.

Figura 2.8 - Mapa Geológico da Faixa Brasília

Mapa da geologia regional da Faixa Brasília (FUCK et al., 1994).

DARDENNE (2000) dividiu o Grupo Canastra em duas formações (Figura 2.9): Formação Paracatu e Serra do Landim. A Formação Paracatu é formada por filitos carbonosos cinza escuro com algumas intercalações de lentes de quartzitos. Este

Grupo se sobrepõe ao Grupo Vazante através de falhamentos inversos e contatos normais ou transicionais com evidências que sugerem a deposição de sedimentos químicos de águas profundas com intercalações de sedimentos terrígenos. A partir desta constatação, Zini (1988) dividiram a Formação Paracatu em dois membros, denominadas Membro Morro do Ouro e Membro Serra da Anta.

Figura 2.9 - Coluna estratigráfica dos grupos Canastra, Vazante e Ibiá

Legenda: Coluna estratigrafia mostrando uma progressiva sequência clástica rasa do Grupo Canastra no qual, próximo da base, é denominado por folhelhos negros metamorfizado em fácies xisto verde (OLIVER et al., 2015).

O Membro Morro do Ouro, porção inferior da Formação Paracatu, é formada por filitos carbonosos cinza escuro com lentes milimétricas a centimétricas de quartzito. Nesse pacote inferior hospeda-se a mineralização aurífera do depósito do Morro do Ouro. Por sua vez, o Membro Serra da Anta, porção superior, é representada por filitos cinza claro e metasiltito com diminuição das lentes de quartzito.

A Formação Serra do Landim, que compõe a unidade basal do Grupo Canastra, é composta por filitos verdes calcíferos e tem aproximadamente 250 metros de espessura. Foi inicialmente atribuída à Formação Vazante (MADALOSSO et al.,

1978), (MADALOSSO, 1980), porém FREITAS SILVA, (1996) a correlacionou ao Grupo Canastra.

Na Faixa Brasília, os principais depósitos minerais neoproterozóicos são associados ao Arco Magmático de Goiás, com mineralizações de ouro, cobre e esmeraldas; às sequências metassedimentares dos grupos Vazante e Bambuí, com presença de fosfato, chumbo e zinco; às zonas de cisalhamento regionais, com contribuição de ouro e complexos máficos-ultramáficos, nos quais estão presentes mineralizações de cobre, níquel e cobalto.

2.5.3 Geologia local

O depósito aurífero Morro do Ouro está inserido no Grupo Canastra, Formação Paracatu, Membro Morro do Ouro, no qual se apresentam filitos deformados com *boudins* de quartzo que caracterizam o corpo mineralizado, conforme Figura 2.10. A deformação dos filitos é traduzida em estruturas do tipo *kink bands*, *slickensides* e sigmoides com sombra de pressão e concentrações sulfetadas.

O depósito está hospedado em filitos carbonosos cinza claro a escuro marcado pela intercalação de níveis de filossilicatos, compostos essencialmente por clorita e lentes de quartzito milimétricas a centimétricas com foliação predominantemente na direção média de N20-40° mergulhando 10°SW.

Figura 2.10 - Amostras do depósito Morro do Ouro

Legenda: Boudins de quartzo com calcopirita, galena, esfalerita, pirita e arsenopirita. Em alguns locais os boudins de quartzo ocorrem laminados com núcleos carbonáticos.

Juntamente com as estruturas do tipo *boudin*, ocorre clivagem de crenulação e zonas de sombra de pressão associadas ao estrangulamento das camadas quartzosas. Nas crenulações ocorrem lineações de estiramento com caimento da ordem de 10 – 15° para WSW, contidas na foliação, indicando transporte de massa para NE (MYASHITA, 2005).

A mineralização ocorre preferencialmente associada aos *boudins* de quartzo, nos quais estão contidos os sulfetos e, em menor proporção, carbonatos e silicatos. Os sulfetos (arsenopirita, pirita, galena, pirrotita, etc) podem ocorrer de forma disseminada nos filitos ou ainda em maior proporção, maciça, associados aos *boudins* de quartzo (DAITX & ZANARDO 2000).

Figura 2.11 - Seção esquemática do depósito Morro do Ouro indicando horizontes mineralizados.

Legenda: Horizontes C e T correspondem aos níveis superficiais. B1 indica minério oxidado e B2, minério sulfetado. A linha amarela indica a zona de transição entre os níveis B1 e B2, localmente denominada B2 friável.

Foram estabelecidos quatro horizontes estratigráficos (Figura 2.11): C, T, B1 e B2, do topo para a base. Os horizontes C, T e B1 constituem a porção oxidada do corpo mineralizado, ao passo que a Unidade B2 representa a parte primária, sulfetada de maior dureza e variável com a profundidade considerada. A espessura do perfil intempérico é variável, não passando de 2 metros e ocorre em função da topografia,

da intensidade da sulfetação primária e do conjunto de falhas e lineamentos (MOLLER et al., 2001).

A porção oxidada pode atingir pouco mais de 40 metros de espessura em algumas zonas do depósito, principalmente na porção central. O horizonte C corresponde à rocha completamente alterada, oxidada. O horizonte B1 se refere à rocha menos decomposta, com uma dureza maior em relação ao horizonte C.

O horizonte T faz parte da transição do C para o B1, com cores variáveis e tem espessura de poucos metros (2 m). As reservas que viabilizaram o empreendimento mineiro de Morro do Ouro referiam-se exclusivamente ao minério dos horizontes C e T, para o qual foi definido um teor médio de 0,59 ppm de ouro. Hoje, apenas um remanescente do minério do tipo B1 é lavrado sendo o minério B2 fonte de avaliação de recursos e reservas para a empresa (teor médio de 0,410 g/t).

O minério denominado B2 foi estabelecido com base nos critérios: grau de deformação estrutural, teor em arsênio, textura dos sulfetos, tipos de sulfetos, grau de silicificação. Com base nestes critérios foram identificados corpos com uma relação direta entre teor de arsênio e ouro contido (MOLLER et al., 2001). Diante dessa relação, estabeleceram-se os seguintes corpos de minério (seção esquemática apresentada na Figura 2.12 para o minério B2):

- B2 com teor de arsênio menor que 2500 ppm. O filito ocorre pouco deformado, com o sulfeto disseminado (pirita e pirrotita > arsenopirita) geralmente apresenta textura fina. Teor de ouro é relativamente baixo em relação aos outros corpos mineralizados.
- B2 com teor de arsênio entre 2500 e 4000 ppm. Refere-se ao minério que constitui os corpos com maior proporção de sulfetos e com estruturas mais deformadas (sigmóides, *kink bands* e *boudins* deformados) que o minério com teor de arsênio abaixo de 2500 ppm. Este minério representa cerca de 25% dos recursos totais de minério B2.
- B2 com teor de arsênio maior que 4000 ppm. Refere-se ao minério que preferencialmente ocorre na zona mais central envelopados por níveis de baixo teor de arsênio. Ocorrem de forma descontínua e é pouco espesso dentro do pacote de teor de arsênio de 2500-4000 ppm. São, via de regra, muito

deformados e sulfetados. São denominados de calha IDS (intensamente deformada e sulfetada).

Figura 2.12 - Seção esquemática do corpo de minério tipo B2

Legenda: As diferentes cores indicam os corpos de minérios em função do teor de arsênio.

2.5.4 Lavra

A lavra na mina Morro do Ouro é conduzida através do método convencional a céu aberto em cava (*open pit*). Nesse método de lavra, o material de cobertura do depósito é retirado deixando o minério exposto para ser lavrado na forma de bancadas. Para Peroni (2008), é um método que apresenta grande recuperação e pouca diluição na lavra. Sua produtividade é bastante elevada e permite a utilização de equipamentos de grande porte.

A unidade de lavra da mina é representada por blocos de 50m x 50m x 12m, estabelecida em função das características gerais do minério e porte dos equipamentos.

A movimentação em 2014 de minério ROM (*run of mine*) para usina de processamento I foi de aproximadamente 15 Mt/a mantendo ainda um estoque de 500.000 t no período chuvoso ou indisponibilidade de lavra. Para o minério na usina de processamento II,

a movimentação de ROM é de cerca de 45 Mt/a e é conduzida simultaneamente com minério da usina I.

Na extração do minério para usina de processamento II e estéril são utilizados equipamentos de lavra de maior capacidade produtiva onde o material é 100% desmontado através de métodos controlados (espoleta eletrônica).

Pelo fato de não existir uma pilha de homogeneização, o *blend* do minério é feito diretamente na mina, pela lavra simultânea em duas frentes para cada usina.

Diferente da usina de processamento II, a retirada do minério oxidado beneficiado na usina I, é efetuada por desmonte mecânico por escarificação e, em áreas com rochas mais resistentes, é empregada perfuração e desmonte controlado. Atualmente, cerca de 25% da movimentação mensal é gerada por esse tipo de mecanismo.

O material destinado para a usina II alimenta um britador primário no centro da mina conectado a um transportador de correia de 1.450 m, que movimenta o minério para uma pilha de capacidade de 400 mil toneladas que abastece o moinho SAG no início do processo produtivo da usina de processamento II.

2.5.5 Beneficiamento mineral

O complexo minero-metalúrgico contém, atualmente, duas unidades de processamento, denominadas usinas I e II. A distinção entre eles é devido principalmente a tenacidade do minério: a unidade de processamento I recebe minério oxidado e a unidade II, minério sulfetado com um BWI (*work index* de Bond) acima de 7 kWh/t.

2.5.5.1 Usina de processamento I

A usina de processamento I foi a primeira a ser implantada e tem passado por alterações e ampliações desde o início da lavra em decorrência do aumento de produção e implementação de novas tecnologias para maximizar a recuperação do ouro no processo.

A Figura 2.13 apresenta o fluxograma simplificado do beneficiamento atual do minério aurífero para a usina de processamento I.

Figura 2.14 - Fluxograma da usina de processamento II - Cominuição

Os transportadores de correias conduzem o minério britado para a etapa de moagem composta por um moinho SAG, com carga aproximada de 10-15% de bolas, seguido por três moinhos de bolas em paralelo processando cerca 6000 t/h, a um P_{80} de 105 μm . Um estágio de concentração densitária usando jiggs na carga circulante dos moinhos foi introduzido na tentativa de recuperação de ouro livre em uma fração mais grossa. O concentrado da jigagem, com teor médio de ouro de 25 ppm, junta-se ao concentrado da flotação para a etapa CIL.

O circuito de flotação consiste em quatro baterias com seis células *rougher* com hidroclones alimentando com polpa proveniente do *overflow*. O concentrado da *rougher* é novamente flotado em duas baterias com cinco células *cleaner* (Figura 2.15).

O concentrado da separação densitária combinado ao concentrado da flotação é espessado antes da remoagem para remover a maior parte dos reagentes e para garantir uma densidade ótima de polpa. Os concentrados moídos são espessados novamente antes de serem bombeados para a planta de hidrometalurgia.

Figura 2.15 - Fluxograma da usina de processamento II - Flotação

A extração de ouro dos concentrados combinados e remoídos, isto é, dos concentrados densitários e de flotação, é executada em um circuito CIL convencional (8 tanques de lixiviação CIL). A unidade CIL é precedida por um tanque de pré-aeração que oxida e precipita metais básicos antes da cianetação para reduzir o consumo global de cianeto. O ouro é adsorvido pelo carvão em polpa na unidade CIL. O carvão ativado é removido pelo peneiramento da polpa, sendo o ouro removido do carvão ativado por uma coluna de dessorção e seguido de eletrorecuperação. A fusão do ouro é executada usando-se fornos de indução até o produto em *bullion*, em uma proporção média de 75% de ouro e 25% de prata, além de impurezas como chumbo.

Por fim, o rejeito da hidrometalurgia é previamente tratado no circuito para a destruição do cianeto presente na polpa através de uma solução de metabissulfito de sódio que é adicionada a uma taxa suficiente para reduzir o cianeto livre até abaixo dos limites de detecção e também para reduzir o nível de cianocomplexos dissociáveis em ácido fraco (WAD: “*weak acid dissociable cyanide*”)¹⁹. O cianeto dissociável em ácido fraco no reservatório deve estar em concentração inferior a 50 ppm.

¹⁹ <http://www.cyanidecode.org/cyanide-facts/sample-analysis>

2.5.6 Trabalhos sobre caracterização do minério do Morro do Ouro

Os trabalhos em periódicos, dissertações e teses sobre características e variabilidade do minério do Morro do Ouro são escassos. Encontram-se trabalhos relacionados ao tratamento de minérios quanto à flotação e cominuição, geoestatística, geoquímica e gênese do depósito e relatórios técnicos²⁰. No Quadro 2.3 encontram-se os principais trabalhos relacionados com o depósito Morro do Ouro ou regiões adjacentes.

Relatórios internos realizados por diversas consultorias, apontam para uma relação direta entre teor de ouro e distribuição de arsênio e enxofre. Estudos efetuados na UNESP – Campus Rio Claro e em laboratórios do Grupo Rio Tinto, situados na Austrália (LATTI, 1999a, 1999b) e também pela Cook University, na Austrália mostram que o ouro está intimamente associado à pirita e à arsenopirita, seja em fraturas, em meio a *clusters* ou inclusos em partículas livres. Apesar do trabalho ter sido realizado em apenas 3 amostras, o relatório elaborado a pedido da Rio Tinto mostrou que:

- arsenopirita é mais abundante nas porções alteradas (oxidadas) e a pirita no minério sulfetado. No presente trabalho não se verificou esse tipo de relação.
- os corpos de minério diferem em termos de distribuição de ouro: zonas oxidadas contém mais ouro grosso liberado e ultrafino com significativa inclusão em gangas. Ouro em zonas sulfetadas associam-se predominantemente aos sulfetos.
- perda de ouro no processo ocorre em ouro ultrafino e associados às gangas, principalmente silicatos. Recuperação da fração +0,020 mm de ouro livre e associado a sulfetos pode ser baixo para um rejeito de 0.08 ppm ainda mais na fração -0,020 mm µm com 0,03 ppm de ouro.
- ocorrência de ouro associados aos sulfetos em solução sólida: pirita contém baixa concentração de ouro em solução sólida.

²⁰ <http://www.kinross.com/pdf/operations/Technical-Report-Paracatu.pdf>

Quadro 2.3 - Principais trabalhos relacionados ao depósito Morro do Ouro

Ano	Tema	Título	Autor	Publicado em:
1991	geologia estrutural	Enquadramento litoestratigráfico e estrutural do depósito de ouro do Morro do Ouro	FREITAS-SILVA, F.H.	Dissertação de mestrado - UnB
1991	geologia estrutural	Controles litoestruturais do depósito de ouro do Morro do Ouro	FREITAS-SILVA, F.H. et al.	6º Simpósio de geologia de Minas Gerais
1993	sensoriamento remoto	O comportamento espectral e radiométrico dos filitos carbonosos portadores de mineralizações auríferas na Faixa Brasília	MENESES, P. R. et al.	Anais do VII SBSR
1996	metalogênese	Geologia, mineralização e lavra do Morro do Ouro - Paracatu (MG)	MARQUES, F.B	Congresso Brasileiro de Geologia
1996	metalogênese	New ideas regarding the origin and tectonic setting of mineral deposits (Morro Agudo Zn-Pb and Morro do Ouro Au) in the Paracatu-Vazante fold belt, Minas Gerais	THORMAN, C.H	Congresso Brasileiro de Geologia
1996	metalogênese	Metalogênese do depósito Morro do Ouro	FREITAS-SILVA, F.H.	Congresso Brasileiro de Geologia - Salvador
1996	metalogênese	Metalogênese do depósito Morro do Ouro	FREITAS-SILVA, F.H.	Tese de doutorado
1998	metalogênese	An overview of main auriferous regions of Brazil	MARTINI, S. L.	Revista Brasileira de Geociências
2001	metalogênese	Geologia e recursos minerais do depósito Morro do Ouro	MOLLER, J. C. et al.	Bacia do São Francisco - SBG
2000	petrografia	Estudo petrográfico e mineralógico de rochas na Mina Morro do Ouro.	DAITX et al.	Trabalho técnico
2000	sensoriamento remoto	Modelo exploratório para depósitos auríferos do tipo Morro do Ouro com base em dados e técnicas de sensoriamento remoto	SWALF, P.S.	Dissertação de mestrado - Unicamp
2001	geoestatística	Modelagem geológica e estocástica da porção NE da Mina de Morro do Ouro, Paracatu.	SILVA, A. H. M.	Dissertação de mestrado - Unicamp
2002	flotação	Ouro – Rio Paracatu Mineração - RPM	MELLO MONTE, M. B.	CETEM
2003	sensoriamento remoto	Remote sensing signature of the Morro do Ouro gold deposit, Minas Gerais, Brazil, using reflectance spectrometry: application to mineral exploration using spaceborne multispectral sensors	SWALF, P.S.	Revista Brasileira de Geociências
2006	hidrogeologia	Estudos hidrogeológicos na mina Morro do Ouro	CHAPADEIRO, E.	XIV CBAS
2009	geoquímica	Gênese de depósitos dos filitos carbonosos do depósito Morro do Ouro	ALMEIRA, B.S.	Dissertação de mestrado - UnB
2011	flotação	Desenvolvimento de uma rota de processo de dessulfurização de rejeitos de um minério aurífero sulfetado	JUNIOR, G.G.O.	Dissertação de mestrado - UFMG

Ano	Tema	Título	Autor	Publicado em:
2012	moagem	Moagem Semiautógena piloto do minério de ouro da Rio Paracatu Mineração	SILVA, A.L.	Dissertação de mestrado - USP
2013	geometalurgia	Morro do Ouro geological model with a metallurgical view	ESPER, E.	GeoMet – AUSIMM Conference
2015	metalogênese	Local and regional mass transfer during thrusting, veining and boudinage in the genesis of the giant shale-hosted Paracatu Gold Deposit, Minas Gerais, Brazil	OLIVER, N.H.S.	Economic Geology

Obs: Organizado por ano de publicação.

Segundo relatório realizado pela Blue Coast em 2010, o minério sulfetado apresenta como principais características (BLUE COAST METTALURGY, 2010):

- 74% de liberação de ouro com grãos de ouro acima de 10 µm passíveis de serem totalmente recuperadas. 35% das partículas liberadas são abaixo de 10 µm e não são recuperadas por processos de flotação.
- no geral, as partículas liberadas têm recuperação média de 86% na flotação.
- até 8% não será recuperada pois estão em “solução sólida” com arsenopirita e pirita.
- recuperação global no circuito de flotação é de aproximadamente 78%.

Ainda em 2010, um outro estudo a respeito da perda de ouro para o rejeito foi realizado pela AMTEL na qual foi constatado a perda de ouro no circuito de lixiviação pelo fenômeno de *preg-robbing*, além presença de ouro submicroscópico associado à pirita e arsenopirita (11% de ouro residual de sulfeto no circuito de finos) (AMTEL, 2010).

A partir de 2013, dentro de um programa estratégico de longo prazo, iniciou-se uma série de trabalhos de geometalurgia com o intuito agregar conhecimento e melhorar a previsão de desempenho do minério nas usinas de processamento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

As amostras utilizadas fazem parte de um plano de trabalho denominado “Estudos mineralógicos quantitativos por MEV/MLA” na qual foram selecionadas amostras pontuais em escala de lavra de acordo com o plano anual de lavra dos anos de 2015 e 2016.

As amostras estudadas, cada qual com cerca de 5 kg foram compostas a partir de um intervalo selecionado de 1 metro de testemunhos de sondagem. A Figura 3.1 ilustra a amostragem nos testemunhos de sondagem (em vermelho).

Figura 3.1 - Amostragem de testemunho de sondagem

Legenda em vermelho, intervalo amostrado de 1 metro.

As amostras referentes à frente de lavra (fragmentos) foram coletadas em intervalos de aproximadamente 15 centímetros, espaçados de metro a metro, ao longo de uma canaleta em um banco de 12 metros de altura e, posteriormente, agrupadas em um lote respeitando os limites do intervalo do corpo mineralizado. A Figura 3.2 ilustra a metodologia aplicada para a coleta de amostra na frente de lavra.

Figura 3.2 - Amostragem na de frente de lavra

Legenda: áreas demarcadas pelas linhas tracejadas brancas: local de coleta.

3.2 PROCEDIMENTOS ADOTADOS

As amostras foram britadas abaixo de 2,36 mm nas instalações da Kinross e posteriormente amostradas e enviadas para o Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT, do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP.

Os estudos de caracterização foram realizados de acordo com o procedimento experimental apresentado na Figura 3.3 e detalhado nos itens a seguir.

A primeira etapa envolveu cominuição em britador de rolos abaixo de 0,50 mm da amostra total (5 kg) e retirada de duas alíquotas de 500 gramas em amostrador Jones, sendo uma alíquota para o peneiramento a úmido e a outra para análise de difração e análise mineralógica por MLA.

A segunda etapa compreendeu o peneiramento a úmido ($-0,50+0,020$ mm) e nova amostragem das alíquotas para ensaio de separação mineral por líquidos densos.

Na terceira e última etapa, apenas o produto afundado resultante das separações em líquidos densos foi amostrado para confecção de seções polidas e execução de estudos de caracterização mineralógica. Todos os procedimentos estão detalhados a seguir.

Figura 3.3 - Fluxograma das atividades realizadas

3.2.1 Cominuição e homogeneização

As amostras provenientes da amostragem em testemunho e frente de lavra com granulometria inferior a 2,36 mm passaram por uma operação de fragmentação em escala de laboratório utilizando britador de rolos em circuito fechado com peneira de 0,50 mm de abertura (Figura 3.4).

Figura 3.4 - Aspecto geral das amostras estudadas – amostra tal qual

Amostra abaixo de 2,36 mm

Amostra abaixo de 0,50 mm

A divisão da amostra e homogeneização foram realizadas em divisor Jones (16 calhas totais) e retiradas duas alíquotas de 1/8 do total (cerca de 500 g cada) para as etapas de preparação e análise (Figura 3.5). O restante do material, perfazendo cerca de 4,0 kg, foram armazenadas nas dependências no LCT.

Figura 3.5 - Equipamentos utilizados para cominuição e divisão da amostra

Britador de rolos

Amostrador Jones

3.2.2 Peneiramento e deslamagem

Após a etapa de cominuição e subdivisão (amostragem), as amostras uma alíquota (500g) foi submetida ao peneiramento a úmido sob lavagem intensa em peneira com abertura de 0,020 mm (Figura 3.6). A fração retida acima de 0,020 mm foi objeto de separações minerais em líquidos densos e de preparação de seções polidas; já a fração passante em 0,020 mm foi seca, amostrada e enviada para análise química multielementar por fluorescência de raios X (sem padrões), ouro, arsênio e enxofre em laboratório externo. A caracterização tecnológica do ouro e sulfetos foram realizados somente na fração retida acima de 0,020 mm.

Figura 3.6 - Peneirador Haver EML 450 utilizado no peneiramento a úmido

Legenda: Peneiramento em +0,020 mm. Foi utilizado um conjunto de peneiras acima de 0,020 mm para melhorar a eficiência no procedimento.

3.2.3 Separações minerais em líquidos densos

As separações minerais por líquidos densos da fração retida acima de 0,020 mm objetivaram a concentração de fases minerais com base nas suas densidades. Para o minério estudado, há uma diferença significativa de densidade entre a ganga,

composta essencialmente por silicatos, e os sulfetos e ouro. A Tabela 3.1 mostra as densidades dos minerais presentes no minério do depósito Morro do Ouro.

O produto afundado foi amostrado para confecção de seções polidas visando caracterizar a forma de ocorrência e associações dos grãos de ouro. Adicionalmente, todos os produtos flutuados e afundados obtidos foram enviados para análise química (Au: Fire assay; S: pirólise em forno de indução e ICP-OES para As) em laboratório externo.

