

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais (Elias Mondlane e Lúcia Chitre) pelo apoio incondicional que sempre concederam durante todos estes anos de escolaridade e ao meu filho (Otto Lucílio G. Mondlane).

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus pai todo-poderoso pelo dom da vida e por iluminar o meu caminho de tal forma que este sonho de ser mestre se tornasse em uma realidade.

A minha família no geral e em especial aos meus pais Elias Mondlane e Lúcia Chiúre, aos meus irmãos Elísio Mondlane, Stélia Mondlane, Silvano Mondlane. Muito obrigado pelo acompanhamento e o apoio que sempre me prestaram desde o ensino primário.

A empresa Ncondezi Coal Company por financiar os meus estudos e estadia em Portugal vai o meu muito obrigado.

Ao Prof. Doutor Fernando Antunes G. Pita e ao Prof. Doutor João António M. S. Pratas, vai o meu especial obrigado não apenas por terem sido orientadores presentes e sempre disponíveis a ajudar, mas também pelos ensinamentos que foram transmitindo nas diversas disciplinas do mestrado.

Muito obrigado a todo corpo docente do DCT-FCTUC em especial a Prof. Doutora Lídia Catarino, Prof. Fernando Pedro, Prof. Doutor Alcides Pereira, Prof. Doutor Nelson Rodrigues, Prof. Doutor Pedro Callapez, Prof. Doutor Fernando Carlos, Prof. Doutor Fernando Castelo Branco e Prof. Doutor Saraiva pela forma sábia como conduziram as suas aulas.

Ao pessoal da LNEG o meu muito obrigado pela cedência do material bibliográfico da Escadia Grande.

A Somincor na pessoa do Eng. Alexandre muito obrigado pela cedência dos reagentes.

Aos meus colegas de mestrado no geral e em especial ao meu companheiro e amigo de longa data Rudêncio Morais vai o meu muito obrigado por tudo. Ao Igor Morais e Joana Campos o meu muito obrigado pela vossa disponibilidade em ajudar sempre que foi necessário.

Muito obrigado corpo técnico e administrativo do DCT-FCTUC em especial ao Sr. Carlos, Sra. Manuela pela ajuda concedida no laboratório.

Aos meus amigos Dário Dias, Elma Magaia, Fernando Mulhovo, Fidel Ataide, Delfina Macabi, Nelson Macondzo, Mirsa Ivete, Orlanda Matsule, Francisco Tamele e família, o meu muito obrigado por terem me amparado durante a minha estadia em Portugal.

Resumo

As antigas minas têm sido actualmente alvo de muitos estudos de forma a responder a vários objectivos. Grande parte dos estudos centram-se nas seguintes vertentes: económica de modo a avaliar as possibilidades de retomar a actividade mineira; ambiental que visa a estudar os impactos decorrentes da actividade mineira no passado e as possíveis formas de mitigação destes impactos; científica que permite aprofundar o conhecimento sobre todos os aspectos ligados à exploração mineira desde a fase de reconhecimento até à mineração propriamente dita.

Este trabalho tem como alvo uma antiga mina de ouro da região de Góis denominada Escadia Grande. Aqui pretende-se processar através da flutuação o material de escombreira desta antiga mina de forma a separar alguns sulfuretos dos outros minerais existentes. O processo de separação por flutuação depende de muitos factores, no presente estudo foi analisado a influência da concentração dos reagentes (Amil xantato de potássio, Aerofina 3418A, CuSO_4), do pH e do tempo de condicionamento.

Os sulfuretos analisados foram: arsenopirite, galena, esfalerite, calcopirite e argentite. Para além destes minerais estudou-se também o comportamento do ouro.

O controlo do processo de flutuação foi efectuado a partir do teor e recuperação no flutuado, cujos resultados foram determinados com auxílio das duas seguintes técnicas: espectrometria de fluorescência de raios-X e espectrometria de absorção atómica.

Os resultados obtidos mostraram haver uma proporcionalidade directa entre a recuperação dos sulfuretos e o aumento da concentração dos colectores (PAX, Aerofina 3418A) e do activador (CuSO_4) até determinados valores, pois para concentrações muito elevadas há ligeira diminuição da recuperação.

A arsenopirite apresenta os maiores teores, contudo é o mineral com menores recuperações. O ouro apresenta resultados semelhantes à arsenopirite, consequência da maior parte dele estar associado à arsenopirite. A galena, esfalerite, calcopirite e argentite conduziram a elevadas recuperações e foram recuperados nos primeiros minutos do processo de flutuação. O flutuado apresenta um calibre mais fino que o afundado, traduzindo a maior dificuldade em flutuar partículas grosseiras e a maior facilidade de arrastamento das partículas finas.

Palavras-chave: Escadia Grande, Escombreira, Flutuação, Sulfuretos e Ouro

Abstract

The old mines have now been the subject of many studies in order to meet several objectives. Much of the research focuses on the areas: economic in order to assess the possibilities of resuming mining operations; environmental aims to study the impacts of mining activities in the past and possible ways of mitigating these impacts; scientific allowing deepen knowledge about all aspects from initial recognition to the mining itself.

This work has targeted an old gold mine in the region of Goiás called Escadia Grande. Here it is intended to be processed through flotation the tailings of this old mine in order to make the separation between sulphides and other existing minerals. However, this separation of minerals depends on several factors, of which we highlight those that were analyzed in this study: the influence of reagents (PAX, Aerofina 3418A, and CuSO_4), pH and conditioning time.

The sulphides analyzed were: arsenopyrite, galena, sphalerite, chalcopyrite and argentite. In addition to these minerals was also studied the behavior of gold.

The control of the flotation process was performed from the grades and recoveries of floated material whose the results were determined with the aid of the following two techniques: X-rays fluorescence spectrometry and atomic absorption spectrometry.

The results showed there was a direct proportionality between the increase of concentration of collectors (PAX, Aerofina 3418A) and activator (CuSO_4) to certain values as at very high concentrations there is a tendency to reduce the grade of sulphides.

The arsenopyrite shows the higher grades, yet it is the mineral with lower recoveries. Gold presents similar results to arsenopyrite, due to the greater part thereof to be associated with arsenopyrite. The galena, sphalerite, chalcopyrite and argentite led to higher recoveries and were recovered in the first minutes of the flotation process. The floated materials presents a gauge thinner than the sunken, reflecting the greater difficulty to float coarse particles and ease of entrainment of fine particles.

Keywords: Escadia Grande, Tailing heap, Flotation, Sulphides and Gold

Índice geral

Dedicatória	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Índice de tabelas	xiv
Lista de símbolos e abreviaturas	xv
1. Generalidades.....	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Objectivos.....	3
1.2.1 Objectivo Geral.....	3
1.2.2 Objectivos Específicos.....	3
1.3 Revisão bibliográfica da antiga mina de ouro da Escadia Grande	4
1.3.1 Localização da área em estudo.....	4
1.3.2 Referência Histórica.....	4
1.3.3 Enquadramento Geológico do Jazigo	5
1.3.4 O Jazigo da Concessão da Escadia Grande.....	7
1.3.5. Sequência dos trabalhos de Exploração.....	8
1.3.6. Minério.....	11
1.4 Sulfuretos.....	13
1.4.1 Génese dos sulfuretos	13
1.4.2 Principais sulfuretos.....	13
1.4.2.1 Argentite (Ag_2S).....	14

1.4.2.2 Arsenopirite (FeAsS).....	15
1.4.2.3 Pirite (FeS ₂)	16
1.4.2.4 Galena (PbS)	17
1.4.2.5 Calcopirite (CuFeS ₂)	18
1.4.2.6 Esfalerite (ZnS)	19
1.4.2.7 Ouro (Au)	20
1.4.3 Produção minérios metálicos em Portugal.....	21
1.4.4 Particularidades dos sulfuretos em relação ao processo de separação.....	23
1.5 Flutuação	24
1.5.1 Reagentes e mecanismos de acção.....	25
1.5.1.1 Principais Reagentes usados na flutuação de sulfuretos	26
1.5.1.2 Factores que influenciam a flutuação.....	28
2. Materiais e Métodos.....	31
2.1 Revisão Bibliográfica	31
2.2 Trabalho de Campo	31
2.3 Ensaio Laboratoriais	32
2.3.1 Fragmentação.....	32
2.3.2 Classificação	33
2.3.3 Flutuação.....	33
2.3.3.1 Célula de Flutuação.....	34
2.3.3.2 Reagentes	34
2.3.4 Análise Químicas	36
2.3.4.1 Espectrometria de Fluorescência de raios-X.....	37

2.3.4.2 Espectrometria de Absorção Atômica.....	38
2.3.5 Análise Mineralógica	41
2.3.6 Análise Granulométrica.....	42
3. Apresentação dos Resultados.....	43
3.1 Análise Mineralógica (Difração de raio-X).....	43
3.2 Análise das amostras do tal qual.....	45
3.3 Influência do Amil Xantato de Potássio (PAX)	46
3.4 Influência da Aerofina 3418A	52
3.5 Influência do Sulfato de Cobre (CuSO ₄)	57
3.5 Influência do pH	62
3.6 Influência do Tempo de Condicionamento (TC) do PAX.....	67
4. Discussão dos Resultados	72
4.1 Mineralogia.....	72
4.2 Reagentes, pH e Tempo de Condicionamento.....	76
4.3 Espectrometria de Fluorescência de raio-X e Espectrometria de Absorção Atômica.....	78
5. Conclusões e Recomendações.....	81
5.1 Conclusões.....	81
5.2 Recomendações	82
6. Bibliografia	83
ANEXOS.....	87
Anexo A - Condições de realização dos ensaios na célula de flutuação.	90
Anexo B - Resultados das análises por espectrometria de fluorescência de raios-X.	93
Anexo C - Resultados das análises por espectrometria de absorção atômica.	95

Anexo D - Resultados experimentais dos ensaios considerados para estudar a influência do PAX, Aerofina 3418 ^a , CuSO ₄ , pH e Tempo de Condicionamento.....	96
Anexo D.1 - Influência do PAX no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro flutuado considerando a fluorescência de raios-X.....	96
Anexo D.2 - Influência do PAX no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo flutuado considerando a fluorescência de raios-X.	96
Anexo D.3 - Influência do PAX no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro flutuado considerando a absorção atômica.	96
Anexo D.4 – Influência do PAX no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo flutuado considerando a absorção atômica.....	97
Anexo D.5 – Influência da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro flutuado considerando a fluorescência de raios-X.	97
Anexo D.6 - Influência da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo flutuado considerando a fluorescência de raios-X.....	97
Anexo D.7 – Influência da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro flutuado considerando absorção atômica.	98
Anexo D.8 - Influência da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo flutuado considerando absorção atômica.....	98
Anexo D.9 – Influência do CuSO ₄ no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro flutuado considerando a fluorescência de raios-X.....	98
Anexo D.10 – Influência do CuSO ₄ no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo flutuado considerando a fluorescência de raios-X.	99
Anexo D.11 – Influência do CuSO ₄ no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro flutuado considerando a absorção atômica.	99
Anexo D.12 - Influência do CuSO ₄ no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo flutuado considerando a absorção atômica.....	99

Anexo D.13 - Influência do pH no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro fluado considerando a fluorescência de raios-X.	100
Anexo D.14 - Influência do pH no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo fluado considerando a fluorescência de raios-X.	100
Anexo D.15 - Influência do pH no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro fluado considerando a absorção atômica.	100
Anexo D.16 - Influência do pH no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo fluado considerando a absorção atômica.....	101
Anexo D.17 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro fluado considerando a fluorescência de raios-X....	101
Anexo D.18 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo fluado considerando a fluorescência de raios-X. ...	101
Anexo D.19 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro fluado considerando a atômica de raios-X.	102
Anexo D.20 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo fluado considerando a atômica de raios-X.....	102
Anexo D.21(continuação) – Teores dos Sulfuretos (primeiro fluado) considerando os resultados da espectrometria de fluorescência de raios-X.....	103
Anexo D.22 (continuação) – Teores dos Sulfuretos (primeiro fluado) considerando os resultados da espectrometria de absorção atômica.	105

Índice de figuras

Figura 1 - Localização da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande, com as setas amarelas indicando as escombreiras em que se colheram as amostras.	4
Figura 2 - Mapa Geológico de superfície da Mina da Escadia Grande (Adaptado a partir de Oliveira, 1990).	6
Figura 3 - Diagrama de tratamento de Minério na antiga mina de ouro da Escadia Grande (Adaptado de Carvalho, 1986).	12
Figura 4. Gráfico da evolução da produção dos minérios de cobre e zinco ao longos dos anos.	22
Figura 5 - Principais colectores utilizados no processo de flutuação de sulfuretos (Fonte: Luz et al., 2004).	27
Figura 6 - Britador de Maxilas usado para fragmentar e moer o material.	32
Figura 7 - Vibrador contendo crivos de diferentes lotes.	33
Figura 8 - Célula de Flutuação Denver usada para os ensaios laboratoriais.	34
Figura 9 - A. <i>Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+ XRF Analyzer</i> conectado ao computador; B. No centro da imagem a “pastilha de pó prensada” constituída pela amostra a ser analisada.	38
Figura 10 - A. Espectrómetro de Absorção Atômica “ <i>Solaar MZQ Zeeman, Graphite furnace GF95, Autosampler FS95</i> ”. B. Análise química por atomizador de chama.	40
Figura 11 - Difractómetro de raio-X “ <i>PW3710 BASED</i> ”	41
Figura 12 - Granulómetro Laser Coulter LS230.	42
Figura 13 - A. Difractograma da amostra tal qual; B. Difractograma da amostra do flutuado 1.0; C. Difractograma da amostra do flutuado 7.0; D. Difractograma da amostra do flutuado 11.0 ; E. Difractograma da amostra do flutuado 45.0.	44
Figura 14 - Influência da concentração PAX no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.	47

Figura 15 - Influência da concentração PAX no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.	48
Figura 16 - Influência da concentração do PAX no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.	49
Figura 17 - Influência da concentração do PAX no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.....	50
Figura 18 - Curvas de distribuição granulométrica das amostras do primeiro (A) e segundo (B) flutuado atendendo à influência da concentração do PAX.	51
Figura 19 - - Influência da concentração de Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.	53
Figura 20 - Influência da concentração da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.	54
Figura 21 - Influência da concentração da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da absorção atômica... ..	55
Figura 22 - Influência da concentração da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da absorção atômica. ..	56
Figura 23 - Curvas de distribuição granulométrica das amostras do primeiro (A) e segundo (B) flutuado atendendo a influência da concentração da Aerofina 3418A.	56
Figura 24 – Influência da concentração do CuSO ₄ no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.	58
Figura 25 - Influência da concentração do CuSO ₄ no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.	59

Figura 26 - Influência da concentração do CuSO ₄ no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.	60
Figura 27 - Influência da concentração do CuSO ₄ no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.....	60
Figura 28 - Curvas de distribuição granulométrica das amostras do primeiro (A) e segundo (B) flutuado atendendo à influência da concentração do CuSO ₄	61
Figura 29 - Influência do pH no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no primeiro flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.	63
Figura 30 - Influência do pH no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no segundo flutuado, considerando os resultados da fluorescência d raios-X.....	64
Figura 31 - Influência do pH no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no primeiro flutuado, considerando os resultados por absorção atômica.	65
Figura 32 - Influência do pH no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no segundo flutuado, considerando os resultados por absorção atômica.	65
Figura 33 - Curvas de distribuição granulométrica das amostras do primeiro (A) e segundo (B) flutuado atendendo à influência do pH.	66
Figura 34 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no primeiro flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.	68
Figura 35 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no segundo flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.	69
Figura 36 - Influência do tempo de condicionamento no teor rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no primeiro flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.	70
Figura 37 - Influência do tempo de condicionamento no teor rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no segundo flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.	70

Figura 38 - Curvas de distribuição granulométrica das amostras do primeiro (A) e segundo (B) flutuado atendendo à influência do tempo de condicionamento do PAX..... 71

Índice de tabelas

Tabela 1 - Mineralogia e teores do jazigo da Escadia Grande no ano 1940 (Fonte: Cravalho, 1986).....	12
Tabela 2 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Argentite (fonte: LNEG, 2013).....	15
Tabela 3 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Arsenopirite (fonte: LNEG, 2013).....	16
Tabela 4 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Pirite (fonte: LNEG, 2013).....	16
Tabela 5 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Galena (fonte: LNEG, 2013).....	17
Tabela 6 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Calcopirite (fonte: LNEG, 2013).....	18
Tabela 7 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Esfalerite (fonte: LNEG, 2013).....	19
Tabela 8 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Ouro (fonte: LNEG, 2013).....	20
Tabela 9 - Teores obtidos nas análises das amostras do tal qual.....	45
Tabela 10 - Teores obtidos pela análise dos fluviados considerados para o estudo da influência do PAX.....	46
Tabela 11 - Teores obtidos pela análise dos fluviados considerados para o estudo da influência Aerofina 3418A.....	52
Tabela 12 - Teores obtidos pela análise dos fluviados considerados para o estudo da influência do CuSO ₄	57
Tabela 13 - Teores obtidos pela análise dos fluviados considerados para o estudo da influência do pH.....	62
Tabela 14 - Teores obtidos pela análise dos fluviados considerados para o estudo da influência do tempo de condicionamento.....	67

Lista de símbolos e abreviaturas

Al – Alumínio

Ag – Prata

As – Arsénio

Au – Ouro

C – Carbono

Cu – Cobre

DCT – Departamento de Ciências da Terra

EAA – Espectrometria de Absorção Atómica

EFRX – Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

ETAAS – Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry

FAAS – Flame Atomic Absorption Spectrometry

Fe – Ferro

FCTUC – Faculdade de Ciências de Tecnologia da Universidade de Coimbra

H – Hidrogénio

Hg – Mercúrio

Min - Minuto (s)

Mo – Molibdénio

NE – Nordeste

NO - Noroeste

Ni – Níquel

O – Oxigénio

PAX – Potassium Amyl Xanthate

Pb – Chumbo

Rp – Rendimento em peso

S – Enxofre

Sb - Antimônio

SE – Sudeste

Si – Silício

SO – Sudoeste

TC – Tempo de Condicionamento

1. Generalidades

1.1 Introdução

O tratamento ou beneficiação de minérios envolve uma série de operações cujo principal objectivo é a valorização dos recursos minerais, obtendo-se deste modo produtos finais que têm um interesse económico. De forma sumária, as principais operações levadas a cabo no tratamento de minérios são: fragmentação (britagem, granulação e moagem), classificação (crivagem e classificação por equivalência) e concentração (separação entre a substância mineral útil e a ganga).

A concentração de minérios por sua vez envolve um conjunto de métodos que podem ser métodos físicos (gravíticos, magnéticos, eléctricos e crivagem), métodos químicos (lixiviação) e métodos físico-químicos (flutuação). Neste trabalho analisa-se o processo de flutuação de material da escombreira de uma antiga mina de ouro denominada Escadia Grande que situa-se na Serra da Lousã, freguesia de Alvares, concelho de Góis, distrito de Coimbra.

A beneficiação do minério na Mina da Escadia Grande era feita mediante o uso de mesas para os lotes maiores (partículas grosseiras) e o uso de células de flutuação para os lotes de partículas finas.

Como é sabido, nem todo o material proveniente do desmonte é aproveitado, normalmente o material não aproveitado no processo de beneficiação do minério é depositado na escombreira. Neste trabalho pretende-se fazer a separação entre os sulfuretos e outros minerais existentes no material rejeitado durante o processo produtivo da Mina de Ouro da Escadia Grande.

Os sulfuretos têm a particularidade de se libertarem em calibres muito finos e assim sendo, a separação entre estes minerais e as outras espécies minerais (quartzo, óxidos, sulfatos e arseniatos de ferro) foi feita através da flutuação.

A flutuação é um processo de beneficiação de minerais que se baseia nas propriedades superficiais das partículas, tendo por base a adesão selectiva de algumas partículas sólidas para com o ar e de outras para com a água. Este processo é influenciado por diferentes factores, o que faz com que seja difícil encontrar-se um padrão ideal para o processamento de determinados minérios. Dentre os vários factores que afectam o processo de flutuação, neste

trabalho deu-se especial atenção a influência dos reagentes, a variação do pH e o tempo de condicionamento da polpa. Maior parte dos ensaios foi realizada com a combinação de dois colectores (xantato: amil xantato de potássio e ditiofosfato: Aerofina 3418A) e um activador (sulfato de cobre). O pH usado na maioria dos ensaios foi 10 e o tempo de condicionamento da polpa variou consoante a ordem de adição dos reagentes e o tempo necessário para condicionar cada um destes reagentes

Os produtos (flutuados), obtidos durante o processo de flutuação do material em estudo foram submetidos a duas técnicas de análise a conhecer: a espectrometria de fluorescência de raios-X e a espectrometria de absorção atómica. Ambas as técnicas foram usadas com o objectivo de obter o teor dos metais contidos nos flutuados.

No primeiro capítulo deste trabalho faz-se a descrição geral do jazigo da Escadia Grande tendo em conta aspectos históricos, geológicos e o modo de operacionalização da mina enquanto esteve em funcionamento.

O segundo capítulo é dedicado a metodologia adoptada para responder aos objectivos preconizados a priori. Neste capítulo faz-se a descrição genérica dos materiais e as técnicas usadas para tratar o material considerado para o presente estudo.

De modo a evitar redundâncias no que concerne a justificação dos resultados obtidos, a apresentação de resultados e discussão dos resultados foram abordados separadamente nos capítulos 3 e 4 respectivamente.

1.2 Objectivos

1.2.1 Objectivo Geral

O principal objectivo deste Projecto Científico é:

- Proceder à separação do minério proveniente da escombreira da antiga mina de ouro da Escadia Grande com auxílio da flutuação.

1.2.2 Objectivos Específicos

- Identificar os minerais da classe dos sulfuretos existentes nas amostras colhidas;
- Identificar e analisar os teores dos metais contidos nos flutuados;
- Avaliar a eficiência dos reagentes usados no processo de flutuação de sulfuretos;
- Estudar a influência dos parâmetros: pH e tempo de condicionamento no processo de flutuação.
- Comparar os resultados obtidos pelas técnicas de análise de elementos por espectrometria de fluorescência de raio-X e espectrometria de absorção atómica.

1.3 Revisão bibliográfica da antiga mina de ouro da Escadia Grande

1.3.1 Localização da área em estudo

A antiga mina de ouro da Escadia Grande (com uma área aproximada de 4 hectares) localiza-se no distrito de Coimbra (Centro de Portugal), concretamente junto à localidade de Roda Cimeira, freguesia de Alvares, concelho de Góis que se encontra a Este da cidade de Coimbra (Figura 1).

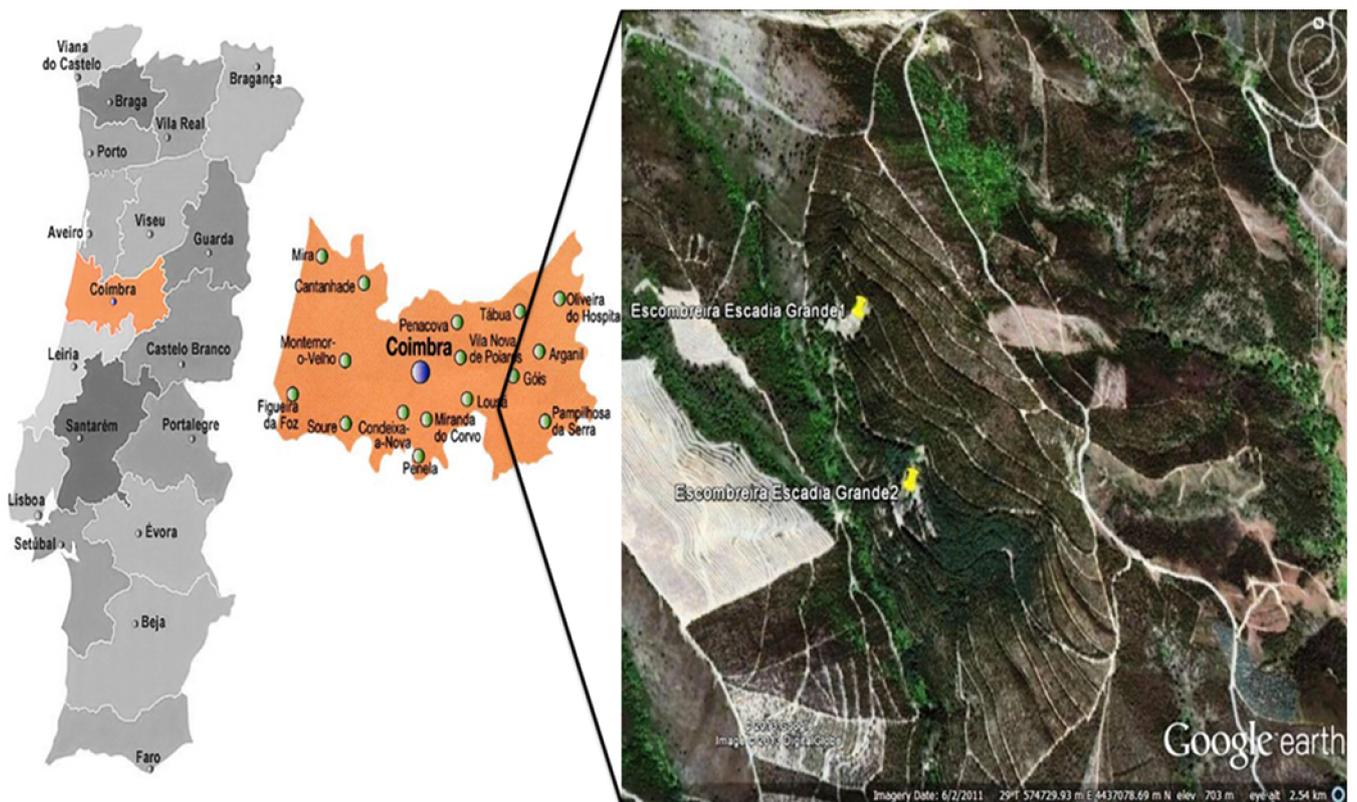


Figura 1 - Localização da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande, com as setas amarelas indicando as escombreiras em que se colheram as amostras.

1.3.2 Referência Histórica

A designação da mina por Escadia Grande foi dada pelo povo que habitava aquela região. Na altura existia um reduzido número de habitantes em redor da mina e tinha por principal ocupação afazeres da floresta ou de uma agricultura de subsistência. Como acontece na generalidade das regiões do interior de Portugal, esta região encontra-se consideravelmente despovoada devido à emigração.

As actividades de exploração embora num estágio muito incipiente e primitivo, começaram aquando da ocupação da Península Ibérica pelos romanos. É disso testemunha muitos objectos daquela época que foram encontrados nos trabalhos subterrâneos (Carvalho, 1986).

1.3.3 Enquadramento Geológico do Jazigo

Sob o ponto de vista geológico a mina da Escadia Grande localiza-se em terrenos do Ordovícico num dos seus afloramentos da Beira Litoral mais proeminentes: aquele que do Luso se prolonga por 40 km para SE, numa largura aproximada de 5 km, até aos Penedos de Góis, com algumas interrupções Cretácicas e Pleistocénicas de Poiares e Arganil (Carvalho, 1986).

O jazigo consta duma série de filões intrusivos de sulfuretos auro argentíferos, tendo o quartzo como ganga, encaixados em xistos ante silúricos (Figura 2). Embora todos estes filões apresentem características de mineralização bastante semelhantes, consoante as características geométricas e tipo de tectónica a que pertencem, podem ser divididos em dois grupos bem distintos (Carvalho, 1986):

- A um primeiro grupo pertencem os diversos filões que afloram em vários locais desta zona mineira e que, correspondendo ao tipo de tectónica de movimento horizontal, se apresentam sob as mais variadas direcções, com fraco pendor – máximo de 10° de inclinação, com possanças médias que raramente ultrapassam os 0,30 m e dispondose, por vezes, segundo uma estrutura geral em degrau formada por tramos quase horizontais e outros de maior inclinação.
- O segundo grupo de filões, individualmente de maior valor económico que os do grupo anterior, corresponde a fracturas de tectónica de movimento vertical, sendo formado por filões que afloram aproximada e paralelamente segundo uma linha que, partindo dos Penedos de Góis, termina em Fonte Limpa. A este grupo, pertencem os filões que afloram na Escadia Grande, Roda Cimeira e Roda Fundeira, Covas do Forno e Alto de Alvares.

O jazigo da Escadia Grande corresponde a manifestações hidrotermais da época metalogénica Pérmica que se relacionam com a intrusão de um magma granítico intimamente ligada aos movimentos Hercínicos.

1. Generalidades

Entre os acidentes tectónicos que afectam o jazigo destacam-se vários sistemas de falhas. Destas, destaca-se o sistema de direcção sensivelmente NE – SO que corresponde provavelmente, à direcção das linhas tectónicas de deslocamento terciários.

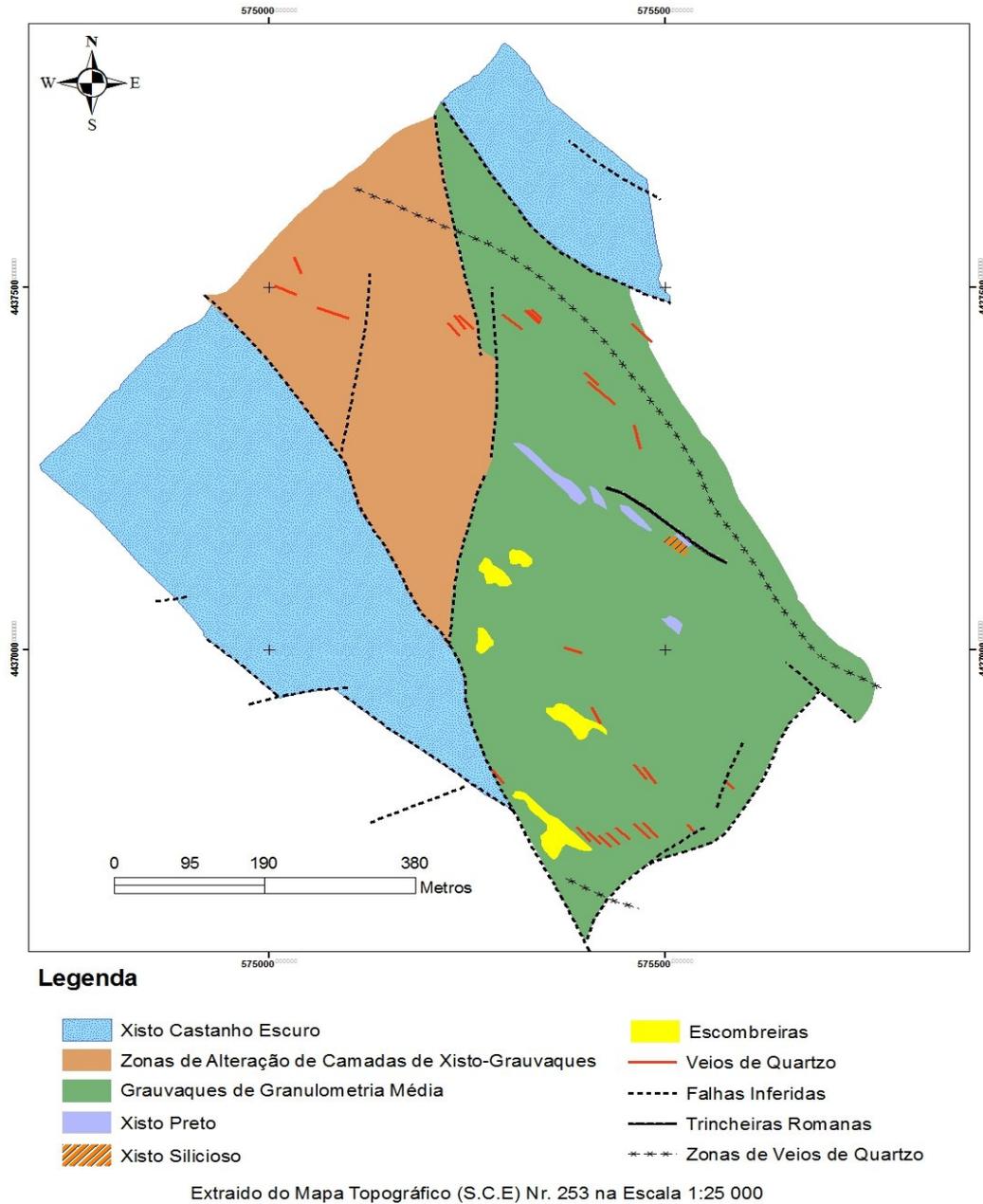


Figura 2 - Mapa Geológico de superfície da Mina da Escadia Grande (Adaptado a partir de Oliveira, 1990).

1.3.4 O Jazigo da Concessão da Escadia Grande

Segundo Oliveira (1990), a mineralização deste jazigo apresenta por um lado controle estrutural e por outro lado um controle litológico (determinado pela presença preferencial de grauvaques como rocha hospedeira da mineralização).

Podemos agrupar os minerais principais que constituem o filão mesotermal da Escadia Grande, do modo seguinte (Carvalho, 1986):

- a) Minerais hipogénicos
 - i. Predominantes – quartzo;
 - ii. Acessórios – arsenopirite, galena, esfalerite, pirite, calcopirite, ouro, argentite.

- b) Minerais supergénicos
 - i. Acessórios – óxidos, sulfatos e arseniatos de ferro.

Maior parte do ouro deste jazigo encontra-se associada a arsenopirite, observando-se por via de regra, que o teor do filão em ouro é directamente proporcional ao seu teor naquele sulfureto. Os trabalhos nos pisos inferiores da mina, mostraram uma tendência no aumento do teor em metal precioso e, ao mesmo tempo, uma maior constância de distribuição (Carvalho, 1986).

Os sulfuretos dispõem-se na massa do quartzo em veios paralelos aos hasteais. Este tipo de ocorrência em veios, cuja espessura raramente ultrapassa um milímetro, observa-se especialmente junto dos hasteais, com uma espécie de estratificações alterada de quartzo e sulfuretos (Carvalho, 1986).

Segundo (Carvalho, 1986) exames microscópicos de secções polidas mostraram poder distinguir-se vários tipos de ocorrências de ouro:

- a) A parte nitidamente preponderante do ouro ocorre em grãos poligonais relativamente grandes localizados nos espaços inter-granulares dos agregados de arsenopirite e também nas zonas de separação entre quartzo e a arsenopirite;
- b) Ouro livre contido nos espaços inter-granulares do quartzo mas em muito diminuta quantidade;
- c) Ouro livre e em muito pequena quantidade ocorrendo em finas inclusões, sem contornos definidos, no interior de cristais de arsenopirite e quartzo.

O quartzo é o mineral mais predominante, ocorre sob a forma de cristais de hábito prismático, possivelmente do tipo α , devido ao facto de mostrar um desigual desenvolvimento das faces dos romboedros (Carvalho, 1986).

A arsenopirite apresenta-se microgranular, formada por pequenos cristais isolados ou agregados compactos em pequenos veios, associada por vezes a cristais de calcopirite, pirite, esfalerite e galena. Aparecem frequentemente cristalizadas a pirite e a calcopirite de cor amarelo. A galena tem tendência em aparecer em concentrações maiores que as dos sulfuretos restantes.

1.3.5. Sequência dos trabalhos de Exploração

É durante um período relativamente curto, entre 1940 e 1952, que decorre a exploração na mina da Escadia Grande.

Em 1940 teve lugar o arranque do tratamento do minério, em regime de ensaios sobre o minério acumulado e proveniente dos trabalhos de pesquisa efectuados em anos anteriores, em traçagens e no desmonte de alguns maciços deixados pelos antigos. A quantidade de minério tratado naquele ano foi de 4381 t do qual resultou 68 t de concentrado de sulfuretos complexos contendo ouro e prata.

Em 1941 foi iniciada a preparação do 3º piso com a abertura de duas chaminés até ao nível que fora planeado: de 40 m medidos segundo a inclinação de filão. A partir daí, foram-se abrindo galerias nos sentidos NO e SE. As infra-estruturas compreendiam a lavaria, laboratório, oficinas, armazéns, escritório, habitações e cantina para os trabalhadores.

A tonelagem de minério extraído em 1941 de foi 5356 t de cujo tratamento na oficina de preparação mecânica, resultaram 68 t de concentrados de sulfuretos complexos contendo ouro e prata com teores desconhecidos. Durante aquele ano havia na mina 78 trabalhadores dos quais 75 eram homens e 3 eram mulheres (Carvalho, 1986).

Em 1942 a exploração da mina prossegue. Desenvolvem-se trabalhos no 1º piso de que resulta melhor conhecimento da área abrangida pelos romanos de forma a achar-se conveniente o seu prolongamento. A extracção no ano 1942 foi de 8332 t e do tratamento do minério resultaram 89,5 t de concentrados. Entrou nesse ano em laboração um forno de ustulação de pirites que, em fase de ensaio, produziu 1,9 t de anidrido arsenioso a 30 % de As (Carvalho, 1986).

Em 1943 agravam-se as condições de trabalho em consequência dos tempos difíceis que se viviam. Estava-se no apogeu da 2ª Guerra Mundial fazendo-se então sentir, por forma muito acentuada, dificuldades na aquisição de produtos essenciais à laboração mineira que até incluíam os próprios géneros alimentícios dos mineiros. Há um afrouxamento de ritmo nos trabalhos que, todavia, prosseguem. Inicia-se a traçagem do 4º piso e os pisos acima deste, crescem ainda. Nessa altura existiam 83 trabalhadores dos quais 27 operários nas oficinas, 15 na lavaria, 9 nas obras e 32 no interior. A extracção foi de 3593 t de minério que foi tratado na totalidade na oficina de preparação mecânica. Prosseguiram as experiências de ustulação no forno. Obtêm-se 17 t de anidrido arsenioso impuro, com o teor médio de 30% em As (Carvalho, 1986).

No ano de 1944, por carências de aquisição de materiais, os trabalhos reduziram-se a alguns reconhecimentos e traçagens em zonas da mina mais próximas da superfície. Alguns maciços deixados pelos romanos, de apreciáveis volumes, puderam ser localizados graças a esses trabalhos. Os trabalhos mais profundos continuaram suspensos por falta de acessórios para reparar os equipamentos de esgoto e extracção. Foi neste ano que um incêndio de grandes proporções destruiu o escritório e o armazém tendo-se perdido parte do arquivo e muito material de difícil aquisição. Esta circunstância veio agravar, ainda mais, o estado de penúria que antes já se fazia sentir quanto a materiais e acessórios. A extracção foi apenas de 837 t, o forno não funcionou e parte da actividade desse ano foi devotada à reconstrução dos danos causados pelo sinistro havido.

Em 1945 os trabalhos de reconhecimento, ao prolongarem-se para o NO, atingem o seu extremo nesse sentido. Na parte SE, ao nível do 1º piso, foram-se evidenciando ainda apreciáveis reservas, até se chegar a uma falha de grande rejeito horizontal, cerca de 40 m. Fizeram-se alguns desmontes no 1º e 3º piso, traçagens dispersas e reconhecimento no 4º piso tanto em direcção como em profundidade. Os equipamentos de esgoto e de extracção, imobilizados desde 1943 puderam, enfim, ser reparados e a actividade em todas as áreas da mina foi retomada. A extracção nesse ano foi de 2683 t de cujo tratamento resultaram 40 t de concentrados.

Em 1946 os trabalhos foram orientados ainda no sentido de se definir a amplitude do jazigo em extensão e profundidade. A exploração propriamente dita incidia no desmonte de áreas mineralizadas postas em evidência nos trabalhos de preparação anterior. Uma vez constado que, a vários níveis, o filão se fechava para o NO, os trabalhos foram preferencialmente

1. Generalidades

orientados para SE, pelos pisos de vários níveis. Daí resultou traçagem e desmonte de um “*ore-shoot*” evidenciado no ano anterior. Em profundidade prosseguiu-se com a abertura de um 4º piso, de um entrepiso mais abaixo ainda e, a partir daí, de um poço de pesquisa que constitui a zona mais profunda da mina (Carvalho, 1986).

As condições gerais de exploração durante o ano de 1947 foram afectadas por factores vários, que se traduziram em acentuada baixa relativamente ao ano anterior na tonelagem e valor do minério extraído. Entre esses factores, cita-se um vincado acréscimo nas irregularidades morfológicas do filão verificado em zonas mais afastadas, tanto em trabalhos de pesquisa como nos de desmonte. Tal degradação, que já se vinha esboçando na área SE do 4º piso, tornou-se, por assim dizer, um lugar-comum (Carvalho, 1986).

Em Junho de 1950, após a suspensão da lavra por dois anos, recomeçou uma lavra em novos moldes com trabalhos adequados. Das tarefas de então se ocupava um total de 115 empregados: 3 administrativos, 51 mineiros, 61 trabalhadores de superfície e 2 engenheiros na orientação dos trabalhos. Após a montagem de novos equipamentos de extracção e de esgoto, de acordo com a capacidade da lavaria de 50 t/dia, a lavra ficou normalizada (Carvalho, 1986).

Eis alguns números relativos a esse ano de 1950: Uma área de 1387 m² produziu 4161 t de minério o que corresponde à média de 3 t/m². Desta produção resultaram 48 t de concentrados com teores médios de 226 g/t de Au e 679 g/t de Ag. O forno ustulou 1.4 t de concentrados e restante ficou a aguardar que fosse reparado e aumentada em 50% a sua capacidade (Carvalho, 1986).

Durante todo o ano de 1951 prosseguiram ainda os trabalhos de lavra com certo ritmo, que só não foi mais intenso por dificuldades de recrutamento de pessoal especializado. Os trabalhos de preparação constaram essencialmente do traçado de chaminés que incidiram por certas áreas do 2º e 3º piso do lado SE. Foram submetidas ao tratamento 10189 t de minério de que resultaram 159 t de concentrados que continham 82 kg de ouro e 350 kg de prata. Em face das 10189 t de minério tratado avalia-se que se aproveitam 8 g/t de ouro e 33,6 g/t de prata, a deduzir as perdas de ustulação e da concentração.

Foram ustulados 147 t de concentrados crus obtendo-se 94 t de concentrados ustulados. As perdas de ouro na ustulação foram avaliadas em 9,3% do ouro contido nos concentrados crus.

Em 1952 a actividade mineira limitou-se a trabalhos de reconhecimento e conservação, do tratamento do minério resultante desses trabalhos e a ustulação de todos os concentrados

extraídos durante esse e no ano anterior. Neste ano extraíram-se 3345 t de minério, cujo tratamento deu lugar a 80 t de concentrados. Foram enviados ao forno de ustulação 139 t de concentrados crus e obtiveram-se 92 t de concentrados ustulados. As perdas médias de peso na ustulação foram, portanto de 33,7%. A produção em 1952 incluía um pequeno saldo do ano anterior e foi de 46 kg de ouro e 169 kg de prata.

Em 1953 já não se regista qualquer actividade mineira e apenas se conserva na mina algum pessoal de limpeza e de guarda às instalações.

Logo no ano seguinte a mina da Escadia Grande é desmantelada e declarado o seu abandono em 13/08/1954.

1.3.6. Minério

Os teores em ouro e prata dos minérios variaram bastante conforme os locais de proveniência das amostras. Assim sendo os teores em ouro variam entre 2 a 70 g/t, avaliada em centenas de amostras colhidas nos avanços das galerias e poços. Segundo Carvalho (1986) as concentrações de ouro e prata produzidos em tratamento metalúrgico, enquanto a mina esteve e laboração foram de 400 kg e 1680 kg respectivamente. Os resultados de análises do minério da mina da Escadia Grande efectuadas em 1940 por uma empresa holandesa que explorava uma mina de ouro na Serra de Pias, em Valongo podem ser observados na tabela 1.

1. Generalidades

Tabela 1 - Mineralogia e teores do jazigo da Escadia Grande no ano 1940 (Fonte: Cravalho, 1986).

Mineral	Teor
Quartzo	93%
Xisto argiloso	2%
Arsenopirite	3%
Pirite	1,5%
Galena	0,3%
Calcopirite	0,2%
Ouro	19,49 g/t
Prata	178,37 g/t

Sobre o minério, esquematicamente se indica o diagrama de tratamento que era seguido na lavaria com a capacidade de 50 t/dia de 8 horas:

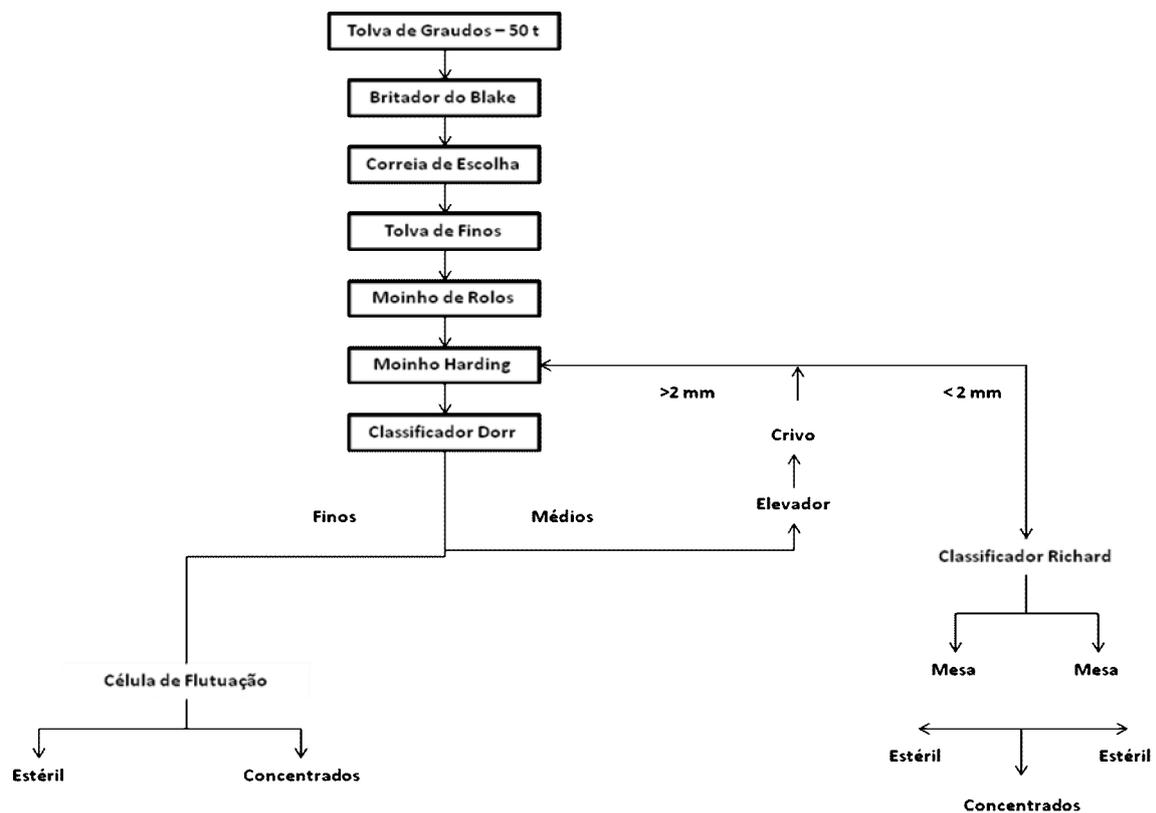


Figura 3 - Diagrama de tratamento de Minério na antiga mina de ouro da Escadia Grande (Adaptado de Cravalho, 1986).

1.4 Sulfuretos

Os sulfuretos formam uma importante classe de minerais que incluem a maioria dos minérios metálicos cuja fórmula geral é A_mX_n (onde: A = elementos metálicos e X = elementos não-metálicos). Os sulfuretos podem ser divididos em pequenos grupos estruturais, não sendo possível generalizar-se amplamente com relação à sua estrutura. Muitos sulfuretos têm ligação iónica, ao passo que outros, exibindo as propriedades dos metais têm ligação metálica. Reúnem-se nesta classe aqueles minerais cuja composição é a combinação não oxigenada de metais e metalóides com S, As, Sb, Bi, Se e Te; compreende os sulfuretos simples e duplos e os sulfossais. Fisicamente caracterizam-se pelo seu aspecto metálico, pesos específicos elevado e pela sua opacidade (Peroni, 2003).

1.4.1 Génese dos sulfuretos

A formação de sulfuretos pode ter lugar em ambientes distintos dos quais podemos destacar os seguintes:

- Os sulfuretos originam-se da cristalização dos magmas com H_2S na fase fluída, quanto maior a pressão de H_2S maior a quantidade de sulfureto;
- Também se originam pela desgasificação dos magmas em profundidades e no fundo oceânico, dificilmente se formando à superfície nos tempos actuais devido à atmosfera oxidante;
- Na superfície terrestre, durante a formação das rochas sedimentares (sedimentação ou diagénese), o sulfureto pode formar-se desde que o ambiente seja redutor (anóxico), podendo formar-se devido à putrefacção da matéria orgânica.

1.4.2 Principais sulfuretos

Os sulfuretos comportam uma classe de minerais extremamente importantes sob ponto de vista económico pois é a principal fonte dos metais que possuem uma vasta aplicação nas grandes indústrias.

Os principais minerais da classe dos sulfuretos são: Arsenopirite ($FeAsS$), Argentite (Ag_2S), Bornite (Cu_5FeS_4), Calcopirite ($CuFeS_2$), Calcocite (Cu_2S), Cinábrio (HgS), Covelite (CuS), Galena (PbS), Pentlandite ($(Fe,Ni)_9S_8$), Pirite (FeS_2), Marcasite (FeS_2), Molibdenite (MoS_2),

Pirrotite (Fe_{1-x}S), Realgar (AsS), Ouropigmento (As_2S_3), Estibnite (Sb_2S_3), Blenda ou Esfalerite (ZnS) e Wurtzite ZnS .

Dos minerais acima mencionados, importa destacar aqueles que são descritos segundo Carvalho (1986) como os minerais sulfuretos constituintes do Jazigo da Escadia Grande. Tais minerais são: Argentite (Ag_2S), Arsenopirite (FeAsS), a Pirite (FeS_2), Galena (PbS), Esfalerite (ZnS) e Calcopirite (CuFeS_2).

O ouro (Au) apesar de não pertencer à classe dos sulfuretos será igualmente descrito neste capítulo pois segundo Carvalho (1986) este elemento é um dos minerais acessórios no jazigo da Escadia Grande. Por outro lado a ocorrência do ouro está estreitamente ligada a mineralizações de pirite, arsenopirite e outros sulfuretos.

1.4.2.1 Argentite (Ag_2S)

A argentite é muitas vezes confundido com o nome acantite, pelo que vários guias minerais trocam os nomes ou combinam os nomes. Mas o nome adequado quando se refere ao mineral que contem a fórmula química Ag_2S em temperatura ambiente é acantite. A acantite e a argentite têm a mesma composição química, Ag_2S , mas diferentes estruturas. A Argentite tem uma estrutura isométrica e só é estável a temperaturas acima de 177°C e seu arrefecimento a partir de uma fusão, formarão cristais isométricos, como cubos, octaedros e dodecaedros. Após arrefecimento até abaixo de 177°C , a argentite sofre uma transformação da sua estrutura isométrica para a estrutura monoclinica de acantite (Dana *et al.*, 1997).

A argentite pode em depósitos primários, pode ser encontrada em veios, associada a prata nativa. Este mineral é um importante mineral de minério de prata. A prata tem aplicação na joalheria, padrão monetário, objectos de adorno, indústria fotográfica e soldadura.

A Tabela 2 mostra as principais ocorrências de argentite em Portugal. O Distrito de Vila Real possui maiores ocorrências deste mineral que se associa a ocorrências de ouro.

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

Tabela 2 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Argentite (fonte: LNEG, 2013)

Nome do Jazigo	Substâncias Concedidas	Concelho	Distrito
Gralheira	Berílio, Feldspato, Quartzo, Ouro e Prata	Sátão	Viseu
Jales	Prata, Ouro e Achados arqueológicos	Vila Pouca de Aguiar	Vila Real
Lagos de Ribeirinha, Ribeira, Três Minas	Ouro, Prata e Achados arqueológicos	Vila Pouca de Aguiar	Vila Real
Serra de Agra	Estanho, Tântalo, Tungsténio, Ouro e Prata	Caminhada, Ponte de Lima	Viana do Castelo
Terramonte	Chumbo, Zinco e Prata	Castelo de Paiva	Aveiro
Torgal	Chumbo, Zinco e Prata	Odemira	Beja
Vale das Gatas	Tungsténio, Estanho e Prata	Sabrosa	Vila Real
Ruy Gomes	Cobre, Achados arqueológicos	Moura	Beja
Telhadela	Cobre	Albergaria-a-Velha	Aveiro

1.4.2.2 Arsenopirite (FeAsS)

A arsenopirite é o mineral sulfureto de arsénio mais comum encontrado na natureza, estando principalmente associada a outros sulfuretos metálicos como galena (PbS), esfalerite (ZnS), calcopirite (CuFeS₂) e pirite (FeS₂) e presente em minérios de ouro refractário. As associações mais comuns de arsenopirite e ouro ocorrem nas fracturas de rochas e em veios de quartzo (contendo ouro) de altas temperaturas, em depósitos de cassiterite formados a altas temperaturas e em depósitos de metamorfismo de contacto (Dana *et al.*, 1997).

Apesar de a arsenopirite ser um minério arsénio, raramente este mineral é usado para obtenção do arsénio. A maior parte das necessidades do mundo em arsénio são fornecidas através do processamento de outros minérios em que a arsenopirite aparece como mineral secundário do jazigo e é daí recuperado (<http://www.galleries.com/Arsenopyrite>).

As maiores ocorrências de arsenopirite em Portugal encontram-se no distrito de Bragança (Tabela 3).

1. Generalidades

Tabela 3 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Arsenopirite (fonte: LNEG, 2013)

Nome do Jazigo	Substâncias Concedidas	Concelho	Distrito
Ervedosa	Arsénio, Estanho e Achados arqueológicos	Vinhais	Bragança
Louzal	Arsénio e Estanho	Vinhais	Bragança
Vale do Minho	Estanho, Tungsténio e Arsénio	Vimioso	Bragança

1.4.2.3 Pirite (FeS₂)

A pirite é um mineral muito comum, encontrado numa grande variedade de formações geológicas desde depósitos sedimentares, veios hidrotermais e também como constituinte de rochas metamórficas. A pirite é por vezes chamada de ouro do tolo por causa de sua semelhança na forma, cor e hábito com o ouro. Mas a pirite é bastante fácil de distinguir do ouro pois a pirite é muito mais leve, mais dura do que o ouro e não pode ser riscado com a unha ou canivete.