Tabela 3.1 - Composição e densidade dos principais minerais presentes no depósito Morro do Ouro

Mineral	Fórmula ²¹	Densidade (g/cm ³)
clorita	(Mg,Al,Fe) ₁₂ (Si, Al) ₈ O ₂₀ (OH) ₁₆	2,61
albita	NaAlSi ₃ O ₈	2,63
quartzo	SiO ₂	2,65
mica	KNaAlMgFe ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH,F) ₂	2,76
anquerita	Ca(Fe ²⁺ ,Mg,Mn)(CO ₃) ₂	3,12
siderita	FeCO ₃	3,70
goethita	α-FeO(OH)	3,80
esfalerita	ZnS	3,90
calcopirita	CuFeS ₂	4,10
pirrotita	Fe _{1-x} S	4,58
pirita	FeS ₂	5,02
arsenopirita	FeAsS	6,07
galena	PbS	7,40
ouro	Au,Ag	19,3

As separações foram efetuadas com o emprego de tetra-bromo-etano (2,96 g/cm³) em centrífuga da marca Novatecnica NT 820. As condições operacionais foram: 2 operações sequenciais de 5 minutos cada, a uma rotação de 900 RPM. A Figura 3.7 mostra o equipamento utilizado e o processo de separação em líquido denso.

²¹ Fórmulas e densidades em: <http://webmineral.com/>

Figura 3.7 - Procedimento de separação por líquidos densos e equipamento

Fonte: adaptado de SAMPAIO et al., (2005)

Centrífuga com 4 suportes

Tubo com material separado

3.2.4 Difração de raios X e análises químicas

A alíquota resultante (500g) da separação da amostra total (5 kg) foi selecionada para a análise de difração de raios X e análise mineralógica por MLA. Para a análise de difração de raios X, as amostras foram cominuídas em moinho de disco e quarteadas até atingir aproximadamente 30 g. Contraparte das amostras assim processadas, com massa de 100 a 200 g foram objeto de análises químicas por fluorescência de raios X.

Tais alíquotas foram pulverizadas em moinho planetário Pulverizette 5, marca Fritsch, de forma a se ter granulação inferior a 37 μm , seguido de prensagem manual em suportes específicos para material em pó (Figura 3.8).

As análises difratométricas foram realizadas em equipamento X'Pert Pro, marca PANalytical com tubo de Cu e detector sensível à posição (PSD - X'Celerator). As condições de coleta empregadas são apresentadas no Quadro 3.1. A identificação das fases cristalinas foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data (2003) e PAN-ICSD – PANalytical Inorganic Crystal Structure Database (2007).

Quadro 3.1 - Condição de coleta dos difratogramas

Radiação	Cu K α (λ = 1,54186 Å)
Energia no tubo (voltagem x corrente)	45 kV x 40 mA
Faixa angular ($^{\circ}2\theta$)	2,5 a 70 $^{\circ}$
Passo angular ($^{\circ}2\theta$)	0,02 $^{\circ}$
Tempo de coleta por passo	25s
Tempo total de coleta	13min por amostra

Figura 3.8 - Equipamentos utilizados para difração de raios X

Material utilizado para pulverização e prensagem manual

Difratômetro de raios X - X'Pert Pro, marca PANalytical

As análises químicas foram efetuadas em contraparte das amostras objeto de análise por difração de raios X. As amostras foram pulverizadas em moinho de placas HSM250 P, marca Herzog, seguido de amostragem em amostrador rotativo.

Uma alíquota foi analisada por espectrometria de fluorescência de raios X com determinação sem padrões para elementos de F ao U em equipamento Axios Advanced, marca PANalytical; perda ao fogo foi efetuada em temperatura de 1050 $^{\circ}$ C por 1h30min. As análises de Au, S e As foram realizadas em laboratório externo sendo

utilizadas as técnicas de *fire assay* para determinação de ouro, pirólise em forno de indução para enxofre e ICP-OES para As.

Além das amostras tal qual, todos os demais produtos gerados no estudo também foram objeto de determinações de Au, S e As.

3.3 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E ASSOCIAÇÕES

A caracterização mineralógica das amostras estudadas e a forma de ocorrência e associações de sulfetos foi efetuada a partir de alíquota do material *bulk*; já o estudo da forma de ocorrência do ouro e suas associações foi realizada a partir dos produtos afundados em líquidos densos ($d > 2,96 \text{ g/cm}^3$).

Em ambas as situações, os produtos acima citados foram amostrados em micro-amostrador rotativo (Microscal MSR) que possui 20 calhas (Figura 3.9). A depender da massa necessária para a confecção das seções polidas, a amostragem foi realizada coletando a quantidade de calhas (1 calha = 1/20 da massa inicial) até se atingir a massa adequada.

Figura 3.9 - Equipamentos utilizados para divisão da amostra

Após a amostragem, foram confeccionadas seções polidas para análise da mineralogia e seções para os produtos afundados em líquido denso ($-0,50 \pm 0,02 \text{ mm}$). Para a análise mineralógica foram confeccionadas seções polidas do tipo transversal e para o estudo do ouro, seção convencional centrifugada. Foram confeccionadas pelo menos 3 seções polidas para ambos os tipos de seções. Detalhe dos tipos de

seções polidas e os procedimentos empregados para a preparação das mesmas são apresentados por Carmo (2015).

Os estudos mineralógicos foram efetuados de forma automatizada em seções polidas utilizando *software* MLA - *Mineral Liberation Analyser* (FEI) acoplado ao microscópio eletrônico de varredura Quanta 600 FEG (FEI) e espectrômetro por dispersão de energia (EDS) Quantax 4030 com *software* *Esprit* (Bruker).

Os procedimentos da análise mineralógica quantitativa utilizando o programa MLA podem ser resumidos nas etapas apresentadas na Figura 3.10.

Figura 3.10 - Procedimento de coleta e processamento dos dados - MLA

Obs: Procedimento adotado da aquisição dos dados até o tratamento dos resultados. Os *softwares* (*measurement*, *mineral reference*, *image processing* e *data view*) dizem respeito ao pacote de utilidades específico para cada atividade. Adaptado de CARMO, (2015).

A determinação da composição mineralógica, forma de ocorrência e associações dos sulfetos foi efetuada em seções transversais a partir de coleta em modo XBSE que considera contraste de número atômico (imagens de elétrons retroespalhados) e espectros de raios X característico (EDS).

Já a determinação da forma de ocorrência e associações minerais do ouro nos produtos pesados foi realizada a partir do modo SPL, que considera a identificação inicial dos grãos de ouro por contraste de número atômico (elétrons retroespalhados) e espectro de EDS. Uma vez localizado um grão de ouro podem ser identificadas as fases associadas ao mesmo (perímetro de contato).

A busca automatizada dos grãos de ouro foi efetuada a partir de seções polidas de 30 mm de diâmetro relativas ao produto afundado com um tempo de análise aproximado de 2,5h/seção nas condições de aumento de 300X e 1200 *pixels* de resolução/campo.

Um banco de dados específico para o presente estudo, contendo dados de peso específico, composição química e espectro de EDS, foi criado para todos os minerais presentes (*mineral reference*). Posteriormente, os dados coletados nas análises ao MLA foram comparados com este banco de dados para a classificação dos minerais em cada seção polida.

3.4 CÁLCULO DAS ASSOCIAÇÕES DOS GRÃOS DE OURO EM PERÍMETRO DE CONTATO

Como mencionado anteriormente, o processo de separação mineral em líquido denso faz-se necessário para auxiliar na concentração de minerais de interesse dos minerais de minérios já liberados para os processos de extração por lixiviação.

No caso de minerais de minério de ouro, o termo acessibilidade é mais adequado pois o grão de ouro não necessita necessariamente estar liberado, mas parcialmente exposto para ser acessado por uma solução lixivante através da fratura. A extração de ouro por uma solução de cianeto pode ocorrer através dessa fratura ou algum outro meio que propicia o acesso e a lixiviação do grão de ouro.

A Tabela 3.2 apresenta um exemplo dos parâmetros determinados para cada grão de ouro e a sua respectiva associação com base nos seus perímetros de contato.

Em um processo de extração mineral é clara a importância da quantificação do perímetro exposto do ouro, a sua relação com grãos inclusos e a sua associação com os minerais (sulfetos, silicatos, etc). A parcela do perímetro exposto é diretamente proporcional à capacidade de extração do ouro por uma solução de cianeto.

Tabela 3.2 - Propriedades dos grãos de ouro a partir do perímetro de contato (modelo de extração dos dados do MLA – *grain properties*)

Identificação do grão de ouro	Volume %	Associação mineral por perímetro exposto do ouro (%)					
		exposto	quartzo	clorita	pirita	arsenopirita	
Au 1	18,6	100,0					Acessível
Au 2	9,9	100,0					
Au 3	9,0	100,0					
Au 4	9,0	76,8	12,1	6,9	4,2		
Au 5	8,9	75,4	9,0	8,9	5,4	1,3	
Au 6	7,8	74,6		1,6	9,8	14,0	
Au 7	6,1	22,3	9,8	5,9	25,9	36,1	
Au 8	5,3		13,6	15,7	18,0	52,7	Não encapsulado
Au 9	4,9			12,6	69,5	30,5	
Au 10	4,2		22,1	65,6	12,3		
Au 11	4,9				18,2	81,8	
Au 12	3,7		25,9		32,8	41,3	
Au 13	2,1				100		Incluso
Au 14	2,0				100		
Au 15	1,9				100		
Au 16	0,9					100	
Au 17	0,8					100	
Acessível	69,3	58,3	2,5	1,9	3,2	3,4	
Não encapsulado	23,0		2,6	3,6	7,0	9,8	
Incluso	7,7				6,0	1,7	
Total	100,0	58,3	5,1	5,5	16,2	14,9	

O perímetro exposto é calculado pela equação:

$$\text{Perímetro exposto: } \Sigma \% \text{ volume de grãos com perímetro exposto } > 0 \quad (\text{eq. 2})$$

Na tabela, o perímetro exposto é dado pela soma da % do volume dos grãos Au1 ao Au7 (eq. 2) maior de 0% de perímetro exposto. Esse valor mínimo de perímetro exposto é dado por pelo menos 1 pixel exposto. No exemplo da Tabela 3.2, essa somatória significa que 69,3% do volume dos grãos de ouro apresentam perímetro parcial ou totalmente exposto.

O cálculo dos grãos não encapsulados é obtido pela proporção em volume de grãos cujo perímetro exposto esteja associado a dois ou mais minerais. No exemplo acima,

se dá pela soma dos grãos Au8 ao Au12, sendo que 23,0% do ouro está contido nesta associação, anteriormente representado na Fotomicrografia 2.2.

Os grãos inclusos são indicados pela associação em 100% com único mineral. A totalização é obtida pela somatória da % volumétrica das fases associadas. No exemplo acima, os grãos inclusos respondem pelas células Au13 ao Au17. No exemplo citado, 6% do volume total de ouro está incluso na pirita e 1,7% na arsenopirita.

4 RESULTADOS

4.1 CORRELAÇÕES QUÍMICAS A PARTIR DO BANCO DE DADOS ANALÍTICO

A análise dos dados analíticos disponibilizados pela Kinross considerou furos de sondagem que contém informações em intervalos de 1 metro dentro do limite de cada corpo mineralizado. No presente estudo foram levados em consideração os teores de arsênio, enxofre e ouro, pois são eles os elementos determinantes para a delimitação do corpo mineralizado.

A Figura 4.1 apresenta a relação entre os teores de arsênio e ouro para o intervalo de teor de ouro (0 – 2,00 ppm de Au) em 78.305 amostras. Para a relação de teores de enxofre e ouro, conforme se observa na Figura 4.2, foram consideradas 84.079 amostras. As amostras foram analisadas pelo método *fire assay* para ouro, enxofre pelo método de pirólise em forno de indução com determinação por célula de infravermelho e ICP-OES para As.

Figura 4.1 - Relação entre teores de arsênio e ouro – banco de dados da Kinross

Os dados apresentados mostram uma elevada relação entre teores de ouro e arsênio principalmente em teores até 1 ppm de ouro; uma tendência dispersa de distribuição do arsênio é observada em teores mais elevados de ouro. Esse comportamento pode

ser eventualmente interpretado como o efeito de *clusters*, aglomerações ou grãos de ouro com granulação grossa associados a arsenopirita ou pirita, conforme comportamento semelhante observado na Figura 4.2 para a relação entre teores de enxofre e ouro.

Figura 4.2 - Relação entre teores de enxofre e ouro - banco de dados da Kinross

Tendo em vista as relações acima verificadas e que a distinção entre tipos de minérios para fins de lavra considera três classes distintas de teores de arsênio, optou-se, quando da apresentação dos resultados obtidos para as amostras estudadas, o ordenamento das amostras segundo teores crescentes de arsênio.

4.2 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

4.2.1 Composição química das amostras estudadas

A composição química das amostras foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios X (sem padrões), *fire assay* para determinação de ouro, pirólise em forno de indução para enxofre e ICP-OES para As, seguindo a mesma metodologia de análise das amostras disponíveis pelo banco de dados da empresa.

Os teores obtidos para os óxidos maiores, S, As e Au são apresentadas no Apêndice 1, juntamente com informações relativas a amostragem ou proveniência das amostras: sondagens ou frentes de lavra.

Os teores obtidos por fluorescência de raios X mostram elevado conteúdo de SiO_2 nas amostras (53,1 a 75,6%) devido principalmente a presença majoritária de quartzo. O Al_2O_3 apresenta teores entre 7,0 e 17,3%, MgO de 0,55 a 1,46%, Na_2O de 0,14 a 1,2% e K_2O entre 2,64 e 6,85%; esses óxidos estão presentes principalmente na clorita, mica, caulinita e albita.

Os teores de arsênio ocorrem em uma ampla variação de teores, com mínimo de 229 ppm e máximo de 9121 ppm; os teores de enxofre variam entre 0,01% e 4,51%. Alguns *outliers* de arsênio podem ocorrer devido principalmente a presença de *clusters* de arsenopirita.

4.2.2 Correlação entre teores nas amostras estudadas

A Figura 4.3 apresenta a correlação entre os teores de enxofre, arsênio e ouro nas amostras estudadas.

Os resultados mostram uma leve tendência de crescimento dos teores de ouro juntamente com os teores de arsênio e enxofre, embora com baixos índices de correlação.

Quando correlacionados os teores de enxofre e arsênio, não se verifica relação direta entre os teores; fato que indica que os sulfetos com presença de arsênio, no geral, ocorrem de forma subordinada às demais fases minerais portadoras de enxofre.

O enxofre ocorre predominantemente na pirita, pirrotita e arsenopirita e em menor proporção na galena, esfalerita e calcopirita. Nas figuras seguintes, será possível observar a distribuição do enxofre nas amostras. Já a ocorrência de arsênio, está restrito a arsenopirita e em traços de arsenatos de ferro (FeAsO) e chumbo (PbAsO).

Os resultados obtidos pela Figura 4.3 em comparação com as Figura 4.1 e Figura 4.2 não apresentam uma relação clara pois o número de dados observados no banco de dados da empresa (por volta de 80.000 análises) é infimamente maior do que as amostras objeto do estudo de caracterização tecnológica.

Figura 4.3 - Correlação entre teores de enxofre, arsênio e ouro nas amostras estudadas

4.2.3 Peneiramento em 0,020 mm

As amostras estudadas foram objeto de peneiramento a úmido em 0,020 mm seguida de análise químicas com determinações de S, As e Au nos produtos obtidos. Estes resultados são apresentados nos Apêndice 2 e discutidos na sequência.

A distribuição de massa nas amostras está exposta na Figura 4.4. Os dados mostram que em média, 20 a 30% das amostras constituem material passante em 0,020 mm nas condições de cominuição empregadas (<0,50 mm).

Figura 4.4 - Distribuição de massa para peneiramento em 0,020 mm

Amostras ACT-001, 040, 041, 071, 083, 084, 085, e 086 apresentam uma distribuição acima de 40% de finos abaixo da fração 0,020 mm. Esse comportamento mostra uma porção mais alterada do depósito principalmente quando relacionada ao seu conteúdo de sulfetos.

Em virtude desse comportamento, todos os histogramas a seguir serão apresentados com os resultados comparativos entre as amostras iniciando a esquerda com este conjunto de elevado conteúdo de finos (amostras ACT-001, 040, 041, 071, 083, 084, 085, e 086); as demais amostras estão organizadas nos histogramas em teores crescentes de arsênio da esquerda para a direita.

As distribuições de S, As e Au para os produtos gerados no peneiramento em 0,020 são apresentadas, respectivamente na Figura 4.5, Figura 4.6 e Figura 4.7

Figura 4.5 - Distribuição de enxofre para peneiramento em 0,020 mm

A média da distribuição de enxofre nas amostras estudadas é em torno de 14% sendo duas amostras com valores bem abaixo da média (ACT-054 e 059). A distribuição de enxofre nas amostras ACT-085, 086 e 087 ficaram acima de 30% na fração abaixo de 0,020 mm.

Figura 4.6 - Distribuição de arsênio para peneiramento em 0,020 mm

Os resultados para a distribuição de arsênio mostram que o conteúdo de arsênio na fração abaixo de 0,020 mm é superior a 40% em algumas amostras: ACT-032, 060, 035, 017, 087, 023 e 029.

Figura 4.7 - Distribuição de ouro para peneiramento em 0,020 mm

A Figura 4.7 indica que em média de 93% do ouro contido na amostra está associado ao material retido na fração acima de 0,020 mm (teores médios de 1,7 e 0,21 ppm de Au, respectivamente, para as frações retida e passante em 0,020mm). Destacam-se amostras com proporção de finos acima de 40% em massa que apresentam proporções de ouro acima da 20% no material passante de 0,020mm (amostras ACT-048, 085 e 086). Em contraposição, verificam-se também amostras com mais de 98% do ouro contido acima de 0,020 mm (ACT-045, 013, 054, 067, 069 e 072).

4.2.4 Separação minerais por líquido denso

As frações retidas em 0,020 mm foram objeto de separações minerais em líquidos densos com emprego de tetra-bromo-etano ($d=2,96\text{g/cm}^3$) seguida de análise químicas com determinações de S, As e Au nos produtos flutuado e afundado obtidos. Além disso, o produto afundado foi objeto de estudo em seção transversal para estudo das características dos grãos de ouro.

Estas separações foram realizadas com o intuito de concentrar os minerais de interesse nos produtos afundados para que se tenha uma melhor estatística e robustez no estudo das partículas portadores de ouro. Estes resultados são apresentados nos Apêndice 3 e discutidos na sequência.

A distribuição em massa dos produtos flutuados e afundados nas amostras está exposta na Figura 4.8. Os dados indicam que, em média, a fração afundada representa cerca de 12% em massa e contém aproximadamente 95% do enxofre, 85% do arsênio e 95% do ouro contido.

A amostra ACT-087 apresenta uma distribuição em massa no produto afundado muito elevado em relação às outras amostras (54% da massa total). Esse comportamento é resultado pela elevada quantidade de minerais de alta densidade presentes nesta amostra, tais como ilmenita, rutilo e goethita.

Figura 4.8 - Distribuição em massa para separações em líquido denso (fração-0,50+0,020 mm)

As distribuições de S, As e Au para os produtos gerados nas separações em líquido denso são apresentadas, respectivamente, na Figura 4.9, Figura 4.10 e Figura 4.11.

Figura 4.9 - Distribuição de enxofre para separações em líquido denso (fração - 0,50+0,020 mm)

O enxofre na fração acima 0,020 mm está associado principalmente ao produto afundado, perfazendo cerca de 95% do total contido. Os produtos flutuados das amostras ACT-086, 087 e 048 apresentam proporções significativamente acima da média, com 25,6; 26,9 e 27,2%, respectivamente (esse comportamento é reflexo principalmente de maior parcela de partículas mistas de sulfetos associadas a silicatos. A Figura 4.10 apresenta a distribuição de arsênio na fração acima 0,020 mm.

Para as amostras (ACT- 007, 032, 060, 053, 087, 052, 050 e 024) o arsênio apresenta significativa associação com o produto flutuado, com proporções acima de 40% do contido na fração retida em 0,020 mm. Esse conjunto de amostras se assemelha ao já discutido para a distribuição de enxofre; há uma tendência de uma maior interação da arsenopirita no flutuado na forma de partículas mistas com silicatos, o que difere no comportamento da distribuição do arsênio destas amostras.

Figura 4.10 - Distribuição de arsênio para separações em líquido denso (fração - 0,50+0,020 mm)

A Figura 4.11 indica que nas amostras estudadas, em média de 85% do ouro contido na fração acima de 0,020 mm está associado ao produto afundado (teores médios de 0,22 e 17,5 ppm de Au, respectivamente, para o flutuado e o afundado). A distribuição de ouro nos produtos, em geral, se apresenta majoritariamente no produto afundado (84%) com algumas amostras com maior contribuição no produto flutuado.

Figura 4.11 - Distribuição de ouro para separações em líquido denso (fração - 0,50+0,020 mm)

As amostras ACT-048 e 051 apresentam maiores conteúdos de ouro associado a silicatos (quartzo, albita, clorita), 3,0 e 15% respectivamente; essa associação está refletida em um aumento nos teores de Au nos produtos flutuados (ACT-051: 0,42 ppm; ACT-048: 0,41 ppm). A amostra ACT-086 apresenta uma quantidade muito grande quartzo, possivelmente associado aos *boudins*.

As amostras ACT-054, 080 e 087 apresentam ouro exclusivamente no produto afundado da fração +0,020 mm. Esse comportamento é em virtude do menor conteúdo de silicatos nestas amostras²².

4.2.5 Composição mineralógica das amostras estudadas

Os difratogramas de raios X obtidos para as amostras apresentaram semelhanças em termos de posição e intensidades relativas entre picos, o que mostra uma mineralogia semelhante entre as amostras.

A Figura 4.12 apresenta a sobreposição dos 88 difratogramas gerados para cada amostra.

O eixo x da figura traz a posição ($^{\circ}2\theta$) entre 5 e 40° com a identificação dos picos relacionados às principais fases minerais constituintes. Observa-se que alguns picos ocorrem em amostras específicas, como por exemplo, fase constituída por caulinita + clorita (pico em laranja) e goethita (pico em vermelho).

²² Amostra ACT-087 com 18% do ouro associado a goethita + 75% exposto; amostra ACT-054 com 97% associado do ouro a sulfetos + exposto e amostra ACT-080 com 93% do ouro associado a arsenopirita e 3% a pirita.

Figura 4.12 - Sobreposições dos difratogramas de raios X das amostras estudadas

Legenda: chl: clorita; ms: muscovita; kln: caulinita; qtz: quartzo; gt: goethita; alb: albita; dol: dolomita; py: pirita; apy: arsenopirita; gn: galena.

Entre os minerais de maiores proporções identificados, o quartzo e muscovita foram recorrentes em todas as amostras. Constituintes minerais em menores proporções tais como feldspato (albita), goethita, clorita (clinocloro), caulinita, sulfetos (arsenopirita, pirita, galena) e três variedades de carbonatos: dolomita, anquerita e siderita, ocorrem em proporções variadas nas amostras.

As composições mineralógicas determinadas por MEV-MLA para a fração 0,50+0,020 mm evidenciam a presença considerável de quartzo e mica, que somadas

representam, em média, 80% do total. O conjunto de amostras apresenta aproximadamente 10% de carbonatos (siderita e anquerita), cerca de 5% de sulfetos (pirita, arsenopirita, pirrotita, calcopirita, esfalerita e galena) e menores proporções de albita, clorita, goethita, ilmenita, rutilo e outros (zircão, cromita, monazita, FeAsO, Au, AlFe-PbAsO, apatita).