A estrutura da pirite é análoga à estrutura da galena cuja fórmula é PbS. A galena, no entanto, tem uma maior simetria. A diferença entre as duas estruturas é que um enxofre da galena é substituído por um par de enxofres na pirite (<http://www.galleries.com/Pyrite>).

A pirite é gerada por processos metamórficos, magmáticos, hidrotermais e sedimentares ou diagenéticos em ambiente redutor. Este mineral tem aplicação na obtenção de ácido sulfúrico e ferro. Possui aplicação em joalharias.

Em Portugal as maiores ocorrências de pirite estão na faixa piritosa, no distrito de Beja como se pode ver na Tabela 4.

Tabela 4 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Pirite (fonte: LNEG, 2013)

Nome do Jazigo	Substâncias Concedidas	Concelho	Distrito
Aljustrel – S.João do Deserto	Pirite, Cobre, Zinco e Chumbo	Aljustrel	Beja
Louzal	Pirite, Cobre, Zinco e Chumbo	Grândola	Setúbal
Neves Corvo	Cobre, Chumbo Zinco, Estanho e Pirite	Almodôvar, Castro Verde	Beja

1.4.2.4 Galena (PbS)

Galena é um mineral de sulfureto de chumbo, com uma composição química de PbS. A galena representa a o mineral de chumbo mais comum e ocorre em vários tipos de depósitos. Muitos depósitos de galena (e esfalerite) ocorrem como massas irregulares preenchendo cavidades em calcários. Depósitos de galena em forma de veios hidrotermais contêm frequentemente valores significantes de prata. As zonas de metamorfismo regional e de contacto constituem uma importante fonte de galena (Dana *et al.*, 1997).

O chumbo extraído da galena tem enorme aplicação no fabrico das baterias usadas nos automóveis. Não obstante o chumbo tem também aplicação em soldas, ligas, vidro cristal e munições.

Tal como a pirite, as maiores ocorrências de galena em Portugal encontram-se no distrito de Beja e faz parte da mineralogia da faixa piritosa (Tabela 5).

Tabela 5 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Galena (fonte: LNEG, 2013)

Nome do Jazigo	Substâncias Concedidas	Concelho	Distrito
Braçal	Chumbo, Achados Arqueológicos	Albergaria-a-Velha	Aveiro
Caima	Chumbo	Albergaria-a-Velha	Aveiro
Aljustrel – S.João do Deserto	Pirite, Cobre, Zinco e Chumbo	Aljustrel	Beja
Neves Corvo	Cobre, Chumbo Zinco, Estanho e Pirite	Almodôvar, Castro Verde	Beja
Paradinha	Chumbo	Bragança	Bragança
Terramonte	Chumbo, Zinco e Prata	Castelo de Paiva	Aveiro
Sítio do Caco	Chumbo	Frecho de Espada-à-Cinta	Bragança
Preguiça	Zinco, Chumbo e Ferro	Moura	Beja
Torgal	Chumbo, Zinco e Prata	Odemira	Beja
Braçal	Chumbo	Sever do Vouga	Sever do Vouga
Ferronho	Chumbo	Torre de Moncorvo	Bragança
Facuca	Chumbo	Vila Real	Vila Real
Cabeça da Mina	Chumbo e Antimónio	Vimioso	Bragança

1.4.2.5 Calcopirite (CuFeS₂)

A calcopirite é um sulfureto de ferro e cobre, sendo o mineral de cobre mais abundante e é o mais importante de minério de cobre. A sua formação ocorre em ambientes filonianos hidrotermais de alta temperatura, associada a outro tipo de sulfuretos como a pirite, a esfalerite, ou alguns minerais de níquel. Também ocorre como constituinte original das rochas ígneas; em diques pegmatíticos; nos depósitos metamórficos de contacto e disseminada nas rochas xistosas. Pode ser encontrada também em rochas de metamorfismo de contacto e em pláceres derivados da meteorização e erosão destas. Em rochas orgânicas, mais ou menos fossilizadas, a calcopirite pode aparecer sob a forma de fragmentos orgânicos, cristalizando na madeira e em partes duras de alguns organismos. Pode conter ouro ou prata, tornando-se um minério desses metais (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Calcopirita>).

O cobre extraído da calcopirite tem aplicação como condutor eléctrico, no fabrico de ligas (latão, bronze), refrigeração, ar condicionado e munições.

As principais ocorrências de calcopirite em Portugal encontram-se no distrito de Beja como faixa piritosa (Tabela 6).

Tabela 6 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Calcopirite (fonte: LNEG, 2013)

Nome do Jazigo	Substâncias Concedidas	Concelho	Distrito
Aljustrel – S.João do Deserto	Pirite, Cobre, Zinco e Chumbo	Aljustrel	Beja
Aparis	Cobre	Barrancos	Beja
Cerro das Ferrarias	Cobre	Almodôvar	Beja
Louzal	Pirite, Cobre, Zinco e Chumbo	Grândola	Setúbal
Malhada dos Barrinhos	Cobre	Barrancos	Beja
Neves Corvo	Cobre, Chumbo Zinco, Estanho e Pirite	Almodôvar, Castro Verde	Beja
Panasqueira	Cobre, Estanho, Tungsténio	Covilhã, Fundão	Castelo Branco
Piorneiras	Cobre	Barrancos	Beja
Telhadela	Cobre	Albergaria-a-Velha	Aveiro

1.4.2.6 Esfalerite (ZnS)

A esfalerite é um mineral composto por sulfureto de zinco (ZnS) e ocorre em rochas sedimentares, hidrotermais, metamórficas, vulcanogénicas e magmáticas. Alguns estudos reportam a existência de pequenas quantidades de esfalerite como constituintes primários de granitos e em pegmatitos. Muitas vezes a esfalerite é encontrada em depósitos de metamorfismo de contacto e em veios. Largos depósitos (como do tipo Mississippi Valley) ocorrem ao longo de canais de solução em calcários e dolomitos. A esfalerite é também encontrada em meteoritos e rochas lunares como um mineral acessório (Dana *et al.*, 1997).

A esfalerite é o mineral de minério de zinco, podendo conter quantidades apreciáveis de cádmio, índio, gálio ou germânio. O zinco tem aplicação no fabrico de chapas de zinco, na galvanização, nas ligas metálicas (latão), nas chapas de revestimento, produtos químicos.

As ocorrências de esfalerite m Portugal estão associadas as ocorrências a pirite, calcopirite e galena, e estes minerais ocorrem com maior abundância na faixa piritosa, no distrito de Beja (Tabela 7).

Tabela 7 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Esfalerite (fonte: LNEG, 2013)

Nome do Jazigo	Substâncias Concedidas	Concelho	Distrito
Aljustrel – S.João do Deserto	Pirite, Cobre, Zinco e Chumbo	Aljustrel	Beja
Louzal	Pirite, Cobre, Zinco e Chumbo	Grândola	Setúbal
Neves Corvo	Cobre, Chumbo Zinco, Estanho e Pirite	Almodôvar, Castro Verde	Beja
Preguiça	Zinco, Chumbo e Ferro	Moura	Beja
Terramonte	Chumbo, Zinco e Prata	Castelo de Paiva	Aveiro
Torgal	Chumbo, Zinco e Prata	Odemira	Beja

1. Generalidades

1.4.2.7 Ouro (Au)

O ouro (Au) é um metal de transição entre Ag e Rg na série química da tabela periódica. Sob ponto de vista geoquímico existe uma solução sólida completa entre o ouro e a prata sendo que quase todo o ouro contém alguma percentagem de prata (Dana *et al.*, 1997).

A origem primária do ouro é em filões hidrotermais e em contacto com depósitos metamórficos e pegmatíticos. Ocorre também em depósitos do tipo placer, de origem secundária.

O ouro tem aplicação na joalheira, equipamentos electrónicos e na medicina, sendo que em Portugal ocorre com maior frequência no distrito de Vila Real (Tabela 8).

Tabela 8 - Jazigos Minerais em Portugal contendo Ouro (fonte: LNEG, 2013)

Nome do Jazigo	Substâncias Concedidas	Concelho	Distrito
Alto do Sobrido	Ouro e Antimónio	Gondomar	Porto
Fojo das Pombas	Antimónio, Ouro e Achados Arqueológicos	Valongo	Porto
Gralheira	Berílio, Feldspato, Quartzo, Ouro e Prata	Sátão	Viseu
Jales	Prata, Ouro e Achados Arqueológicos	Vila Pouca de Aguiar	Vila Real
Jales	Prata, Ouro	Vila Pouca de Aguiar	Vila Real
Lagos de Ribeirinha, Ribeira, Três Minas	Ouro, Prata e Achados arqueológicos	Vila Pouca de Aguiar	Vila Real
Montalto	Ouro e Antimónio	Gondomar	Porto
Penedono	Ouro	Penedono	Viseu
Pinheirinhos	Antimónio, Ouro, Achados Arqueológicos	Gondomar	Porto
Poço das Freitas	Ouro e Achados Arqueológicos	Boticas	Vila Real
Serra de Arga	Estanho, Tântalo, Tungsténio, Ouro e Prata	Caminha, Ponte Lima	Viana do Castelo

1.4.3 Produção minérios metálicos em Portugal

No ano de 2011 o valor de produção da indústria extractiva portuguesa retrocedeu ligeiramente em relação a 2010, alcançando 1145 milhões de Euros. Naquele ano, contrariando a queda dos restantes sectores, foi um bom ano para o sector dos minerais metálicos, uma vez que a manutenção das cotações dos metais em alta, proporcionou um forte interesse no investimento em novos projectos, nomeadamente de ouro, metais básicos e tungsténio (DGEG, 2012).

O valor dos minérios metálicos aumentou 5% em 2011, em relação ao ano anterior, alcançando cerca de 450 milhões de Euros, impulsionado pela nova subida das cotações dos metais, aproximando-se dos valores atingidos em 2007. Com este acréscimo e dada a conjuntura económica desfavorável, que afectou os restantes sectores de actividade, os minérios metálicos passaram a ser o principal sector da indústria extractiva, representando cerca de 39% do seu valor global em 2011 (DGEG, 2012).

Como já foi antes referido, os sulfuretos são a principal fonte dos minérios metálicos pelo que urge a necessidade de dar a conhecer em termos estatísticos a produção em Portugal dos metais de interesse para este trabalho. Nos últimos anos apenas dois dos metais em estudo têm sido alvo de exploração em Portugal, nomeadamente o cobre e o zinco. Não obstante, segundo a DGEG (2012), há também produção de alguns mistos no qual podem estar alguns dos sulfuretos em destaque neste trabalho.

A Figura 4 mostra a evolução da produção dos minérios de cobre e zinco e as devidas receitas geradas pelos concentrados desses metais entre os anos 1999 até 2011. Nota-se claramente que a produção do minério de cobre em Portugal oscilou muito ao longo dos últimos 12 anos, contudo é na primeira metade destes anos que se verificou o pico de produção deste minério. A partir de 2007 registou-se uma tendência decrescente na produção do minério de cobre, não obstante em 2011 se ter registado um ligeiro aumento da produção.

Os dados referentes à produção do minério de zinco tem o seu início no ano 2006 e desde esse ano até ao ano 2008 verificou-se uma tendência crescente de produção do minério, entretanto do ano 2008 até ano 2011 houve uma tendência claramente decrescente na produção do minério de zinco. De modo geral a produção de cobre em Portugal é muito superior a produção do zinco.

1. Generalidades

De modo geral o gráfico da Figura 4 mostra que não há proporcionalidade clara entre a produção de minério e a geração de receitas, isto é, grandes produções de minérios nem sempre correspondem elevadas receitas devido a oscilação do preço dos concentrados no mercado internacional ao longo dos anos. Por exemplo no ano 2004 em que houve maior produção do minério de cobre (400 000 toneladas), obteve-se apenas 184 milhões de euros de receitas, valor este que é duas vezes inferior ao valor de concentrado arrecadado em 2006 cuja produção de minério de cobre foi de aproximadamente 319 000 toneladas e as receitas foram de 385 milhões de euros.

Importa referir que estas tendências na produção dos minérios tanto de cobre como do zinco são dependentes de alguns índices económicos como: a oferta, a procura e os preços do minério no mercado internacional. Outro factor de realce é a crise económica que se vive um pouco por toda Europa e com particular destaque em Portugal. Não havendo dinheiro, não haverá procura e não havendo procura não haverá necessidade de incrementar a produção dos minérios.

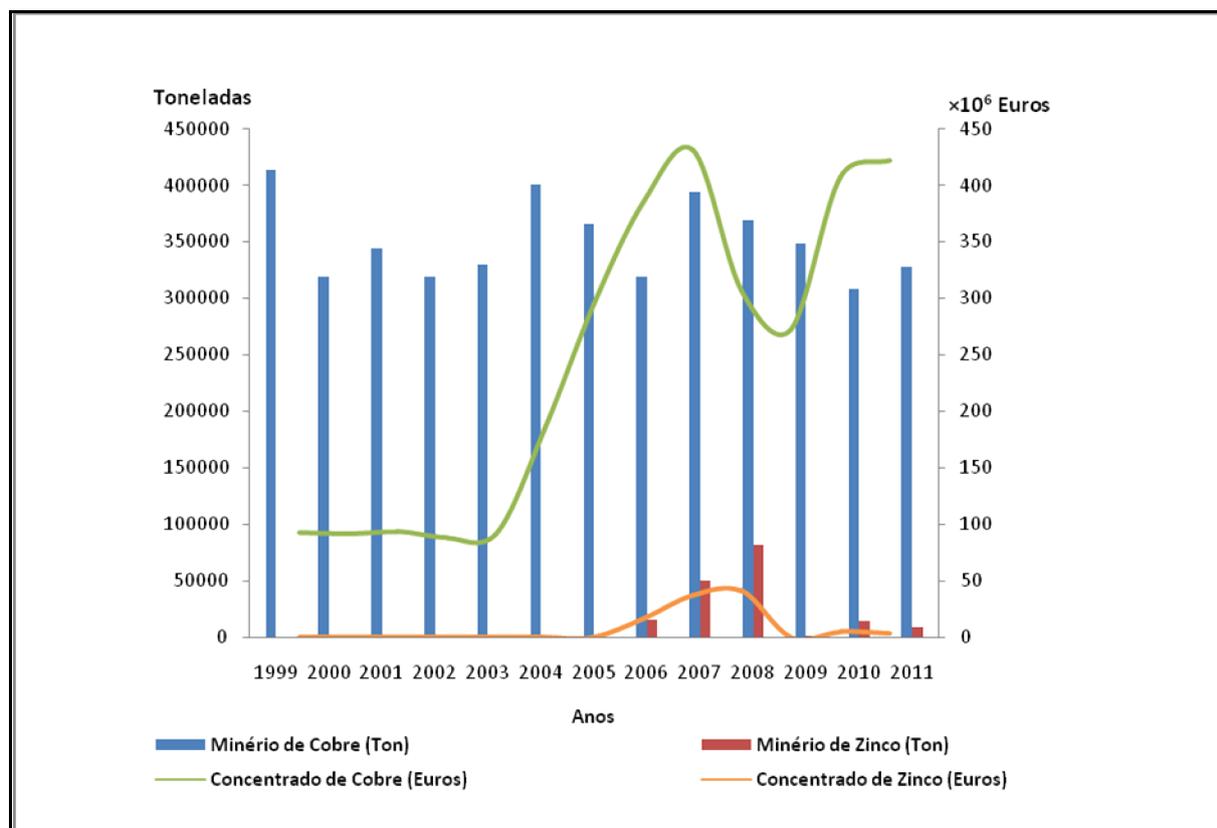


Figura 4 - Gráfico da evolução da produção dos minérios de cobre e zinco ao longos dos anos.

1.4.4 Particularidades dos sulfuretos em relação ao processo de separação

A separação entre espécies minerais tem como base as propriedades que as distinguem ou diferenciam (propriedades diferenciais). Assim, a selecção do método de concentração depende da natureza do minério e das propriedades dos minerais a separar (e da diferença dessas propriedades). Os resultados das operações de concentração serão tanto melhores quanto mais vincadas forem as diferenças nas propriedades escolhidas para servirem de base à separação. Consoante a propriedade diferencial escolhida para servir de base à separação, resulta um processo de concentração que será de natureza física, físico-química ou química.

Particularmente, os sulfuretos são na sua maioria minerais muito densos pelo que se poderia que assumir a sua separação das outras substâncias poderia ser por processos gravíticos. Entretanto para além da densidade é importante ter em conta o calibre das partículas e o grau de libertação. Todos os processos de concentração, embora com variantes que lhes permitem adaptações, têm de operar dentro de uma determinada gama de calibres, fora da qual a sua eficiência diminui, ou pode ser nula.

Normalmente o calibre de libertação dos sulfuretos é muito pequeno, facto que dificulta a separação destes minerais mediante o uso de métodos gravíticos, magnéticos, electrostáticos e hidrometalúrgicos. Assim sendo o método mais usado para a separação de sulfuretos é flutuação.

1.5 Flutuação

A flutuação é um processo de concentração de minerais que se baseia nas propriedades superficiais das partículas, tendo por base a adesão selectiva de algumas partículas sólidas para com o ar e de outras para com a água. O primeiro tipo de partículas denomina-se hidrófobas e o segundo tipo hidrófilos. Os agregados partículas-bolhas apresentam menor densidade que a polpa circundante, flutuando portanto até à superfície. Assim, a separação é baseada na diferença de densidade entre os agregados partículas-bolhas e as outras partículas hidrófilas dispersas na polpa. A característica que suporta a separação é o diferente grau de hidrofobicidade das partículas existentes. Enquanto algumas substâncias minerais são naturalmente hidrófobas (grafite - C; molibdenite – MoS_2 ; talco – $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$; pirofilite – $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$; alguns carvões - C e ouro nativo livre de prata - Au), ligando-se com relativa facilidade às bolhas de ar, existem outras que não se ligam às bolhas naturalmente, sendo necessário adicionar alguns reagentes de modo a torná-las fluatáveis, isto é, hidrófobas. Aliás, na maior parte dos casos a hidrofobicidade natural é aumentada pela adição de colectores. Contrariamente, quando se pretende que alguns minerais não flutuem, a sua propriedade hidrófila pode ser aumentada através da utilização de reagentes depressores. Deste modo, este processo de separação é físico-químico, pois exige a adição de pequenas quantidades de reagentes (Pita, 2004).

A concentração de minerais requer três condições básicas: libertação das partículas, diferenciabilidade e separabilidade dinâmica. A libertação dos grãos dos diferentes minerais é obtida através de operações de fragmentação (britagem e moagem) intercaladas com etapas de separação por tamanho (classificação). A separabilidade dinâmica está directamente ligada aos equipamentos empregados. As máquinas de flutuação caracterizam-se por possuírem mecanismos capazes de manter as partículas em suspensão e de possibilitar a aeração da polpa. A diferenciabilidade é a base da selectividade do método (Neto, 2012).

A separação entre partículas naturalmente hidrófobas e partículas naturalmente hidrófilas é teoricamente possível fazendo-se passar um fluxo de ar através de uma suspensão aquosa contendo as duas espécies. As partículas hidrófobas seriam carreadas pelo ar e aquelas hidrófilas permaneceriam em suspensão.

Em geral, a mera passagem de um fluxo de ar não é suficiente para carrear as partículas hidrófobas. É também necessária a formação de uma espuma estável, que é obtida através da acção de reagentes conhecidos como espumantes, os quais diminuem a tensão superficial na interface líquido/ar e têm ainda a importante função de actuar na cinética da interacção

partícula-bolha, fazendo com que o afinamento e a ruptura do filme líquido ligado às bolhas ocorra dentro do tempo de contacto partícula-bolha.

Diferente dos outros métodos de concentração de minerais, a flutuação permite separar com eficiência partículas finas com calibre inferiores a 100 μm e partículas possuindo densidades semelhantes.

Segundo os objectivos que se pretendem alcançar, a flutuação designa-se por diferentes modalidades: flutuação integral, flutuação selectiva, flutuação directa, flutuação inversa.

- **Flutuação integral ou colectiva:** que designa o processo em que várias espécies minerais úteis são separadas, em conjunto, das gangas;
- **Flutuação selectiva ou diferencial:** em que as diferentes espécies minerais a separar das gangas são flutuadas separadamente umas das outras;
- **Flutuação directa:** quando se flutua a espécie mineral útil;
- **Flutuação indirecta:** quando se flutua a ganga, e se deprime a substância mineral útil.
- **Flutuação verdadeira:** ocorre quando as partículas (hidrófobas), após colisão, se ligam às bolhas de ar formando agregados estáveis e são levitadas por estas até à zona da espuma sendo aí recolhidas;
- **Flutuação falsa (arrastamento):** fenómeno indiscriminatório, ocorre quando as partículas são arrastadas para a superfície em suspensão na água situada entre as bolhas.

1.5.1 Reagentes e mecanismos de acção

Reagentes de flutuação são compostos orgânicos e inorgânicos empregados com o objectivo do controle das características das interfaces envolvidas no processo. Apesar de se poder estudar em termos genéricos a química da flutuação, deve-se ter presente que cada aplicação é

um caso particular, intervindo uma combinação única entre o mineral e a água. Deste modo, é impossível seleccionar os reagentes de flutuação e a sua concentração a partir unicamente do conhecimento dos minerais existentes.

A preparação da superfície dos minerais para o processo de flutuação, através da adição dos reagentes, é realizada antes do processo propriamente dito de separação. Essa operação é designada por condicionamento, devendo os reagentes ser adicionados segundo uma determinada sequência e tendo cada um deles um determinado tempo de actuação, designado por tempo de condicionamento. Com a maioria das espécies minerais o condicionamento é feito com baixa diluição da polpa (elevada concentração de sólidos, entre 40 e 50%), de modo a aumentar a probabilidade das gotículas de reagente contactarem com as partículas. Daí a frequente necessidade de se fazer o espessamento da polpa antes do condicionamento.

Os diversos reagentes podem exigir diferentes tempos de condicionamento, por exemplo os xantatos exigem elevados tempos de condicionamento, sendo por vezes adicionados no circuito de moagem. Por outro lado as aminas, exigem baixos tempos de condicionamento, podendo ser adicionados directamente na célula de flutuação (Pita, 2004).

Crozier (1992) classifica os reagentes em cinco classes, colectores (por vezes designados por promotores), activadores, modificadores, depressores e espumantes.

1.5.1.1 Principais Reagentes usados na flutuação de sulfuretos

a) Colectores

Definem-se como colectores aqueles reagentes que apresentam em uma extremidade um grupo hidrófilo polar, e na outra um grupo hidrófobo apolar. Segundo a sua natureza iónica, eles são classificados como aniónicos ou catiónicos (Luz *et al.*, 2004).

Existe muitas maneiras de se classificar os colectores para os sulfuretos, tais como: colectores solúveis, colectores insolúveis, tio-colectores, etc. A Figura 5, mostra os principais colectores utilizados no processo de flutuação de sulfuretos.

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

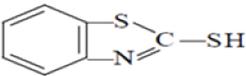
Designação	Fórmula Estrutural
Ditiocarbonatos (Xantatos)	$\text{R}-\text{O}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=} \text{S} \\ \text{---} \text{S}^- (\text{M}^+) \end{array}$
Mono alquil ditiósfatos	$\begin{array}{l} \text{R}-\text{O} \\ \text{H}-\text{O} \end{array} \text{P} \begin{array}{l} \text{=} \text{S} \\ \text{---} \text{S}^- (\text{M}^+) \end{array}$
Dialquil ditiocarbamato	$\begin{array}{l} \text{R} \\ \text{R} \end{array} \text{N}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=} \text{S} \\ \text{---} \text{S}^- (\text{M}^+) \end{array}$
Mercaptanas	RSH
Mercaptobenzotiazol	

Figura 5 - Principais colectores utilizados no processo de flutuação de sulfuretos (Fonte: Luz et al., 2004).

b) Depressores (inibidores)

Os depressores são reagentes que impedem a flutuação de certos minerais, inibindo a adsorção dos colectores. Eles estão na base da flutuação diferencial, pois permitem aumentar as propriedades selectivas dos colectores.

Os depressores minerais mais utilizados na flutuação dos sulfuretos são o cianeto de sódio, hipossulfito e hidrossulfito de sódio e sulfato de zinco (dos sulfuretos de Fe e Zn) dicromato de sódio e anidrido sulfuroso (da galena), cal (da galena e pirite) silicato de sódio (de gangas siliciosas) (Pita, 2004).

c) Activadores

Activadores são reagentes que facilitam e aumentam a selectividade do processo de flutuação intensificando a adsorção do colector. Isto é, eles coadjuvam a acção dos colectores, criam revestimentos para melhorar a actuação do colector ou reforçam a sua aderência aos minerais a flutuar. São electrólitos, dependendo a sua acção da solubilidade do mineral e da solubilidade do sal resultante. Por exemplo, justifica-se a activação da esfalerite pelo sulfato de cobre, pois o sulfureto de cobre é menos solúvel que o sulfureto de zinco.

Os activadores mais frequentemente usados na flutuação dos sulfuretos são o sulfato de cobre (esfalerite, arsenopirite, e ouro), ácido sulfúrico (pirite), sulfato férrico (arsenopirite), petróleo (quartzo, óxidos de ferro, volframite) (Pita, 2004).

d) Reguladores de pH

Estes reagentes destinam-se a dar à polpa o pH mais conveniente para a actuação do colector, levando a polpa ao grau de acidez ou de alcalinidade mais conveniente. São geralmente o primeiro reagente a juntar à polpa no processo de condicionamento.

O valor do pH da polpa é de extrema importância na flutuação, pois o efeito dos iões H^+ e OH^- podem ser vários, podendo ser adsorvidos pelas superfícies dos minerais, alterando-as, ou ser adsorvidos pelos revestimentos dos colectores, afectando a sua união com a superfície dos minerais, ou provocar mesmo o seu “destacamento” da superfície (Pita, 2004). O critério económico é também preponderante na escolha do reagente e os mais utilizados são: cal, soda, ácido sulfúrico e, raramente, ácido clorídrico (Luz *et al.*, 2004).

e) Espumantes

Actuam principalmente no sentido de reduzir a tensão superficial na interface líquido-gás, de evitar a coalescência e de interagir com a cadeia hidrocarbónica do colector. Os reagentes empregados como espumantes são geralmente pertencentes à classe dos álcoois ou dos éteres.

Um dos espumantes mais utilizados para a flutuação de sulfuretos é o metil isobutil carbinol, mais conhecido como MIBC; produz uma espuma frágil com textura fina assim como uma composição definida facilitando assim o controle do processo. É um espumante mais selectivo sendo comumente utilizado em flutuação de partículas abaixo de 75 μm (Júnior, 2011).

1.5.1.2 Factores que influenciam a flutuação

a) Grau de agitação

Para ocorrer levitação do material hidrófobo desde a zona da polpa até à espuma é necessário que ocorra não só a formação dos agregados partículas-bolhas, mas também que estes agregados não sejam destruídos. São vários os factores que afectam a estabilidade dos agregados, entre eles é de referir a agitação, o calibre, a densidade, o grau de hidrofobicidade

das partículas e o tamanho das bolhas. A agitação operada numa célula tem por objectivo manter as partículas em suspensão de modo a obter-se uma polpa homogénea, dispersar as bolhas gasosas na polpa e promover a colisão entre as partículas e as bolhas.

De um modo geral pode afirmar-se que o grau de agitação ideal diminui com o aumento do calibre e densidade das partículas e aumenta com o tamanho das bolhas e com a hidrofobicidade das partículas (Pita, 2000).

b) Taxa de aeração

Na flutuação o ar desempenha um papel fundamental, sendo as bolhas o coração deste processo. Embora seja importante o tamanho e a estabilidade das bolhas, não é menos importante a quantidade de ar utilizada. Se por um lado a adição de pouco ar conduz a maus resultados, fundamentalmente porque conduz a pequenas recuperações, também a adição de excessiva quantidade de ar penaliza os resultados obtidos, podendo conduzir a baixas recuperações e fundamentalmente a separações pouco selectivas. Geralmente o volume de ar utilizado varia entre 5 e 30% do volume da polpa.

Se a taxa de aeração é pequena então formam-se poucas bolhas, sendo portanto pequena a probabilidade de colisão de todas as partículas com as bolhas e de ocorrer formação dos agregados partículas-bolhas. Nestas condições pode também suceder que as bolhas sejam rapidamente cobertas de substância hidrófoba, ficando a flutuação inibida. Por estes motivos verifica-se que o aumento da taxa de aeração, até determinado valor, conduz ao aumento da taxa de transferência de material da polpa para a espuma (Pita, 2000).

c) Influência do calibre das partículas na flutuação

O calibre das partículas tem uma importância fundamental em qualquer processo de tratamento de minérios. A selecção do método de concentração depende da natureza do minério, das propriedades dos minerais a separar, da diferença entre essas propriedades e do calibre das partículas. É impossível obter boas separações sem que as espécies minerais a separar estejam libertas. Em alguns casos não é possível obter, em termos práticos, a libertação absoluta de um dado mineral, sendo necessário efectuar a separação não só entre minerais completamente libertos, mas também a separação de minerais mistos. Tal

1. Generalidades

característica conduz ao amortecimento da propriedade diferencial que está na base da separação. Assim, o calibre das partículas afecta a eficiência de todos os métodos de separação. Obviamente que, no caso de existirem vários métodos de separação, a sua escolha deve basear-se também no factor económico (Pita, 2004).

2. Materiais e Métodos

Para responder aos objectivos traçados neste trabalho, a metodologia comportou as seguintes fases:

- Revisão Bibliográfica;
- Trabalho de campo;
- Ensaio Laboratoriais;
- Apresentação e discussão dos resultados experimentais

2.1 Revisão Bibliográfica

A consulta bibliográfica foi o primeiro estágio deste trabalho e foi realizada com auxílio a bibliografia disponível principalmente na biblioteca do Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Alguns artigos científicos e dissertações foram consultados na internet e outros artigos no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

Esta fase consistiu na recolha de informação relevante ao tema em estudo. Os dados mais consultados nesta fase são concernentes à antiga mina de ouro da Escadia Grande e os conceitos fundamentais do tratamento de minérios em particular relativo à concentração pelo processo de flutuação. Importa referir que relativamente à antiga mina de ouro da Escadia Grande a informação disponível é muito escassa e por essa razão a principal referência usada é do autor Carvalho (1986) com o título “Mina de ouro da Escadia Grande - Apontamento Monográfico de Pesquisa”.

2.2 Trabalho de Campo

O trabalho de campo consistiu na colheita de amostras em duas escombreiras da antiga Mina de ouro da Escadia Grande. A colheita de amostras foi feita em apenas um dia (concretamente no dia 10 de Outubro de 2012) cujo critério para a selecção de rochas para o posterior tratamento foi a análise macroscópica com objectivo de visualizar a presença ou não de sulfuretos. Deste modo, foram privilegiadas as amostras contendo sulfuretos na sua constituição.

2.3 Ensaio Laboratoriais

Os ensaios laboratoriais relativos ao tratamento de minério foram realizados no laboratório de geotecnia e tratamento de minérios do Departamento de Ciências de Terra e as análises químicas foram efectuadas nos seguintes laboratórios: Laboratório do projecto de Descontaminação de Escorrências Mineiras por Plantas Hiperacumuladoras e Laboratório de Radioactividade Natural do Departamento de Ciências de Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Os trabalhos de laboratório comportaram seis operações distintas a citar: fragmentação, classificação, flutuação, análises químicas, análises mineralógicas e análises granulométricas.

2.3.1 Fragmentação

Com objectivo de reduzir o tamanho dos calhaus a calibres muito finos, usou-se um britador de maxilas (Figura 6). Primeiramente usou-se uma abertura de saída do britador de aproximadamente 15 mm e reduziu-se os calhaus para partículas que possuíam em média 20 mm devido ao hábito laminar dos xistos. Seguidamente regulou-se a abertura de saída do britador para 2 mm e foi possível obter a maior parte das partículas com tamanhos que variam desde um pouco mais do que 2 mm até partículas mais finas, isto é, tamanhos abaixo de 250 μm .



Figura 6 - Britador de Maxilas usado para fragmentar e moer o material.

2.3.2 Classificação

Sabe-se que os calibres óptimos para a flutuação são normalmente abaixo dos 200 μm e por esse motivo, embora se tivessem vários crivos (Figura 7), apenas se obteve os seguintes três lotes: 500 μm a 355 μm ; 355 μm a 250 μm e $<250 \mu\text{m}$, dos quais apenas o último foi usado.

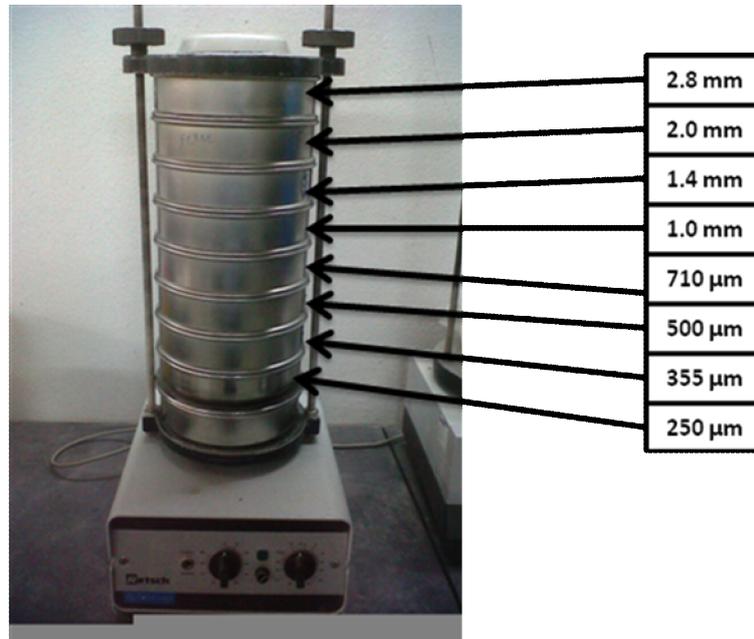


Figura 7 - Vibrador contendo crivos de diferentes lotes.

2.3.3 Flutuação

Esta constitui a fase crucial de todo o processo de tratamento do minério e por isso é necessário considerar uma série de aspectos inerentes à própria concentração. O processo de separação do minério foi possível graças à utilização de uma célula de flutuação com recurso ao uso de vários reagentes.

De modo a estudar os diferentes factores que influenciam o processo de flutuação realizaram-se 59 ensaios cujas condições de marcha são descritas no Anexo A. Os primeiros 20 ensaios realizados são considerados ensaios piloto pois foram realizados com vista a obter as condições óptimas de flutuação. Em cada ensaio fez-se a recolha de duas porções de flutuados cujo tempo de recolha para cada porção era em média 5 minutos. Cada um destes flutuados, depois de seco, foi pesado e posteriormente submetido a análise química.

2.3.3.1 Célula de Flutuação

Os ensaios de flutuação em bancada foram realizados mediante o uso de uma célula de laboratório Denver com uma capacidade de 3 litros (Figura 8). Em todos os ensaios foram usados 400 g de minério e 2,4 litros de água. A célula permite funcionar com os seguintes graus de agitação: 600 rpm, 1200 rpm e 2000 rpm. Neste trabalho, foram testadas as três rotações, entretanto com as primeiras duas (600 rpm e 1200 rpm) uma parte significativa do minério sedimentava no fundo da cuba em resultado da sua densidade. Assim, para os ensaios de efectuados usou-se a velocidade constante de 2000 rpm.



Figura 8 - Célula de Flutuação Denver usada para os ensaios laboratoriais.

2.3.3.2 Reagentes

De modo a obter condições óptimas de separação entre os sulfuretos e os restantes minerais que compõem o minério, usaram-se quatro tipos de reagente: o regulador de pH, activador, colectores e espumante

a) Regulador de pH

A maior parte dos ensaios foram realizados em ambiente alcalino (pH =10) e usou-se o NaOH como regulador do pH. Não obstante, para o estudo da influência do pH trabalhou-se também em condições ligeiramente ácidos e o regulador do pH foi o H₂SO₄.

b) Activador

O material que constitui o minério no presente estudo provém de escombreira e encontra-se ali depositado há dezenas de anos pelo que se presume que esteja altamente oxidado. Sabe-se que superfícies oxidadas inibem o processo de adesão entre as partículas e as bolhas, tornando difícil a flutuação. Para atenuar esta dificuldade, usou-se como activador o sulfato de cobre (CuSO_4) de modo a tornar as superfícies dos minerais sulfuretos mais susceptíveis à adesão pelas bolhas e sua subsequente separação dos restantes minerais.

Em todos os ensaios realizados o activador CuSO_4 a 1% foi o primeiro reagente adicionado após a regulação do pH. O tempo de condicionamento deste reagente variou entre 12 a 20 minutos. Considera-se aqui os tempos de condicionamento também dos outros reagentes, isto é, o sulfato de cobre permanecia apenas 4 minutos como único reagente, antes da adição dos outros reagentes.

c) Colectores

Foram usados os seguintes colectores: amil xantato de potássio (PAX) e o ditiofostato com a designação de Aerofina 3418A.

Amil Xantato de Potássio (PAX): xantatos são sais do ácido xântico, universalmente utilizados para a flutuação de sulfuretos e metais nativos. Não podem ser usados em meio ácido pois ocorre hidrólise. O poder de colector aumenta com o aumento do tamanho da cadeia carbónica. Estas propriedades, aliadas ao seu baixo preço e à sua solubilidade em água, foram a razão do seu sucesso comercial e, do ponto de vista histórico, contribuíram decisivamente para a implantação definitiva da flutuação como operação unitária de tratamento de minérios (Luz *et al.*, 2004).

O amil xantato de potássio tem a fórmula molecular $\text{C}_{19}\text{H}_{20}\text{KO}_3$, é o mais poderoso xantato utilizado no tratamento de minérios metálicos e em especial na flutuação de minérios contendo os sulfuretos Ni e Cu, bem como para a flutuação de minérios contendo o ouro associado com pirite.

Durante os ensaios o PAX foi usado em concentrações iguais a 1% e variando as concentrações entre 0 g/t a 100 g/t. O tempo de condicionamento deste reagente variou entre 6

a 16 minutos, sendo que a maior parte dos ensaios foram efectuados com o tempo de condicionamento igual a 8 minutos.

Aerofina 3418A: A composição química da Aerofina 3418A é diisobutil ditiofosfato de sódio. É um colector baseado na química da fosfina.

A Aerofina 3418A, sendo um colector primário eficaz, combina com o forte poder dos xantatos para a flutuação dos sulfuretos de cobre, chumbo e zinco (Cyanamid, 1986). Este promotor é altamente selectivo contra minerais contendo ferro e arsénio (como é o caso da pirite e arsenopirite). O consumo da Aerofina 3418A é geralmente 30% a 50% menor que o xantatos para recuperações iguais (Cyanamid, 1986). O processo de flutuação usando este ditiofostato verifica condições óptimas quando se emprega um pH neutro a ligeiramente alcalino.

Nos ensaios realizados a Aerofina 3418A a 1% foi sempre adicionada à polpa a seguir ao xantato e condicionada durante 4 minutos. As concentrações introduzidas na polpa variam entre 0 g/t a 82.5 g/t.

d) Espumante

O espumante usado nos ensaios efectuados foi o metil isobutil carbinol (MIBC) pois este é selectivo, produzindo uma espuma frágil. No processo de condicionamento da polpa o MIBC a 97% foi o último reagente a ser adicionado. Apenas alguns segundos eram necessários para a formação da espuma pelo que logo a seguir introduzia-se o ar na célula de modo a dar início ao processo de flutuação. As concentrações de MIBC usadas nos ensaios variam entre 565 g/t a 1171 g/t conforme a concentração de reagentes usado, pois a quantidade espumante exigida é proporcional à quantidade de activador e colectores.

2.3.4 Análise Químicas

Com o objectivo de obter os teores na alimentação, nos flutuados e nos afundados, de modo a controlar o processo de flutuação foram realizadas análises química mediante o uso de duas técnicas distintas que são: Espectrometria de Fluorescência de raio-X e Espectrometria de Absorção Atómica. Devido à sua rapidez e facilidade de maneo, usou-se o espectrómetro de

fluorescência de raio-X de forma a determinar os teores dos sulfuretos de interesse neste trabalho e a avaliar o decurso dos ensaios sob as diferentes condições ou seja especialmente para o rápido controle de processo.

As análises químicas usando o espectrómetro de absorção atômica foram realizadas no fim de todos os ensaios de flutuação.

2.3.4.1 Espectrometria de Fluorescência de raios-X

A análise multielementar instrumental por fluorescência de raios-X (XRF) é baseada na medida das intensidades dos raios-X característicos emitidos pelos elementos químicos constituintes da amostra, quando devidamente excitada. A análise por fluorescência de raios-X é um método quali-quantitativo baseado na medida das intensidades (número de raios-X detectados por unidade de tempo) dos raios-X característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra. Os raios-X emitidos por tubos de raios-X ou gama por uma fonte radioactiva, excitam os elementos que constituem, os quais, por sua vez, emitem linhas espectrais com energias características do elemento e cujas intensidades estão relacionadas com a concentração do elemento na amostra.

Quando um elemento de uma amostra é excitado, este tende a ejectar os electrões do interior dos níveis dos átomos, e como consequência disto, electrões dos níveis mais afastados realizam um salto quântico para preencher os espaços vagos. Cada transição electrónica constitui uma perda de energia para o electrão, e esta energia é emitida na forma de um fóton de raios-X, de energia característica e bem definida para cada elemento. Assim, de modo resumido, a análise por fluorescência de raios-X consiste de três fases: excitação dos elementos que constituem a amostra, dispersão dos raios-X característicos emitidos pela amostra e detecção desses raios-X (Nascimento Filho, 1999).

Esta técnica, por ser não destrutiva e instrumental, e por permitir a análise de vários elementos simultaneamente, de modo rápido e a baixo custo, tem um elevado potencial de aplicação em várias áreas, onde há necessidade de correlação entre os elementos essenciais e tóxicos (Nascimento Filho, 1999).

2. Materiais e Métodos

Neste trabalho foi usado para obtenção dos teores e controle do processo de flutuação um equipamento portátil com a seguinte referência: *Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+ XRF Analyzer* (Figura 9.a). Os resultados obtidos usando esta técnica podem sofrer algumas variações de acordo com a forma como as amostras são preparadas. Assim sendo, cerca de 70 % a 90% dos erros nas leituras das amostras pelo método de fluorescência de raio-X provêm da preparação incorrecta das amostras. Para obtenção de resultados aceitáveis, as amostras a analisar foram preparadas sob a forma de “*pressed powder pellets*” ou seja pastilhas de pó prensadas (Figura 9.b).

A preparação das amostras, foi feita manualmente mediante o uso de moldes apropriados cuja base é suportada por uma película plástica de polipropileno com 4 μm de espessura. A quantidade de material (em pó) a ser analisada por cada amostra varia entre 2 a 3 gramas sendo que uma vez compactadas atingiam espessuras entre 3 mm a 4 mm.

As leituras no *Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+ XRF Analyzer* foram feitas durante 120 segundos usando um modelo de amostragem denominado *Text all Geo*.

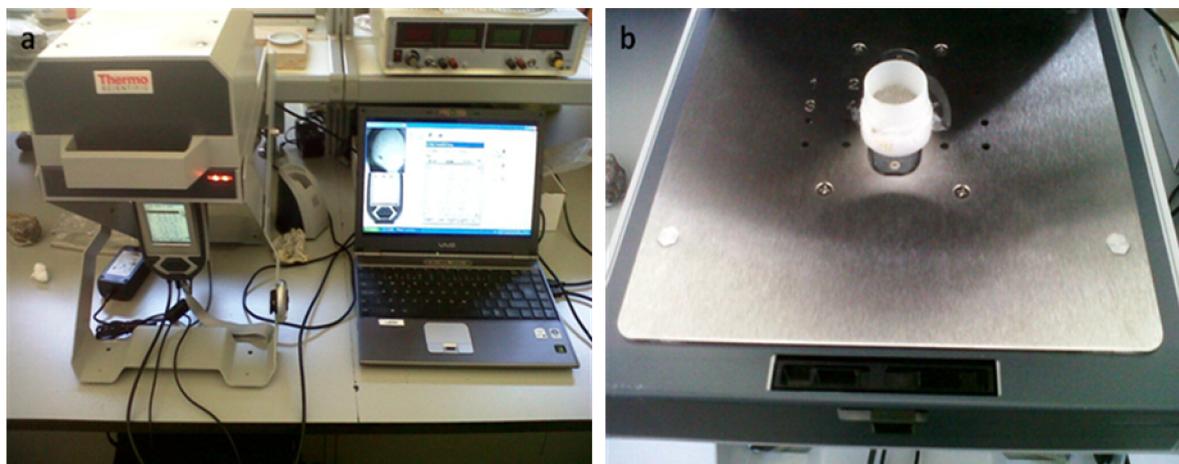


Figura 9 - A. *Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+ XRF Analyzer* conectado ao computador; B. No centro da imagem a “pastilha de pó prensada” constituída pela amostra a ser analisada.

2.3.4.2 Espectrometria de Absorção Atômica

O princípio fundamental da espectrometria de absorção atômica envolve a medição da absorção da intensidade da radiação electromagnética, proveniente de uma fonte de radiação primária, por átomos gasosos no estado fundamental. A espectrometria de absorção atômica utiliza esse fenómeno para a determinação quantitativa de elementos (metais, semi-metais e

alguns não metais) em uma ampla variedade de amostras, tais como, materiais biológicos (tecidos e fluidos), ambientais (águas, solos, sedimentos e plantas), alimentos, geológicos, tecnológicos, etc. Os dois tipos de atomizadores mais usados em espectrometria de absorção atômica são a chama e o forno de grafite. A técnica espectrometria de absorção atômica com chama (*FAAS – Flame Atomic Absorption Spectrometry*) é mais utilizada para análises elementares em níveis de mg/L, enquanto que a espectrometria de absorção atômica com atomização electrotérmica em forno de grafite (*ETAAS – Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry*) é utilizada para determinações de baixas concentrações em níveis de µg/L (Krug *et al.*, 2004).

Os componentes básicos de um espectrómetro incluem a fonte de radiação, sistema de atomização, conjunto monocromador, detector e processador.

As análises químicas executadas neste trabalho através da espectrometria de absorção atômica para obter os teores das amostras comportaram os seguintes estágios a conhecer: pesagem, ataque, digestão em microondas e análise em espectrómetro de absorção atômica.

- a) **Pesagem:** as pesagens das amostras foram efectuadas numa balança de precisão onde se procurava obter uma porção igual a 500 g para cada amostra.
- b) **Ataque:** o ataque foi feito com 9 ml de ácido clorídrico (HCl) e 7.5 ml/kg de HNO₃, segundo o recomendado por Anton Paar (2002).
- c) **Digestão por Microondas:** o processo de digestão por microondas consiste na colocação da amostra, juntamente com ácidos e/ou outros agentes oxidantes adequados, dentro de um vaso fechado equipado com válvulas de libertação de pressão. Este e, por sua vez, submetido a energia microondas num forno devidamente construído para o efeito. As condições de alta pressão geradas no vaso, acopladas ao rápido aquecimento do conteúdo do vaso por acção da energia microondas fornecida as moléculas de ácido, conduzem a dissolução da amostra de uma forma rápida, menos sujeita a contaminações e menos propensa a perdas de analito por volatilização, factores estes mais problemáticos na

2. Materiais e Métodos

digestão em placa com vaso aberto. Neste trabalho, a digestão por microondas foi realizado com um equipamento com a seguinte referência “Anton-Paar – Multiwave 3000”. Este microondas permite que se faça a digestão de dezasseis amostras em cada série.

- d) **Análise das Amostras:** as análises químicas das amostras foram feitas mediante o uso do espectrómetro de absorção atômica com a seguinte referencia “AAS-Spectrometer Solaar MZQ Zeeman, Graphite furnace GF95, Autosampler FS95” (figura 11). Importa referir que todas análises foram realizadas usando apenas o atomizador de chama.

Os padrões de concentração usados na análise dos metais de interesse para este estudo foram os seguintes: Ag = 10ppm; As=10 ppm; Au =10 ppm; Cu = 5ppm; Pb = 5ppm e Zn = 5ppm. Para os metais como arsénio, cobre, chumbo e zinco foi necessário diluir as soluções a analisar pois usando soluções não diluídas os teores resultantes eram muito mais altos em relação aos padrões definidos para a análise. Assim sendo, o arsénio foi diluído a uma proporção de 1:100; o cobre foi diluído a uma proporção de 1:10; o chumbo foi diluído a uma proporção de 1:1000 para o primeiro flutuado e de 1:100 para o segundo flutuado e o zinco foi diluído a uma proporção de 1:100.



Figura 10 - A. Espectrómetro de Absorção Atômica “Solaar MZQ Zeeman, Graphite furnace GF95, Autosampler FS95”. B. Análise química por atomizador de chama.

2.3.5 Análise Mineralógica

A análise mineralógica feita neste estudo teve como principal intuito a identificação qualitativa das fases mineralógicas presentes no material a tratar e para tal recorreu-se a técnica da difracção de raio-X.

A difracção de raio-X é uma das ferramentas básicas para caracterização mineralógica de minérios. O método baseia-se na interacção de ondas na frequência de raio-X (geralmente entre 0,70 e 2,30 Å) com os planos de repetição sistemática do retículo cristalino. Pela própria definição, aplica-se apenas a materiais cristalinos, e não a amorfos (Luz *et al.*, 2005). A Lei de Bragg fornece a base teórica do método: $\lambda = 2d \sin\theta$, onde λ é o comprimento de onda da fonte de raio-X utilizado, d são as distâncias interplanares e θ é o ângulo da reflexão. Um conjunto das diversas distâncias interplanares (d) é típico para cada mineral, e estão tabuladas em diversas referências, sendo a mais difundida e utilizada a do ICDD (*International Center for Diffraction Data*).

No presente trabalho, as análises mineralógicas por difracção de raio-X foram realizadas pelo método de pó num difractómetro PW3710 BASED, marca Philips, com tudo de cobre, nas condições de 40kV e 20mA (Figura 11).



Figura 11 - Difractómetro de raio-X “PW3710 BASED”.

2.3.6 Análise Granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação da quantidade de material que possui um determinado calibre (ou que está dentro de um dado intervalo). Basicamente, o que é necessário fazer, é determinar as dimensões das partículas individuais e estudar a sua distribuição, quer pelo peso de cada classe dimensional considerada, quer pelo seu volume, quer ainda pelo número de partículas integradas em cada classe. Na realidade, estas três formas têm sido utilizadas.

Para analisar a distribuição granulométrica do material em estudo o equipamento usado foi um granulómetro laser *Coulter LS230* (Figura 13). Embora o lote considerado para flutuação foi o $<250\mu\text{m}$, é importante referir que existem também dentro deste lote pouquíssimas quantidades de material calibre com até $500\mu\text{m}$.



Figura 12 - Granulómetro Laser Coulter LS230.

3. Apresentação dos Resultados

Os dados apresentados neste capítulo são inerentes a todas as análises efectuadas, desde análises mineralógicas, químicas e granulométricas.

Importa salientar que ambas as técnicas (espectrometria de fluorescência de raio-X e espectrometria de absorção atómica) fornecem dados elementares pelo que as análises mineralógicas tiveram como objecto a identificação dos minerais presentes. Assim sendo fazendo uma analogia entre os minerais presentes e elementos analisados, e com auxílio de cálculos estequiométricos simples pode-se ter a noção dos teores dos minerais presentes nos flutuados.

3.1 Análise Mineralógica (Difracção de raio-X)

Os minerais presentes no material em estudo podem ser visualizados nos difractogramas da Figura 13 (A, B, C, D e E).

De modo geral os minerais existentes no material em estudo são: quartzo, micas, argilas, pirite, arsenopirite, galena, esfalerite, calcopirite, sulfureto de cobre e sulfuretos de cobre, níquel e estanho e argentite. Observando para os difractogramas da Figura 13, verifica-se que há uma tendência similar entre os flutuados no que diz respeito aos minerais presentes.

3. Apresentação dos Resultados

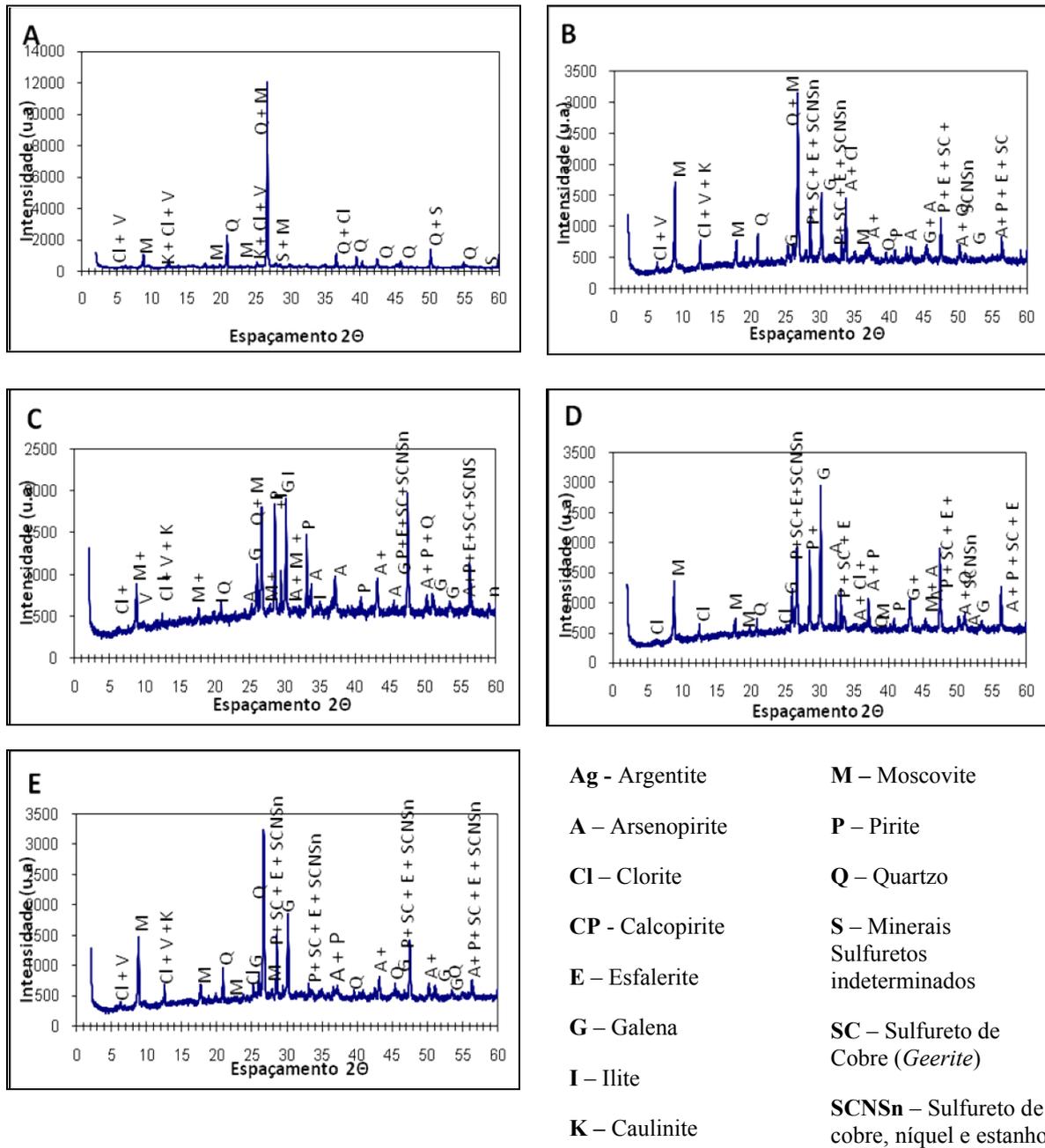


Figura 13 - A. Difractograma da amostra tal qual; B. Difractograma da amostra do flutuado 1.0; C. Difractograma da amostra do flutuado 7.0; D. Difractograma da amostra do flutuado 11.0 ; E. Difractograma da amostra do flutuado 45.0.