A Figura 4.13 apresenta as composições mineralógicas (% em massa) para as frações retidas em 0,020 mm. Algumas destas se destacam por apresentarem composições mineralógicas distintas:

- A amostra ACT-087: elevado conteúdo de clorita, goethita+ilmenita+rutilo e ausência de sulfetos.
- A amostra ACT-086: elevado conteúdo de quartzo (78% da massa total) o que sugere um nível de *boudin* com baixa proporção de sulfetos (0,02% da massa total da amostra) e grande contribuição de ouro no produto flutuado (65% da distribuição).

Figura 4.13 - Composição mineralógica das amostras estudadas (fração -0,50+0,020 mm)

outros: zircão, cromita, monazita, FeAsO, Au, AlFe-PbAsO, apatita; sulfetos totais: pirita, arsenopirita, pirrotita, calcopirita, esfalerita e galena

O Apêndice 4 apresenta a composição mineralógica detalhada das amostras estudadas.

A Figura 4.14 apresenta comparativamente a distribuição normalizada dos sulfetos (% em massa). Verifica-se o predomínio de pirita e de arsenopirita com pirrotita subordinada. Com o incremento dos teores de arsênio tem-se, paralelamente, expressivo incremento na relação arsenopirita/pirita.

Algumas amostras tem um comportamento distinto:

- pirrotita: em algumas amostras as proporções de pirrotita dentre os sulfetos pode atingir valores de 20 a 53% relativos (ACT-042, 035, 080, 009, 063, 062, 014, 054, 086 e 048).
- outros sulfetos (calcopirita, esfalerita e galena): a amostra ACT-079 tem uma proporção de 44% de outros sulfetos, sendo que as amostras ACT- 001, ACT-22, ACT-078 e 087 também mostram conteúdos expressivos (15 a 25% do total de sulfetos).

Figura 4.14 - Composição normalizada dos sulfetos (fração -0,50+0,020mm)

outros sulfetos: calcopirita, esfalerita e galena

4.2.6 Distribuição de enxofre entre os principais sulfetos

A distribuição de enxofre nas amostras foi obtida partir do sistema MLA para a fração -0,50+0,020mm sendo apresentada na Figura 4.15.

A composição teórica do enxofre nos três principais sulfetos presentes é de 53,4% na pirita, 37,6% na pirrotita e 19,6% na arsenopirita. Em virtude da elevada distribuição em massa de pirita nas amostras e da composição majoritária de enxofre nessa fase, o enxofre se concentra principalmente na fase.

Figura 4.15 - Distribuição de enxofre entre os principais sulfetos (fração -0,50+0,020 mm)

outros sulfetos: calcopirita, esfalerita e galena

A relação entre a distribuição em massa de sulfetos nas amostras e os respectivos teores de enxofre (Figura 4.16) apresenta boa correlação o que demonstra uma relação direta entre seus conteúdos.

O Apêndice 5 apresenta a distribuição de enxofre nas amostras estudadas.

Figura 4.16 - Correlação entre sulfetos na amostra e teor de enxofre (fração - 0,50+0,020 mm)

4.2.7 Tamanho de grãos de ouro e de clusters de sulfetos

As medianas das distribuições de tamanho dos grãos de ouro e dos *cluster* de sulfetos identificados no MLA são detalhadas, respectivamente, nos Apêndices 6 e 7 e ilustradas comparativamente na Sulfetos global: média ponderada pelo tamanho dos grãos dos sulfetos pirita, arsenopirita, pirrotita, calcopirita, esfalerita e galena; ECD: diâmetro de círculo equivalente.

Figura 4.17 e Figura 4.18.

Para os sulfetos foram determinadas as dimensões dos *clusters* ou agregados sem a individualização de grãos. A mediana dos diâmetros médio do círculo equivalente (d_{50} - ECD) para os vários clusters de sulfetos identificados e o global de sulfetos é apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Medianas das distribuições de tamanho de sulfetos (D_{50} - μm ; ECD) nas amostras estudadas

D_{50} (μm)	sulfetos global	pirita	arsenopirita	pirrotita	calcopirita	esfalalerita	galena
mediana	101	98	134	51	34	46	39
máximo	8	14	14	4	7	4	6
Mínimo	200	192	460	220	155	206	270

Sulfetos global: média ponderada pelo tamanho dos grãos dos sulfetos pirita, arsenopirita, pirrotita, calcopirita, esfalerita e galena; ECD: diâmetro de círculo equivalente.

Figura 4.17 - Medianas das distribuições de tamanho de grãos de ouro (D_{50} ; ECD)

As medianas das distribuições apresentam um valor médio de 19 μm com grande dispersão, não sendo possível relacionar com outras variáveis avaliadas (máximo de 70 μm e mínimo de 2 μm). Pouco menos de 10% das amostras apresentam valores de D_{50} dos grãos de ouro acima de 50 μm (ACT-005, 027, 074, 082 e 085).

Figura 4.18 - Medianas das distribuições de tamanho para clusters de sulfetos (D_{50} ; ECD)

Os *clusters* de sulfetos apresentam uma mediana na distribuição dos tamanhos entre 80 e 100 μm , próximo ao diâmetro da alimentação da flotação (P_{80} de 106 μm). Algumas amostras apresentam mediana de distribuição de tamanho superior a 160 μm (ACT-002, 003, 052 e 083). Por outro lado, as amostras ACT-085 e 086 apresentam medianas abaixo de 20 μm .

4.2.8 Associações dos grãos de ouro por perímetro de contato

As associações dos grãos de ouro foram definidas por meios de seus perímetros de contato em termos de perímetro exposto, não encapsulado e incluso conforme discussões do item 3.4 “Cálculos das associações de perímetro de contato dos grãos de ouro”.

Estes resultados são apresentados no Apêndice 8 e detalhados em termos de associações mineralógicas com sulfetos e demais minerais (ouro não encapsulado e incluso) no Apêndice 9. Comparativamente estes resultados são apresentados na Figura 4.19 e Figura 4.20; já a Tabela 4.2 apresenta os valores médios de associações de perímetro dos grãos de ouro com sulfetos e minerais de ganga para o conjunto de amostras estudados (ouro não encapsulado e ouro incluso).

Figura 4.19 - Associação dos grãos de ouro por perímetro de contato - acessível, não encapsulado e incluso (produto afundado, fração -0,50+0,020 mm)

Figura 4.20 - Associação dos grãos de ouro por perímetro de contato (produto afundado, fração -0,50+0,020 mm)

Outros: albita, anquerita, ilmenita, rutilo, goethita, zircão, cromita, monazita, FeAsO, AlFe-PbAsO, apatita.

Tabela 4.2 - Sumário das associações dos grãos de ouro por perímetro de contato (produto afundado, fração -0,50+0,020 mm)

	Exposto (%)	Não encapsulado (%)							Incluso (%)			
		total	pirita	arsenopirita	quartzo	clorita	anq+sid	outros	total	pirita	arsenopirita	outros
media	73	5,6	0,4	0,4	1,3	1,1	0,3	2,2	21	11	10	0,5
max	100	74	11	8	15	17	11	62	100	88	100	13
min	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

anq+sid: anquerita + siderita; max: máximo e min: mínimo

Outros: albita, anquerita, ilmenita, rutilo, goethita, zircão, cromita, monazita, FeAsO, Au, AlFe-PbAsO, apatita.

Para as condições de cominuição empregadas, verifica-se que parcela expressiva de ouro apresenta alguma exposição de perímetro de grãos (2D) – em média 73%. O ouro incluso está essencialmente associado a pirita e arsenopirita e representa em média 21% do total dos grãos de ouro, sendo que apenas em 14 amostras o ouro incluso representa mais de 40%, sete das quais com mais de 70% de ouro incluso (ACT-002, 025, 036, 055, 065, 080 e 084).

De maneira geral a parcela de ouro não encapsulado (intersticial - em contato com duas ou mais espécies minerais) é pouco relevante, em média 5,6%; somente em 10 amostras esta forma de associação do ouro é superior a 15%, destacando-se as amostras ACT-016 (64% - outros: albita, anquerita, ilmenita, rutilo, goethita, zircão, monazita, FeAsO, AlFe-PbAsO, apatita), 031 (39% - quartzo e clorita), 036, 043 (74% - outros), 048, 065, 067, 070, 072 e 081

4.2.9 Formas de ocorrência e estimativa da composição de ouro

Os aspectos texturais do ouro observados em relação à sua forma de ocorrência e associações com a ganga presente foram avaliados por microscopia eletrônica de varredura por meio de imagens de elétrons retroespalhados (contraste de número atômico) associadas a microanálises por EDS. A Fotomicrografia 4.1 ilustra as principais feições verificadas e a composição química das fases assim como os Anexos 10, 11 e 12.

Fotomicrografia 4.1 - Detalhe de grãos de ouro observados no MEV/EDS – produto afundado, fração -0,50+0,020 mm

EDS	S	Teores (% em massa)			
		Fe	As	Ag	Au
1				20,0	80,0
2	20,2	35,7	44,1

EDS	S	Teores (% em massa)			
		Fe	Ag	Au	Pb
1			23,4	76,6	
2	11,2				88,8
3			24,5	75,5	
4	49,9	50,1

EDS	SiO ₂	Teores (% em massa)			
		S	Fe	Ag	Au
1				25,6	74,4
2	100				
3		47,9	52,1

EDS	Teores (% em massa)					
	MgO	Fe ₂ O ₃	S	Fe	Ag	Au
1					39,0	61,0
2			47,7	52,3		

Obs: py: pirita; Au: ouro; qtz: quartzo; Gn: galena; Apy: arsenopirita

A Fotomicrografia 4.1-A mostra a associação do ouro com arsenopirita (ponto 2) na qual o ouro se apresenta como parcialmente exposto (aproximadamente 40% exposto

e 60% associado arsenopirita). A Fotomicrografia 4.1-B, os grãos de ouro (pontos 1 e 3) ocorrem totalmente inclusos na pirita; note que a galena (ponto 2) apresenta tom de cinza pouco inferior em relação ao ouro e que pequenos grãos de galena, inferiores a 8 μm ocorrem dispersos na partícula de pirita. A Fotomicrografia 4.1-C apresenta grãos de ouro em contato com duas ou mais fases minerais de sulfetos e silicatos; pequenas lamelas inclusas podem ocorrer. Essa situação é classificada como ouro não encapsulado. Já a Fotomicrografia 4.1-D apresenta grãos de ouro incluso em pirita.

Por meio da análise pontual por MEV-EDS foi possível determinar a composição de ouro e prata; os grãos de ouro apresentam um teor médio de 76,9% de ouro e 23,1% de prata com um desvio padrão de 12,7% (Figura 4.21; 742 grãos analisados).

Figura 4.21 - Composição média estimada dos grãos de ouro

Obs: N: numero de amostras; DesvPad: desvio padrão.

A Figura 4.22 apresenta a composição média dos grãos de ouro *versus* o seu diâmetro D_{50} e D_{90} . A variância em torno da média para cada amostra aponta que não há uma relação direta entre composição e o diâmetro dos grãos de ouro.

Figura 4.22 - Composição média estimada dos grãos de ouro e sua relação com o diâmetro de círculo equivalente do ouro

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são discutidos a análise granulométrica, a relação de partículas analisadas e grãos de ouro e associação com sulfetos, tamanho de grãos de ouro e sulfetos, associação do ouro e estimativa da distribuição do ouro nas amostras.

5.1 AGRUPAMENTO POR TEOR DE ARSÊNIO

O agrupamento das amostras foi efetuado a partir das composições químicas em relação ao seu conteúdo de arsênio. A Figura 4.14, apresentada no capítulo anterior, mostra uma tendência de incremento no conteúdo de arsenopirita (ACT-007 ao 048) e diminuição de pirita com o crescimento dos teores de As nas amostras.

A relação das amostras por classe de minério definidas em relação ao seu conteúdo de arsênio em intervalos de 1000 em 1000 ppm é apresentada na Tabela 5.1. Foram classificadas ao todo 88 amostras de diferentes áreas do depósito em um total de seis grupos.

Excluindo-se a classe de material intemperizado verifica-se que menos de 15% das amostras apresentaram comportamento diverso, conforme já assinalado no capítulo anterior, devido principalmente à sua especificidade quanto ao local de coleta (zona cloritizada e/ou de baixo potencial econômico (abaixo de *cut off*). Dessa maneira, essas amostras foram consideradas dentro dos intervalos de arsênio acima citados, sendo agrupadas conforme as características químicas de cada classe de arsênio.

Tabela 5.1 - Relação das amostras classificadas

Arsênio abaixo de 1000 ppm				
ACT-002	ACT-012	ACT-026	ACT-042	ACT-057
ACT-007	ACT-018	ACT-033	ACT-053	ACT-070
ACT-008	ACT-021	ACT-037	ACT-054	ACT-077
ACT-009	ACT-022	ACT-038	ACT-055	ACT-080
Arsênio entre 1000 e 2000 ppm				
ACT-005	ACT-031	ACT-058	ACT-073	
ACT-015	ACT-032	ACT-059	ACT-076	
ACT-020	ACT-035	ACT-062	ACT-078	
ACT-027	ACT-046	ACT-063		
Arsênio entre 2000 e 3000 ppm				
ACT-006	ACT-030	ACT-048	ACT-065	ACT-082
ACT-087	ACT-039	ACT-049	ACT-068	
ACT-019	ACT-043	ACT-051	ACT-079	
ACT-029	ACT-047	ACT-064	ACT-081	
Arsênio entre 3000 e 4000 ppm				
ACT-013	ACT-052	ACT-036		
ACT-017	ACT-060			
ACT-044	ACT-074			
ACT-045	ACT-025			
Arsênio acima de 4000 ppm				
ACT-003	ACT-014	ACT-034	ACT-066	ACT-075
ACT-004	ACT-023	ACT-050	ACT-067	ACT-016
ACT-010	ACT-024	ACT-056	ACT-069	ACT-081
ACT-011	ACT-028	ACT-061	ACT-072	
Intemperizada				
ACT-083	ACT-040			
ACT-084	ACT-041			
ACT-085	ACT-001			
ACT-086	ACT-071			

5.2 CLASSIFICAÇÃO POR PENEIRAMENTO EM 0,020 MM

5.2.1 Análise granulométrica e separações minerais

A distribuição de massa, teores e distribuições de Au, As e S para produtos da classificação em 0,020 mm médios para as classes de amostras definidas no item 5.1 estão expostas Tabela 5.2.

Os resultados obtidos indicam que em cerca de 70-75% em massa, 95 a 98% do Au estão contidos acima de 0,020 mm para as condições de moagem empregadas. Para o material intemperizado, a distribuição em massa para a fração acima de 0,020 mm representa 47% da massa e 87% do Au.

Os teores de ouro para a fração retida em 0,020 mm nas classes abaixo de 4000 ppm de arsênio estão entre 0,955 e 1,74 ppm, incluído as amostras intemperizadas. Para a classe acima de 4000 ppm tem-se um salto nos teores de ouro e arsênio (3,95 ppm de ouro e 9973 ppm de arsênio).

Tabela 5.2 - Análise granulométrica, teores e distribuição de ouro, arsênio e enxofre para as classes de minério

Fração (mm)	massa	Teores			Distribuição (%)		
	(%)	Au (ppm)	As (ppm)	S (%)	Au	As	S
Intemperizada							
-0,50+0,020	46,8	0,955	1856	1,64	87,3	85,4	86,1
-0,020	53,2	0,123	280	0,23	12,7	14,6	13,9
total calculado	100,0	0,740	1313	1,11	100,0	100,0	100,0
Arsênio > 1000 ppm							
-0,50+0,020	73,2	1,06	967	2,60	96,3	78,0	91,6
-0,020	26,8	0,112	746	0,65	3,73	22,0	8,36
total calculado	100,0	0,808	908	2,07	100,0	100,0	100,0
Arsênio 1000 - 2000 ppm							
-0,50+0,020	72,3	1,07	1236	2,63	95,0	79,1	91,8
-0,020	27,7	0,149	851	0,61	5,0	20,9	8,20
total calculado	100,0	0,821	1129	2,07	100,0	100,0	100,0
Arsênio 2000 - 3000 ppm							
-0,50+0,020	71,2	1,21	2237	1,88	93,2	77,5	91,3
-0,020	28,8	0,220	1601	0,44	6,84	22,5	8,69
total calculado	100,0	0,925	2054	1,46	100,0	100,0	100,0
Arsênio 3000 - 4000 ppm							
-0,50+0,020	73,2	1,74	2699	2,90	98,3	62,3	93,0
-0,020	26,8	0,084	4455	0,59	1,74	37,7	6,95
total calculado	100,0	1,30	3170	2,28	100,0	100,0	100,0
Arsênio > 4000 ppm							
-0,50+0,020	72,5	3,95	9973	2,42	95,4	86,6	81,2
-0,020	27,5	0,502	4054	1,48	4,60	13,4	18,8
total calculado	100,0	3,00	8346	2,16	100,0	100,0	100,0

5.3 SEPARAÇÕES MINERAIS POR LÍQUIDOS DENSOS

A distribuição de massa, teores e distribuições de Au, As e S para produtos flutuados e afundados médios para as classes de amostras definidas no item 5.1 estão expostas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Sumário comparativo das separações minerais por líquido denso (TBE 2,95g/cm³)

Fração (mm)	Produto	massa do ensaio (%)	Teores			Distribuição no ensaio (%)			Distribuição na amostra (%)		
			Au (ppm)	As (ppm)	S (%)	Au	As	S	Au	As	S
Intemperizada											
-0,50+0,020	afundado	14,3	5,36	9863	11,1	80,2	75,8	97,0	70,0	64,8	83,6
	flutuado	85,7	0,221	523	0,06	19,8	24,2	2,98	17,3	20,6	2,57
total calculado		100,0	0,955	1856	1,64	100,0	100,0	100,0	87,3	85,4	86,1
Arsênio > 1000 ppm											
-0,50+0,020	afundado	12,1	7,75	4369	20,7	88,3	54,7	96,6	85,0	42,6	88,5
	flutuado	87,9	0,142	499	0,10	11,7	45,3	3,38	11,3	35,3	3,10
total calculado		100,0	1,063	967	2,60	100,0	100,0	100,0	96,3	78,0	91,6
Arsênio 1000 - 2000 ppm											
-0,50+0,020	afundado	10,9	8,04	10179	23,4	81,1	89,6	96,8	77,1	70,9	88,8
	flutuado	89,1	0,229	145	0,10	18,9	10,4	3,3	18,0	8,3	3,0
total calculado		100	1,078	1236	2,63	100,0	100,0	100,0	95,0	79,1	91,8
Arsênio 2000 - 3000 ppm											
-0,50+0,020	afundado	13,1	7,96	13219	13,9	85,9	77,2	96,8	80,1	59,9	88,4
	flutuado	86,9	0,196	585	0,07	14,0	22,7	3,21	13,1	17,6	2,93
total calculado		100,0	1,211	2237	1,88	100,0	100,0	100,0	93,2	77,5	91,3
Arsênio 3000 - 4000 ppm											
-0,50+0,020	afundado	11,0	14,05	21682	25,7	88,7	88,3	97,4	87,1	55,0	90,7
	flutuado	89,0	0,222	354	0,08	11,3	11,7	2,57	11,1	7,27	2,39
total calculado		100,0	1,742	2699	2,90	100,0	100,0	100,0	98,3	62,3	93,0
Arsênio > 4000 ppm											
-0,50+0,020	afundado	10,9	33,60	71574	21,1	92,8	78,2	95,2	88,6	67,8	77,3
	flutuado	89,1	0,317	2437	0,13	7,17	21,8	4,84	6,84	18,9	3,93
total calculado		100,0	3,94	9973	2,42	100,0	100,0	100,0	95,4	86,6	81,2

Os teores médios de ouro nos produtos afundados variam entre 5,36 ppm e 33,6 ppm. Nas classes de material intemperizado e com teores inferiores a 3000 ppm de As os teores de Au junto ao afundado variam entre 5,6 e 8,4 ppm; acima deste teor de

arsênio ocorre um salto passando para 14,1 ppm Au (3000-4000 ppm) e 33,6 ppm na classe acima de 4000 ppm.

As parcelas de ouro contido nos produtos afundados correspondem a 80,2 e 92,8% no ensaio e, na amostra, cerca de 70% para o material intemperizado e de 77 a 89% para as demais, com os maiores valores para as classes acima 3000 ppm de As (>87% do Au no produto afundado).

5.4 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

As identificações minerais efetuadas nas amostras (tal qual) pela discriminação entre as fases foi estabelecida através da análise em modo XBSE no sistema MLA. O conteúdo de sulfetos nas classes definidas é apresentado na Figura 5.1.

Figura 5.1 - Distribuição mineralógica dos sulfetos nas amostras – classes de teor de arsênio (% massa; fração -0,50+0,020 mm)

Outros sulfetos: calcopirita, esfalerita e galena.

O conteúdo médio total de sulfetos é praticamente o mesmo para o material intemperizado e para as classes com até 3000 ppm de As (cerca de 2,5% em massa); a partir daí, os conteúdos de sulfetos aumentam expressivamente. Os outros sulfetos

(calcopirita, esfalerita e galena) respondem por aproximadamente 0,2% da massa total das massas.

Os conteúdos individuais dos princípios sulfetos (pirita, pirrotita e arsenopirita) ao longo das várias classes mostram uma tendência de acréscimo no conteúdo de arsenopirita e pirrotita com ligeiro decréscimo na de pirita. Ocorre uma variação brusca no conteúdo de arsenopirita e da relação arsenopirita/pirita para a classe de arsênio acima de 4000 ppm; o teor médio de arsênio passa de 3170 (classe 3000-4000 ppm) para 8346 ppm.

5.5 DISTRIBUIÇÃO DE ENXOFRE

A estimativa da distribuição de enxofre dentre os minerais presentes para as classes definidas é sumariada na Figura 5.2.

Figura 5.2 - Distribuição de enxofre nos sulfetos – teores de arsênio por classe

Outros: calcopirita, esfalerita e galena.

Cerca de 80 a 85 % o enxofre está associado a pirita para as classes com teores de arsênio abaixo de 4000 ppm. A proporção relacionada à pirrotita é praticamente constante, à exceção da classe com As abaixo de 1000 ppm, em que este valor é um pouco mais elevado. Em relação ao enxofre associado à arsenopirita, nota-se valores

bastante semelhantes para as classes abaixo de 2000 ppm de As com expressivo crescimento para aquelas com teores acima deste valor.

Para a faixa de arsênio > 4000 ppm, a distribuição de enxofre é de 52% na pirita, 11% na pirrotita, 35% na arsenopirita e 2% em outros (calcopirita, esfalerita e galena). Esse aumento da distribuição de enxofre na arsenopirita é em decorrência do aumento do mineral na composição mineralógica, conforme observado na Figura 5.1, da seção anterior.

5.6 TAMANHOS DOS GRÃOS DE OURO E DE SULFETOS

A distribuição de tamanho dos grãos de ouro identificados pelo diâmetro de círculo equivalente das faixas de teor por arsênio é retratada na Figura 5.3.

Figura 5.3 - Distribuição acumulada abaixo – tamanho dos grãos de ouro por classe de teor de arsênio (%)

As distribuições acumuladas mostram que a classe de material intemperizado é aquela cujo grãos de ouro apresentam maior diâmetro médio (d_{50}), 65 μm . No gráfico, é possível observar dois grupos com diâmetro médio semelhante; um grupo com d_{50}

variando de 17 a 29 μm – amostras com teor de arsênio até 3000 ppm e um outro grupo com d_{50} entre 39 a 42 μm – amostras superiores a 3000 ppm de arsênio.

A distribuição granulométrica dos clusters de sulfetos e dos minerais portadores de enxofre minerais é apresentada na forma de curvas de distribuição acumulada na Figura 5.4, considerando o diâmetro de círculo equivalente.