3.2 Análise das amostras do tal qual

Antes da apresentação dos resultados dos teores obtidos nos flutuados, importa apresentar os resultados obtidos para a amostra tomada do material tal qual (Tabela 9). O arsénio apresenta maiores teores no tal qual e o ouro é o metal com menores teores. Há diferenças significativas entre os teores obtidos pela análise por espectrometria de fluorescência de raios-X e espectrometria de absorção atômica, sendo este último o que maiores valores apresenta para todos os metais.

Tabela 9 - Teores obtidos nas análises das amostras do tal qual.

Elementos	EFRX	EAA
	Teores (%)	Teores (%)
As	0.46	0.85
Pb	0.135	0.28
Zn	0.27	0.37
Cu	0.022	0.027
Ag	0.005	0.0104
Au		0.009

3. Apresentação dos Resultados

3.3 Influência do Amil Xantato de Potássio (PAX)

Os resultados das análises dos flutuados (quer por espectrometria de fluorescência de raios-X, quer por espectrometria de absorção atômica) em que se pretendia estudar a influência do amil xantato de potássio estão patentes na Tabela 10. Fez-se variar a concentração do amil xantato de potássio de 0 g/t até 100 g/t. As condições de marcha dos ensaios de flutuação para podem ser observadas no Anexo A e concretamente nos ensaios 25, 26, 36, 38, 27 e 45.

Tabela 10 - Teores obtidos pela análise dos flutuados considerados para o estudo da influência do PAX.

PAX (g/t)		Fluorescência de Raios-X						Absorção Atômica					
		As	Pb	Zn	Cu	Ag	Au	As	Pb	Zn	Cu	Ag	Au
0	1ºFlutuado	3.01	2.26	3.50	0.28	0.080	0.010	3.87	4.19	4.39	0.40	0.158	0.059
	2ºFlutuado	1.56	0.09	0.18	0.01	0.002		2.17	0.12	0.28	0.01	0.002	0.001
12.5	1ºFlutuado	3.01	2.58	3.71	0.35	0.092	0.010	4.68	5.09	5.00	0.46	0.064	0.048
	2ºFlutuado	1.63	0.12	0.20	0.02	0.003		2.08	0.20	0.42	0.01	0.004	0.003
25	1ºFlutuado	3.41	3.09	5.09	0.45	0.132		4.95	6.34	5.33	0.73	0.218	0.071
	2ºFlutuado	2.18	0.12	0.49	0.04	0.004		3.05	0.15	0.61	0.02	0.006	0.007
50	1ºFlutuado	3.38	3.14	4.87	0.42	0.101	0.014	6.14	6.45	3.75	0.58	0.192	0.066
	2ºFlutuado	1.85	0.11	0.46	0.03	0.003		2.56	0.15	0.65	0.01	0.006	0.006
75	1ºFlutuado	4.00	2.94	4.56	0.39	0.094		5.18	4.38	3.73	0.40	0.155	0.053
	2ºFlutuado	2.54	0.12	0.23	0.02	0.003		3.34	0.64	0.73	0.05	0.020	0.008
100	1ºFlutuado	3.79	2.22	3.89	0.31	0.080	0.022	5.43	4.22	2.30	0.38	0.107	0.048
	2ºFlutuado	2.22	0.23	0.33	0.04	0.008		3.83	0.51	0.50	0.04	0.018	0.005

As Figuras 14 (gráficos A e B) e 15 (gráficos A e B), representam os gráficos de teor, rendimento em peso e recuperação versus a concentração do amil xantato de potássio para o primeiro e segundo flutuado respectivamente, tendo em conta os resultados obtidos nas análises de elementos por fluorescência de raios-X. O zinco e o arsénio são os metais que apresentam maiores teores com valores médios de 4.3% e 3.4% respectivamente, sendo a prata o metal que apresenta menor teor, isto é, com uma percentagem média igual a 0.097%. A prata e o chumbo são os elementos que apresentam maiores recuperações (que variam entre os 81.5% a 92.5% para a prata e 75 % a 94.3% para o chumbo) e por sua vez o arsénio apresenta baixas recuperações que variam entre 27.7% a 44.8 % . De modo geral a recuperação dos metais tende a aumentar com o aumento da concentração do amil xantato de potássio até 75 g/t.

Para a concentração de PAX de 100 g/t, observou-se uma ligeira diminuição da recuperação do chumbo. Dos elementos em estudo, o arsénio é o que apresenta menores recuperações.

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadaria Grande (Região de Góis)

O maior rendimento em peso é atingido no ensaio com 100 g/t cujo valor é igual 5.1% e o menor rendimento em peso é atingido para 25 g/t cuja percentagem é igual a 3.53%. Este parâmetro é fortemente condicionado pela quantidade e qualidade da espuma formada. A formação de muita espuma, para além de poder traduzir-se em maior recuperação por flutuação verdadeira dos elementos analisados, também pode significar maior recuperação por arrastamento. Observamos algum paralelismo entre a recuperação do arsénio e o rendimento em peso. Os piores resultados, isto é, menores teores no flutuado e menores recuperações são obtidos na ausência de PAX.

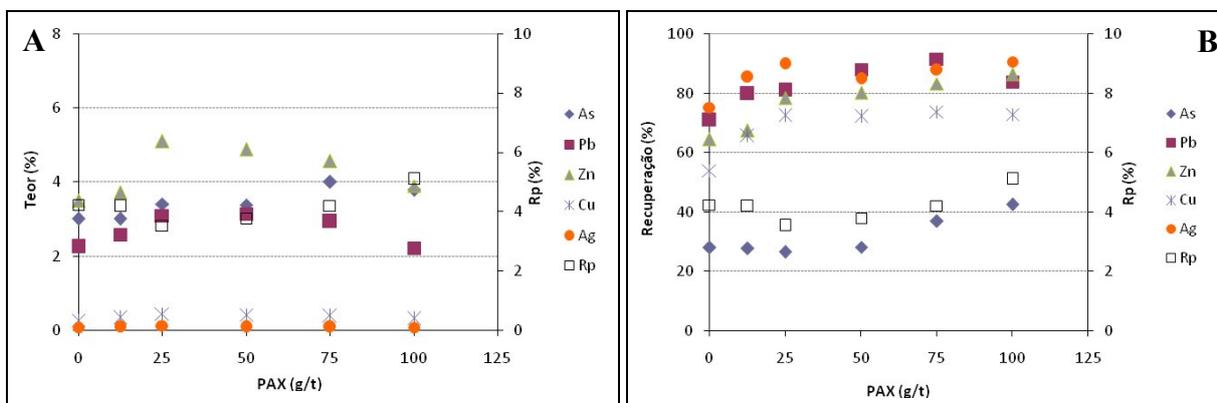


Figura 14 - Influência da concentração PAX no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.

Na Figura 15 representa-se a influência do amil xantato de potássio no teor, rendimento em peso, e recuperação dos metais para o segundo flutuado, considerando os resultados obtidos pelas análises por fluorescência de raios-X. Observa-se que o arsénio é o metal que apresenta maior teor (com uma percentagem média de 2%) e por sua vez a prata com um teor igual a 0.003% apresenta os menores valores. Importa referir que com excepção do arsénio todos os metais apresentam comportamento semelhante.

Saliente-se que o maior teor em arsénio não significa que ele é mais facilmente flutuável, mas é apenas consequência do seu maior teor no tal qual e da menor recuperação no primeiro flutuado.

Com excepção do arsénio a recuperação dos outros quatro metais apresenta valores similares aos valores do rendimento em peso. Isto significa que a sua recuperação se deve fundamentalmente ao arrastamento.

3. Apresentação dos Resultados

Observa-se claramente que ao contrário do que acontece com a recuperação no primeiro flutuado, no segundo flutuado o arsénio apresenta maiores percentagens de recuperação, que variam entre 8.9% a 15.5%. Isto resulta de quase toda a galena (Pb), esfalerite (Zn), calcopirite (Cu) e argentite (Ag) ser flutuada durante os primeiros minutos (1º flutuado).

O maior rendimento em peso é atingido no ensaio com 0 g/t cuja percentagem é igual a 3.8% e o menor rendimento em peso verifica-se para a concentração de PAX de 25 g/t com 1.9%.

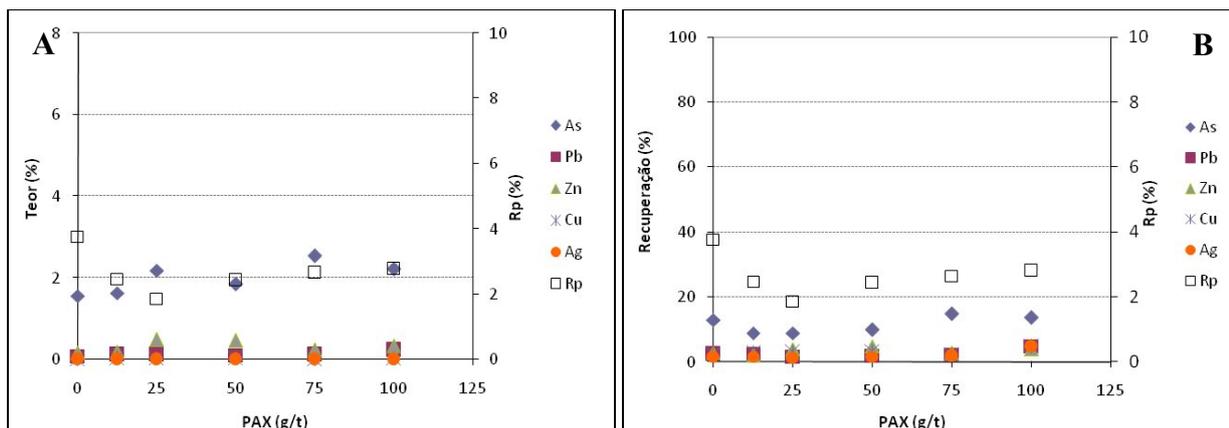


Figura 15 - Influência da concentração PAX no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.

As Figuras 16 (gráficos A e B) e 17 (gráficos A e B), representam os gráficos de teor, rendimento em peso e recuperação versus a concentração do PAX para o primeiro e segundo flutuado respectivamente, atendendo os resultados das análises químicas por espectrometria de absorção atômica.

Verifica-se que o chumbo e o arsénio são os metais com maiores teores enquanto o ouro e a prata possuem os mais baixos teores para o primeiro flutuado. Os teores médios destes metais para os ensaios considerados são: Pb = 5.1%, As = 5.1%, Au = 0.06% e Ag = 0.15%.

Os mais altos teores para o chumbo e a prata são atingidos para valores intermédios da concentração de PAX. Os menores teores são obtidos na ausência de PAX e para a concentração máxima de PAX. Observa-se que os teores têm uma variação simétrica do rendimento em peso. Maiores rendimentos em peso traduzem-se em flutuados com menores teores. No gráfico B da Figura 16 verifica-se que o chumbo e o cobre possuem as mais elevadas recuperações e por sua vez o arsénio e o ouro são os metais com as mais baixas recuperações. Estes dois metais apresentam resultados semelhantes, consequência de estarem

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadaria Grande (Região de Góis)

associados. Para os outros metais as maiores recuperações são obtidas para concentrações intermédias de PAX, tal como se tinha verificado pelos resultados da fluorescência de raios-X

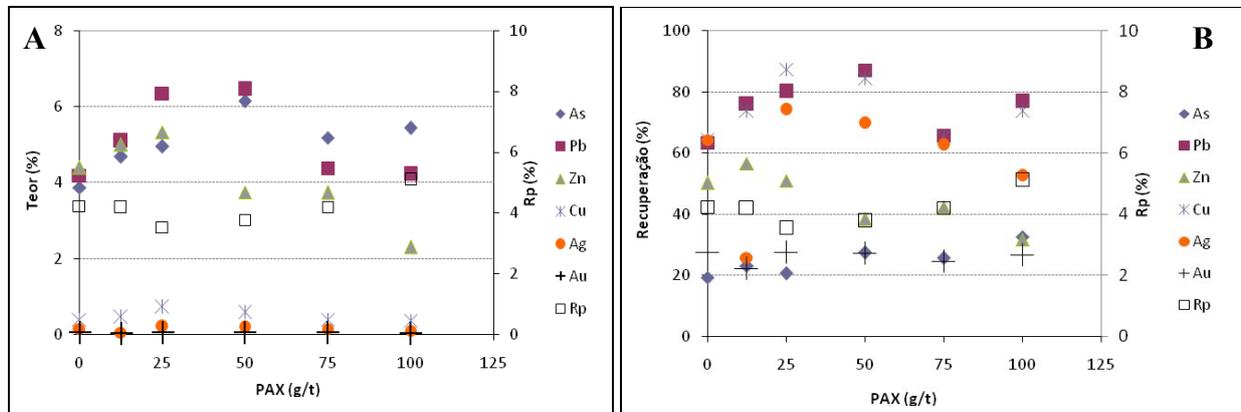


Figura 16 - Influência da concentração do PAX no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.

A Figura 17 corresponde ao gráfico que representa a influência da concentração de PAX no teor e na recuperação dos metais em estudo para o segundo flutuado. O arsénio apresenta os maiores teores para o segundo flutuado e o ouro os menores teores. Não existe uma tendência bem definida dos metais a medida em que se aumenta os teores, entretanto com a exceção do arsénio, a partir de PAX = 75 g/t todos os metais tem a tendência de baixar os seus teores. À semelhança do que acontece com o teor, o arsénio é o metal que apresenta maiores recuperações apresenta, com uma percentagem média de 8.8%. Os outros metais apresentam baixas recuperações, com valores da mesma ordem de grandeza do rendimento em peso, tal como se tinha verificado da análise dos resultados obtidos pela fluorescência de raios-X.

3. Apresentação dos Resultados

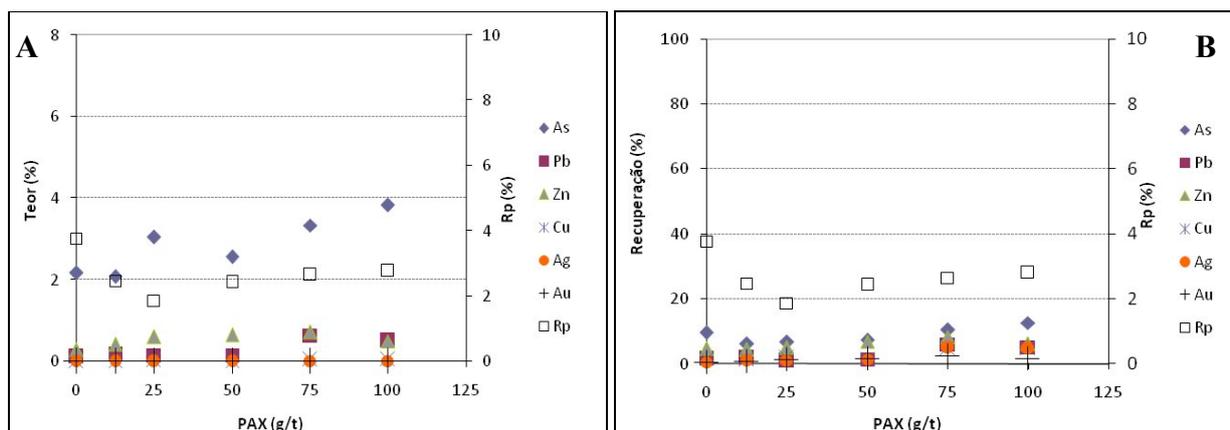


Figura 17 - Influência da concentração do PAX no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.

Os gráficos A e B da Figura 18, representam as curvas de distribuição granulométrica do tal qual e do primeiro e segundo flutuado para os ensaios em que se estudou a influência da concentração do PAX. De modo geral, os dois gráficos apresentam curvas com a mesma tendência em que os dois flutuados apresentam uma granulometria muito mais fina do que o tal qual (alimentação). Refira-se que no tal qual apenas 17% do material tem calibre inferior 5.5 μm , enquanto que no primeiro flutuado 47% do material tem calibre inferior 5.5 μm e no segundo flutuado esse valor é de 50%.

O calibre muito mais fino do flutuado resulta da dificuldade em fazer flutuar partículas grosseiras e das partículas finas serem mais facilmente arrastadas. Constata-se que a percentagem de partículas com calibre superior a 150 μm é muito pequena.

O calibre mais fino do segundo flutuado relativamente ao primeiro flutuado é consequência da menor contribuição da flutuação verdadeira, sendo o material recolhido no flutuado fundamentalmente por acção do arrastamento, fazendo-se sentir este fenómeno mais fortemente nas fracções mais finas.

Nos ensaios com PAX = 0 g/t e PAX = 12.5 g/t cujos rendimentos em peso são relativamente maiores comparativamente aos outros ensaios com a excepção do ensaio PAX = 100 g/t, verificam-se também maior percentagem de finos.

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

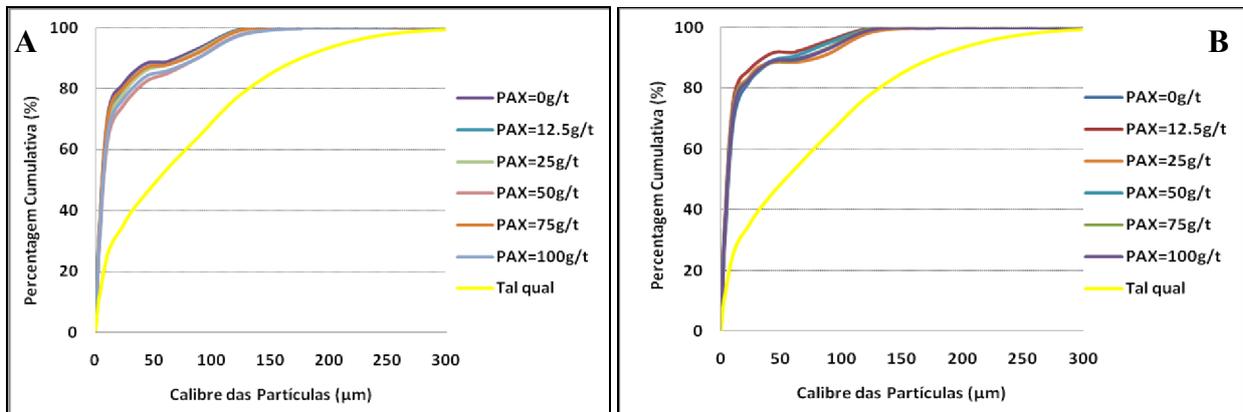


Figura 18 - Curvas de distribuição granulométrica das amostras do primeiro (A) e segundo (B) flutuado atendendo à influência da concentração do PAX.

3. Apresentação dos Resultados

3.4 Influência da Aerofina 3418A

Os resultados das análises dos flutuados (quer por espectrometria de fluorescência de raios-X, quer por espectrometria de absorção atômica) em que se estudou a influência da Aerofina 3418A podem ser visualizados na Tabela 11. Para o estudo da influência da Aerofina 3418A fez-se variar as suas concentrações desde 0 g/t até 82.5 g/t.

Tabela 11 - Teores obtidos pela análise dos flutuados considerados para o estudo da influência Aerofina 3418A.

Aerofina 3418A (g/t)		Fluorescência de Raios-X						Absorção Atômica					
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)
0	1ºFlutuado	3.21	3.7	4.4	0.47	0.139	0.014	4.43	6.1	4.3	0.6	0.222	0.071
	2ºFlutuado	1.5	0.1	0.4	0.02	0.004		2.23	0.2	0.52	0	0.006	0.006
13.75	1ºFlutuado	3.63	3.5	4.7	0.4	0.131	0.065	5.34	6.4	5.01	0.6	0.202	0.082
	2ºFlutuado	1.89	0.2	0.3	0.03	0.007		2.37	0.3	0.32	0	0.007	0.004
27.5	1ºFlutuado	3.41	3.1	5.1	0.45	0.132		4.94	6.3	5.33	0.7	0.218	0.071
	2ºFlutuado	2.18	0.1	0.5	0.04	0.004		3.05	0.2	0.61	0	0.006	0.007
55	1ºFlutuado	4.29	4.2	7	0.61	0.167	0.034	6.18	7.6	7.8	0.9	0.254	0.096
	2ºFlutuado	2.15	0.3	0.6	0.05	0.008		3.61	0.4	0.89	0.1	0.016	0.008
82.5	1ºFlutuado	4.2	2.3	4.5	0.27	0.085		5.83	4.6	3.59	0.4	0.143	0.063
	2ºFlutuado	1.84	0.4	0.5	0.04	0.010		2.75	0.8	0.61	0.1	0.025	0.016

As Figuras 19 (gráficos A e B) e 20 (gráficos A e B), representam os gráficos de teor, rendimento em peso e recuperação versus a concentração da Aerofina 3418A para o primeiro e segundo flutuado respectivamente, atendendo aos resultados obtidos pela análise da fluorescência de raios-X.

Tomando em consideração o gráfico (Figura 19.A) que relaciona o teor, rendimento em peso e a concentração de Aerofina 3418 A, observa-se claramente que os maiores teores para todos metais são atingidos para a concentração 55 g/t de Aerofina. Isto foi apenas consequência de naquele ensaio ser menor o rendimento em peso, traduzido na menor contribuição do arrastamento e consequente obtenção de um flutuado com maior teor nos minerais flutuáveis. Os metais com maiores teores são o zinco e o arsénio com percentagens médias de 5.1% e 3.8%, respectivamente, e por sua vez a prata é o metal com menor teor, apresentando uma percentagem média de 0.13%.

A prata e o chumbo apresentam maiores recuperações, com valores médios de 85.5% e 84.7%, respectivamente, enquanto que o arsénio apresenta as menores recuperações, com um valor médio igual a 29.1%. A esfalerite é o mineral que apresenta um comportamento mais sensível à variação da concentração de Aerofina, pois a recuperação de zinco é mínima na

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

ausência deste reagente e observa-se que a sua recuperação aumenta com o aumento da concentração de Aerofina. Para os outros elementos a variação da concentração de Aerofina não mostra influência significativa.

O maior rendimento em peso verifica-se para o ensaio com a concentração de Aerofina de 82.5 g/t cuja percentagem é igual a 4.6% e o menor rendimento em peso verifica-se para concentração de Aerofina de 55 g/t com 2.76%.

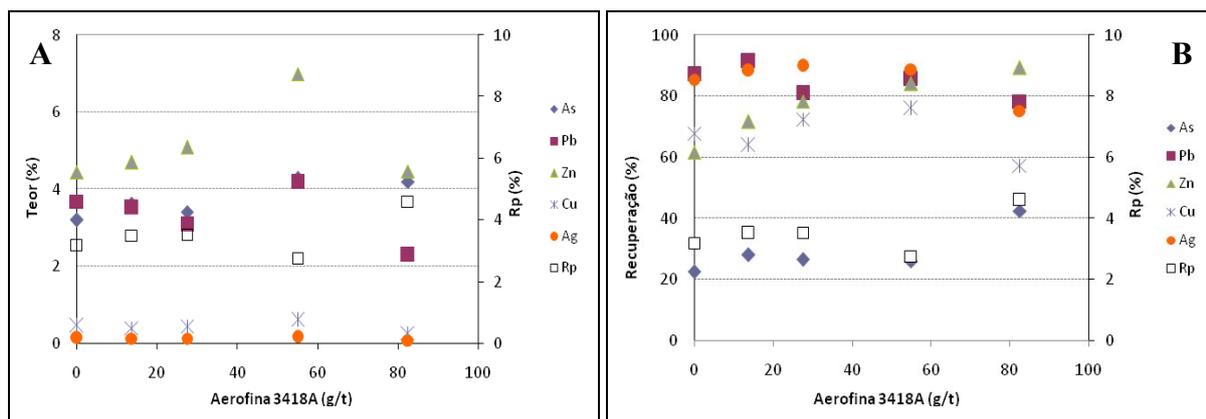


Figura 19 - - Influência da concentração de Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.

Nos gráficos A e B da Figura 20 representa-se a influência da concentração da Aerofina 3418 A no teor, rendimento em peso e recuperação do segundo flutuado, atendendo aos resultados obtidos através da fluorescência de raios-X. O arsénio e o zinco apresentam maiores teores cujas percentagens médias são 1.91% e 0.46% respectivamente, enquanto a prata é o metal com menores teores. O teor dos cinco metais é inversamente proporcional ao rendimento em peso.

Para além de teores relativamente altos comparativamente aos outros metais, o arsénio apresenta também maiores recuperações com um valor médio de 11.2%. A recuperação de arsénio está directamente relacionada com o rendimento em peso. Os outros quatro metais apresentam baixas recuperações, consequência da sua elevada recuperação no primeiro flutuado.

3. Apresentação dos Resultados

O maior rendimento em peso atingiu-se para concentração de 13.75 g/t de Aerofina com 3.8% e o menor rendimento em peso atingiu-se para 27.5 g/t de Aerofina com uma percentagem igual a 1.9%.

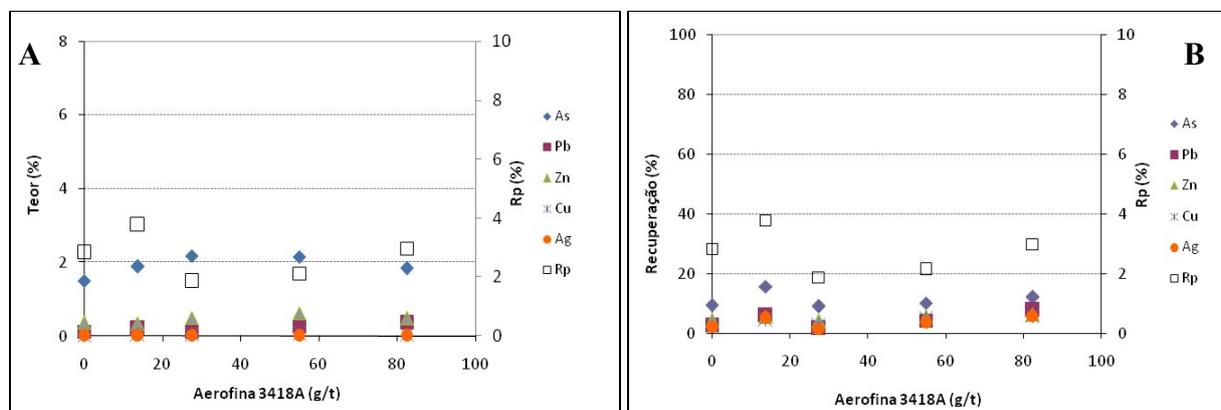


Figura 20 - Influência da concentração da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.