Figura 5.4 - Distribuição granulométrica dos sulfetos por faixa de teor de arsênio - fração -0,5+0,020 mm

Verifica-se de modo recorrente em todas as classes, que a arsenopirita é o sulfeto que apresenta os maiores tamanhos de partículas, seguido pela pirita. Outro padrão a ser observado é a recorrência de finas partículas de calcopirita nas classes definidas por teores de arsênio.

A mediana da distribuição de tamanho dos sulfetos (global), da arsenopirita e da pirita situam-se entre 90 e 150µm para as classes definidas com base nos teores de arsênio. Para o material intemperizado, a menor quantidade de sulfetos responde por uma baixa estatística gerando curvas irregulares o que prejudica a análise das distribuições de tamanho.

5.7 ASSOCIAÇÕES MINERAIS DE OURO E SULFETOS

As associações dos grãos de ouro foram definidas através do perímetro de contato em:

- ouro exposto: parcela exposta do perímetro do grão;
- ouro associado: parcela do perímetro do grão associada a outro mineral (p. ex: arsenopirita, pirita e clorita).

Estes resultados são apresentados comparativamente para as classes definidas na Figura 5.5 e Tabela 5.4.

As associações de perímetro de contato dos grãos de ouro nas classes definidas mostram que para teores mais elevados de As há um acréscimo na exposição dos

grãos de ouro e maior associação com arsenopirita e, secundariamente, pirrotita; por outro lado, paralelamente tem-se um decréscimo na associação com pirita e clorita.

Figura 5.5 - Distribuição da associação mineral por perímetro de contato – associação do ouro com os principais minerais - fração -0,50+0,020 mm.

Legenda: outros sulfetos: pirrotita, calcopirita, esfalerita e galena; Carbonatos: anquerita e siderita; outros silicatos: quartzo, albita mica e outros (goethita foi incluída no grupo dos silicatos); outros: albita, anquerita, ilmenita, rutilo, goethita, zircão, cromita, monazita, FeAsO, AlFe-PbAsO, apatita.

Tabela 5.4 - Associação mineral de grãos de ouro por perímetro de contato para as classes de minério (fração -0,5+0,020 mm)

	Associações (% em perímetro de contato)														
	exp	qtz	alb	mic	chl	gt	ank	sid	py	po	apy	calc	esf	gn	outros
material Intemperizado	52,7	1,1		0,2		4,3		1,6	24,5	1,3	12,1	1,0			1,2
arsênio < 1000 ppm	27,8	3,7		1,2	9,9			0,5	33,6	0,9	21,5	0,6	0,1		0,3
arsênio entre 1000 e 2000 ppm	38,3	1,4	0,3	0,3	4,0	0,5		1,0	25,0	1,3	22,4	1,8	1,5		2,2
arsênio entre 2000 e 3000 ppm	39,2	1,1		1,0	2,4	3,4	0,1	1,8	22,5	0,9	25,5	0,7	0,4	0,2	0,8
arsênio entre 3000 e 4000 ppm	40,6	6,2	0,4	1,0	1,9	0,4		2,4	17,0	0,4	27,6	0,8			1,3
arsênio > 4000 ppm	45,6	1,8	0,3	0,3	1,3	1,8		2,2	11,1	1,1	31,9	0,2	0,4	0,3	1,7

Legenda: exp: exposto; qtz: quartzo; alb: albita; mic: mica; chl: clorita; gt: goethita; ank: anquerita; sid: siderita; py: pirita; po: pirrotita; apy: arsenopirita; calc: calcopirita; esf: esfalerita e gn: galena.

Outros: albita, anquerita, ilmenita, rutilo, goethita, zircão, cromita, monazita, FeAsO, Au, AlFe-PbAsO, apatita.

O ouro no material intemperizado apresenta particularidades em relação a sua exposição e associações de perímetro. Os grãos de ouro têm maiores dimensões e majoritariamente estão na forma exposta; verifica-se ainda menor associação com sulfetos (38,9%), e maior parcela associada a goethita (4,3%).

De forma semelhante ao apresentado para o ouro, a Figura 5.6 mostra o perímetro exposto dos sulfetos para a fração -0,5+0,020 mm. Observa-se uma tendência no aumento no grau de exposição das partículas de sulfetos conforme ocorre o aumento nos teores de arsênio.

Figura 5.6 - Perímetro exposto das partículas de sulfetos - fração -0,50+0,020 mm

A Figura 5.7 ilustra as principais associações dos sulfetos determinadas pelo perímetro de contato destes com as demais fases presentes na amostra; quartzo, seguido por mica, e carbonatos são os principais minerais de ganga associados aos sulfetos.

Figura 5.7 - Associação mineral por perímetro de contato – Sulfetos totais; fração - 0,50+0,020 mm

Outros: ilmenita, rutilo, zircão, apatita, monazita, AlFe-PbAsO, FeAsO

Carbonatos: siderita + anquerita

5.8 ESTIMATIVA DA DISTRIBUIÇÃO DE OURO

O conceito de liberação aplicada a minérios auríferos se difere de outros minérios, como por exemplo minério de ferro, porque uma parcela considerável dos processos empregados baseia-se na dissolução química deste elemento (lixiviação), bastando que o grão de ouro esteja susceptível à uma solução através de um meio (fratura, micro porosidade) não havendo a necessidade de liberação física deste em relação aos minerais de ganga (ouro acessível).

Conforme definido no item 2.4.4, um grão de ouro acessível significa que basta ele ter 1 pixel de seu perímetro exposto (2D).

A Figura 5.8 indica que a uma tendência no aumento da parcela de ouro acessível (2D) de forma gradativa com o aumento teor de arsênio. A inclusão e não encapsulamento dos grãos de ouro nos minerais ocorre de forma decrescente em relação ao grau de exposição de ouro

Figura 5.8 - Ouro acessível, não encapsulado e incluso determinados a partir dos perímetros de contato dos grãos de ouro (produto afundado; fração -0,50+0,020 mm)

6 CONCLUSÕES

Nas amostras de minério de ouro da Mina Morro do Ouro, correspondentes aos materiais de frente de lavra e testemunho de sondagem, verifica-se uma forte relação entre os teores de ouro, enxofre e arsênio.

A composição química das amostras, determinadas por espectrometria de fluorescência de raios X mostrou um elevado conteúdo de SiO_2 relacionados principalmente a presença de boudins de quartzo. A mineralização de ouro ocorre principalmente associada a esses boudins, em concentrações sulfetadas na forma de *clusters* sulfetados. Conteúdo de Al_2O_3 , MgO , Na_2O e K_2O estão presentes devido a recorrência de mica, caulinita e albita nas amostras.

Para cominuição abaixo de 0,50 mm a distribuição em massas das amostras no peneiramento em 0,020 mm mostrou uma média de 20 a 30% na fração passante. Algumas amostras apresentaram fora da média; com valores acima de 40% em massa abaixo da fração 0,020 mm, o que sugere amostras mais intemperizadas.

O ouro ocorre majoritariamente acima da fração 0,020 mm com média de 93% contido. As amostras ACT-085, 086, 048 apresentaram, na fração abaixo de 0,020 mm, conteúdo acima de 20%, o que pode ser explicado devido a maior proporção de sulfetos nessa fração.

Semelhante ao ouro, o enxofre está contido abaixo de 0,020 mm na ordem de 10%, em média. Nas amostras ACT-085, 086 e 087 a parcela é superior a 30%.

Nas separações minerais em líquido denso tem-se em média 88% de massa na fração -0,50+0,020 mm junto ao no produto flutuado (exceto nas amostras ACT-083 com 72% de massa no produto flutuado, ACT-084 com 73%, ACT-057 com 66% e ACT-087 com 54% de massa no flutuado). No geral, o produto afundado representa 12 % em massa e, em média, é responsável por 95% de todo enxofre na amostra, 85% do arsênio e 90% do ouro contido.

A difratometria de raios X apresentou a recorrência de quartzo e muscovita em todas as amostras. Constituintes minerais em menores proporções tais como feldspato (albita), goethita, clorita (clinocloro), caulinita, sulfetos (arsenopirita, pirita, galena) e

duas variedades de carbonatos: anquerita e siderita, ocorrem em proporções variadas nas amostras.

As composições mineralógicas nos materiais obtidas por MEV-MLA para a fração 0,50+0,020 mm confirmam a presença considerável de quartzo e mica, que somadas representam cerca de 80% da massa total das amostras

Em relação ao conteúdo de sulfetos nas amostras (-0,50+0,020 mm) se observa o predomínio de pirita e arsenopirita em diferentes proporções nas amostras com algumas evidenciando comportamento distintos:

- pirrotita: em algumas amostras as proporções de pirrotita dentre os sulfetos pode atingir valores de 20 a 53% relativos (ACT-042, 035, 080, 009, 063, 062, 014, 054, 086 e 048).
- outros sulfetos (calcopirita, esfalerita e galena): a amostra ACT-079 tem uma proporção de 44% de outros sulfetos, sendo que as amostras ACT- 001, 014, 022, ACT-078 e 087 também mostram conteúdos expressivos (15 a 25% da distribuição total de sulfetos).

As medianas das distribuições de tamanho dos grãos de ouro apresentam um valor médio de 19 μm com uma grande dispersão, não sendo possível relacionar com outras variáveis avaliadas (máximo de 70 μm e mínimo de 2 μm). Pouco menos de 10% das amostras apresentam valores de D_{50} dos grãos de ouro acima de 50 μm (ACT-005, 027, 074, 082 e 085). Para os *clusters* de sulfetos a mediana da distribuição dos tamanhos ficou por volta de 80 a 100 μm , próximo ao diâmetro da alimentação da flotação (P_{80} de 106 μm).

Em termos de associações minerais verifica-se que de maneira geral, o ouro está em grande parte associado aos sulfetos com pouca contribuição nos silicatos, carbonatos e outros sulfetos (calcopirita, esfalerita e galena); com o aumento de teor de arsênio, cresce a parcela de ouro associado à arsenopirita.

As associações de perímetro dos grãos de ouro ocorrem principalmente na forma acessível (pelo menos 1 pixel no perímetro do grão – 75 a 96% do ouro no produto afundado acima de 0,020 mm) e, secundariamente, associado a pirita, arsenopirita e, mais raramente, com siderita (ACT-008), clorita (ACT-070) e outros (ACT-016). Como

exceção, tem-se 9 amostras com mais de 70% do ouro em grãos integralmente inclusos na pirita e na arsenopirita (ACT-084, 055, 080, 002, 062, 081, 065, 025 e 036). Em relação a sua composição, verifica-se uma diversidade composicional, com média de 77% de ouro e 23% de prata, com desvio padrão de 13% (valores mínimos de 30% e máximo 100% de ouro).

Para material cominuído abaixo de 0,50 mm tem-se expressiva parcela de ouro com exposição de perímetro de grãos (2D, média de 73%); o ouro incluso está essencialmente associado a pirita e arsenopirita e representa em média 21% do total dos grãos de ouro, sendo que em 14 das 88 amostras este valor pode superar 40% do total de ouro contido.

A classificação das amostras quanto aos seus conteúdos finos ($-0,020$ mm) e de arsênio gerou 6 classes distintas de minério. O conteúdo médio total de sulfetos é praticamente o mesmo para o material intemperizado e as classes com até 3000 ppm de arsênio (cerca de 2,5% em massa); a partir daí os conteúdos de sulfetos (pirita, arsenopirita e pirrotita) aumentam expressivamente mostrando uma tendência de acréscimo de arsenopirita e pirrotita com ligeiro decréscimo na pirita. Ocorre também uma variação brusca no conteúdo de arsenopirita e da relação arsenopirita/pirita para a classe de arsênio acima de 4000 ppm.

A distribuição acumulada do tamanho dos grãos de ouro mostra uma tendência em relação ao tamanho e conteúdo de arsênio. As classes com conteúdo de arsênio acima de 3000 ppm apresentam maiores diâmetro d_{50} dos grãos de ouro; no entanto, o maior diâmetro médio dos grãos de ouro é da classe de minério intemperizado. Em relação aos sulfetos, a arsenopirita mostrou-se d_{50} superior aos demais sulfetos em todas as 6 classes de minério.

O perímetro de contato do ouro (associação mineral) por classe de arsênio apresenta um aumento no grau de exposição (perímetro exposto) e associação com arsenopirita nas classes com maior teor de arsênio. Há uma diminuição progressiva na associação com a pirita e a clorita.

A estimativa da distribuição de associações de perímetro dos grãos de ouro mostra uma elevação do perímetro exposto (mínimo de 75% e máximo de 92%) em direção

aos maiores teores de arsênio, com diminuição tanto dos grãos não encapsulados como nos inclusos.

6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS COMPLEMENTARES

O presente estudo permitiu estabelecer as principais associações mineralógicas e características dos sulfetos e dos grãos de ouro para o depósito Morro do Ouro. No entanto, os resultados dos trabalhos realizados suscitaram algumas questões e sugestões para estudos complementares:

1. Análise crítica dos resultados gerados em função da distribuição espacial das amostras estudadas e outras eventuais informações georeferenciadas disponíveis;
2. Foi detectada uma variação expressiva da composição dos grãos de ouro (Au/Ag) que não foi objeto de detalhamento e pode ter implicações relevantes na etapa de cianetação (recuperação tende a diminuir com o incremento de prata nos grãos de ouro/*electrum*);
3. O minério, a exceção do material intemperizado (praticamente esgotado), mostra características distintas em função dos teores de arsênio: associações e granulação de ouro e sulfetos, além de acessibilidade do ouro. Para melhor compreensão destas variáveis no processo sugere-se a realização de amostragem volumétrica de amostras com distintos teores de arsênio, seguida de processamento das mesmas simulando as condições de operação industrial (ou mesmo processamento em usina para fins de *benchmark*) seguido de estudos detalhados de caracterização da alimentação e rejeitos de flotação e de cianetação;
4. Foram verificadas amostras com comportamentos distintos, com por exemplo, ouro de granulação mais fina essencialmente incluso em sulfetos. Como as amostras estudadas mostram baixa representatividade espacial deve se verificar se estas mesmas características são verificadas em escala de lavra e se podem ter implicações no processamento do minério. Em caso afirmativo, sugere-se a realização de estudos geometalúrgicos considerando emprego das

mesmas ferramentas adotadas no presente estudo paralelamente a ensaios de flotação e/ou cianetação em escala de bancada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, M. D.; BURGER, A. M. Characterization and blinding of carbonaceous preg-robbbers in gold ores. **Minerals Engineering**, v. 11, n. 10, p. 919–927, 1998.
- ALMEIDA, F. F. M. Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro, **Bol. DNPM**, v. 243, p. 36. 1967.
- ALMEIDA, B.S. **Gênese de depósitos dos filitos carbonosos do depósito Morro do Ouro**. Dissertação de mestrado - UnB, p. 90, 2009.
- AMTEL. Gold losses in the tails fines of the Paracatu sulphides leach circuit. Kinross Brasil Mineração. **Relatório interno**. 2010.
- ARAÚJO, M. I. S. **O ouro como valor de refúgio**. 2013. 63p. Tese (Mestrado) - Universidade do Minho. Portugal. 2013.
- AYLING, B. QEMSCAN® - Quantitative evaluation of minerals by scanning electron microscopy: capability and application to fracture characterization in geothermal systems. In: **AGU Fall Meeting Abstracts**, 2011.
- BADRI, R.; ZAMANKHAN, P. Sulphidic refractory gold ore pre treatment by selective and bulk flotation methods. **Advanced powder technology** , n. 24, p. 512-519, 2013.
- BARBOSA, O. **Geologia e recursos minerais do projeto Brasília**. PROSPEC-DNPM, 225 p. (Relatório Interno). 1969.
- BAUR, D. G.; MCDERMOTT, T. K. Is gold a safe haven? International evidence. **Journal of Banking and Finance**, v. 34, n. 8, p. 1886-1898, 2010.
- BIERLEIN, F. P.; GROVES, D. I.; GOLDFARB, R. J.; DUBE, B. Lithospheric controls on the formation of provinces hosting giant orogenic gold deposits. **Mineralium . Deposita**. v. 40, p. 874-886. 2006.
- BISH D. L.; POST, J. E. (Ed.). **Modern powder diffraction**. Washington: Mineralogy Society of America, Reviews in Mineralogy, v. 20 p. 73-99, 1989.
- BLUE COAST METTALURGY. **Mineralogical Review**. Relatório interno. 2010.
- CARMO, S. S. **Preparação de amostras e rotinas de análise microscopia de imagem automatizada eletrônica por de varredura**. 2015. 83 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2015.
- CARVALHO, M. C. A. M. **Paracatu: Morro do Ouro**. São Paulo, Ed. Abril S. A., 91p. 1992.

CHAPADEIRO, E. **Estudos hidrogeológicos na mina Morro do Ouro**. XIV CBAS, 2006

CHAVES, A.P., CHAVES FILHO, R. C. **Separação densitária. Teoria e prática do tratamento de minérios**. São Paulo: Oficina de texto. 2013.

CHIEREGATI, A.C. **Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros**. 201 p. Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CHRYSSOULIS, S. L.; CABRI, L. J. Significance of Gold Mineralogical Balances in Mineral Processing. **Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section C**, v. 99, p. C1–C10, 1990.

CIMINELLI, V.S.T.; GOMES, A.D. Princípios da cianetação. In: TRINDADE, R.B.E.; BARBOSA FILHO, O. **Extração de Ouro – Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 59-94. 2002.

CLINE, J. S.; HOFSTRA, H. A.; MUNTEAN, L. J.; TOSDAL, R. M. Carlin Type Gold Deposits in Nevada: Critical Geologic Characteristics and viable Models. Society of Economic Geologists, Inc. **Economic Geology** 100th Anniversary. p. 451–484, 2005.

DAITX, E.C.; ZANARDO, A. Estudo petrográfico e minerográfico de rochas da Mina Morro do Ouro, Paracatu, MG. vol 2. Programa Parceria RPM/Fundunesp. **Relatório interno**. 2000.

DARDENNE, M. The Brasilia Fold Belt. IN: 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, 2000. **Tectonic Evolution of South America**, pp 231 -263. 2000.

DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro**. v. 35, p. 871, 2010.

DOBBE, R.; GOTTLIEB, P.; GU, Y.; BUTCHER A. R.; FANDRICH, R.; LEMMENS H. Scanning electron beam-based automated mineralogy-outline of technology and selected applications in the natural resources industry. In: **11th European workshop on modern development and applications in microbeam analysis**. Proceedings. Poland: p. 169-189. 2009.

ESPER, E.; RUGOLO, R.; MOLLER, J. C.; AKITI, Y.; PAINS, A. Morro do Ouro Geological model with a metallurgical view, **The second AUSIMM International Geometallurgy Conference**, Brisbane, pp 67-74. 2013.

FANDRICH, S.; SCHNEIDER C. L.; GAY, S. L. Two stereological correction methods: Allocation method and kernel transformation method. **Minerals Engineering**. vol. 11, no. 8, p. 707-715. 1998.

FANDRICH, R.; GU, Y.; BURROWS, D.; MOELLER, K. Modern SEM-based mineral liberation analysis. **International journal of Mineral Processing**. v. 84, p. 310-320. 2007.

FORBES, E.; DAVEY, K. J.; SMITH, L. Decoupling rheology and slime coatings effect on the natural flotability of chalcopyrite in a clay-rich flotation pulp. **Minerals Engineering**. vol. 56, p. 136–144, 2014.

FORTEY, N. J. Image analysis in mineralogy and petrology. **Mineralogical Magazine**. vol. 59, p. 177–178, 1995.

FREITAS SILVA, F. H. **Enquadramento litoestratigrafico e estrutural do depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, MG**. Tese (Mestrado) - IG/UnB, Brasília, 151p. 1991.

FREITAS SILVA, F. H. Controles litoestruturais do depósito de ouro do Morro do Ouro, **6º Simpósio de geologia de Minas Gerais**, 1991.

FREITAS SILVA, F. H. Metalogênese do depósito do Morro do Ouro, Paracatu. **Congresso Brasileiro de Geologia**. Salvador, SBG. v. 7, p. 207-209. 1996.

FREITAS SILVA, F. H. **Metalogênese do depósito do Morro do Ouro, Paracatu, MG**. Tese (Doutorado) - IG/UnB, Brasília, 339p. 1996.

FREITAS, L. R.; COSTA, R. S. Recuperação do ouro dissolvido. In: TRINDADE, R.B.E.; BARBOSA FILHO, O. **Extração de Ouro – Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 95-133. 2002.

FRIMMEL, H. E. Earth's continental crustal gold endowment. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 267, n. 1-2, p. 45–55, 2008.

FUCK, R. A Faixa Brasília e a Compartimentação Tectônica na Província Tocantins. IN: **IV Simpósio da Geologia do Centro Oeste**. Anais, SBG, p. 184-187, Brasília. 1994.

GALLERY, R. **Fragmentação de minérios**: primeira parte. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2011.

GALLEY, A. G.; HANNINGTON, M. D.; JONASSON, I. R. Volcanogenic Massive Sulfide Deposits. In Goodfellow, W D. ed., **Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods**, n. 5, p. 141–161, 2007.

GAUDIN, A.M. **Principles of mineral dressing**. New Delhi: Tata McGraw Hill,. 554 p. 1939.

GOMES, A. M. D. **Lixiviação e adsorção em Fazenda Brasileiro – CVRD: uma questão de produtividade.** 1999. 200 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

GOTTLIEB, P. et. al. Using quantitative electron microscopy for process mineralogy applications. **Jom**, v. 52, n. 4, p. 24-25, 2000.

GÖTZE, J. Potential of cathodoluminescence (cl) microscopy and spectroscopy for the analysis of minerals and materials. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 374, n. 4, p. 703–708, 2002.

GRANT, G., HALL J.S., REID, A.F., ZUIDERWYK, M.A. Characterisation of particulate and composite mineral grains by on-line computer processing of SEM images. In: **Proceedings 15th APCOM Symposium**, Brisbane, Australia, pp. 159–169, 1977.

GROVES, D.J., GOLDFARB, R.J., GEBRE-MARIAM, M., HAGEMANN, S.G., AND ROBERT, F. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationships to other gold deposit types: **Ore Geology Reviews**, vol. 13, 7-27 p. 1998.

GROVES, D. I. et al. 100th Anniversary special paper: Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold-bearing mineral deposits. **Economic Geology**, v. 100, n. 2, p. 203–224, 2005.

GU, Y. Automated scanning electron microscope based mineral liberation analysis. An introduction to JKMRC/FEI Mineral Liberation Analyser. **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, v. 2, n. 1, p. 33–41, 2003.

GY, P. Sampling for analytical purposes. Translated by A. G. Royle. **John Wiley & Sons**, West Sussex, England, 1998.

HABERLAH, D. et al. SEM-EDS based protocol for subsurface drilling mineral identification and petrological classification. **10th International Congress for applied mineralogy**. v. 34, p. 265–273, 2011.

HARRIS, D. C. The Mineralogy of gold and its relevance to gold recoveries. **Mineralium Deposita**, v. 25, n. 1, p. 3–7, 1990.

HARTNADY, C. J. H. South Africa's gold production and reserves. **South African Journal of Science**, v. 105, n. 9-10, p. 328–329, 2009.

HEDENQUIST, J. W.; LZAWA, E.; ARRIBAS, A; WHITE, N. C. Epithermal Gold Deposits: Styles, characteristics, and exploration. Resource Geology Special Publication. Tokyo: **Society of Resource Geology**. n. 1, 16p, 1996.

HENLEY, R W. **Epithermal gold deposits in volcanic terranes.** In: Foster, R. P. (Ed.) *Metallogeny and Exploration*. London: Blackie. p. 133-164, 1991.

HENLEY, K. J. **Ore-Dressing Mineralogy - a review of techniques, applications and recent developments**, Geological Society of South Africa, vol 7(7), p. 175-200, 1983.

HENLEY, K. J. A combined mineralogical/metallurgical approach to determining the nature and locating of gold in ores and mill products. **Minerals Engineering**, v. 2, n. 4, p. 459–470, 1989.

HUYNH L.; FEILER A.; MICHELMORE A.; RALSTON J.; J. P. Control of slime coating by the use of anionic phosphates: A Fundamental study. **Minerals Engeneering**, v. 13, n. 10, p. 1059–1069, 2000.

IBRAM. Ouro. **Anuário Brasileiro Mineral**, v. 7, p. 55–57, 2012.

JENKINS, R. Instrumentation. In: BISH, D.L., POST, J.E. (Ed). **Modern powder diffraction**. Washington: Mineralogy society of America. Reviews in mineralogy. v. 20. p. 19-43.1989.

JOST, H.; OLIVEIRA, A. M. Stratigraphy of the greenstone belts, Crixás region, Goiás, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 4, n. 3, p. 201-214, 1991.

JONES, M. P. **Applied mineralogy - a quantitative approach**. United States: Graham & Trotman, 1987.

JUNIOR, G.G.O. Desenvolvimento de uma rota de processo de dessulfurização de rejeitos de um minério aurífero sulfetado. **Dissertação de mestrado** - UFMG. p. 71 2011.

KLEMM, D.; KLEMM, R.; MURR, A. Gold of the Pharaohs – 6000 years of gold mining in Egypt and Nubia. **Journal of African Earth Sciences**, v. 33, n. 3-4, p. 643–659, 2001.

KOJONEN, K.; JOHANSON, B. Mineralogy and Petrology Determination of refractory gold distribution by microanalysis, diagnostic leaching and image analysis. **Mineralogy and Petrology**, v. 67, p. 1–19, 1999.

LATTI, D. **An assessment of Au Distribution in a Suite of Samples from RPM**. Rio Tinto Research and Technical Development. Melbourne, Australia, (Relatório Interno). 1999a.

LATTI, D. **Particles in Four Ore Samples from the Morro do Ouro Mine, Brazil**. Rio Tinto Technical Services Development. Bristol, Inglaterra. (Relatório Interno), 1999. 1999b.

LOBATO L.M., RIBEIRO RODRIGUES L.C., ZUCHETTI, M., NOCE, C.M., BALTAZAR O.F., DA SILVA L.C., PINTO, C.P.; Brazil's premier gold province: part I: the tectonic,

magmatic and structural setting of gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. **Mineralium Deposita** v. 36: p.249-277 2001.

LOTTER, N. O. Modern Process Mineralogy: An integrated multi-disciplined approach to flowsheeting. **Minerals Engineering**, v. 24, n. 12, p. 1229–1237, 2011.

MADALLOSO A.; VALLE, C.R.O. Considerações sobre a estratigrafia e sedimentologia do Grupo Bambuí na região de Paracatu-Morro Agudo (MG). IN: **Congresso Brasileiro de Geologia** 30, pp. 622-631, 1978

MADALLOSO A. Considerações sobre a paleogeografia do Grupo Bambuí na região de Paracatu-Morro Agudo (MG). In: SBG, **Congresso Brasileiro de Geologia** 31, Recife, Anais, vol. 2, pp. 622-634, 1980.

MARINI, O. J. A evolução geotectónica da Faixa Brasília e de seu embasamento. IN: **Simpósio Sobre o Cráton de São Francisco e suas Faixas Marginais**, CPM/SBG, p.100-115, 1981.

MARTINI, S. L. An overview of main auriferous regions of Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, Vol. 28(3) p.307-314 1998

MARSDEN, J., HOUSE, I. The chemistry of gold extraction. **Colorado: Society for mining, metallurgy and exploration, Inc.**, 1992.

MARQUES, F. B. Geologia, mineralização e lavra do Morro do Ouro - Paracatu (MG). **39º Congresso Brasileiro de Geologia**, Salvador. 1993

MASCARENHAS, J. F.; LEDRU, P.; SAMUEL, L. S.; CONCEIÇÃO FILHO, V. M.; MELO, L. F. A.; LORENZO, C. L. & MILÉSI, J. P. Geologia e recursos minerais do Grupo Jacobina e da parte sul do Greenstone Belt de Mundo Novo, v. 13, Salvador, CBPM, p. 58, 1998.

MONTE, M. B. M.; SAMPAIO, J. A.; GONTIJO, P. F.; TONDO, Luis Albano . **Ouro - Rio Paracatu Mineração**. In: João Alves Sampaio; Adão Benvindo da Luz; Fernando Antônio Freitas Lins. (Org.). Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil.: , 2001, v. 1, p. 362-372

MENESES , P. R.; FREITAS SILVA, F. H; PARADELA, W. R.; JUNIOR, L. G. F. O comportamento espectral e radiométrico portadores de mineralizações auríferasna Faixa Brasília. **Anais do VII SBSR**, p 266-274, 1993

MILTZAREK, G. L. Estudo sobre reutilização dos cianetos empregados no tratamento de minério aurífero por meio de soluções sintéticas e efluentes da cianetação. **Vasa**, p. 86, 2000.

MOLLER, J C, BATELOCHI, M A, AKITI, Y, SHARRAT, BORGES, A L. Geologia e caracterização dos recursos minerais de Morro do Ouro, (Geology and mineral

resource characterisation of Morro do Ouro Mine) Paracatu, Minas Gerais, in **Bacia do São Francisco**, Belo Horizonte, p. 199-234. 2001.

MOLLER, J. C. **The Geology and Characterization of Mineral Resources of Morro do Ouro**, Paracatu, MG; Relatório interno, p. 57. 2001.

MONTEIRO, L. V. S.; XAVIER, R. P.; HITZMAN, M. W.; JULIANI, C. FILHO, C. R. S.; CRAVALHO, E. R. Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 34, p. 317-336, 2008.

MYASHITA, A. Mapeamento estrutural da Mina Morro do Ouro, Paracatu, MG. **Relatório interno**, p. 47. 2005.

O'CONNOR, C. T.; DUNNE, R. C. The flotation of gold bearing ores — a review. **Minerals Engineering**, v. 7, n. 7, p. 839–849, 1994.

OLIVER, N. H. S., et al., Local and regional mass transfer during thrusting, veining, and boudinage in the genesis of giant shale-hosted Paracatu Gold Deposits, Minas Gerais, Brazil. **Economic Geology**, v. 110, p. 1803-1834, 2015.

PERES, A. E. C. Caracterização mineralógica e tecnológica. In: VALADÃO, G. E. S.; DE ARAÚJO, A. C. (Eds.). **Introdução ao tratamento de minérios**. 1. ed. Belo Horizonte: UFMG. 2007.

PERONI, R. L. Lavra a Céu Aberto – **Teoria e prática**. Porto Alegre: Universidade do Rio Grande do Sul, 172 p. 2008.

PETRUK, W. Short Course on Image Analysis Applied to Mineral and Earth Sciences. Ottawa: **Mineral Association of Canada**, 156 p. 1989.

PETRUK, W. **General principles of applied mineralogy**. 2000.

REES, K. L., VAN DEVENTER, J. S. J. Preg-robbing phenomena in the cyanidation of sulphide gold ores. **Hydrometallurgy** vol. 58, p. 61–80. 2000.

ROBB, L. J.; MEYER, F. M. The Witwatersrand Basin, South Africa: Geological framework and mineralization processes. **Ore Geology Reviews**, v. 10, n. 2, p. 67–94, 1995.

ROBERT, F.; POULSEN, K. H.; DUBE, B. Gold Deposits and Their Geological Classification. **Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration**, p. 209–220, 1997.

RUSS, J.C. **Practical stereology**. New York: Plenum press p. 185. 1986.

SAMPAIO, C.H.; TAVARES, L.M.M. **Beneficiamento gravimétrico**: Uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade. Porto Alegre: UFRGS Editora, 605 p. 2005.

SANT'AGOSTINO, L.M., KAHN, H. **Metodologia para caracterização tecnológica de matérias primas minerais**. Tese (Boletim técnico) – Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 29 p, 1997.

SCHOBENHAUS, C; DARDENNE, M.A. **Metalogênese do Brasil**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 392 p. 2001.

SCHORSCHER, H.D.; Komatiitos na estrutura Greenstone Belt Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In **Congresso Brasileiro de Geologia**, 30. Recife, Resumo das Comunicações, p. 292–293, 1978.

SILLITOE, R. H. Erosion and collapse of volcanoes: Causes of telescoping in intrusion-centered ore deposits. **Geology**, v. 22, p. 945–948, 1994.

SILVA, A. H. M. Modelagem geológica e estocástica da porção NE da Mina de Morro do Ouro, Paracatu. **Dissertação de mestrado** - Unicamp, 2001.

SILVA, A. L. Moagem Semiautógena piloto do minério de ouro da Rio Paracatu Mineração. **Dissertação de mestrado** - Poli-USP, p. 125, 2012

SIMON, G.; KESLER, S. E.; CHRYSSOULIS, S. Geochemistry and textures of gold-bearing arsenian pyrite, Twin Creeks, Nevada: Implications for deposition of gold in Carlin-type deposits. **Economic Geology**, v. 94, n. 3, p. 405–421, 1999.

SUN, W. et al. Porphyry deposits and oxidized magmas. **Ore Geology Reviews**, v. 65, p. 97–131, 2015.

SWALF, P.S. Modelo exploratório para depósitos auríferos do tipo Morro do Ouro com base em dados e técnicas de sensoriamento remoto. **Dissertação de mestrado** - Unicamp, 2000

SWALF, P.S., CROSTA, A. P., FILHO, C. R. S. Remote sensing signature of the Morro do Ouro gold deposit, Minas Gerais, Brazil, using reflectance spectrometry: application to mineral exploration using spaceborne multispectral sensors. **RBG**, vol. 33(2-Suplemento), p. 221-227.

TASSINARI, M. M. L., **Caracterização tecnológica de minérios auríferos: um estudo de caso, o minério primário da jazida de Salamonge, AP**. 1996. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

THORMAN, C. H. **New ideias regarding the origin and tectonic setting of mineral deposits (Morro agudo Zn-Pb and Morro do Ouro) in Paracatu-Vazante fold belt, Minas Gerais**. Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú, vol 3, p 39 - 42, 1996.

USGS. **Mineral commodity summaries**. n. 703, p. 66–67, 2015.

WILLIAMS, P.; BARTON, M. Iron oxide copper-gold deposits: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin. **Economic Geology**, v. Anniversar, p. 371–405, 2005.

ZHOU, J.; JAGO, B.; MARTIN, C. Establishing the process mineralogy of gold ores. **SGS Minerals - Technical Bulletin**, 2004.

ZINI, A. Depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, Minas Gerais. In: **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília, DNPM. v.3. p. 479-489. 1988.

APÊNCIDE 1 - Proveniência e composição química das amostras

Proveniência	Amostra	Teores (%)											Teores (ppm)	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	PF	S	As	Au	
Sondagem	ACT-001	60,4	13,8	8,52	0,19	5,48	0,06	0,93	0,75	6,18	1,85	1367	0,966	
Sondagem	ACT-002	70,3	11,1	5,72	0,42	4,17	0,52	0,88	0,61	3,79	1,22	830	1,105	
Sondagem	ACT-003	63,6	12,7	6,61	0,42	4,64	0,81	1,13	0,68	5,33	2,24	4285	0,831	
Sondagem	ACT-004	61,9	13,9	7,92	0,24	5,20	0,19	1,07	0,76	5,49	1,54	4320	1,017	
Sondagem	ACT-005	61,9	13,7	7,26	0,67	5,32	0,60	1,03	0,81	5,70	1,64	1760	1,097	
Frente de lavra	ACT-006	72,1	11,7	4,82	0,15	4,59	0,21	0,75	0,61	3,19	0,87	3291	1,77	
Sondagem	ACT-007	61,6	14,8	8,34	0,94	4,69	1,16	1,41	0,93	4,15	0,90	229	0,081	
Frente de lavra	ACT-008	60,0	13,5	8,84	0,61	4,36	0,44	1,12	0,71	6,72	2,32	638	0,744	
Frente de lavra	ACT-009	71,6	8,74	5,68	0,47	3,14	1,08	0,93	0,46	4,47	1,75	896	0,839	
Frente de lavra	ACT-010	65,0	11,6	5,99	0,68	3,91	0,39	<0,01	0,58	5,65	2,74	18515	0,486	
Frente de lavra	ACT-011	74,8	10,6	3,63	0,32	4,22	0,13	0,72	0,60	2,84	0,73	4684	0,992	
Frente de lavra	ACT-012	66,6	11,4	6,34	0,57	3,95	1,34	1,06	0,59	5,18	1,52	476	0,183	
Frente de lavra	ACT-013	68,1	9,48	7,35	0,50	3,41	0,94	0,82	0,56	4,79	2,05	3776	4,880	
Frente de lavra	ACT-014	73,5	6,95	6,06	0,28	2,64	0,54	0,72	0,39	3,68	2,56	5759	6,272	
Frente de lavra	ACT-015	65,4	12,7	6,27	0,53	4,59	0,65	0,90	0,72	5,02	1,77	1339	0,525	
Frente de lavra	ACT-016	71,8	9,05	6,33	0,44	2,92	0,64	0,80	0,49	4,21	1,65	6166	9,653	
Frente de lavra	ACT-017	71,6	10,4	4,88	0,42	4,15	0,71	0,75	0,59	3,35	1,53	3883	0,842	
Frente de lavra	ACT-018	62,9	13,5	7,42	0,67	5,01	0,45	1,10	0,74	5,38	1,45	647	0,498	
Frente de lavra	ACT-019	68,9	10,3	6,49	0,44	3,77	0,84	0,98	0,54	4,55	1,74	2303	1,176	
Frente de lavra	ACT-020	62,1	15,1	7,79	1,04	4,96	0,61	1,22	0,96	4,21	0,94	1201	0,624	
Frente de lavra	ACT-021	65,0	13,1	7,07	0,96	4,20	0,34	1,03	0,80	4,55	1,68	700	0,500	
Frente de lavra	ACT-022	65,3	11,1	6,97	0,50	4,02	1,08	1,00	0,58	5,33	2,04	497	0,860	
Frente de lavra	ACT-023	64,2	10,7	7,11	0,33	3,86	0,31	1,12	0,57	5,79	2,46	30043	3,800	
Frente de lavra	ACT-024	71,5	8,41	6,26	0,28	3,21	0,47	0,76	0,42	3,97	3,25	4244	2,488	
Frente de lavra	ACT-025	60,2	16,0	6,57	0,77	6,07	0,77	1,26	0,94	5,22	1,18	3272	0,252	
Frente de lavra	ACT-026	65,7	12,4	6,80	0,46	4,63	0,50	1,01	0,69	4,93	1,74	926	1,230	
Frente de lavra	ACT-027	63,3	15,0	6,14	0,39	6,00	0,19	0,99	0,94	4,50	1,56	1464	1,021	
Frente de lavra	ACT-028	69,6	11,9	6,17	0,23	4,73	0,17	0,84	0,69	3,82	0,80	5512	1,648	
Frente de lavra	ACT-029	63,0	14,4	7,46	0,61	5,50	0,59	1,13	0,88	5,03	0,59	2040	0,917	
Frente de lavra	ACT-030	69,4	11,6	5,82	0,46	4,34	0,13	0,69	0,71	3,67	1,75	2917	2,077	
Frente de lavra	ACT-031	62,9	14,2	6,75	0,67	5,21	0,55	1,09	0,84	5,04	1,49	1641	0,494	
Frente de lavra	ACT-032	62,1	14,9	7,10	0,78	4,77	0,45	1,14	0,79	5,18	1,78	1695	1,298	
Frente de lavra	ACT-033	63,6	14,5	6,04	0,55	5,53	0,64	1,14	0,71	4,80	1,57	844	0,927	
Frente de lavra	ACT-034	55,9	12,0	9,24	0,41	4,22	0,50	1,46	0,55	7,63	4,51	29846	1,362	
Frente de lavra	ACT-035	63,5	15,5	6,24	0,67	5,98	0,15	1,10	0,92	4,48	0,49	1629	1,368	
Frente de lavra	ACT-036	69,3	11,7	5,96	0,40	4,43	0,47	0,99	0,70	3,97	0,88	3848	0,292	
Frente de lavra	ACT-037	62,1	14,7	6,93	0,95	4,93	0,70	1,11	0,83	5,13	1,35	487	0,401	
Frente de lavra	ACT-038	64,9	11,6	7,59	0,33	4,46	0,47	1,06	0,65	5,30	1,92	660	0,704	
Frente de lavra	ACT-039	68,6	15,1	2,91	0,20	5,68	0,11	0,75	0,87	3,64	1,68	2914	0,529	
Sondagem	ACT-040	56,8	15,5	9,45	0,43	5,75	0,43	1,45	0,95	6,50	1,17	924	0,273	
Frente de lavra	ACT-041	70,9	12,0	5,71	0,18	3,98	0,19	0,77	0,57	4,48	0,53	583	0,668	
Frente de lavra	ACT-042	60,4	15,3	7,64	0,76	5,67	0,40	1,27	0,88	5,98	0,79	2386	0,541	
Frente de lavra	ACT-043	60,1	15,6	7,35	0,82	5,30	0,62	1,19	0,96	5,97	0,92	3156	0,324	
Frente de lavra	ACT-044	61,7	15,4	7,50	0,61	5,38	0,26	1,13	0,88	4,98	1,04	3054	0,608	

Proveniência	Amostra	Teores (%)										Teores (ppm)	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	PF	S	As	Au
Frente de lavra	ACT-045	62,6	12,9	7,56	0,43	4,81	0,67	1,09	0,77	5,55	2,19	3565	1,829
Frente de lavra	ACT-046	67,1	11,4	6,04	0,79	3,97	1,57	1,15	0,60	4,93	1,18	1743	1,573
Frente de lavra	ACT-047	73,3	10,2	3,69	0,19	3,71	0,03	0,55	0,57	3,69	1,99	2514	0,642
Frente de lavra	ACT-048	63,0	16,6	6,57	0,34	5,33	0,05	1,04	0,98	4,65	0,17	2369	0,568
Frente de lavra	ACT-049	65,7	13,8	6,01	0,80	4,50	0,55	1,03	0,77	4,69	1,03	2462	1,758
Frente de lavra	ACT-050	67,0	11,6	6,39	0,37	4,40	0,83	1,03	0,67	4,54	1,50	8128	1,465
Frente de lavra	ACT-051	67,3	11,5	6,34	0,57	4,20	0,92	1,00	0,65	5,15	1,18	2122	0,486
Frente de lavra	ACT-052	65,5	13,3	5,99	0,43	4,80	0,65	1,06	0,71	4,79	1,42	3537	0,314
Frente de lavra	ACT-053	62,9	14,0	7,60	0,67	5,07	0,79	1,14	0,78	5,70	0,63	769	0,219
Frente de lavra	ACT-054	62,3	14,6	7,56	0,84	5,30	0,64	1,09	0,88	5,48	0,59	642	1,589
Frente de lavra	ACT-055	60,4	14,9	7,65	0,69	5,75	0,77	1,23	0,89	5,75	0,95	551	0,341
Frente de lavra	ACT-056	71,0	13,6	3,87	0,73	4,67	0,08	0,65	0,75	2,75	0,76	4290	1,072
Frente de lavra	ACT-057	55,2	15,1	14,2	0,36	5,74	0,28	1,38	0,87	4,33	1,23	602	1,711
Frente de lavra	ACT-058	66,2	12,1	6,95	0,44	4,39	0,43	0,95	0,71	4,92	1,32	1739	0,604
Frente de lavra	ACT-059	67,6	12,5	5,47	0,62	4,90	1,18	0,98	0,75	4,09	0,56	1769	0,412
Frente de lavra	ACT-060	65,2	13,2	6,65	0,49	5,05	0,50	0,95	0,79	4,86	1,19	3554	0,638
Frente de lavra	ACT-061	59,5	14,8	8,41	0,52	5,81	0,47	1,18	0,91	5,98	1,24	5358	0,860
Sondagem	ACT-062	61,8	14,7	7,68	1,10	4,51	0,85	1,26	0,85	4,94	1,26	1205	0,899
Sondagem	ACT-063	61,2	14,8	7,74	1,12	4,95	0,61	1,14	0,85	6,18	0,69	1060	0,587
Sondagem	ACT-064	75,6	11,3	3,00	0,15	4,65	0,03	0,60	0,64	2,13	0,96	2598	0,421
Sondagem	ACT-065	60,6	15,4	8,10	0,74	5,28	0,24	1,12	0,79	5,96	0,75	2415	0,896
Sondagem	ACT-066	64,1	14,2	6,13	0,17	6,06	0,61	1,03	0,81	4,49	1,07	6067	0,515
Sondagem	ACT-067	61,8	14,8	7,33	0,19	6,20	0,15	0,98	0,89	5,04	1,26	9121	4,706
Sondagem	ACT-068	59,3	14,8	7,76	0,51	5,70	0,72	1,15	0,87	5,74	2,27	2551	0,729
Sondagem	ACT-069	64,0	13,5	6,43	0,52	5,49	0,34	1,13	0,79	4,60	1,33	10858	1,892
Sondagem	ACT-070	60,6	15,2	7,13	0,66	5,81	0,55	1,20	0,86	5,54	1,78	414	1,275
Sondagem	ACT-071	60,9	14,1	8,03	0,47	5,38	0,23	1,15	0,78	5,74	1,73	3082	0,590
Sondagem	ACT-072	62,0	12,8	7,56	0,57	5,07	0,83	1,23	0,71	5,08	2,04	14986	2,120
Sondagem	ACT-073	64,0	13,3	7,06	0,57	4,92	0,45	1,17	0,73	4,70	1,80	1164	0,471
Frente de lavra	ACT-074	64,0	13,0	7,23	0,71	4,54	0,99	1,20	0,76	4,82	1,83	9044	0,313
Frente de lavra	ACT-075	73,7	11,1	3,39	0,16	4,55	0,01	0,63	0,66	2,67	1,46	7437	12,45
Frente de lavra	ACT-076	69,1	11,2	5,92	0,53	4,01	0,54	0,88	0,60	4,13	2,36	1186	0,884
Frente de lavra	ACT-077	62,1	14,9	8,37	1,21	4,66	0,91	1,31	0,99	3,99	0,79	629	0,107
Frente de lavra	ACT-078	71,3	8,27	5,94	0,35	3,12	0,78	0,72	0,42	4,33	3,73	1074	0,593
Frente de lavra	ACT-079	65,8	11,1	6,99	0,45	4,21	0,97	1,17	0,64	5,50	1,27	2351	0,640
Frente de lavra	ACT-080	64,6	15,3	5,25	0,67	6,15	0,41	0,99	0,90	4,05	0,82	634	1,248
Frente de lavra	ACT-081	64,4	12,0	8,21	0,58	3,94	1,19	1,16	0,70	4,97	1,15	2152	0,517
Frente de lavra	ACT-082	60,3	16,7	6,22	0,72	6,43	0,54	1,18	0,88	5,04	1,08	1831	0,579
Frente de lavra	ACT-083	61,5	15,4	7,98	0,23	5,59	0,05	0,96	0,84	5,87	0,71	517	0,852
Frente de lavra	ACT-084	62,7	16,4	6,55	0,26	5,34	0,04	0,87	0,88	5,98	0,43	381	0,274
Frente de lavra	ACT-085	68,7	17,3	2,60	0,24	6,85	0,02	0,77	1,04	2,11	0,01	852	0,197
Frente de lavra	ACT-086	72,4	14,3	2,63	0,20	5,54	0,03	0,66	0,89	3,04	0,01	921	0,427
Frente de lavra	ACT-087	53,1	13,7	20,8	0,18	4,93	0,02	0,68	0,75	5,00	0,06	3220	0,372
Frente de lavra	ACT-088	73,7	10,1	3,39	0,45	4,21	0,01	0,63	0,76	2,18	1,32	6134	1,483