As Figuras 21 (gráficos A e B) e 22 (gráficos A e B), representam os gráficos de teor, rendimento em peso e recuperação versus concentração da Aerofina 3418A para o primeiro e segundo flutuado respectivamente, atendendo aos resultados das análises químicas por espectrometria de absorção atômica.

Observa-se que o chumbo e o arsénio apresentam os maiores teores, sendo o teor médio do chumbo igual a 6.2% e do arsénio 5.3% (Figura 21.A). O ouro é o metal com os mais baixos teores no primeiro flutuado cuja percentagem média é igual 0.08%. Para todos os metais, os mais elevados teores são alcançados para concentração de 55 g/t de Aerofina 3418A, a que corresponde o menor rendimento em peso. Os menores teores foram obtidos para o ensaio (82.5 g/t de Aerofina) a que corresponde maior rendimento em peso.

No gráfico B da Figura 21 verifica-se que o cobre e o chumbo apresentam maiores recuperações sendo as recuperações médias as seguintes 78.8% para o cobre e 75.5% para o chumbo. O arsénio e o ouro apresentam muito menores recuperações, tal como se tinha verificado pelos resultados a partir da fluorescência de raios-X.

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadaria Grande (Região de Góis)

É visível a influência da Aerofina na recuperação do zinco, pois na sua ausência é mínima recuperação daquele metal.

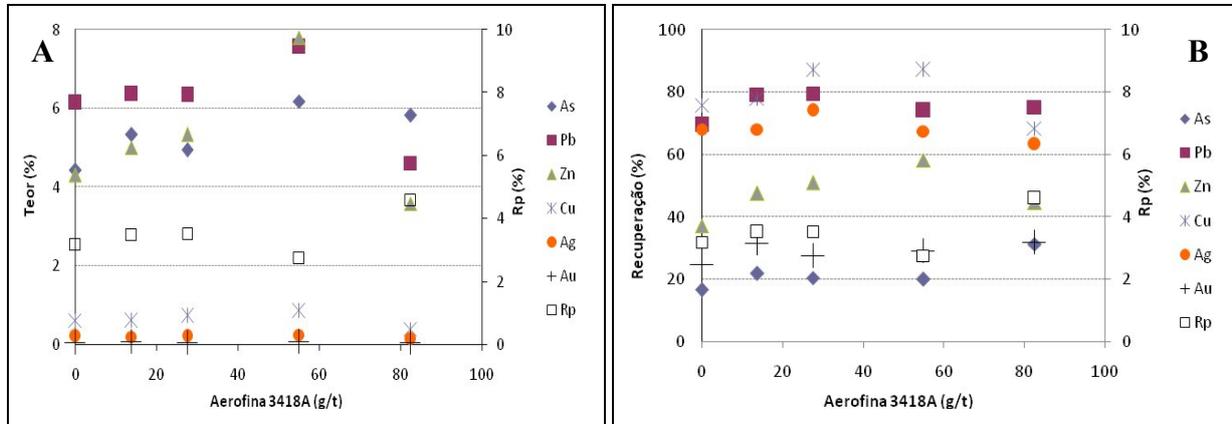


Figura 21 - Influência da concentração da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.

No segundo flutuado (Figura 22), o arsénio possui os mais elevados teores com uma percentagem média de 2.80% e o ouro com uma percentagem média de 0.0081% é o metal com teores mais baixos. Os maiores teores são alcançados para concentração intermédia de Aerofina, talvez apenas porque resultou menor rendimento em peso, traduzindo-se em menor contribuição do arrastamento. No entanto, registre-se que aqueles valores são muito inferiores aos teores do primeiro flutuado.

O arsénio continua a apresentar as maiores recuperações, consequência da sua menor recuperação no primeiro flutuado.

3. Apresentação dos Resultados

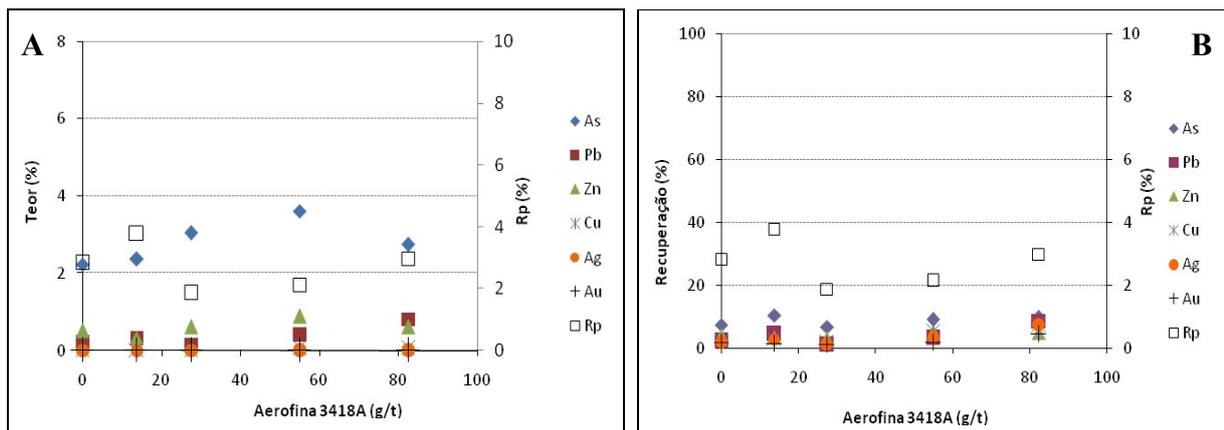


Figura 22 - Influência da concentração da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.

A Figura 23 representa os gráficos das curvas de distribuição granulométrica do tal qual e primeiro e segundo flutuados para os ensaios em que se estudou a influência da Aerofina 3418A. O tal qual apresenta maior percentagem de partículas grosseiras. O segundo flutuado apresenta uma granulometria ligeiramente mais fina do que o primeiro flutuado pois cerca de 49.7% do material tem calibre inferior 5.5 μm enquanto que no primeiro flutuado essa percentagem é de 47.8%. A sobreposição das curvas do primeiro flutuado é quase perfeita e por sua vez, no segundo flutuado verifica-se que o ensaio de 82.5 g/t Aerofina apresenta menor percentagem de material “grosso”.

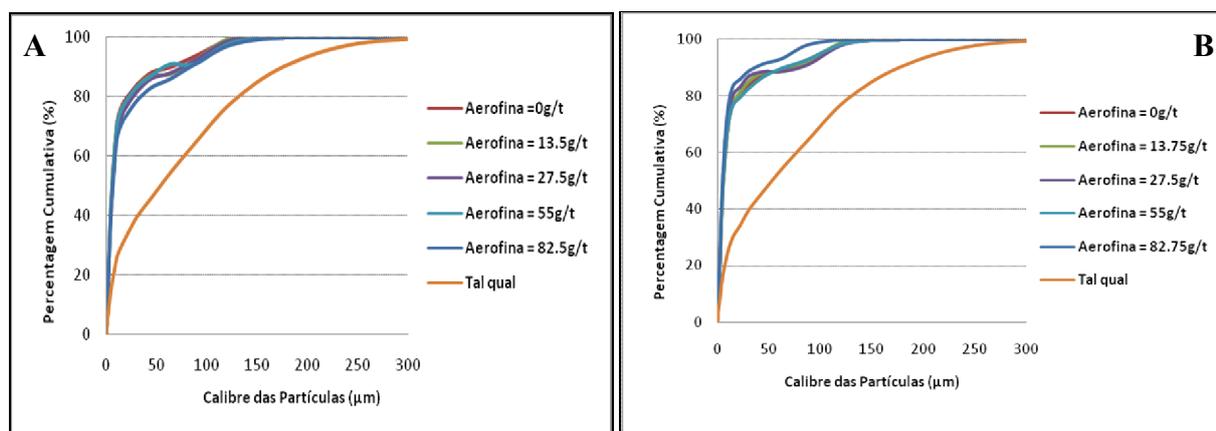


Figura 23 - Curvas de distribuição granulométrica das amostras do primeiro (A) e segundo (B) flutuado atendendo a influência da concentração da Aerofina 3418A.

3.5 Influência do Sulfato de Cobre (CuSO₄)

Os resultados das análises efectuadas através da fluorescência de raios-X e através da espectrometria de absorção atômica dos flutuados obtidos sob diferentes concentrações de CuSO₄ podem ser visualizados na Tabela 12.

Tabela 12 - Teores obtidos pela análise dos flutuados considerados para o estudo da influência do CuSO₄.

CuSO ₄ (g/t)		Fluorescência de Raios-X						Absorção Atômica					
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)
0	1ºFlutuado	3.31	2.2	2.7	0.27	0.075	0.011	3.97	3.1	3.71	0.3	0.142	0.056
	2ºFlutuado	1.15	0.1	0.3	0.02	0.003		1.74	0.2	0.5	0	0.003	0.001
45	1ºFlutuado	4.41	3.5	6.1	0.57	0.138	0.013	7.08	6.9	6.27	0.8	0.213	0.083
	2ºFlutuado	2.01	0.4	0.9	0.07	0.015		2.39	0.9	1.47	0.1	0.026	0.011
90	1ºFlutuado	3.41	3.1	5.1	0.45	0.132		4.95	6.3	5.33	0.7	0.218	0.071
	2ºFlutuado	2.18	0.1	0.5	0.04	0.004		3.05	0.2	0.61	0	0.006	0.007
180	1ºFlutuado	4.1	3.8	6.8	0.52	0.137	0.014	6.24	7.2	8.42	0.8	0.232	0.079
	2ºFlutuado	2.22	0.4	0.5	0.06	0.013		2.59	0.7	0.89	0.1	0.022	0.007
270	1ºFlutuado	3.18	3	5.2	0.4	0.108		5.48	6	7.21	0.6	0.192	0.066
	2ºFlutuado	2.07	0.1	0.1	0.03	0.003		2.69	0.1	0.21	0	0.003	0.002
360	1ºFlutuado	3.57	2.6	4.6	0.32	0.088	0.017	6.68	5.5	5.73	0.5	0.166	0.069
	2ºFlutuado	2.58	0.1	0.2	0.04	0.004		3.76	0.2	0.33	0	0.007	0.005

A influência da concentração do activador sulfato de cobre na flutuação de sulfuretos, tendo em conta os resultados obtidos nas análises por fluorescência de raios-X, pode ser observada nas Figuras 24 e 25. Para o primeiro flutuado o zinco e o arsénio apresentam maiores teores com percentagens médias de 5.1% e 3.7% respectivamente, e a prata possui o mais baixo teor (0.11%). Os teores são inversamente proporcionais ao rendimento em peso. O zinco é o elemento mais sensível à presença de sulfato de cobre, pois na sua ausência obteve-se um flutuado com o menor teor em zinco.

O arsénio apresenta os menores valores para a recuperação, sendo esta inversamente proporcional ao rendimento em peso. Para este elemento não é visível qualquer influência da concentração do sulfato de cobre. Para os outros quatro elementos as maiores recuperações são obtidas para valores intermédios de concentração do sulfato de cobre (Figura. 20.B). A

3. Apresentação dos Resultados

ausência de sulfato de cobre reflecte-se fundamentalmente na menor recuperação de zinco e também do cobre.

Considerando valores médios, o chumbo e a prata apresentam maiores taxas de recuperação, isto é, 80.1% e 79.6% respectivamente (anexo D.9).

O arsénio apresenta um comportamento diferente dos restantes metais. A sua recuperação evolui fundamentalmente de acordo com a evolução do rendimento em peso.

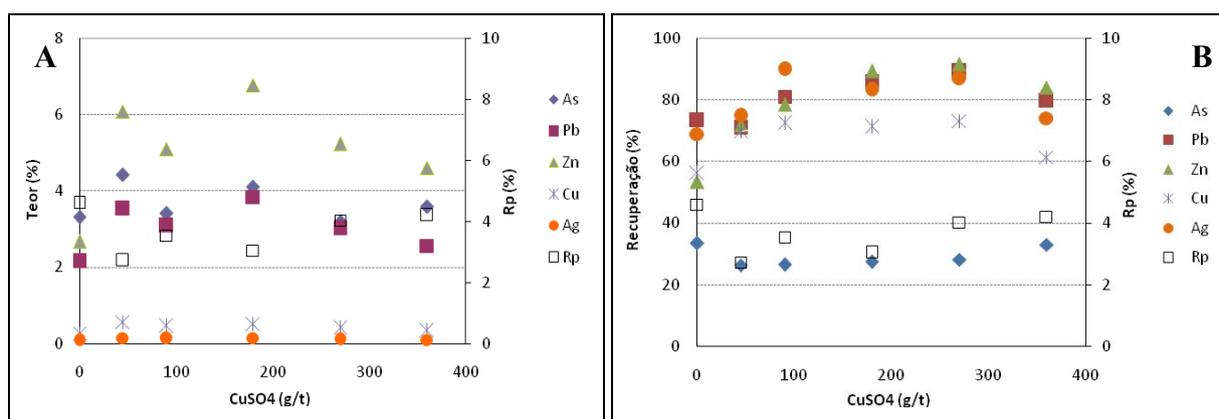


Figura 24 – Influência da concentração do CuSO4 no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.

Relativamente ao segundo flutuado dos cinco metais, o arsénio apresenta os maiores teores (Figura 21.A), sendo no entanto inferiores aos obtidos no primeiro flutuado. Os outros quatro elementos apresentam teores significativamente inferiores aos obtidos no primeiro flutuado. Tal como observado anteriormente, no segundo flutuado registam-se pequenas recuperações de todos os metais. O arsénio é o metal que apresenta maiores recuperações, com um valor médio de 11%. A recuperação dos outros quatro metais é da mesma ordem de grandeza do rendimento em peso, não sendo notória a influência da variação da concentração do sulfato de cobre, pois a maior parte daqueles metais foi recuperada no primeiro flutuado.

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

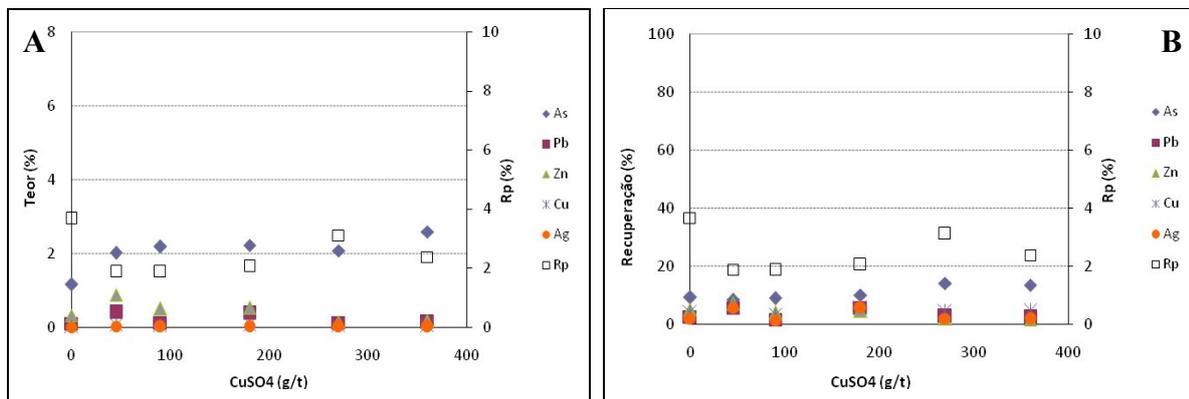


Figura 25 - Influência da concentração do CuSO₄ no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.

A Figura 26 apresenta dois gráficos em que se estuda a influência do activador CuSO₄ no teor, na recuperação e no rendimento do primeiro flutuado, considerando os resultados obtidos pelas análise por espectrometria de absorção atômica. O teor dos vários elementos evolui de modo simétrico ao rendimento em peso. Aumento do rendimento em peso manifesta-se na diminuição do teor. O chumbo, o zinco e o arsénio apresentam os teores médios mais elevados. O ouro e a prata apresentam os mais baixos teores com valores médios iguais a 0.07% e 0.19% respectivamente.

Os menores teores foram obtidos na ausência de sulfato de cobre.

O cobre e o chumbo apresentam maiores recuperações com 80.6% e 73.8%, respectivamente, (Figura 26.B). O arsénio e o ouro são os metais com as menores recuperações, 24.2% e 27.9%, respectivamente.

A recuperação do zinco e chumbo é mínima na ausência de activador e aumenta com a concentração de CuSO₄. Porém, a recuperação diminui quando é máxima a concentração de activador. A recuperação de arsénio e de ouro também aumenta ligeiramente com o aumento da concentração de activador.

O maior rendimento em peso atingiu-se para CuSO₄ = 0 g/t (com Rp = 4.6%), e o menor rendimento em peso verificou-se para CuSO₄ = 45 g/t (com Rp = 2.7%).

3. Apresentação dos Resultados

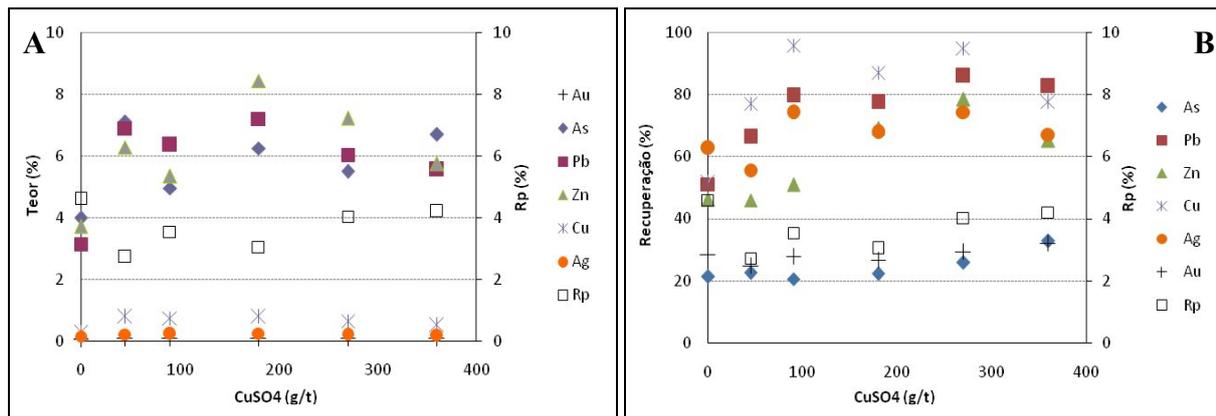


Figura 26 - Influência da concentração do CuSO₄ no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no primeiro flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.

O gráfico A da Figura 27 representa a influência da concentração de CuSO₄ no teor dos metais em estudo para o segundo flutuado. O arsênio apresenta maiores teores em relação aos outros metais e a sua percentagem média é de 2.7%. O ouro é o metal com menores teores, possui uma percentagem média de 0.006%. Com a exceção do arsênio, todos metais apresentam maiores teores no ensaio com 45g/t de CuSO₄, a que correspondeu o menor rendimento em peso.

No segundo flutuado ao arsênio continua a corresponder as maiores recuperações (Figura 27.B).

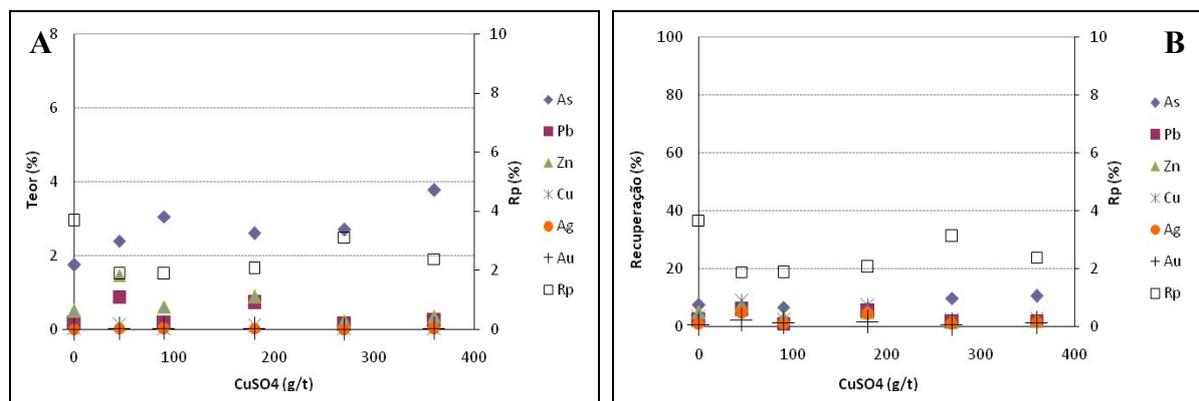


Figura 27 - Influência da concentração do CuSO₄ no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) no segundo flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

A Figura 28, representa as curvas de distribuição granulométrica do tal qual e do primeiro e segundo flutuado dos ensaios em que se estudou a influência do activador CuSO_4 no processo de flutuação. Os dois flutuados apresentam uma granulometria mais fina que o tal qual, tendo quase todo o material flutuado calibre inferior a $150\mu\text{m}$.

Os gráficos (A e B) apresentam curvas com comportamentos ligeiramente diferentes principalmente para calibres acima de $31\mu\text{m}$.

O segundo flutuado apresenta uma granulometria ligeiramente mais fina que o primeiro flutuado. Considerando a média dos seis ensaios, no segundo flutuado 51.9% do material tem calibre inferior a $5.5\mu\text{m}$ e no primeiro flutuado “apenas” 47.2% tem calibre inferior a $5.5\mu\text{m}$.

Registe-se a diferente distribuição granulométrica do ensaio correspondente a 180 g/t de CuSO_4 .

Os ensaios com menores rendimentos em peso e conseqüentemente que apresentam maiores teores, são os que apresentam menores percentagens de material fino, ou seja, maiores percentagens de material “grosseiro”. Menor rendimento em peso significa menor arrastamento, traduzindo-se na obtenção de um flutuado com granulometria mais grosseira.

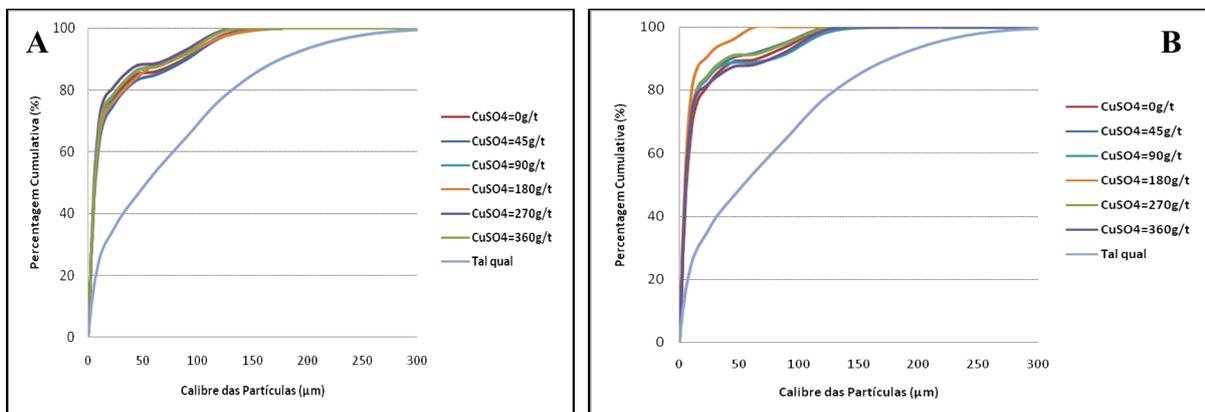


Figura 28 - Curvas de distribuição granulométrica das amostras do primeiro (A) e segundo (B) flutuado atendendo à influência da concentração do CuSO_4 .

3. Apresentação dos Resultados

3.5 Influência do pH

Os resultados das análises efectuadas para se estudar a influência do pH encontram-se na Tabela 13. Fez-se variar o pH desde condições ligeiramente ácidas até condições alcalinas.

Tabela13 - Teores obtidos pela análise dos flutuados considerados para o estudo da influência do pH.

pH		Fluorescência de Raios-X						Absorção Atômica					
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)
5	1ºFlutuado	6.11	3.3	7.3	0.57	0.150		7.45	6.1	7.05	0.7	0.222	0.086
	2ºFlutuado	3.46	0.3	0.3	0.06	0.010		5.82	0.5	0.42	0.1	0.017	0.015
7.4	1ºFlutuado	4.9	3.4	6.2	0.54	0.136	0.015	6.82	5.9	7.05	0.6	0.181	0.056
	2ºFlutuado	2.21	0.2	0.2	0.04	0.007		3.12	0.6	0.71	0	0.015	0.007
8	1ºFlutuado	3.99	3.6	6.5	0.56	0.159	0.035	6.31	5.5	6.48	0.6	0.165	0.049
	2ºFlutuado	1.93	0.2	0.2	0.04	0.006		2.36	0.3	0.37	0	0.009	0.005
9	1ºFlutuado	3.7	3.8	6.1	0.6	0.169		5.26	6.4	5.88	0.6	0.186	0.064
	2ºFlutuado	2.06	0.2	0.5	0.04	0.005		1.95	0.3	0.46	0	0.007	0.006
10	1ºFlutuado	3.38	3.1	4.9	0.42	0.101	0.015	6.14	6.5	3.75	0.6	0.192	0.066
	2ºFlutuado	1.85	0.1	0.5	0.04	0.003		2.56	0.2	0.65	0	0.006	0.006
11	1ºFlutuado	3.75	3.6	5.8	0.54	0.130	0.030	6.06	6.6	3.61	0.7	0.221	0.078
	2ºFlutuado	2.31	0.1	0.4	0.04	0.003		4.11	0.1	0.66	0	0.004	0.006
12	1ºFlutuado	2.77	3.7	5.4	0.51	0.134		4.17	7.6	6.72	0.8	0.248	0.087
	2ºFlutuado	1.67	0.2	0.7	0.05	0.007		2.44	0.3	1.02	0	0.009	0.007

Considerando os resultados obtidos por fluorescência de raios-X, em média os metais que apresentam maiores teores no primeiro flutuado são o zinco e o arsénio com 6.0% e 4.1% respectivamente. Por sua vez a prata é o metal que menores teores apresenta, com uma percentagem média de 0.14%.

Importa destacar o comportamento do arsénio e zinco cujos teores diminuí com o aumento do pH (Figura 29.A). O teor dos restantes elementos não mostra ser influenciado pela variação do pH. Também o rendimento em peso apresenta valores similares para os diferentes ensaios.

O arsénio é o elemento onde é mais notória a influência da variação do pH, diminuindo a sua recuperação com o aumento do pH (Figura 29.B). Para os outros elementos a recuperação é máxima para valores intermédios de pH.

O zinco, chumbo e prata conduziram às maiores recuperações. Há um crescimento na recuperação destes metais até pH = 9 e em seguida regista-se uma redução na recuperação dos

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

metais até pH = 12. O zinco apresenta também elevada recuperação em ambiente ácido. O zinco e a prata são os metais que apresentam maiores taxas de recuperação cujos valores médios são 85.15% e 84.68% respectivamente. O rendimento em peso é mais ou menos constante para os diferentes valores de pH.