APÊNCIDE 2 - Distribuições em massa e teores (-0,50+0,020 mm)

Amostra	% massa		Teores						Distribuições (%)					
			S (%)		As (ppm)		Au ppm		S		As		Au	
	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02
ACT-001	55,7	44,3	2,86	0,58	2163	367	1,64	0,12	86,0	14,0	88,1	11,9	94,5	5,45
ACT-002	79,3	20,7	1,39	0,60	869	677	1,34	0,19	89,8	10,2	83,1	16,9	96,5	3,52
ACT-003	79,5	20,5	2,58	0,90	4936	1760	1,01	0,14	91,7	8,3	91,6	8,4	96,7	3,33
ACT-004	59,3	40,7	2,25	0,50	6339	1372	1,62	0,14	86,7	13,3	87,1	12,9	94,4	5,60
ACT-005	74,2	25,8	2,02	0,56	834	190	1,41	0,20	91,2	8,8	92,7	7,3	95,4	4,64
ACT-006	64,0	36,0	1,17	0,34	2416	986	2,65	0,21	85,9	14,1	81,3	18,7	95,8	4,17
ACT-007	82,8	17,2	1,01	0,38	271	23	0,09	0,03	92,8	7,2	98,2	1,8	93,4	6,60
ACT-008	72,0	28,0	2,76	1,20	778	279	0,93	0,25	85,5	14,5	87,7	12,3	90,5	9,55
ACT-009	81,9	18,1	1,89	1,13	986	492	1,00	0,11	88,2	11,8	90,0	10,0	97,6	2,38
ACT-010	78,9	21,1	3,10	1,40	20078	12651	0,56	0,22	89,2	10,8	85,6	14,4	90,6	9,36
ACT-011	72,8	27,2	0,80	0,52	5323	2974	1,29	0,20	80,7	19,3	82,7	17,3	94,4	5,58
ACT-012	72,4	27,6	1,69	1,08	509	389	0,24	0,04	80,4	19,6	77,4	22,6	93,4	6,58
ACT-013	75,6	24,4	2,35	1,13	4121	2704	6,32	0,42	86,5	13,5	82,5	17,5	97,9	2,12
ACT-014	80,0	20,0	2,83	1,48	6186	4054	7,72	0,50	88,4	11,6	85,9	14,1	98,4	1,60
ACT-015	75,3	24,7	1,99	1,10	1604	529	0,66	0,11	84,7	15,3	90,2	9,8	95,0	4,98
ACT-016	76,6	23,4	1,87	0,93	7057	3246	12,39	0,68	81,2	18,8	93,5	6,5	98,4	1,65
ACT-017	79,2	20,8	1,71	0,84	653	2129	1,00	0,25	88,6	11,4	53,8	46,2	93,9	6,09
ACT-018	70,0	30,0	1,83	0,56	789	315	0,68	0,07	88,5	11,5	85,4	14,6	96,0	4,04
ACT-019	79,4	20,6	1,98	0,79	2216	1149	1,41	0,27	90,6	9,4	88,1	11,9	95,3	4,72
ACT-020	73,3	26,7	1,15	0,37	383	249	0,81	0,11	89,5	10,5	80,9	19,1	95,3	4,66
ACT-021	76,2	23,8	1,99	0,69	736	587	0,60	0,17	90,2	9,8	80,0	20,0	91,9	8,13
ACT-022	78,4	21,6	2,32	1,00	622	40	1,06	0,14	89,4	10,6	98,2	1,8	96,4	3,58
ACT-023	81,1	18,9	2,68	1,48	439	4074	4,46	0,96	88,6	11,4	31,6	68,4	95,2	4,78
ACT-024	74,2	25,8	3,72	1,90	749	14318	3,03	0,94	85,0	15,0	86,9	13,1	90,3	9,71
ACT-025	67,5	32,5	1,48	0,54	972	8046	0,34	0,08	85,0	15,0	80,0	20,0	90,3	9,71
ACT-026	70,5	29,5	2,14	0,77	950	870	1,64	0,26	86,9	13,1	72,3	27,7	93,8	6,21
ACT-027	66,0	34,0	2,16	0,39	934	398	1,50	0,08	91,6	8,4	82,0	18,0	97,2	2,80
ACT-028	66,5	33,5	1,06	0,29	92	16268	2,43	0,10	87,9	12,1	98,9	1,1	97,9	2,11
ACT-029	67,2	32,8	0,77	0,22	933	2923	1,32	0,09	87,7	12,3	39,5	60,5	96,9	3,06
ACT-030	72,5	27,5	2,19	0,60	3205	2161	2,79	0,20	90,5	9,5	79,6	20,4	97,4	2,62
ACT-031	72,5	27,5	1,84	0,58	2098	436	0,65	0,07	89,2	10,8	92,7	7,3	95,8	4,16
ACT-032	73,7	26,3	2,20	0,62	342	908	1,70	0,18	90,9	9,1	51,3	48,7	96,4	3,62
ACT-033	72,7	27,3	1,86	0,78	802	958	1,24	0,10	86,5	13,5	69,1	30,9	97,0	3,03
ACT-034	75,1	24,9	5,21	2,42	35070	14101	1,60	0,65	86,6	13,4	88,2	11,8	88,0	11,95
ACT-035	66,6	33,4	0,60	0,27	406	875	2,00	0,11	81,6	18,4	48,1	51,9	97,3	2,73
ACT-036	78,0	22,0	1,02	0,40	4578	1258	0,35	0,08	90,1	9,9	92,8	7,2	94,3	5,75
ACT-037	68,5	31,5	1,71	0,57	586	273	0,55	0,08	86,7	13,3	82,3	17,7	93,9	6,15
ACT-038	75,6	24,4	2,28	0,79	777	299	0,89	0,12	89,9	10,1	89,0	11,0	95,8	4,20
ACT-039	72,4	27,6	2,10	0,57	3760	693	0,67	0,17	90,7	9,3	93,4	6,6	91,1	8,86
ACT-040	47,8	52,2	2,02	0,38	1934	0	0,50	0,06	82,9	17,1	100,0	0,0	88,3	11,66
ACT-041	54,1	45,9	0,80	0,21	1016	73	1,01	0,27	81,6	18,4	94,3	5,7	81,6	18,39
ACT-042	64,5	35,5	0,94	0,53	589	285	0,81	0,05	76,1	23,9	79,0	21,0	96,5	3,47
ACT-043	70,7	29,3	1,12	0,44	4093	892	0,41	0,10	86,1	13,9	91,7	8,3	90,7	9,33
ACT-044	61,3	38,7	1,52	0,29	4539	698	0,92	0,11	89,2	10,8	91,2	8,8	93,2	6,83

Amostra	% massa		Teores						Distribuições (%)					
			S (%)		As (ppm)		Au ppm		S		As		Au	
	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02	-0,5+0,02	-0,02
ACT-045	77,3	22,7	2,56	0,97	3820	2698	2,32	0,16	90,0	10,0	82,8	17,2	98,0	1,99
ACT-046	74,4	25,6	1,32	0,79	2207	396	2,06	0,17	82,8	17,2	94,2	5,8	97,3	2,71
ACT-047	77,9	22,1	2,24	1,09	2483	2622	0,76	0,22	87,9	12,1	77,0	23,0	92,5	7,46
ACT-048	60,0	40,0	0,24	0,07	96395	98828	0,67	0,41	83,8	16,2	59,4	40,6	71,3	28,68
ACT-049	81,1	18,9	1,15	0,49	2536	2146	2,11	0,24	91,0	9,0	83,5	16,5	97,4	2,57
ACT-050	74,2	25,8	1,75	0,75	2401	4083	1,91	0,19	87,0	13,0	62,8	37,2	96,7	3,28
ACT-051	77,2	22,8	1,36	0,56	25672	45	0,52	0,38	89,2	10,8	99,9	0,1	82,0	17,97
ACT-052	77,7	22,3	1,66	0,59	2184	4455	0,38	0,08	90,7	9,3	63,0	37,0	94,0	5,98
ACT-053	71,7	28,3	0,76	0,31	794	705	0,29	0,03	86,3	13,7	74,1	25,9	96,0	4,01
ACT-054	74,9	25,1	0,78	0,03	6298	7054	2,12	0,02	98,5	1,5	72,7	27,3	99,7	0,27
ACT-055	76,0	24,0	1,14	0,34	695	95	0,41	0,12	91,5	8,5	95,9	4,1	91,9	8,14
ACT-056	64,2	35,8	0,98	0,37	5643	1865	1,62	0,09	82,6	17,4	84,4	15,6	97,1	2,87
ACT-057	64,6	35,4	1,70	0,37	818	208	3,09	0,11	89,4	10,6	87,8	12,2	98,1	1,87
ACT-058	71,1	28,9	1,50	0,88	1824	1530	0,79	0,15	80,7	19,3	74,6	25,4	92,7	7,31
ACT-059	66,6	33,4	0,81	0,05	2019	1272	0,53	0,17	97,0	3,0	76,0	24,0	86,1	13,88
ACT-060	67,7	32,3	1,56	0,41	348	929	0,89	0,11	88,8	11,2	44,0	56,0	94,2	5,79
ACT-061	65,3	34,7	1,59	0,59	7778	814	1,18	0,25	83,6	16,4	94,7	5,3	89,9	10,10
ACT-062	74,1	25,9	1,45	0,71	1517	311	1,15	0,19	85,3	14,7	93,3	6,7	94,4	5,56
ACT-063	68,7	31,3	0,83	0,36	1293	548	0,83	0,06	83,4	16,6	83,8	16,2	96,5	3,47
ACT-064	74,5	25,5	1,16	0,40	2847	1872	0,54	0,08	89,3	10,7	81,6	18,4	95,2	4,75
ACT-065	67,2	32,8	1,00	0,23	3087	1038	1,15	0,37	89,9	10,1	85,9	14,1	86,5	13,48
ACT-066	65,4	34,6	1,39	0,47	8404	1652	0,72	0,13	84,9	15,1	90,6	9,4	91,2	8,81
ACT-067	60,1	39,9	1,82	0,42	13354	2742	7,66	0,25	86,6	13,4	88,0	12,0	97,9	2,13
ACT-068	73,6	26,4	2,78	0,85	2735	2039	0,84	0,42	90,2	9,8	78,9	21,1	84,8	15,23
ACT-069	77,7	22,3	1,49	0,77	12727	4344	2,38	0,18	87,1	12,9	91,1	8,9	97,9	2,08
ACT-070	66,2	33,8	2,14	1,08	187	857	1,82	0,20	79,6	20,4	70,1	29,9	94,6	5,37
ACT-071	58,0	42,0	2,56	0,58	4760	766	0,88	0,19	85,9	14,1	89,5	10,5	86,2	13,77
ACT-072	76,9	23,1	2,31	1,13	17476	6679	2,69	0,21	87,2	12,8	89,7	10,3	97,7	2,30
ACT-073	69,8	30,2	2,32	0,59	287	3190	0,60	0,17	90,0	10,0	82,8	17,2	88,9	11,07
ACT-074	73,4	26,6	2,28	0,59	3230	1242	0,37	0,15	91,4	8,6	87,8	12,2	87,3	12,75
ACT-075	70,1	29,9	1,68	0,94	288	4168	17,12	1,50	80,8	19,2	86,1	13,9	96,4	3,59
ACT-076	77,6	22,4	2,78	0,90	1304	779	1,04	0,33	91,5	8,5	85,3	14,7	91,6	8,44
ACT-077	76,9	23,1	0,91	0,40	672	487	0,13	0,04	88,2	11,8	82,1	17,9	91,0	9,00
ACT-078	80,8	19,2	4,21	1,70	1150	754	0,69	0,19	91,2	8,8	86,5	13,5	93,7	6,29
ACT-079	75,8	24,2	1,46	0,66	2657	1398	0,76	0,27	87,3	12,7	85,6	14,4	89,8	10,17
ACT-080	69,1	30,9	1,00	0,40	789	286	1,77	0,09	84,9	15,1	86,0	14,0	97,7	2,31
ACT-081	79,0	21,0	1,28	0,64	2499	842	0,61	0,17	88,2	11,8	91,8	8,2	93,0	6,99
ACT-082	65,4	34,6	1,42	0,43	2401	754	0,87	0,04	86,3	13,7	85,8	14,2	97,8	2,23
ACT-083	71,3	28,7	1,29	0,39	7813	1970	2,03	0,13	89,1	10,9	90,8	9,2	97,4	2,59
ACT-084	40,3	59,7	0,90	0,12	726	149	0,64	0,03	83,4	16,6	76,7	23,3	93,6	6,42
ACT-085	31,0	69,0	0,03	0,01	2322	192	0,47	0,08	64,2	35,8	84,4	15,6	73,4	26,56
ACT-086	42,3	57,7	0,02	0,01	63404	669	0,67	0,25	60,6	39,4	98,6	1,4	66,2	33,80
ACT-087	59,9	40,1	0,05	0,06	572	1939	0,54	0,13	53,6	46,4	30,6	69,4	86,3	13,70
ACT-088	45,4	54,6	1,35	0,17	1024	96	1,84	0,03	86,8	13,2	89,8	10,2	97,9	2,11

APÊNCIDE 3 - Separações em líquido denso (3,30 g/cm³; -0,50+0,020 mm)

FL: Flutuado; AF: Afundado

Amostra	% massa		S (%)		Teores As (ppm)		Au ppm		Distribuições (%)					
	FL	AF	FL	AF	FL	AF	FL	AF	S		As		Au	
ACT-001	78,1	21,9	0,08	16,1	41	9731	0,19	6,82	2,2	97,8	1,5	98,5	8,9	91,1
ACT-002	90,6	9,4	0,06	14,2	114	8174	0,19	12,6	3,8	96,2	11,9	88,1	12,5	87,5
ACT-003	87,8	12,2	0,18	29,6	82	39758	0,03	8,02	6,0	94,0	1,5	98,5	2,8	97,2
ACT-004	80,8	19,2	0,08	18,9	168	32344	0,24	7,42	2,9	97,1	2,1	97,9	12,0	88,0
ACT-005	88,7	11,3	0,16	25,2	124	6417	0,43	9,09	6,8	93,2	13,2	86,8	27,2	72,8
ACT-006	91,5	8,5	0,05	18,2	105	27440	0,24	28,8	3,6	96,4	4,0	96,0	8,1	91,9
ACT-007	92,9	7,1	0,16	12,0	144	1926	0,02	1,01	14,8	85,2	49,4	50,6	21,4	78,6
ACT-008	80,9	19,1	0,06	18,5	71	3767	0,17	4,18	1,7	98,3	7,3	92,7	14,5	85,5
ACT-009	90,1	9,9	0,07	28,5	150	8556	0,10	9,16	3,5	96,5	13,7	86,3	8,9	91,1
ACT-010	84,6	15,4	0,15	22,6	1333	143742	0,04	3,99	4,2	95,8	5,8	94,2	5,7	94,3
ACT-011	96,0	4,0	0,10	24,1	806	154653	0,27	35,0	12,0	88,0	14,7	85,3	20,1	79,9
ACT-012	91,7	8,3	0,13	32,9	402	1688	0,06	2,16	7,3	92,7	27,6	72,4	24,22	75,78
ACT-013	87,1	12,9	0,09	25,9	308	29775	0,44	45,9	3,5	96,5	6,5	93,5	6,0	94,0
ACT-014	88,3	11,7	0,19	32,6	508	70084	0,72	86,5	6,1	93,9	7,5	92,5	8,5	91,5
ACT-015	87,2	12,8	0,07	24,3	422	9649	0,10	4,48	3,3	96,7	22,9	77,1	13,3	86,7
ACT-016	88,1	11,9	0,09	20,6	308	56969	1,06	163,1	4,2	95,8	3,8	96,2	7,5	92,5
ACT-017	92,5	7,5	0,08	29,7	78	7744	0,09	12,3	4,1	95,9	11,1	88,9	8,0	92,0
ACT-018	84,0	16,0	0,14	23,6	39	4726	0,07	3,92	6,2	93,8	4,1	95,9	8,2	91,8
ACT-019	89,5	10,5	0,12	21,8	303	18539	0,28	11,0	5,5	94,5	12,2	87,8	17,9	82,1
ACT-020	91,7	8,3	0,05	21,0	27	4293	0,26	6,92	3,9	96,1	6,6	93,4	28,9	71,1
ACT-021	90,2	9,8	0,09	27,3	213	5544	0,09	5,45	4,1	95,9	26,1	73,9	11,4	88,6
ACT-022	86,6	13,4	0,14	25,3	34	4423	0,27	6,20	5,1	94,9	4,7	95,3	21,7	78,3
ACT-023	88,2	11,8	0,14	21,7	30043	337	0,46	34,4	4,7	95,3	32,4	67,6	9,1	90,9
ACT-024	83,3	16,7	0,22	21,2	556	1713	0,24	16,9	4,9	95,1	61,8	38,2	6,7	93,3
ACT-025	91,7	8,3	0,14	16,3	1006	592	0,07	3,32	8,9	91,1	5,0	95,0	18,7	81,3
ACT-026	88,3	11,7	0,12	30,5	217	6486	0,29	11,8	4,8	95,2	20,2	79,8	15,8	84,2
ACT-027	90,0	10,0	0,08	29,7	96	8499	0,22	13,0	3,3	96,7	9,2	90,8	13,5	86,5
ACT-028	90,0	10,0	0,08	15,7	71	404	0,34	33,3	6,9	93,1	27,7	72,3	13,3	86,7
ACT-029	90,3	9,7	0,07	7,2	1009	217	0,29	11,0	8,7	91,3	2,3	97,7	19,8	80,2
ACT-030	90,2	9,8	0,09	27,6	138	2315	0,16	26,9	3,7	96,3	3,9	96,1	5,1	94,9
ACT-031	87,5	12,5	0,08	21,5	18	16684	0,09	4,63	4,0	96,0	0,7	99,3	11,6	88,4
ACT-032	87,6	12,4	0,11	16,9	228	1150	0,41	10,7	4,5	95,5	58,3	41,7	21,4	78,6
ACT-033	91,3	8,7	0,12	33,7	344	5631	0,14	12,9	5,7	94,3	39,2	60,8	10,0	90,0
ACT-034	76,5	23,5	0,38	25,6	1057	178845	0,13	7,80	5,9	94,1	2,4	97,6	6,6	93,4
ACT-035	92,0	8,0	0,10	6,3	410	355	0,27	21,8	14,8	85,2	7,0	93,0	12,6	87,4
ACT-036	91,8	8,2	0,10	23,7	72	121463	0,04	8,01	8,6	91,4	1,4	98,6	11,3	88,7
ACT-037	89,5	10,5	0,10	27,3	142	4378	0,18	3,73	5,2	94,8	21,7	78,3	28,8	71,2
ACT-038	88,8	11,2	0,12	33,7	61	5631	0,28	5,78	4,6	95,4	7,0	93,0	27,7	72,3
ACT-039	85,9	14,1	0,07	18,9	1	26744	0,15	3,79	2,8	97,2	0,0	100,0	20,0	80,0
ACT-040	93,8	6,2	0,07	27,4	32	30756	0,05	7,31	3,0	97,0	1,5	98,5	10,2	89,8
ACT-041	89,7	10,3	0,04	9,2	109	8921	0,17	8,34	4,5	95,5	9,6	90,4	14,8	85,2
ACT-042	88,7	11,3	0,12	21,7	81	4567	0,09	6,40	10,9	89,1	12,2	87,8	10,4	89,6
ACT-043	86,0	14,0	0,04	18,6	137	1233	0,09	2,45	3,3	96,7	2,9	97,1	17,6	82,4

Amostra	% massa		S (%)		Teores As (ppm)		Au ppm		Distribuições (%)					
	FL	AF	FL	AF	FL	AF	FL	AF	S		As		Au	
ACT-044	88,1	11,9	0,10	23,2	12	38145	0,24	6,00	5,9	94,1	0,2	99,8	22,9	77,1
ACT-045	88,3	11,7	0,12	34,0	288	30384	0,58	15,4	4,2	95,8	6,7	93,3	22,2	77,8
ACT-046	90,5	9,5	0,20	26,6	80	22408	0,56	16,3	14,0	86,0	3,3	96,7	24,7	75,3
ACT-047	94,2	5,8	0,09	32,7	621	32936	0,15	10,8	3,8	96,2	23,6	76,4	18,6	81,4
ACT-048	95,4	4,6	0,07	3,7	2639	98828	0,41	6,16	27,7	72,3	2,2	97,8	57,6	42,4
ACT-049	89,0	11,0	0,11	12,8	328	20326	0,25	17,1	8,4	91,6	11,5	88,5	10,6	89,4
ACT-050	88,8	11,2	0,11	22,3	1506	9493	0,17	15,7	5,7	94,3	55,7	44,3	8,1	91,9
ACT-051	90,9	9,1	0,08	14,2	2670	2670	0,42	1,45	5,6	94,4	0,9	99,1	74,5	25,5
ACT-052	87,7	12,3	0,05	21,6	1387	7843	0,01	3,00	2,6	97,4	55,7	44,3	2,4	97,6
ACT-053	86,6	13,4	0,07	14,7	413	3264	0,06	1,80	8,4	91,6	45,0	55,0	17,8	82,2
ACT-054	88,0	12,0	0,03	6,2	7054	771	0,02	17,5	3,9	96,1	1,5	98,5	0,7	99,3
ACT-055	86,9	13,1	0,06	22,1	30	5093	0,11	2,40	4,7	95,3	3,7	96,3	23,5	76,5
ACT-056	94,1	5,9	0,09	21,7	242	132376	0,21	34,6	9,2	90,8	4,1	95,9	12,7	87,3
ACT-057	65,5	34,5	0,09	7,5	30	2318	0,44	13,7	3,7	96,3	2,4	97,6	9,4	90,6
ACT-058	87,8	12,2	0,09	22,3	68	14437	0,44	8,13	5,4	94,6	3,3	96,7	23,3	76,7
ACT-059	93,7	6,3	0,06	21,3	163	29703	0,21	4,94	6,7	93,3	7,6	92,4	11,5	88,5
ACT-060	88,9	11,1	0,06	21,9	250	1137	0,07	7,50	3,4	96,6	63,7	36,3	10,0	90,0
ACT-061	86,6	13,4	0,15	11,0	6678	14913	0,10	7,19	8,0	92,0	25,6	74,4	10,8	89,2
ACT-062	88,8	11,2	0,15	22,3	89	14437	0,15	7,92	9,3	90,7	5,2	94,8	26,0	74,0
ACT-063	85,0	15,0	0,07	17,6	91	8084	0,34	7,56	7,2	92,8	6,0	94,0	10,7	89,3
ACT-064	95,4	4,6	0,06	12,8	107	20326	0,10	4,90	5,2	94,8	3,6	96,4	4,5	95,5
ACT-065	82,9	17,1	0,04	13,0	162	1304	0,03	11,2	3,1	96,9	4,4	95,6	7,4	92,6
ACT-066	90,4	9,6	0,02	14,3	31	87477	0,10	6,26	1,5	98,5	0,3	99,7	6,7	93,3
ACT-067	87,8	12,2	0,02	14,2	31	107143	0,05	6,99	4,4	95,6	2,2	97,8	1,7	98,3
ACT-068	86,8	13,2	0,04	24,4	192	19471	0,15	61,8	1,2	98,8	6,1	93,9	16,2	83,8
ACT-069	90,6	9,4	0,12	21,0	327	132892	0,16	5,33	7,3	92,7	2,3	97,7	6,3	93,7
ACT-070	89,0	11,0	0,13	30,5	82	1051	0,17	23,9	5,5	94,5	39,2	60,8	14,8	85,2
ACT-071	84,7	15,3	0,16	21,2	104	30540	0,30	14,1	5,2	94,8	1,9	98,1	22,2	77,8
ACT-072	89,0	11,0	0,24	19,1	455	155535	0,23	4,47	9,1	90,9	2,3	97,7	4,2	95,8
ACT-073	88,1	11,9	0,08	26,5	132	1436	0,13	23,5	3,0	97,0	40,6	59,4	17,9	82,1
ACT-074	90,5	9,5	0,09	24,8	178	32341	0,12	4,15	3,4	96,6	5,0	95,0	26,3	73,7
ACT-075	95,2	4,8	0,05	34,2	266	725	0,11	2,89	2,8	97,2	12,1	87,9	6,4	93,6
ACT-076	91,3	8,7	0,07	32,2	158	13283	1,16	333,6	2,3	97,7	11,1	88,9	12,1	87,9
ACT-077	93,4	6,6	0,12	12,1	208	7232	0,14	10,5	12,1	87,9	28,9	71,1	20,6	79,4
ACT-078	88,2	11,8	0,08	35,6	57	9325	0,03	1,52	1,8	98,2	4,4	95,6	12,8	87,2
ACT-079	86,9	13,1	0,03	21,2	106	19505	0,10	5,09	1,9	98,1	3,5	96,5	10,3	89,7
ACT-080	93,7	6,3	0,06	27,0	75	11331	0,09	5,18	6,0	94,0	8,9	91,1	2,6	97,4
ACT-081	86,3	13,7	0,05	17,1	69	34708	0,05	27,1	3,3	96,7	2,4	97,6	12,2	87,8
ACT-082	88,3	11,7	0,09	18,2	41	20256	0,03	7,19	5,5	94,5	1,5	98,5	3,0	97,0
ACT-083	72,9	27,1	0,05	6,6	272	3042	0,30	5,96	2,9	97,1	19,4	80,6	12,0	88,0
ACT-084	75,5	24,5	0,06	6,1	102	2647	0,16	2,09	5,5	94,5	10,6	89,4	19,5	80,5
ACT-085	94,1	5,9	0,00	0,4	2304	2599	0,19	4,93	9,5	90,5	6,6	93,4	38,0	62,0
ACT-086	97,0	3,0	0,01	0,5	921	294	0,46	7,37	25,6	74,4	1,0	99,0	67,2	32,8
ACT-087	54,0	46,0	0,02	0,1	567	578	0,31	0,80	26,9	73,1	53,5	46,5	31,1	68,9
ACT-088	89,9	10,1	0,11	16,9	449	104637	0,18	26,5	7,4	92,6	5,2	94,8	7,8	92,2

APÊNCIDE 4 - Composições mineralógicas das amostras estudadas (fração -0,50+0,020 mm)

sid: siderita, anq: anquerita; arsenop: arsenopirita; pirrot: pirrotita. outros; albita, mica, goethita, ilmenita, rutilo, zircão, cromita, monazita, FeAsO, AlFe-PbAsO, apatita.

outros sulfetos: calcopirita, esfalerita e galena.

Amostra	% Massa								Sulfetos normalizados (%)			
	quartzo	mica	sid/anq	clorita	goet+ilm+rtl	albita	outros	Σsulf.	pirita	arsenop	pirrot	outros sulf
ACT-001	42,3	39,2	8,7	0,8	2,5	1,9	0,2	4,5	78,1	3,8	3,6	14,5
ACT-002	60,8	25,6	4,8	1,3	0,9	3,0	0,1	3,4	69,8	17,7	6,3	6,2
ACT-003	48,2	34,4	4,5	1,4	1,0	3,8	0,2	6,4	48,1	37,3	12,8	1,9
ACT-004	41,8	37,2	7,7	1,6	2,0	3,1	1,8	4,7	51,8	40,6	3,0	4,6
ACT-005	41,4	38,3	4,5	2,2	1,4	6,9	1,6	3,6	74,4	17,5	5,9	2,2
ACT-006	68,4	20,9	3,0	2,1	1,7	1,2	0,3	2,4	41,6	48,3	2,2	7,8
ACT-007	44,7	36,8	1,5	6,6	0,8	8,9	0,4	0,2	73,6	2,9	20,1	3,5
ACT-008	40,6	36,5	9,8	2,4	2,0	4,5	0,4	3,9	84,9	4,0	10,1	1,0
ACT-009	60,9	24,1	5,7	0,8	0,9	3,2	0,3	4,0	52,5	3,6	35,0	8,9
ACT-010	56,9	24,8	2,5	1,4	1,1	4,2	0,7	8,4	7,4	89,8	1,5	1,3
ACT-011	59,2	31,4	0,9	0,3	1,6	4,1	0,3	2,1	20,1	66,8	11,9	1,1
ACT-012	55,0	26,5	5,9	2,6	0,7	6,3	0,3	2,6	83,7	1,3	13,6	1,4
ACT-013	60,0	21,9	6,6	1,0	1,3	3,7	0,1	5,3	57,7	34,4	7,4	0,5
ACT-014	66,7	16,6	4,3	0,6	0,8	2,1	0,1	8,8	37,5	20,4	25,8	16,3
ACT-015	50,0	33,5	5,7	1,2	1,5	4,3	0,2	3,6	72,2	5,6	9,0	13,2
ACT-016	60,6	24,0	4,3	1,1	1,6	3,8	0,3	4,2	34,0	51,6	6,6	7,8
ACT-017	59,5	25,3	4,4	0,8	1,3	4,0	0,3	4,5	34,9	45,6	11,0	8,5
ACT-018	43,8	37,8	5,8	1,9	1,6	6,0	0,5	2,7	73,7	7,5	16,0	2,9
ACT-019	55,4	28,0	5,1	2,1	1,0	4,2	1,0	3,2	76,8	14,3	6,5	2,4
ACT-020	38,7	40,4	2,7	4,7	1,7	10,0	0,3	1,5	68,9	15,9	14,5	0,8
ACT-021	48	40	4,4	0,7	1,7	2,9	0,0	2,6	65,4	30,8	3,8	0,0
ACT-022	49,5	33,8	5,8	1,7	1,1	4,0	0,2	4,0	59,4	7,8	8,1	24,7
ACT-023	61,4	23,7	3,5	0,9	0,7	2,5	1,0	6,4	35,2	51,4	10,1	3,3
ACT-024	50,0	30,8	3,7	0,6	1,0	3,0	0,2	10,7	17,7	63,6	14,3	4,4
ACT-025	31,9	49,9	4,2	1,4	2,1	7,8	0,3	2,4	45,8	36,0	17,7	0,5
ACT-026	50,2	32,2	6,0	0,9	1,5	5,3	0,2	3,7	68,9	13,9	10,9	6,3
ACT-027	38,4	48,5	3,8	1,2	1,6	3,8	0,2	2,4	86,8	8,0	3,8	1,4
ACT-028	55,3	32,3	4,6	0,9	1,4	3,1	0,2	2,2	64,9	27,7	4,7	2,7
ACT-029	42,8	37,4	6,5	1,8	1,8	7,4	1,2	1,0	50,4	28,0	20,0	1,6
ACT-030	51,5	33,9	3,3	0,9	1,1	5,2	0,3	3,8	65,4	26,3	2,7	5,6
ACT-031	40,0	42,4	4,8	1,8	1,4	6,6	0,2	2,8	81,3	10,4	7,0	1,4
ACT-032	40,4	39,8	4,9	2,8	1,4	6,7	1,0	3,1	84,1	7,4	8,1	0,4
ACT-033	42,9	40,1	4,6	1,2	1,4	5,4	1,0	3,3	60,7	17,0	15,7	6,6
ACT-034	38,6	34,8	5,6	1,5	1,1	3,8	0,6	14,0	25,5	72,0	2,1	0,4
ACT-035	36,2	48,9	4,5	0,8	1,8	6,6	0,4	0,8	53,4	9,7	35,8	1,1
ACT-036	52,5	34,3	3,7	1,3	1,1	3,7	0,3	3,2	46,1	49,0	4,3	0,6
ACT-037	40,2	39,0	4,5	2,7	1,7	9,1	0,2	2,5	89,6	2,5	7,2	0,7
ACT-038	49,1	34,0	5,9	2,0	1,3	3,9	0,3	3,5	82,3	4,3	11,2	2,2
ACT-039	34,8	44,7	8,0	2,8	1,8	3,8	0,3	3,7	74,4	21,8	3,1	0,8
ACT-040	63,3	28,8	0,5	0,1	1,3	2,9	0,2	3,1	84,8	4,1	10,7	0,4

Amostra	% Massa								Sulfetos normalizados (%)			
	quartzo	mica	sid/anq	clorita	goet+ ilm+rtl	albita	outros	Σsulf.	pirita	arsenop	pirrot	outros sulf
ACT-041	60,1	27,6	6,5	0,6	1,6	2,1	0,3	1,1	73,1	19,5	3,3	4,2
ACT-042	33,9	45,3	6,5	1,8	1,5	9,1	0,3	1,6	67,7	4,5	27,5	0,4
ACT-043	34,1	43,2	7,9	1,6	1,5	9,2	0,4	2,0	53,9	32,1	13,4	0,6
ACT-044	40,7	39,2	4,8	4,4	1,3	7,4	0,3	1,9	49,8	28,3	19,8	2,1
ACT-045	46,1	35,2	5,3	3,2	1,1	3,5	0,2	5,3	63,0	21,8	14,3	1,0
ACT-046	51	38	1,9	0,5	1,2	3,3	0,9	3,2	66,7	27,8	1,8	3,7
ACT-047	62,4	30,3	0,1	0,2	0,8	1,9	0,2	4,3	66,9	24,8	4,5	3,8
ACT-048	44,3	35,0	8,4	1,2	2,1	7,3	0,3	1,3	58,2	13,0	27,9	0,9
ACT-049	46,0	34,4	7,5	0,9	1,3	7,0	0,2	2,7	43,4	37,8	18,4	0,5
ACT-050	54,4	28,9	6,1	0,9	1,3	3,5	0,2	4,5	27,9	56,1	10,2	5,8
ACT-051	51,5	30,5	6,8	0,7	1,1	6,7	0,4	2,4	62,5	14,6	15,9	6,9
ACT-052	48,5	33,9	5,9	0,9	1,3	3,6	0,3	5,7	60,4	25,9	10,3	3,4
ACT-053	48,7	38,0	0,1	5,5	3,0	4,2	0,3	0,2	32,7	59,6	7,4	0,2
ACT-054	37,4	41,5	7,1	1,0	2,0	9,7	0,6	0,7	40,9	21,0	36,9	1,3
ACT-055	33,6	46,7	5,6	1,7	1,6	9,0	0,3	1,4	89,8	2,6	6,9	0,7
ACT-056	51,9	35,9	1,2	0,3	1,4	7,0	0,1	2,1	23,6	62,5	10,4	3,5
ACT-057	51,4	32,8	4,8	0,8	1,4	7,2	0,2	1,5	43,7	43,9	9,5	2,9
ACT-058	50,3	32,5	7,2	1,5	1,6	4,5	0,2	2,3	76,3	19,1	3,8	0,8
ACT-059	28,6	47,2	14,6	1,3	2,7	3,5	0,2	1,9	91,9	1,7	5,6	0,8
ACT-060	47,7	35,8	5,8	0,9	1,6	5,1	0,2	2,9	62,0	29,0	6,7	2,3
ACT-061	36,1	42,9	7,6	1,6	1,9	7,2	0,4	2,3	66,4	13,4	19,4	0,9
ACT-062	38,8	32,6	6,4	3,4	2,0	13,8	0,3	2,5	60,0	4,3	35,5	0,2
ACT-063	35,6	36,2	10,5	1,9	1,7	12,3	0,2	1,7	54,2	15,9	28,9	0,9
ACT-064	64,1	30,8	0,2	0,1	1,1	1,5	0,1	2,1	47,7	45,3	3,1	3,9
ACT-065	35,5	40,8	9,8	1,5	2,4	7,2	0,3	2,5	50,8	45,6	3,5	0,1
ACT-066	45,5	42,1	5,0	0,8	1,4	2,6	0,2	2,4	58,6	35,4	5,1	0,9
ACT-067	44,8	37,2	7,0	0,9	2,2	4,0	0,3	3,5	46,7	49,0	3,9	0,4
ACT-068	49	37	4,4	0,7	2,0	3,0	0,3	3,6	54,0	43,1	1,6	1,4
ACT-069	63,1	32,0	0,3	0,2	1,0	1,3	0,1	2,0	45,7	47,3	3,9	3,1
ACT-070	38,1	41,3	6,0	1,4	1,8	7,5	0,4	3,6	80,8	11,6	5,5	2,1
ACT-071	41,3	39,9	6,4	1,6	2,0	4,8	0,4	3,6	85,6	7,6	4,0	2,8
ACT-072	44,6	34,0	6,5	1,0	1,1	5,6	0,4	6,9	15,2	54,7	27,4	2,8
ACT-073	42,2	37,6	5,2	3,4	1,6	7,2	0,4	2,4	83,6	8,8	6,6	0,9
ACT-075	45,2	34,3	5,9	5,0	1,4	4,5	0,8	3,0	71,3	22,0	6,3	0,5
ACT-076	55,3	29,8	3,7	2,5	1,0	4,8	0,3	2,7	84,1	6,3	8,6	0,9
ACT-077	39,5	36,0	1,6	6,7	2,0	12,7	0,2	1,3	84,8	9,4	5,0	0,8
ACT-078	64,8	21,7	4,5	0,7	1,0	2,3	0,2	4,8	73,2	3,9	6,9	15,9
ACT-079	51,8	30,7	7,5	1,3	1,2	3,4	0,4	3,8	32,6	19,6	3,7	44,2
ACT-080	44,4	39,8	3,3	0,9	1,3	8,9	0,2	1,2	69,7	5,7	20,6	4,0
ACT-081	45,4	34,2	6,1	5,0	1,4	4,3	0,7	2,9	73,1	20,9	5,3	0,7
ACT-082	43	41	6,3	1,7	1,7	4,0	0,3	2,7	63,9	31,3	4,2	0,5
ACT-083	49,3	26,9	13,9	1,1	3,6	3,1	0,2	1,9	76,5	11,4	10,6	1,6
ACT-084	49,6	31,7	10,8	0,8	3,2	2,7	0,2	1,1	79,8	17,7	1,6	0,9
ACT-085	47,0	45,8	0,0	0,3	2,9	3,9	0,1	0,0	44,0	47,1	2,3	6,6
ACT-086	78,3	16,7	0,1	0,6	2,1	2,1	0,1	0,0	31,0	16,1	52,9	0,0
ACT-087	31	36	0,0	14,2	14,9	1,7	2,1	0,0	52,8	19,6	4,0	23,5
ACT-088	49	37	4,5	0,7	2	3	0,3	3,5	54,3	42,9	2,9	0,0

APÊNCIDE 5 - Estimativa da distribuição de enxofre estudadas (fração - 0,50+0,020 mm)

Amostra	pirita	arsenopirita	pirrotita	calcopirita	esfalerita	galena
ACT-001	89,6	1,6	2,9	0,2	2,7	3,0
ACT-002	84,6	7,9	5,4	0,1	0,2	1,8
ACT-003	67,1	19,2	12,6	0,1	0,6	0,4
ACT-004	72,9	21,1	2,9	0,1	2,3	0,7
ACT-005	86,3	7,5	4,8	0,1	1,3	0,1
ACT-006	64,1	27,4	2,4	0,1	5,0	0,9
ACT-007	81,2	1,2	15,6	1,5	0,1	0,3
ACT-008	90,2	1,5	7,5	0,7	<0,1	<0,1
ACT-009	63,4	1,6	29,8	0,2	4,0	1,0
ACT-010	17,7	78,5	2,5	<0,1	0,8	0,4
ACT-011	37,6	46,0	15,7	0,1	0,3	0,4
ACT-012	88,4	0,5	10,2	0,6	0,3	<0,1
ACT-013	76,0	16,7	6,8	0,4	<0,1	<0,1
ACT-014	54,7	11,0	26,5	0,1	3,2	4,6
ACT-015	85,8	2,4	7,6	0,3	0,1	3,8
ACT-016	56,7	31,7	7,7	0,3	0,9	2,8
ACT-017	55,6	26,8	12,4	0,1	3,1	2,1
ACT-018	82,6	3,1	12,6	0,1	1,3	0,2
ACT-019	87,5	6,0	5,2	0,6	0,4	0,3
ACT-020	80,7	6,8	11,9	0,3	0,2	<0,1
ACT-021	47,7	18,7	33,6	<0,1	<0,1	<0,1
ACT-022	75,8	3,7	7,2	0,2	8,9	4,2
ACT-023	56,4	30,4	11,4	0,2	0,8	0,9
ACT-024	33,4	44,2	19,1	0,7	1,2	1,3
ACT-025	63,8	18,5	17,4	0,2	0,2	<0,1
ACT-026	81,7	6,1	9,1	0,6	1,5	1,0
ACT-027	93,1	3,1	2,9	0,4	0,5	0,1
ACT-028	81,6	12,9	4,1	0,4	0,5	0,5
ACT-029	66,7	13,7	18,7	<0,1	0,7	0,2
ACT-030	83,1	12,3	2,5	0,1	0,5	1,5
ACT-031	89,7	4,2	5,4	0,3	0,1	0,2
ACT-032	90,7	2,9	6,2	0,1	<0,1	0,1
ACT-033	75,9	7,8	13,8	0,3	0,4	1,8
ACT-034	47,5	49,4	2,8	0,1	0,1	0,1
ACT-035	64,5	4,3	30,5	0,3	0,3	0,1
ACT-036	68,3	26,8	4,5	<0,1	0,3	0,1
ACT-037	93,3	1,0	5,3	0,4	0,1	<0,1
ACT-038	88,5	1,7	8,5	0,5	0,6	0,1
ACT-039	87,5	9,4	2,5	0,4	0,1	<0,1
ACT-040	90,1	1,6	8,0	0,1	0,1	0,0
ACT-041	86,3	8,5	2,7	1,5	0,6	0,4
ACT-042	76,1	1,8	21,8	0,2	0,1	
ACT-043	71,4	15,7	12,5	0,5	<0,1	

Amostra	pirita	arsenopirita	pirrotita	calcopirita	esfalerita	galena
ACT-044	66,0	13,8	18,5	0,1	1,5	<0,1
ACT-045	77,2	9,8	12,3	0,2	0,5	0,1
ACT-046	83,1	12,8	1,6	0,1	2,2	0,2
ACT-047	83,3	11,4	4,0	0,2	0,2	1,0
ACT-048	69,9	5,8	23,7	0,4	0,3	<0,1
ACT-049	61,7	19,7	18,4	<0,1	<0,1	0,1
ACT-050	48,1	35,6	12,3	0,4	2,0	1,6
ACT-051	75,2	6,5	13,5	0,3	4,4	0,2
ACT-052	76,6	12,1	9,2	0,1	1,5	0,4
ACT-053	54,5	36,6	8,7	0,2		
ACT-054	54,3	10,3	34,5	0,6	0,3	0,1
ACT-055	93,6	1,0	5,0	0,1	0,2	0,1
ACT-056	42,3	41,4	13,1	0,1	2,6	0,5
ACT-057	64,0	23,7	9,8	0,2	2,2	0,1
ACT-058	88,3	8,2	3,1	0,3	<0,1	0,1
ACT-059	94,8	0,6	4,1	0,5	0,1	<0,1
ACT-060	79,1	13,6	6,0	0,5	0,2	0,4
ACT-061	77,7	5,8	16,0	0,4	0,2	<0,1
ACT-062	69,2	1,8	28,8	0,2	<0,1	<0,1
ACT-063	66,9	7,2	25,1	0,7	<0,1	<0,1
ACT-064	70,2	24,6	3,2	0,2	0,9	1,0
ACT-065	72,4	23,9	3,5	<0,1	0,1	
ACT-066	77,4	17,2	4,8	0,3	0,2	0,1
ACT-067	69,0	26,6	4,1	0,1	0,2	<0,1
ACT-068	75,5	22,2	1,6	0,1	0,4	0,3
ACT-069	67,7	25,8	4,1	0,7	1,4	0,3
ACT-070	89,8	4,7	4,3	0,1	0,7	0,2
ACT-071	92,4	3,0	3,1	0,3	0,9	0,3
ACT-072	27,4	36,3	34,8	0,1	0,5	1,0
ACT-073	90,8	3,5	5,1	0,4	0,2	<0,1
ACT-074	79,9	12,5	4,8	0,3	1,4	1,0
ACT-075	84,8	9,6	5,2	0,3	0,1	<0,1
ACT-076	90,6	2,5	6,5	0,1	<0,1	0,2
ACT-077	92,0	3,8	3,8	0,3	0,1	0,1
ACT-078	86,1	1,7	5,7	0,4	2,6	3,5
ACT-079	50,1	11,1	4,0	0,1	29,9	4,8
ACT-080	78,7	2,4	16,4	1,5	0,9	0,2
ACT-081	86,0	9,1	4,4	0,3	0,2	<0,1
ACT-082	81,3	14,7	3,8	0,1	0,2	0,1
ACT-083	75,0	22,0	2,0	<0,1	<0,1	<0,1
ACT-084	90,7	7,4	1,3	0,4	0,2	<0,1
ACT-085	65,5	25,8	2,4	4,1	2,2	
ACT-086	41,8	8,0	50,2			
ACT-087	75,9	10,4	4,1		2,0	7,7
ACT-088	85,9	4,7	8,4	0,6	0,3	0,1

APÊNCIDE 6 - Granulação média dos sulfetos (fração -0,50+0,020 mm)

Amostra	global	pirita	pirrotita	arsenopirita	calcopirita	esfalerita	galena
ACT-001	153	150	39	58	37	69	126
ACT-002	180	162	64	220	33	34	270
ACT-003	200	192	74	183	28	55	39
ACT-004	153	152	48	210	20	44	79
ACT-005	110	104	68	460	17	190	21
ACT-006	86	76	46	95	34	65	48
ACT-007	25	23	35	20	25	8	14
ACT-008	90	88	53	73	77	29	12
ACT-009	110	106	74	64	25	76	74
ACT-010	107	72	106	110	14	48	39
ACT-011	92	87	52	174	17	30	23
ACT-012	63	62	63	27	34	84	17
ACT-013	105	104	48	150	34	20	20
ACT-014	122	92	110	123	22	75	176
ACT-015	79	90	43	132	29	39	42
ACT-016	105	103	45	220	20	36	88
ACT-017	95	88	87	250	29	92	40
ACT-018	90	87	74	110	17	200	25
ACT-019	104	103	45	107	34	35	41
ACT-020	96	88	61	340	28	49	17
ACT-021	25	20	24	33			
ACT-022	110	104	39	111	29	74	48
ACT-023	120	88	76	153	25	51	44
ACT-024	130	125	62	120	155	80	48
ACT-025	89	87	36	125	40	25	14
ACT-026	105	122	36	123	68	53	45
ACT-027	112	110	34	77	47	33	15
ACT-028	110	106	40	165	34	31	30
ACT-029	66	64	36	220	10	37	36
ACT-030	100	98	29	120	17	32	53
ACT-031	110	108	36	78	69	32	14
ACT-032	130	127	48	218	15	4	28
ACT-033	110	106	48	106	40	38	57
ACT-034	106	104	37	106	28	49	64
ACT-035	128	125	52	54	27	19	12
ACT-036	160	128	43	212	12	21	20
ACT-037	152	148	31	54	32	20	24
ACT-038	110	106	61	86	40	48	29
ACT-039	128	121	65	165	30	36	34
ACT-040	77	79	62	51	25	40	7
ACT-041	77	68	39	270	93	47	34
ACT-042	74	92	33	55	12	14	