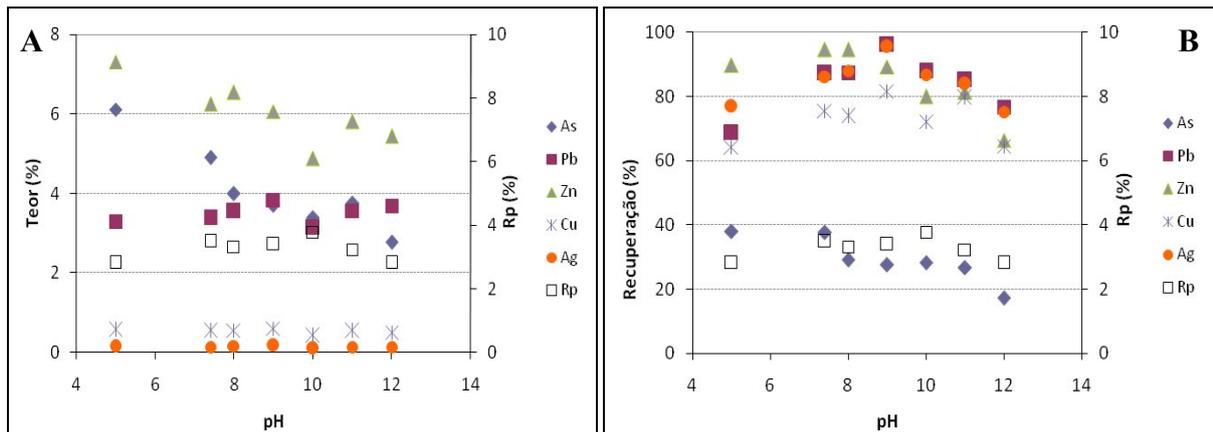


Figura 29 - Influência do pH no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no primeiro flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.

Na Figura 30 estão representados os gráficos que reflectem a influência do pH no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais em estudo para o segundo flutuado, considerando os resultados obtidos por fluorescência de raios-X. O arsénio apresenta maiores teores com um valor médio 2.7%, seguido do zinco com 0.4%. Por sua vez a prata apresenta os mais baixos teores, com uma percentagem média de 0.006%.

Em relação à recuperação no segundo flutuado, o arsénio continua a apresentar maiores recuperações, sendo máxima para pH ácido, tal como se tinha observado no primeiro flutuado. Tal como nos outros conjuntos de ensaios a recuperação dos metais, com excepção do arsénio, é muito pequena.

3. Apresentação dos Resultados

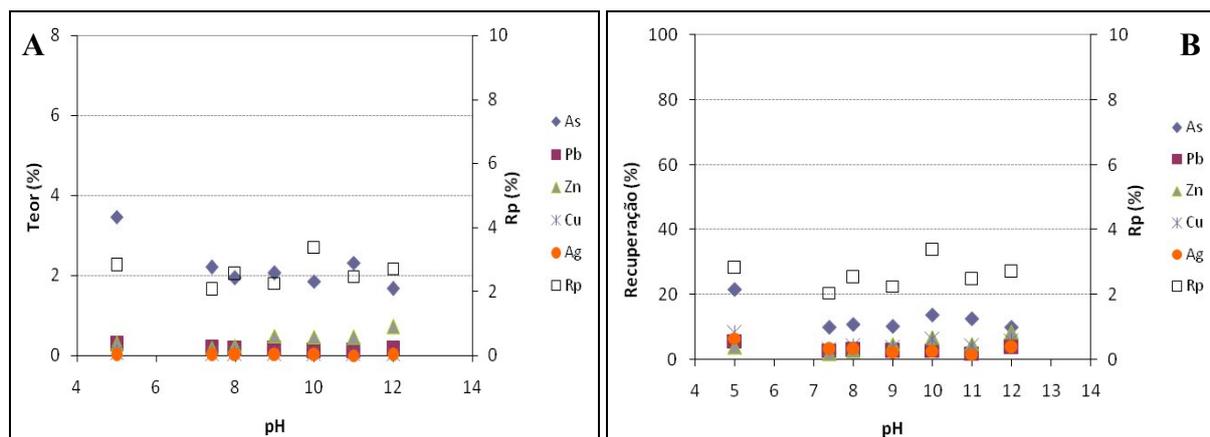


Figura 30 - Influência do pH no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no segundo flutuado, considerando os resultados da fluorescência d raios-X.

As Figuras 31 (A e B) e 32 (A e B) representam a influência do pH no teor, recuperação e rendimento em peso do primeiro e segundo flutuado respectivamente, considerando os resultados obtidos por espectrometria de absorção atômica. O chumbo e o arsênio apresentam os maiores teores cujas percentagens médias são 6.4% e 6%, respectivamente. Por sua vez o ouro apresenta menores teores, aproximadamente 0.07%. O rendimento em peso tem valores da mesma ordem de grandeza para os diferentes ensaios. O teor em zinco e arsênio diminui com o aumento do pH. Com a exceção do arsênio e o zinco, os maiores teores são observados no ensaio para pH = 12, resultado do baixo rendimento em peso.

As maiores recuperações verificam-se para o cobre (com uma recuperação média de 80.9%) e para o chumbo (com uma recuperação média de 73.4%) (Figura 31.B). O arsênio e o ouro são os metais com as mais baixas recuperações, apresentando 23.2% e 24.6%, respectivamente. A recuperação do chumbo e prata aumenta ligeiramente com o pH. A recuperação do arsênio diminui ligeiramente com o aumento do pH e a recuperação do ouro não mostra grande relação com a variação do pH.

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

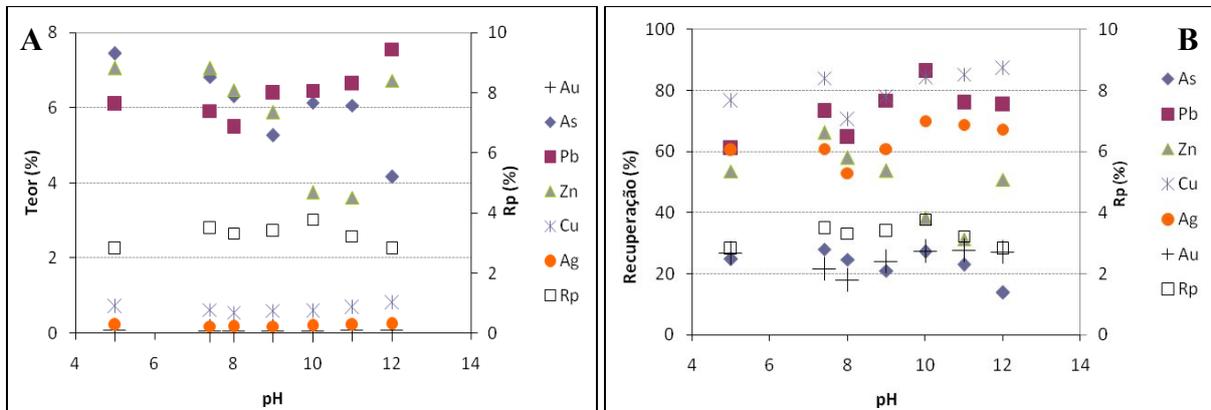


Figura 31 - Influência do pH no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no primeiro flutuado, considerando os resultados por absorção atômica.

Na Figura 32 estão representados os gráficos que reflectem a influência do pH no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais em estudo para o segundo flutuado, considerando os resultados obtidos pela absorção atômica. O arsénio continua a apresentar os maiores teores com um valor médio 3.2% e a prata apresenta os mais baixos teores, com uma percentagem média de 0.007%.

Em relação a recuperação no segundo flutuado (Figura 32.B), o arsénio apresenta também maiores percentagens cujo valor médio é de 9.8%, e o ouro apresenta as mais baixas percentagens de recuperação com um valor médio igual a 1.9%.

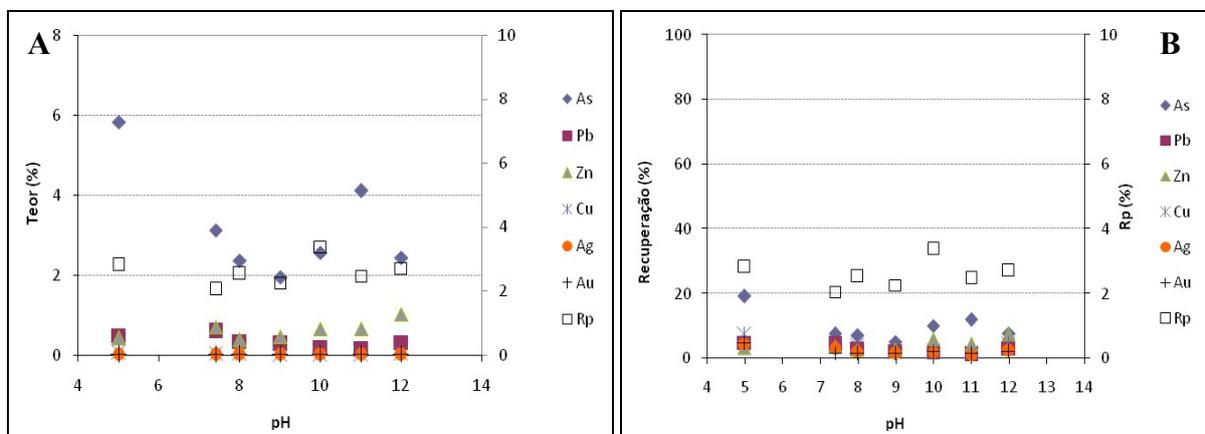


Figura 32 - Influência do pH no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no segundo flutuado, considerando os resultados por absorção atômica.

3. Apresentação dos Resultados

Os gráficos A e B da Figura 33 representam as curvas de distribuição granulométrica do tal qual e primeiro e segundo fluado dos ensaios em que se estudou a influência do pH no processo de flutuação. As curvas dos fluados evidenciam mais uma vez maior quantidade de partículas finas comparativamente ao tal qual.

Observa-se que as curvas granulométricas dos dois gráficos apresentam comportamentos diferentes. As curvas granulométricas do primeiro fluado são mais coerentes entre si, isto é, há maior sobreposição entre elas..

De modo genérico o segundo fluado apresenta maior percentagem de partículas ultra-finas, isto é, em média 48.1% do material encontra-se abaixo de 5.5 μm enquanto que no primeiro fluado 44.6% do material está abaixo de 5.5 μm . Isto resulta de no segundo fluado ser maior a contribuição do arrastamento, sendo mais preponderante este fenómeno nas partículas finas.

No segundo ensaio o calibre mais fino dos ensaios a pH=5 resulta de neste ter sido menor a recuperação dos metais e ser maior a contribuição do arrastamento, cujo fenómeno se faz sentir sobretudo nos calibres finos.

Granulometria mais grosseira obtida para os ensaios a pH elevado deveriam ser explicadas por maiores valores para a recuperação dos metais, pois partículas grosseiras dificilmente são arrastadas. Porém esta afirmação não é confirmada pelos valores observados na recuperação dos cinco metais.

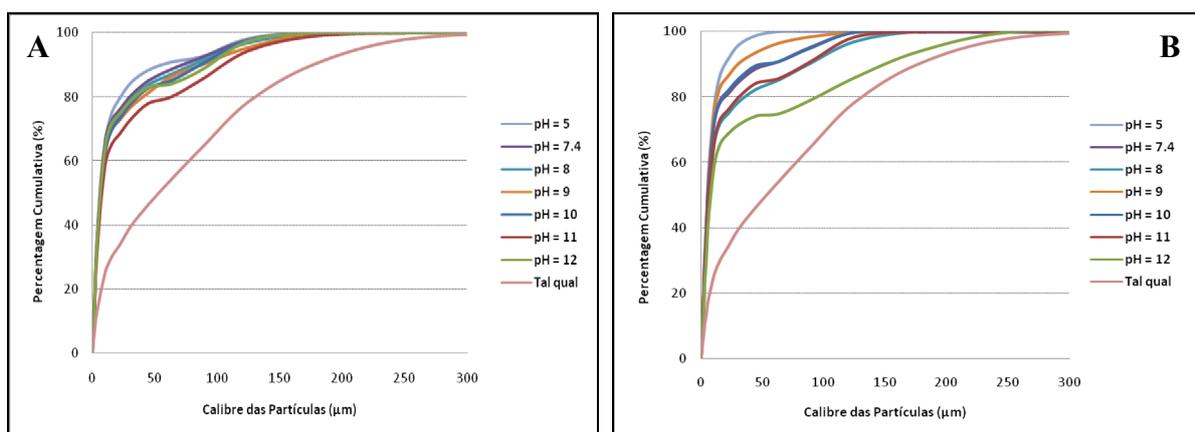


Figura 33 - Curvas de distribuição granulométrica das amostras do primeiro (A) e segundo (B) fluado atendendo à influência do pH.

3.6 Influência do Tempo de Condicionamento (TC) do PAX

Os resultados das análises em que estudou-se a influência do tempo de condicionamento do amil xantato de potássio durante o processo de flutuação podem ser observados na tabela 14. O tempo de condicionamento variou desde 6 minutos até 16 minutos considerando intervalos de 2 minutos.

Tabela 14 - Teores obtidos pela análise dos flutuados considerados para o estudo da influência do tempo de condicionamento.

pH		Fluorescência de Raios-X						Absorção Atômica					
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)
6	1ºFlutuado	3.57	3.3	5.6	0.52	0.145	0.047	5.3	6.4	6.36	0.7	0.205	0.059
	2ºFlutuado	2.36	0.2	0.5	0.04	0.004		3.08	0.2	0.7	0	0.010	0.007
8	1ºFlutuado	3.38	3.1	4.9	0.42	0.101	0.007	6.14	6.4	3.75	0.6	0.192	0.066
	2ºFlutuado	1.85	0.1	0.5	0.03	0.003		2.56	0.5	0.65	0	0.006	0.006
10	1ºFlutuado	3.59	3.1	4.8	0.41	0.107		5.03	4.8	4.11	0.4	0.184	0.078
	2ºFlutuado	1.79	0.1	0.2	0.02	0.002		2.56	1.5	0.49	0	0.003	0.002
12	1ºFlutuado	3.62	3.2	4.9	0.41	0.116	0.012	5.77	5.9	5.51	0.5	0.154	0.084
	2ºFlutuado	1.7	0.1	0.3	0.02	0.004		1.7	1.3	0.45	0	0.005	0.003
14	1ºFlutuado	3.19	3.2	4.7	0.4	0.125	0.008	4.86	5.7	5.72	0.6	0.162	0.057
	2ºFlutuado	1.89	0.2	0.5	0.04	0.007		2.94	0.4	0.83	0	0.017	0.011
16	1ºFlutuado	3.99	4	6.6	0.56	0.130	0.021	5.56	7.1	7.43	0.8	0.245	0.095
	2ºFlutuado	1.71	0.1	0.3	0.04	0.005		3.12	0.2	0.53	0	0.008	0.009

As Figuras 34 (A e B) e 35 (A e B) estão representadas a influência do tempo de condicionamento no teor do primeiro e segundo flutuados, considerando os resultados obtidos através das análises por fluorescência de raios-X. Observa-se que mais uma vez o zinco, arsénio e chumbo são os metais com maiores teores, apresentado percentagens médias de 5.3%, 3.6% e 3.3%, respectivamente, e a prata é o metal com menor teor possuindo uma percentagem média de 0.12%. Não se observa uma nítida influência do tempo no teor do flutuado. Os teores são inversamente proporcionais ao rendimento em peso, resultado de parte significativa do flutuado resultar apenas da acção do arrastamento. Assim, embora o menor

3. Apresentação dos Resultados

rendimento em peso possa significar menor recuperação por acção da flutuação verdadeira, traduz com certeza menor contribuição do arrastamento.

No gráfico B observa-se que a evolução da recuperação dos cinco metais apresenta o mesmo comportamento. A recuperação apresenta uma variação similar ao rendimento em peso. Tal como nos outros conjuntos de ensaios, verifica-se que o arsénio é o metal que apresenta menor recuperação, por sua vez a prata e chumbo apresentam maiores recuperações.

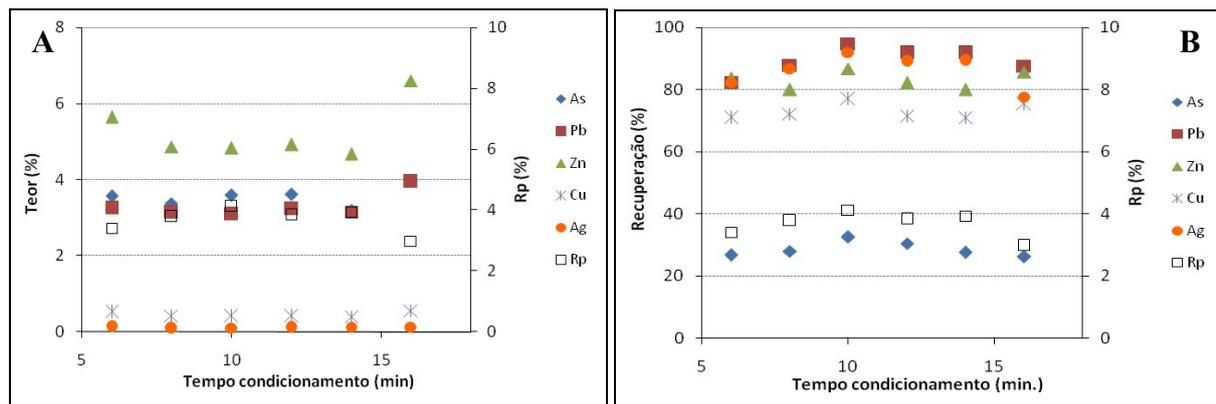


Figura 34 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no primeiro flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.

A Figura 35 representa o gráfico da influência do tempo de condicionamento do amil xantato de potássio sobre teor, recuperação e rendimento dos metais no segundo flutuado, considerando os resultados das análises por fluorescência de raios-X. O arsénio continua a apresentar maiores teores e maiores recuperações. A evolução da recuperação é similar à evolução do rendimento em peso.

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

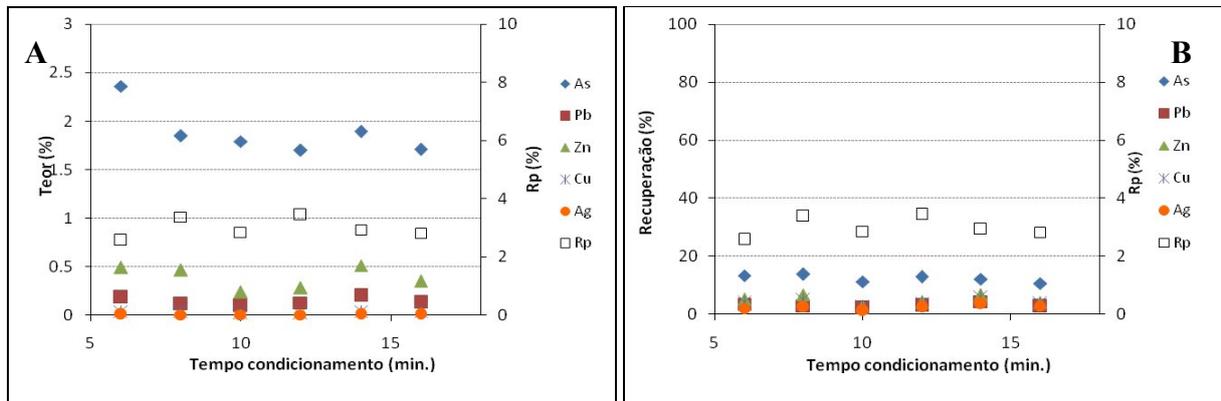


Figura 35 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no segundo flutuado, considerando os resultados da fluorescência de raios-X.

Nas Figuras 36 (A e B) e 37 (A e B) está representada a influência do tempo de condicionamento no teor do primeiro e segundo flutuados, considerando os resultados obtidos através das análises por espectrometria de absorção atômica. Na Figura 36 nota-se que de modo geral os metais em estudo apresentam um comportamento muito desigual a medida que se aumenta o tempo de condicionamento. O chumbo e o zinco apresentam maiores teores, com percentagens médias de 6.1% e 5.5% respectivamente, enquanto que o ouro com uma percentagem média de 0.07% é o metal com mais baixo teor. Embora os ensaios a diferentes tempos apresentem diferentes teores, os valores obtidos são condicionados fundamentalmente pelo rendimento em peso. Observa-se que eles são inversamente proporcionais ao rendimento em peso, tal como foi observado pela análise dos resultados da fluorescência de raios-X. O cobre e o chumbo apresentam as mais elevadas recuperações com valores médios de 81.4% e 78.2%, respectivamente. O arsénio e o ouro apresentam as mais baixas recuperações, sendo proporcionais ao rendimento em peso. Para os outros quatro metais não se observa qualquer influência do tempo de condicionamento.

A maior percentagem de rendimento em peso verifica-se para TC = 10 minutos com 4.1% e o menor rendimento em peso atingiu-se para TC = 16 minutos com uma percentagem igual a 2.99%.

3. Apresentação dos Resultados

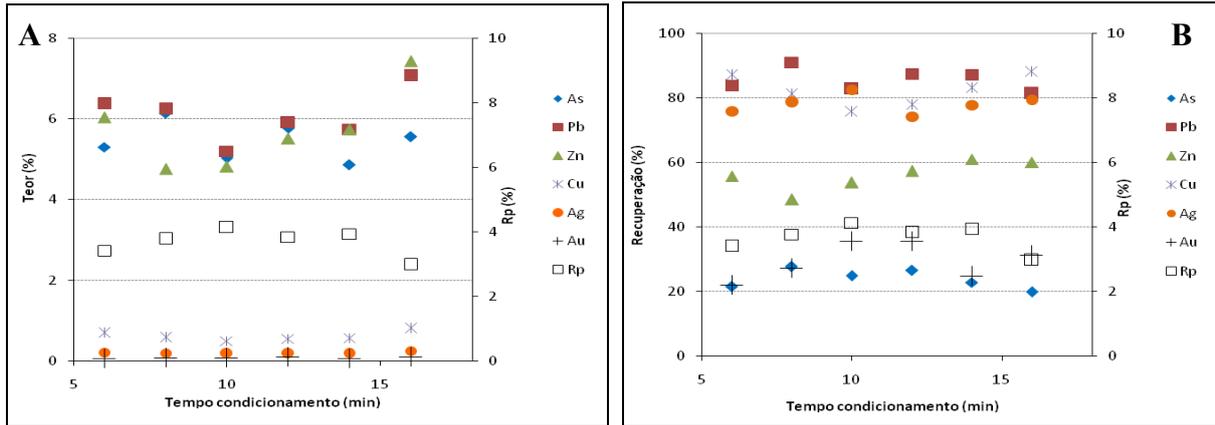


Figura 36 - Influência do tempo de condicionamento no teor rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no primeiro flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.

A Figura 37 representa da influência do tempo de condicionamento do amil xantato de potássio sobre teor, recuperação e rendimento em peso dos metais no segundo flutuado. O arsênio apresenta maiores teores cuja percentagem média de 2.7% e o ouro apresenta menores teores com uma percentagem média 0.006%.

No gráfico B da Figura 37, nota-se claramente que o arsênio é o metal com maior recuperação possuindo um valor médio igual a 9.2% e o ouro o metal com menor recuperação, com um valor médio igual a 2%.

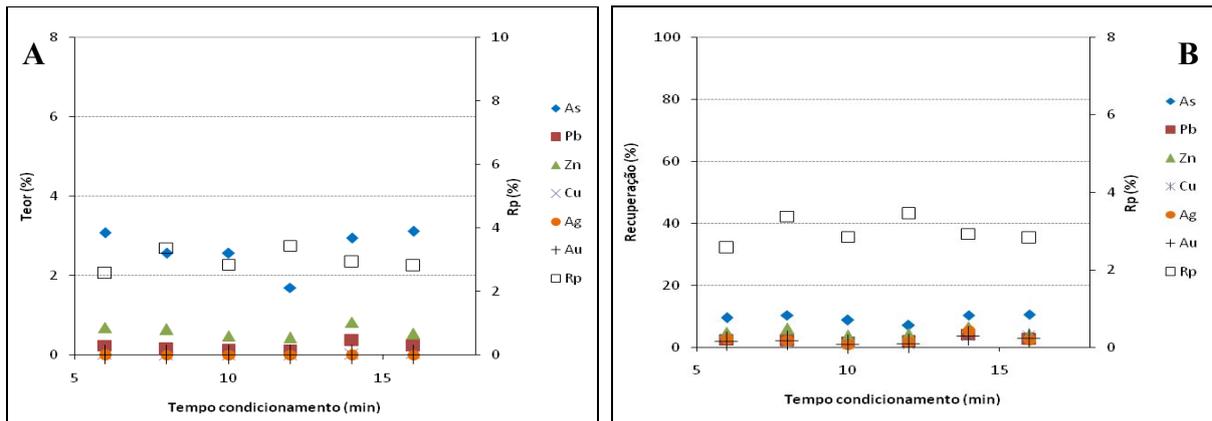


Figura 37 - Influência do tempo de condicionamento no teor rendimento em peso (A) e na recuperação (B) dos metais no segundo flutuado, considerando os resultados da absorção atômica.

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

A Figura 38 representa as curvas de distribuição granulométrica do tal qual e do primeiro e segundo flutuado dos ensaios em que se estudou a influência do tempo de condicionamento no processo de flutuação. Ambos os gráficos apresentam curvas com a mesma tendência, contudo as curvas granulométricas do segundo flutuado (Figura 38.B) apresentam-se mais sobrepostas quando comparadas com as curvas granulométricas do primeiro flutuado. Tal como acontece com as outras figuras descritas anteriormente, verifica-se que o material do segundo flutuado é ligeiramente mais fino (com uma percentagem média de 49.6% abaixo de $5.5\mu\text{m}$) em relação ao material do primeiro flutuado (com uma percentagem média de 47.3% abaixo de $5.5\mu\text{m}$).

Os dois flutuados apresentam uma granulometria muito mais fina do que o tal qual. Os flutuados com maiores rendimentos em peso apresentam uma granulometria ligeiramente mais fina.

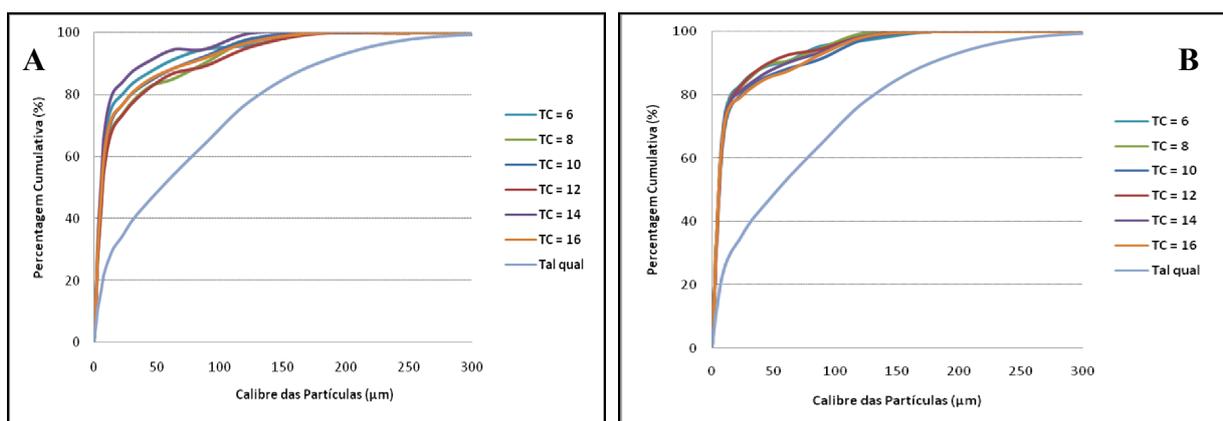


Figura 38 - Curvas de distribuição granulométrica das amostras do primeiro (A) e segundo (B) flutuado atendendo à influência do tempo de condicionamento do PAX.