Amostra	global	pirita	pirrotita	arsenopirita	calcopirita	esfalerita	galena
ACT-043	106	91	46	180	42	12	
ACT-044	75	93	38	76	24	39	15
ACT-045	122	120	65	148	44	48	21
ACT-046	71	74	23	60	24	57	16
ACT-047	90	76	55	180	28	33	65
ACT-048	73	106	42	60	29	27	13
ACT-049	87	130	52	88	17	13	41
ACT-050	91	65	46	180	78	42	33
ACT-051	93	104	55	185	40	68	29
ACT-052	178	152	79	189	57	38	30
ACT-053	61	46	20	94	8		
ACT-054	74	64	45	210	25	18	17
ACT-055	105	106	73	33	14	48	18
ACT-056	105	63	44	152	33	160	38
ACT-057	88	75	33	112	24	58	22
ACT-058	76	75	29	165	20	8	20
ACT-060	130	120	62	210	37	33	93
ACT-061	76	89	33	93	34	28	8
ACT-062	76	121	54	57	20	14	6
ACT-063	88	107	44	91	37	7	6
ACT-064	90	88	45	107	30	39	109
ACT-065	128	110	34	150	8	14	
ACT-066	103	104	42	90	43	20	19
ACT-067	106	105	64	91	20	28	10
ACT-068	154	117	55	153	18	40	49
ACT-069	95	88	48	110	68	54	47
ACT-070	124	123	62	158	25	51	45
ACT-071	105	107	39	74	34	72	38
ACT-072	124	181	51	180	68	41	70
ACT-073	110	106	32	107	29	65	12
ACT-074	125	126	36	186	36	42	36
ACT-075	90	88	220	308	32	29	17
ACT-076	104	90	73	120	19	36	35
ACT-077	78	75	44	118	24	34	15
ACT-078	77	90	64	91	40	51	38
ACT-079	107	91	58	122	43	206	65
ACT-080	57	63	32	68	94	33	24
ACT-081	95	92	68	215	36	68	12
ACT-082	152	151	39	176	20	24	20
ACT-083	97	95	52	195	54	17	30
ACT-084	91	78	20	220	48	17	8
ACT-085	8	14	4	29	7	4	
ACT-086	24	17	28	14			
ACT-087	29	28	17	120			
ACT-083	189	160	55	150	18	42	50

APÊNCIDE 7 - Caracterização dos grãos de ouro (fração -0,50+0,020 mm)

Amostra	Microscopia eletrônica - MEV/EDS/MLA					Diâmetros estatísticos (µm) ECD			
	seções	horas	campos	partículas c/ Au	Grãos de ouro	D ₀₅	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
ACT-001	2	5,0	946	10	15	3,3	5,2	10	15,2
ACT-002	2	5,0	946	8	13	2,3	2,7	5,5	8,9
ACT-003	2	5,0	946	23	31	3,1	3,8	15	20,5
ACT-004	2	5,0	946	14	15	3,6	6	15	20
ACT-005	2	5,0	946	13	19	2,2	17	65	70
ACT-006	2	5,0	946	39	54	3,8	5,6	15	25,6
ACT-007	4	10,0	1892	5	6	2,6	3,8	7,5	10,2
ACT-008	5	12,5	2365	18	21	6,5	17,8	50	61
ACT-009	2	5,0	946	14	15	1,9	2,3	5,5	7,2
ACT-010	2	5,0	946	14	17	1,7	2,1	4	7,4
ACT-011	2	5,0	946	19	24	6,7	16,8	35	51
ACT-012	4	10,0	1892	2	2	12,0	13,2	20	25
ACT-013	2	5,0	946	8	10	4,0	9,2	25	30,2
ACT-014	2	5,0	946	49	72	4,7	5,7	20	35,2
ACT-015	2	5,0	946	15	18	2,3	3,1	9,5	10,5
ACT-016	2	5,0	946	25	49	3,1	4,8	23	36
ACT-017	2	5,0	946	16	33	9,6	13,7	35	60
ACT-018	5	12,5	2365	2	3	0,4	0,9	2	2,3
ACT-019	2	5,0	946	14	20	3,6	4,2	11	14,7
ACT-020	5	12,5	2365	15	15	9,4	18	50	61
ACT-021	5	12,5	2365	12	23	1,8	2,8	6	9,2
ACT-022	2	5,0	946	12	14	3,0	4,2	18	25,5
ACT-023	4	10,0	1892	31	51	5,2	6,2	24	30,9
ACT-024	4	10,0	1892	39	68	4,8	6,2	26	61
ACT-025	4	10,0	1892	14	21	1,8	2	5,7	7,9
ACT-026	2	5,0	946	23	24	2,7	2,8	9,5	18,3
ACT-027	2	5,00	946	9	12	31,0	36	65	86
ACT-028	5	12,5	2365	13	20	2,1	2,7	10	18,2
ACT-029	4	10,0	1892	10	23	2,3	2,7	8	12,8
ACT-030	2	5,0	946	28	35	6,2	9,2	25	36
ACT-031	5	12,5	2365	15	23	3,2	4,8	16	21,4
ACT-032	11	27,5	5203	20	20	3,7	5,2	23	36
ACT-033	2	5,0	946	12	13	5,2	7,6	12	14,9
ACT-034	2	5,0	946	42	47	1,7	1,9	6	15,6
ACT-035	4	10,0	1892	9	10	6,0	7,2	25	31,6
ACT-036	2	5,0	946	11	14	2,5	2,9	4,4	7,8
ACT-037	4	10,0	1892	12	12	3,6	6,8	25	31,2
ACT-038	3	7,5	1419	6	14	2,6	2,9	11	18,3
ACT-039	2	5,0	946	12	18	2,2	2,5	7,5	9,3
ACT-040	2	5,0	946	22	46	2,4	2,7	9	18,4
ACT-041	5	12,5	2365	4	4	5,6	6,8	23	30,8
ACT-042	2	5,0	946	8	9	4,3	5,2	13	15,2
ACT-043	2	5,0	946	11	29	1,9	2,6	7,5	13,5

Amostra	Microscopia eletrônica - MEV/EDS/MLA					Diâmetros estatísticos (µm) ECD			
	seções	horas	campos	partículas c/ Au	Grãos de ouro	D ₀₅	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
ACT-044	2	5,0	946	19	27	2,6	3,1	8	13
ACT-045	2	5,0	946	57	70	2,2	2,9	15	30,8
ACT-046	2	5,0	946	13	18	5,2	10,2	25	26,2
ACT-047	2	5,0	946	24	31	2,5	3,1	9,5	15,1
ACT-048	11	27,5	5203	7	18	3,6	5,2	11	13
ACT-049	2	5,0	946	9	19	3,1	5,2	16	25,3
ACT-050	2	5,0	946	24	39	2,6	3,9	20	30,8
ACT-051	4	10,0	1892	17	23	6,1	8,3	22	25,3
ACT-052	2	5,0	946	16	17	4,3	5,7	15	25
ACT-053	5	12,5	2365	4	4	2,3	3,1	5	6,6
ACT-054	11	27,5	5203	10	11	3,4	3,9	6,2	9,2
ACT-055	5	12,5	2365	8	11	2,1	2,6	6	9,3
ACT-056	2	5,0	946	8	9	4,6	9,4	20	25,6
ACT-057	4	10,0	1892	5	6	14,0	22	27	34,5
ACT-058	2	5,0	946	17	26	2,5	3,8	9	15,2
ACT-059	2	5,0	946	8	9	5,2	8,7	20	26
ACT-060	2	5,0	946	9	15	7,9	17	25	30
ACT-061	4	10,0	1892	9	11	1,8	2,6	8,5	15,1
ACT-062	2	5,00	946	15	26	5,7	7	35	51
ACT-063	2	5,0	946	7	11	1,9	3,6	6,2	7,8
ACT-064	2	5,0	946	24	56	2,9	3,3	17	24
ACT-065	2	5,0	946	5	10	1,9	2,6	5	9,4
ACT-066	4	10,0	1892	15	18	3,6	4,5	9,5	13,1
ACT-067	4	10,0	1892	17	23	2,1	3,1	6,5	9,2
ACT-068	2	5,0	946	32	43	3,6	3,7	14	25,8
ACT-069	2	5,0	946	36	48	3,5	5,2	13	31,1
ACT-070	2	5,0	946	8	51	2,6	2,8	8	17,2
ACT-071	2	5,0	946	13	18	1,9	2,5	6	7,7
ACT-072	4	10,0	1892	25	46	2,6	3,5	15	36
ACT-073	2	5,0	946	16	20	10,2	11	32	36,2
ACT-074	4	10,0	1892	21	29	21,0	32	65	89,5
ACT-075	2	5,0	946	69	80	15,2	29	50	63,5
ACT-076	2	5,0	946	23	39	3,1	3,9	22	29,3
ACT-077	4	10,0	1892	12	14	1,9	2,6	7	9,3
ACT-078	4	10,0	1892	15	19	4,6	7,6	27	31,4
ACT-079	4	10,0	1892	13	18	8,0	16,5	45	61,2
ACT-080	2	5,0	946	7	14	0,8	1,3	2,5	3,9
ACT-081	2	5,0	946	13	14	2,2	2,7	6	8,9
ACT-082	4	10,0	1892	14	15	9,7	17	55	72
ACT-083	5	12,5	2365	4	5	3,6	6,8	12	15,2
ACT-084	4	10,0	1892	3	5	1,1	1,9	2,6	3,3
ACT-085	11	27,5	5203	5	5	61,0	68	70	74,6
ACT-086	4	10,0	1892	7	18	8,1	12	36	51
ACT-087	4	10,0	1892	2	4	8,1	15	20	26,4
ACT-088	2	5,0	946	11	16	3,1	3,8	15	18,6

APÊNCIDE 8 - Características dos grãos de ouro (fração -0,50+0,020 mm)

Amostra	Composição média dos grãos (%)		Distribuição de ouro (2D - %)		
	Au	Ag	Exposto	Não encapsulado	Incluso
ACT-001	61,9	38,1	79,9	2,4	17,7
ACT-002	81,8	18,2	4,3	1,4	94,2
ACT-003	77,1	22,9	78,4		21,6
ACT-004	74,7	25,3	95,6	0,9	3,5
ACT-005	75,8	24,2	98,1	0,0	1,9
ACT-006	67,4	32,6	89,1	1,1	9,9
ACT-007	81,1	18,9	87,3		12,7
ACT-008	81,5	18,5	97,0	0,1	2,9
ACT-009	70,1	29,9	56,1	8,2	35,7
ACT-010	73,3	26,7	76,5	2,9	20,6
ACT-011	78,8	21,2	94,9	0,5	4,6
ACT-012	83,3	16,7	100,0		
ACT-013	82,4	17,6	98,4		1,6
ACT-014	66,1	33,9	94,4	0,5	5,0
ACT-015	55,8	44,2	81,7	3,5	14,8
ACT-016	87,5	12,5	18,5	64,4	17,2
ACT-017	59,6	40,4	97,5	1,5	1,0
ACT-018	68	32	52,9		47,1
ACT-019	81,7	18,3	53,0	1,3	45,7
ACT-020	85,8	14,2	99,3	0,1	0,6
ACT-021	78,6	21,4	45,9	0,9	53,2
ACT-022	72,3	27,7	93,4		6,6
ACT-023	84,8	15,2	80,0	9,5	10,5
ACT-024	67,7	32,3	81,5	0,5	17,9
ACT-025	77,2	22,8	16,2		83,8
ACT-026	71,7	28,3	81,5		18,5
ACT-027	76,6	23,4	99,8		0,2
ACT-028	79,4	20,6	81,2		18,8
ACT-029	81,9	18,1	74,2	3,7	22,1
ACT-030	73,5	26,5	81,8	1,1	17,1
ACT-031	81,9	18,1	51,7	39,0	9,3
ACT-032	85,8	14,2	93,0	1,2	5,8
ACT-033	62,4	37,6	60,9	14,7	24,4
ACT-034	67,2	32,4	65,8		34,2
ACT-035	85,6	14,4	99,0	0,7	0,2
ACT-036	67,5	32,5	13,7	12,5	73,8
ACT-037	82,8	17,2	95,9		4,1
ACT-038	69,5	30,5	90,9		9,1
ACT-039	82,4	17,6	69,3	23,3	7,4
ACT-040	77	23	63,5	4,1	32,4
ACT-041	78,1	22,1	94,9	5,1	
ACT-042	80,4	19,6	82,0		18,0
ACT-043	85,6	14,4	6,9	74,2	18,9

Amostra	Composição média dos grãos (%)		Distribuição de ouro (2D - %)		
	Au	Ag	Exposto	Não encapsulado	Incluso
ACT-044	76,6	23,4	44,8	10,9	44,4
ACT-045	69,3	30,7	83,1	0,4	16,5
ACT-046	70,9	29,1	96,8		3,2
ACT-047	68,3	31,7	97,3		2,7
ACT-048	96,4	3,6	75,5	21,2	3,3
ACT-049	83,5	16,5	95,5		4,5
ACT-050	56,9	43,1	86,3	6,1	7,6
ACT-051	81,9	18,1	96,3	2,2	1,6
ACT-052	69	31	86,0	7,5	6,6
ACT-053	74,3	25,7	45,7		54,3
ACT-054	79,7	20,3	47,5	6,2	46,3
ACT-055	79,3	24,9	7,2		92,8
ACT-056	84,5	15,5	94,3		5,7
ACT-057	91,1	8,9	98,0		2,0
ACT-058	80,2	19,8	79,4		20,6
ACT-059	75,7	24,3	85,0	3,2	11,9
ACT-060	82,3	17,7	98,4	1,4	0,2
ACT-061	76	24	87,7		12,3
ACT-062	83,5	16,5	8,5	3,9	87,6
ACT-063	82,3	17,7	62,3		37,7
ACT-064	63,1	36,9	83,4		16,6
ACT-065	78	22	5,9		94,1
ACT-066	76	24	75,6	9,2	15,2
ACT-067	77,9	22,1	46,5	20,1	33,5
ACT-068	73,5	26,5	85,3		14,7
ACT-069	74,8	25,2	77,6	1,0	21,4
ACT-070	69,5	30,5	47,4		52,6
ACT-071	67,8	32,2	66,4	18,5	15,1
ACT-072	50,7	49,3	73,8	3,7	22,5
ACT-073	80,2	19,8	98,6	0,6	0,8
ACT-074	81,2	18,8	97,8	0,4	1,8
ACT-075	86,7	13,3	99,3		0,7
ACT-076	84,5	15,5	88,6		11,4
ACT-077	84,9	15,1	83,3	4,7	12,0
ACT-078	45,9	54,1	96,4	1,1	2,5
ACT-079	41,5	58,5	92,6	6,8	0,5
ACT-080	82,8	17,2			100,0
ACT-081	82,5	17,5	18,4		81,6
ACT-082	72,5	27,5	97,4	0,1	2,5
ACT-083	75,2	24,8	98,4		1,6
ACT-084	92,7	7,3			100,0
ACT-085	82,8	17,2	76,4		23,6
ACT-086	86,1	13,9	99,6		0,4
ACT-087	90,4	9,61	99,6	0,4	0,0
ACT-088	70,6	29,4	94,3	3,9	1,7

APÊNCIDE 9 - Associações dos grãos de ouro por perímetro de contato (2D)

Não encapsulado: sid: siderita, anq: anquerita. Outros: albita, mica, goethita, ilmenita, rutilo, zircão, cromita, monazita, FeAsO, AlFe-PbAsO, apatita. Incluso outros: pirrotita, calcopirita, esfalerita e galena.

Amostra	exposto (%)	Não encapsulado (%)						Incluso (%)		
		pirita	arsenopirita	quartzo	clorita	anq+sid	outros	pirita	arsenopirita	outros
ACT-001	80,1	1,7				0,7		6,7	10,8	
ACT-002	4,3				0,5		0,4	47,5	47,2	
ACT-003	78,4							16,4	5,2	
ACT-004	95,4				0,4	0,3	0,3	2,3	1,3	
ACT-005	98,2							1,2	0,7	
ACT-006	88,5			0,6	0,4		<0,1	9,4	1,0	
ACT-007	87,4							12,6		
ACT-008	96,9			0,1			0,1	2,0		1,0
ACT-009	55,9			5,9			2,2	30,3	5,7	
ACT-010	74,1			2,3	1,2				22,4	
ACT-011	94,9				0,4		0,1		4,3	0,3
ACT-012	100,0									
ACT-013	98,5							0,9	0,7	
ACT-014	94,1			0,2	0,1		0,2	2,4	3,0	
ACT-015	82,0			2,0			1,3	2,6	12,0	
ACT-016	18,5		2,1	0,6			61,7	1,9	2,2	13,1
ACT-017	97,5		0,0	0,7	0,4		0,4	0,4	0,7	
ACT-018	52,9							47,1		
ACT-019	53,0			1,1			0,2	19,6	26,1	
ACT-020	99,3			<0,1			<0,1	0,6		
ACT-021	45,9			0,6			0,3	25,8	27,4	
ACT-022	92,9			0,3			0,2	0,9	5,7	
ACT-023	80,0	5,1				4,2	0,2	0,4	6,4	3,8
ACT-024	81,5	0,1			0,4		0,1	0,9	17,0	
ACT-025	16,2							71,0	12,8	
ACT-026	81,5							14,8	3,7	
ACT-027	99,8							0,2		
ACT-028	81,2							11,1	7,7	
ACT-029	74,2				2,9	0,8		20,6	1,5	
ACT-030	81,8			0,3	0,1	0,5	0,3	1,9	6,2	9,0
ACT-031	51,7			14,6	16,8		7,7	7,5	1,8	
ACT-032	93,0			0,9			0,3	5,5	0,3	
ACT-033	60,9				13,1	1,6		2,4	22,0	
ACT-034	65,8			6,4	0,7		2,8	1,7	22,5	
ACT-035	99,0						0,7		0,2	
ACT-036	13,7			10,0			2,5	25,1	48,7	
ACT-037	95,9							2,4	0,7	0,9
ACT-038	90,9							7,3	1,8	
ACT-039	69,3	10,7		12,6				5,4	2,0	
ACT-040	63,5			2,6	0,2		1,3	20,4	12,0	
ACT-041	94,9								5,1	
ACT-042	82,0							16,6	1,4	

Amostra	exposto (%)	Não encapsulado (%)						Incluso (%)		
		pirita	arsenopirita	quartzo	clorita	anq+sid	outros	pirita	arsenopirita	outros
ACT-043	6,9	0,9	2,6			10,5	60,4	6,8	4,6	7,3
ACT-044	44,8			2,6	5,3		3,0	4,8	39,6	
ACT-045	83,1			0,3			0,1	8,5	8,0	
ACT-046	96,8							1,4	1,4	0,3
ACT-047	97,3							0,6	2,0	
ACT-048	75,5		7,5		10,3		3,4			3,3
ACT-049	95,5							3,6	0,8	
ACT-050	84,4			3,4			2,7	6,1	1,5	1,9
ACT-051	96,3			0,3	1,5		0,4	1,0	0,6	
ACT-052	86,0	1,3	0,2		2,2	2,0	1,7		6,6	
ACT-053	45,7							48,3	6,0	
ACT-054	47,5	3,5			2,7			11,2	35,1	
ACT-055	7,2							83,5	9,3	
ACT-056	94,3								5,7	
ACT-057	98,0							1,2	0,8	
ACT-058	79,4							5,5	15,1	
ACT-059	85,0				2,3		0,9	0,7	11,2	
ACT-060	98,4	0,6	0,5		0,2	0,1			0,2	
ACT-061	87,7							5,5	6,8	
ACT-062	8,5			2,9	0,2		0,8	87,6		
ACT-063	62,8							14,9	22,3	
ACT-064	83,4			0,7	0,2		0,7	4,2	10,7	
ACT-065	5,9				9,8	6,3		64,4	13,7	
ACT-066	75,6		0,3	6,8	0,2		2,0		15,2	
ACT-067	46,5		0,9	5,5	11,5	1,5	0,6	31,5	2,0	
ACT-068	85,3		0,7	2,6	1,3		0,7	4,0	5,6	
ACT-069	77,6		<0,1		0,4		0,6	1,3	20,0	
ACT-070	30,3	6,0	7,1		0,9		3,1	2,8	49,8	
ACT-071	73,8	1,7			0,3		1,6	7,7	14,8	
ACT-072	66,4	0,2	0,7	10,4		0,7	6,5	9,6	0,7	4,9
ACT-073	98,6		<0,1	0,4	0,2		<0,1	0,2	0,5	
ACT-074	97,8			0,1	0,2	0,1	<0,1	0,7	1,0	0,1
ACT-075	99,3							0,4	0,1	0,2
ACT-076	88,6							10,9	0,5	
ACT-077	83,3			2,9			1,8	12,0		
ACT-078	96,4			0,8			0,3	2,3		0,1
ACT-079	92,6			2,6	1,8		2,5	0,4	0,1	
ACT-080								5,5	94,5	
ACT-081	18,4		6,7	6,3	7,9		9,9	35,1	15,8	
ACT-082	97,4			<0,1			<0,1	2,2	0,3	
ACT-083	98,4								1,6	
ACT-084									100,0	
ACT-085	100,0								<0,1	
ACT-086	99,6							0,4		
ACT-087	99,6						0,4			
ACT-088	94,3		1,6		2,4				1,7	

APÊNCIDE 10 - Imagens de elétrons retroespalhados - Grãos de ouro acessível

Teores (% em massa)					
EDS	S	Fe	As	Ag	Au
1				26,3	73,7
2				28,4	71,6
3	19,2	40,3	40,4

Teores (% em massa)				
EDS	S	Fe	Ag	Au
1			19,6	80,4
2	46,5	53,5

Teores (% em massa)					
EDS	S	Fe	As	Ag	Au
1				25,1	74,9
2				28,3	71,7
3	18,0	38,9	43,1

Teores (% em massa)						
EDS	S	Fe	Cu	Ag	Au	Pb
1				72,7	27,3	
2	45,5	54,5				
3	14,8					85,2
4	32,3	36,9	30,8			

APÊNCIDE 11 - Imagens de elétrons retroespalhados - Grãos de ouro não encapsulado

EDS	Teores (% em massa)						
	S	Fe	Cu	As	Ag	Au	Pb
1					37,7	62,3	
2	15,4						84,6
3	32,7	35,8	31,6				
4	18,9	39,0		42,1			
5	45,2	54,8					
6	11,1						88,9

EDS	Teores (% em massa)					
	S	Fe	As	Ag	Au	
1				10,5	89,5	
2	19,2	38,9	41,9			
3	44,8	55,2

EDS	Teores (% em massa)						
	S	Fe	Zn	Ag	Au	Pb	
1				23,7	76,3		
2	26,7	8,07	65,2				
3	22,6					77,4	
4	47,3	52,7

EDS	Teores (% em massa)						
	S	Fe	Zn	Ag	Au	Pb	
1				63,8	36,2		
2	14,6					85,4	
3	13,3					86,7	
4	26,1	14,4	59,5				
5	45,0	55,0					

APÊNCIDE 12 - Imagens de elétrons retroespalhados - Grãos de ouro inclusos

EDS	Teores (% em massa)			
	S	Fe	Ag	Au
1			10,5	89,5
2	44,1	55,9

EDS	Teores (% em massa)			
	S	Fe	Ag	Au
1			13,6	86,4
2			12,7	87,3
3	44,1	55,9

EDS	Teores (% em massa)				
	S	Fe	Ag	Au	Pb
1			11,1	88,9	
2			8,23	91,8	
3	13,5				86,5
4	20,3				79,7
5	46,6	53,4

EDS	Teores (% em massa)					
	SiO ₂	S	Fe	As	Ag	Au
1					14,8	85,2
2					13,7	86,3
3	100,0					
4		18,7	40,2	41,1		