4. Discussão dos Resultados

4.1 Mineralogia

Os resultados obtidos através da análise qualitativa do material em estudo por difracção de raio-X estão de modo geral em conformidade com a mineralogia do jazigo da Escadia Grande descrita por Carvalho (1986).

As análises químicas efectuadas tanto com o auxílio da técnica de fluorescência dos raio-X bem como com técnica de espectrometria de absorção atómica forneceram teores dos elementos presentes seja no material tal qual, nos afundados ou nos flutuados. As equações que se seguem são inerentes aos cálculos estequiométricos e que se podem ter em consideração para a determinação dos teores e recuperações de cada um dos sulfuretos de interesse para o presente estudo.

a) Argentite (Ag_2S)

$$1. \text{ Proporção do Ag} = \frac{\text{Peso Molar da Argentite}}{\text{Peso Atómico da Prata}} \times 100\% = \frac{107.87 \text{ g/mol}}{274.80 \text{ g/mol}} \times 100\% = 43.53\%$$

$$2. \text{ Teor da Argentite} = \frac{\text{Teor do Ag}}{\text{Proporção do Ag}} = \frac{\text{Teor do Ag}}{0.4353}$$

b) Arsenopirite ($FeAsS$)

$$3. \text{ Proporção do As} = \frac{\text{Peso Molar da Arsenopirite}}{\text{Peso Atómico do Arsénio}} \times 100\% = \frac{74.92 \text{ g/mol}}{162.83 \text{ g/mol}} \times 100\% = 46.01\%$$

$$4. \text{ Teor da Arsenopirite} = \frac{\text{Teor do As}}{\text{Proporção do As}} = \frac{\text{Teor do As}}{0.4601}$$

c) Galena (PbS)

$$5. \text{ Proporção do Pb} = \frac{\text{Peso Molar da Galena}}{\text{Peso Atómico do Chumbo}} \times 100\% = \frac{207.2 \text{ g/mol}}{239.27 \text{ g/mol}} \times 100\% = 86.59\%$$

$$6. \text{ Teor da Galena} = \frac{\text{Teor do Pb}}{\text{Proporção do Pb}} = \frac{\text{Teor do Pb}}{0.8659}$$

d) Esfalerite (ZnS)

$$7. \text{ Proporção do Zn} = \frac{\text{Peso Molar da Esfalerite}}{\text{Peso Atómico do Zinco}} \times 100\% = \frac{65.41 \text{ g/mol}}{97.47 \text{ g/mol}} \times 100\% = 67.11\%$$

$$8. \text{ Teor da Esfalerite} = \frac{\text{Teor do Zn}}{\text{Proporção do Zn}} = \frac{\text{Teor do Zn}}{0.6711}$$

e) *Calcopirite (CuFeS₂)*

$$9. \text{ Proporção do Cu} = \frac{\text{Peso Molar da Calcopirite}}{\text{Peso Atômico do Cobre}} \times 100\% = \frac{63.55 \text{ g/mol}}{183.52 \text{ g/mol}} \times 100\% = 34.63\%$$

$$10. \text{ Teor da Calcopirite} = \frac{\text{Teor do Cu}}{\text{Proporção do Cu}} = \frac{\text{Teor do Cu}}{0.3463}$$

Segundo Carvalho (1986) nas zonas muito ricas em prata do jazigo da Escadia Grande (caso dos filões das Covas do Forno), aparece a argentite. As análises mineralógicas por difracção de raios-X permitiram identificar vestígios desse mineral pelo que a prata será tratada como parte da argentite.

Segundo resultados obtidos e pelos cálculos efectuados para cada um dos sulfuretos de interesse para este estudo (Anexo D.21 Anexo D.22), a arsenopirite é o mineral que apresenta maiores teores. Considerando as análises por fluorescência de raio-X a arsenopirite apresenta um teor médio de 8% no primeiro flutuado e 5% no segundo flutuado, por outro lado, considerando as análises químicas por espectrometria de absorção atômica a arsenopirite apresenta um teor médio de 12% no primeiro flutuado e 7% no segundo flutuado. Porém, dos elementos analisados a arsenopirite é sulfureto que apresenta menores recuperações.

A flutuação da arsenopirite é condicionada pela concentração do PAX, do CuSO₄, Aerofina 3418A e pela variação do pH. Deste modo, nos ensaios efectuados na ausência de pelo menos um daqueles reagentes, obtiveram-se os mais baixos teores e recuperações.

Os maiores teores e recuperações de arsenopirite foram conseguidos com pH ligeiramente ácido. Segundo Tapley e Yan (2003), é concebível que isto aconteça devido à formação do dixantogeno que favorece a flutuação da arsenopirite. Contrariamente para valores de pH elevados o dixantogeno torna-se instável e é convertido novamente em iões xantato diminuindo deste modo a quimissoração (adsorção química) entre a superfície da arsenopirite e as bolhas devido à formação de um produto de oxidação.

A calcopirite é um dos sulfuretos que apresenta menores teores e isto conclui-se tanto dos resultados obtidos através a fluorescência de raio-X bem como através das análises químicas por espectrometria de absorção atômica. Este sulfureto sofre influência directa de todos os reagentes (PAX, Aerofina 3418A e CuSO₄) usados neste estudo para o processo de flutuação. Assim sendo as menores recuperações de calcopirite verificam-se nos ensaios em que não houve adição de pelo menos um daqueles reagente. Particular destaque para o ensaio

4. Discussão dos Resultados

realizado na ausência de PAX e na ausência de Aerofina 3418A cujas recuperações da calcopirite são baixas comparativamente aos outros ensaios em que se estudou a influência daqueles dois reagentes. Segundo Zheng e Manton (2010), a calcopirite apresenta recuperações aceitáveis mesmo na ausência de colectores contudo melhores resultados verificam-se na presença de colectores.

As duas técnicas de determinação do teor, visando o controle do processo de flutuação, conduziram a valores distintos. A análise por espectrometria de absorção atômica conduziu a valores maiores para o cobre que a fluorescência de raios-X. Os teores em cobre obtidos por espectrometria de absorção atômica são cerca de 1.6 vezes superiores aos obtidos por fluorescência de raios-X. Também as recuperações obtidas a partir dos resultados da espectrometria de absorção atômica são ligeiramente superiores em cerca de 10%.

A esfalerite segue a arsenopirite no que concerne aos teores nos flutuados. Os resultados obtidos por espectrometria de absorção atômica revelaram teores médios de 10% de esfalerite para o primeiro flutuado e 1.25% para o segundo flutuado, enquanto que os resultados obtidos através da fluorescência de raio-X revelaram teores médios de 8% de esfalerite para o primeiro flutuado e 0.94% para o segundo flutuado. Neste trabalho, a tendência geral dos resultados obtidos pela fluorescência de raio-X são mais fiáveis pois na análise do zinco por espectrometria de absorção atômica houve alguns problemas na leitura dos teores devido ao padrão de zinco estabelecido e as diluições feitas pelo que alguns valores estão um pouco abaixo do que se esperava.

Segundo Boulton *et al.*, (2005), os colectores xantatos têm uma afinidade relativamente baixa a iões de zinco e por essa razão é necessária a activação da esfalerite pelos iões de cobre para que este mineral possa flutuar. Considerando os teores obtidos pela fluorescência de raio-X verifica-se que realmente a flutuação da esfalerite é dependente da presença do activador CuSO_4 . Na ausência do activador obtiveram-se menores recuperações de zinco. Verifica-se ainda que altas recuperações de esfalerite foram obtidas à medida que se aumentou a concentração de CuSO_4 até 270 g/t, contudo para concentrações de CuSO_4 mais elevadas a recuperação tende a diminuir. Este decréscimo da recuperação com o aumento de CuSO_4 pode advir do facto da esfalerite em pHs alcalinos envolver primeiramente a precipitação de hidróxido de cobre, seguido da substituição iónica entre o zinco e o cobre na superfície da

esfalerite. Portanto quanto maior for a quantidade de CuSO_4 maior será a produção de precipitados e mais difícil ou demorada será a troca iónica entre o zinco e o cobre.

A galena apresenta teores médios de 7% para o primeiro flutuado e 0.62% para o segundo flutuado considerando a espectrometria de absorção atómica. Considerando a fluorescência de raio-X apresenta teores médios de 4% para o primeiro flutuado e 0.3% para o segundo flutuado. A galena adsorve directamente os tio-colectores através de mecanismos electromecânicos sem que seja necessário a activação da sua superfície (Basílio et al., 1996). Esta afirmação é consubstanciada pelo facto da galena ser dos minerais que maior recuperação apresenta nos ensaios realizados no presente estudo. Por outro lado na ausência de um dos reagentes (activador e colector) regista-se menor recuperação de galena.

Verifica-se que a recuperação da galena na ausência do PAX é menor que a recuperação obtida na ausência da Aerofina 3418A. Isto permite concluir que o comportamento da galena é mais fortemente dependente da presença do colector (PAX). Não obstante, o melhor desempenho na flutuação da galena verifica-se quando há combinação dos dois colectores. De modo geral, maiores recuperações da galena são conseguidas em pHs alcalinos.

A argentite pertence ao grupo da galena e faz parte dos minerais que maiores recuperações apresenta embora ocorra no material em estudo com teores muito baixos. Considerando os resultados obtidos por espectrometria de absorção atómica a argentite possui teores médios de 0.36% de esfalerite para o primeiro flutuado e 0.037% para o segundo flutuado. As recuperações obtidas nos ensaios em que se estudou a influência dos reagentes no processo de flutuação permitem deduzir que a superfície da argentite se torna facilmente hidrófoba, tendo um comportamento similar ao da galena.

O ouro apresenta baixa recuperação, isto é, com valores inferiores a 40%. Importa referir que os teores de ouro obtidos foram na sua maioria conseguidos através da análise química por espectrometria de absorção atómica pois através da fluorescência de raios-X não foi possível identificar o ouro na maior parte dos flutuados analisados.

A maior parte do ouro do jazido da Escadía Grande encontra-se associado à arsenopirite, entretanto existe algum ouro nativo livre. Assim sendo conclui-se que maior do ouro que foi

recuperado no processo de flutuação é o ouro associado a arsenopirite que também possui baixas recuperações. Uma vez que o material em estudo provém da escombreira e está exposto ao ambiente, é concebível que este material se apresente altamente oxidado. Estas baixas recuperações podem ser devido a dificuldade que existe em processar por flutuação os minerais com superfícies oxidadas. Por outro lado pode dizer-se que boa parte do ouro livre não foi recuperada devido ao não uso de um colectador específico para esse efeito que seria o mercaptobenzotiazol.

4.2 Reagentes, pH e Tempo de Condicionamento

Relativamente à influência do PAX, nos resultados observa-se menores teores do flutuado na ausência de PAX. Verifica-se também uma clara dependência do teor relativamente ao rendimento em peso. O aumento do rendimento em peso conduz a flutuados com menores teores nos metais analisados. O aumento do rendimento em peso não resulta exclusivamente do aumento da contribuição da flutuação verdadeira, mas sobretudo da contribuição do arrastamento, fenómeno não discriminatório, que assim conduz à obtenção de flutuados menos enriquecidos nos minerais a flutuar.

Verifica-se que a recuperação dos metais é mínima na ausência de PAX, o que traduz a importância deste reagente na flutuação dos sulfuretos. Todavia registe-se a significativa recuperação de cobre, chumbo, prata e zinco, na ausência de colectador, traduzindo a flutuabilidade natural dos sulfuretos, apesar de podermos estar em presença de sulfuretos potencialmente oxidados, de mais difícil flutuação.

Apesar do elevado rendimento em peso para a máxima concentração de PAX, saliente-se a diminuição da recuperação nestas condições. Estes resultados permitem afirmar que elevadas concentrações de colectador podem não ser favoráveis à obtenção de elevadas recuperações. Os colectores são constituídos por moléculas heteropolares, com uma parte polar e outra não-polar, em que a parte polar possui afinidade específica para se ligar à superfície da espécie mineral a flutuar, ficando a parte não-polar orientada para fora daquela superfície, tornando-a hidrófoba. O PAX tem por função fornecer revestimentos monomoleculares à superfície dos minerais a flutuar, tornando-os não-polares, isto é, hidrófobos. Porém, a adição excessiva de PAX pode conduzir à formação de revestimentos plurimoleculares, em que a parte polar poderá estar orientada para fora da superfície das partículas, podendo torná-las hidrófilas.

A Aerofina 3418A influencia fundamentalmente a flutuação da esfalerite, pois na sua ausência é significativamente menor a recuperação de zinco. O teor dos flutuados continua a depender do rendimento em peso, sendo inversamente proporcional a este. Na ausência de Aerofina é menor o teor em zinco, relativamente a outros ensaios com similar rendimento em peso. Para os outros metais o teor apenas parece depender do rendimento em peso.

Nos ensaios em que se usou elevada concentração de Aerofina obtiveram-se baixos teores para todos os metais. Este facto deve-se à formação de espumas mais estáveis, com menor acção da drenagem, que levaram à recolha de mais material no flutuado, fundamentalmente por arrastamento.

Sabe-se que a ganga do material em estudo é maioritariamente constituída por quartzo que é um mineral de baixa densidade e por outro lado mais de 50% deste material se encontra abaixo de 63 μm , isto é, o material possui calibres finos. Assim sendo, perante partículas de fino calibre e pequena densidade deve-se trabalhar com espumas pouco estáveis pois os agregados são normalmente mais estáveis e as partículas são também facilmente arrastadas mas dificilmente drenadas.

Tal como sucede com o PAX e a Aerofina 3418A, nos ensaios efectuados para analisar a influência do activador CuSO_4 constatou-se que a não adição deste reagente resultou em teores e recuperação inferiores aos ensaios efectuados com a adição do CuSO_4 . Este reagente mostra uma maior influência no processo de flutuação que o PAX e a Aerofina.

Se por um lado a ausência do activador penaliza o processo de flutuação dos sulfuretos, por outro lado o excesso deste reagente também penaliza a obtenção de concentrados mais ricos. Este fenómeno verifica-se para todos os sulfuretos em estudo com a excepção da arsenopirite e o ouro. Esta tendência do activador CuSO_4 prejudicar a obtenção de elevados teores e recuperações pode ser justificado pelo facto do CuSO_4 ser um oxidante para certos reagentes como é o caso dos xantatos. Assim, quando se adiciona o CuSO_4 à polpa, este pode oxidar grandes quantidades de xantato para formar o dixantogeno em solução que pode ser a razão da depressão do ouro e sulfuretos ao invés de os activar (Monte *et al.*, 2002).

O pH no qual decorre o processo de flutuação desempenha um papel fundamental na obtenção de bons resultados. Nos ensaios realizados para estudar a influência do pH verificou-se algumas oscilações (aumento e decréscimo) do teor e da recuperação à medida que se variava o pH, estando estas oscilações relacionadas com a evolução do rendimento em peso. Pelos resultados da fluorescência de raios-X pode verificar-se que a recuperação do arsénio e zinco são ligeiramente maiores em ambiente ácido (pH=5). Para os outros metais não é visível uma clara influência do pH, observando-se no entanto uma ligeira diminuição da recuperação em ambiente ácido.

Considerando os resultados obtidos pelas análises químicas por espectrometria de absorção atômica, maiores teores para a galena, a calcopirite, a argentite e o ouro foram atingidos com pH = 12 enquanto que para a arsenopirite e esfalerite obtiveram-se altos teores para pH = 5.

Yan e Hariyas (1997) reportam que para pH = 7 e pH = 10 na presença do activador CuSO_4 , o processo de flutuação de sulfuretos dá-se com alguma dificuldade. Em alguns casos o CuSO_4 promove altas concentrações de material argiloso na espuma penalizando a obtenção de altos teores de sulfuretos. Neste estudo concreto não se verificou uma influência similar para os pHs indicados acima. Entretanto existe um comportamento similar entre a calcopirite, a argentite e o ouro para pH = 8 cujas recuperações destes sulfuretos são as mais baixas comparativamente a outros valores de pH, isto considerando os resultados obtidos pelas análises químicas por espectrometria de absorção atômica.

A variação do tempo de condicionamento do PAX não revelou uma influência significativa no processo de flutuação de sulfuretos.

Considerando os resultados obtidos pela fluorescência de raio-X conclui-se que apenas há pequenas variações tanto no teor bem como na recuperação pelo que pode-se afirmar que o tempo de condicionamento do PAX não afecta significativamente o processo de flutuação do material em estudo.

4.3 Espectrometria de Fluorescência de raio-X e Espectrometria de Absorção Atômica

De modo geral tanto a análise por fluorescência de raio-X bem como a análise química por espectrometria de absorção atômica são técnicas importantes para a determinação de teores

de elementos químicos, principalmente os metálicos. Entretanto há que considerar algumas limitações que cada uma das técnicas possui em detrimento da outra. Fazendo uma comparação entre os teores obtidos na análise de cada um dos metais em estudo constata-se que há diferenças consideráveis nos valores obtidos. Importa referir que a análise química por espectrometria de absorção atômica mostrou teores relativamente maiores que a fluorescência de raio-X.

As proporções médias entre as análises por espectrometria de absorção atômica (EAA) e por espectrometria de fluorescência de raio-X (EFRX) para os metais em estudo são as seguintes:

- *Arsénio*: a proporção entre os teores médios obtidos por EAA e EFRX é de 1:1.4, o que significa que o analisador por EFRX teve sensibilidade para ler apenas 71% do arsénio presente nas amostras;
- *Prata*: a proporção entre os teores médios obtidos por EAA e EFRX é de 1:1.4, o que significa que o analisador por EFRX teve sensibilidade para ler apenas 71% da prata presente nas amostras;
- *Cobre*: a proporção entre os teores médios obtidos por EAA e EFRX é de 1:1.3, o que significa que o analisador por EFRX teve sensibilidade para ler apenas 76% do cobre presente nas amostras;
- *Chumbo*: a proporção entre os teores médios obtidos por EAA e EFRX é de 1:1.7, o que significa que o analisador por EFRX teve sensibilidade para ler apenas 59% do chumbo presente nas amostras;
- *Zinco*: a proporção entre os teores médios obtidos por EAA e EFRX é de 1:1.03, o que significa que o analisador por EFRX teve sensibilidade para ler apenas 96% do zinco presente nas amostras;

Não está patente acima a proporção do ouro pois com a técnica de EFRX em poucas análises foi possível identificar a presença do ouro pelo que os estudos feitos foram com base nos resultados obtidos por EAA.

O cobre, o zinco, a prata e o arsénio apresentam proporções menores devido à sua localização na tabela periódica de elementos químicos pois sabe-se que estes elementos apresentam pesos atômicos relativamente pequenos quando comparados com os pesos atômicos do ouro e do chumbo. Isto revela que a técnica EFRX tem maior sensibilidade para determinada gama de

4. Discussão dos Resultados

elementos de acordo com a sua disposição na tabela periódica. Deste modo, constata-se que no espectro dos elementos metálicos, a sensibilidade da técnica EFRX diminui à medida que aumenta o peso atômico.

O zinco apesar de possuir maior peso atômico em relação ao cobre revelou maior sensibilidade da técnica de EFRX devido a erros de leitura ocorridos durante a análise por EAA.

O ouro possui menor peso atômico em relação ao chumbo, contudo os teores de chumbo no material em estudo são muito maiores em relação aos teores de ouro, pelo que se justifica a dificuldade da leitura do ouro pela técnica EFRX.

Importa referir que estes resultados obtidos pela técnica EFRX estão sujeitos a erros, sendo a principal causa destes erros a forma como as amostras são tomadas e preparadas. Com isto pretende-se assumir que a diferença dos resultados obtidos entre as técnicas de EFRX e a EAA podia ser menor se a preparação das amostras tivesse sido mais acautelada.

5. Conclusões e Recomendações

5.1 Conclusões

Com este trabalho foi possível obter resultados que permitem concluir que:

- A técnica usada para proceder à separação entre os sulfuretos e a ganga revelou-se eficaz visto que se obtiveram recuperações aceitáveis tendo em conta que o processo de flutuação foi realizado à escala laboratorial;
- Os minerais sulfuretos (arsenopirite, calcopirite, esfalerite, galena e argentite) identificados pela técnica de difracção de raio-X neste estudo, estão em conformidade com os minerais descritos por Carvalho (1986). Não obstante este trabalho ter tido como objecto de estudo o material da escombreira é natural admitir coerência entre os seus teores e os teores no minério (jazigo);
- A arsenopirite é o sulfureto mais abundante no jazigo da Escadia Grande. Embora este mineral tenha apresentado baixas recuperações devido à dificuldade de separar material oxidado por processos de flutuação, a arsenopirite revelou os mais elevados teores entre os sulfuretos;
- A maior parte ouro do jazigo da Escadia Grande está associado a arsenopirite. Pelo processo de flutuação verificou-se que o ouro e a arsenopirite apresentam um comportamento similar;
- Os melhores resultados na recuperação de sulfuretos obtiveram-se pela combinação dos dois reagentes (PAX e Aerofina 3418A) e o activador CuSO_4 . Contudo o uso de excesso de PAX, Aerofina 3418A e CuSO_4 penaliza o processo de flutuação, obtendo-se neste caso baixas recuperações;
- A influência do pH varia substancialmente e de forma diferente para cada um dos sulfuretos estudados, isso em conformidade com o tipo de reagentes usados e a concentração deste;
- O tempo de condicionamento do PAX não tem grande influência na flutuação dos minerais estudados;

- A maior parte do material que saiu nos flutuados apresenta calibre fino, isto é, cerca de 90% do material tem calibre inferior a $90\mu\text{m}$. O flutuado apresenta uma granulometria muito mais fina que o afundado. Maior dificuldade em flutuar partículas grosseiras.
- No primeiro flutuado os teores são sempre maiores em relação ao segundo flutuado pois nos primeiros minutos do processo, a flutuação é verdadeira e no minutos seguintes boa parte do material chega a zona de espuma por arrastamento.
- A técnica de análise de elementos químicos através da espectrometria de absorção atômica revelou maior sensibilidade na quantificação dos elementos metálicos em relação à análise de elementos por espectrometria de fluorescência de raio-X. Contudo a técnica de espectrometria de fluorescência de raio-X apesar da baixa sensibilidade para quantificar certos elementos, mostrou-se muito importante no que concerne ao controle de tendências gerais dos elementos metálicos.

5.2 Recomendações

Feito este estudo, recomenda-se que:

- O jazigo da Escadia Grande seja melhor estudado sob ponto de vista geológico de forma a evidenciar possíveis prolongamentos dos filões mineralizados e subsequentes processamentos do material oriundo desses filões com objectivo de analisar a possibilidade de uma futura re-exploração do jazigo;
- Para além da análise mineralógica por difracção de raio-X, se façam também superfícies polidas por forma a apresentar resultados mais consistentes e fiáveis;
- Nos próximos trabalhos inerentes à flutuação se estude primeiramente, na fase dos ensaios pilotos o efeito da variação do pH de modo que os subsequentes ensaios em se estuda a influência de outros condicionantes ocorram em condições óptimas de pH;
- A técnica de EFRX, por ser extremamente expedita, seja considerada para o controle do processo de flutuação e que as amostras a serem analisadas sejam devidamente tomadas e preparadas.

6. Bibliografia

Anton Paar (2002). Microwave Sample Preparation - Instruction Manual. Austria.

Basilio, C.I. et al., (1996). Lead Activation of Sphalerite during Galena Flotation. Mineral's Engineering, Vol. 9, No. 8, pp. 869-879. Publicado por Elsevier Science Ltd.

Boulton, A. et al., (2005). Effect of iron content in sphalerite on flotation - Technical note. Minerals Engineering 18, pp. 1120–1122. Publicado por Elsevier Ltd.

Carvalho, Alberto Dias (1986). Mina de Ouro da Escadia Grande - Apontamento Monográfico de Pesquisa. Ministério da Industria e Energia, Direcção Geral de Geologia e Minas.

Cyanamid, American Company (1986). Manual de Produtos Químicos para Minería. Edición revisada, Impreso en Mexico.

Dana, James D. & Dana Edward S. (1997). Dana's New Mineralogy – The System of Mineralogy. 8ª Edição, John Wiley & Sons INC. pp 37-149.

Direcção Geral de Energia e Geologia (2012). Informação Estatística da Indústria Extractiva. 14ª edição. Lisboa – Portugal.

Júnior, Carlos Roberto Falcão (2011). Um estudo da química de superfície da arsenopirita. Iniciação Científica, Licenciatura em Química, Universidade do Estado de Rio de Janeiro - Brasil.

Krug, Francisco José et al., (2004). Espectrometria de Absorção Atómica – Parte 1 Fundamentos e atomização com chama. CENA/USP, DQ/UFSCar, IQ/USP – Brasil.

Laskowski, J.S. et al., (1997). Sphalerite Activation: Flotation and Electrokinetic Studies. Minerals Engineering, Vol. 10, No. 8, pp. 787 – 802. Publicado por Elsevier Science Ltd.

Lima, Odair Alves et al., (2006). Caracterização hidrodinâmica de células mecânicas de flotação: capacidade de bombeamento de célula Denver de laboratório. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 59(4): pp. 415-419.

6. Bibliografia

Luz, Adão Benvindo et al., (2004). Tratamento de Minérios. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) - Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação de Inovação Tecnológica (CTEC). 4ª edição CETEM/MCT, Rio de Janeiro – Brasil.

Luz, Adão Benvindo et al., (2005). Tratamento de Minérios. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) - Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação de Inovação Tecnológica (CTEC). 5ª edição CETEM/MCT, Rio de Janeiro – Brasil, pp. 96 - 100.

Macdonald , Eoin H. (2007). Handbook of gold exploration and evaluation. Published by Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington, Cambridge CB21 6AH, England, pp. 1 – 5.

Monte, M.B.M et al., (2002). The influence of the oxidation state of pyrite and arsenopyrite on the flotation of an auriferous sulphide ore. Science Direct, Minerals Engineering 15, 1113–1120.

Mustra, Carla de Jesus Grilo de Oliveira (2009). Aplicação da técnica de espectrofotometria de absorção atômica na análise de metais e metaloides em amostras biológicas. Preparação de amostras por digestão com a tecnologia microondas. Mestrado em Medicina Legal e Ciências Forenses. Universidade de Lisboa - Faculdade de Medicina de Lisboa. pp. 34 – 35.

Nascimento Filho, Virgílio F. (1999). Técnicas Analíticas Nucleares de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (Ed-Xrf) e por Reflexão Total (Txrf). Departamento de Ciências Exactas: Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz” (ESALQ) - Laboratório de Instrumentação Nuclear - Brasil.

Neto, Elias Fagueira (2012). Material didáctico referente à disciplina *Tecnologia Mineral*, do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pará - Brasil.

Oliveira, C.R e Rublo, J (2007). Remoção de Iões Xantato por adsorção-flotação utilizando zeólitas naturais modificadas. Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental, Departamento de Engenharia de Minas – Universidade do Rio Grande do Sul, Brasil. XXII ENTMME/VII MSHMT – Ouro Preto –MG, pp. 573 – 580.

Oliveira, J.M. Santos (1990). Geological, mineralogical and lithochemical studies in Góis and Vila Pouca de Aguiar - Vila Real region, Portugal. Estudos, Notas e Trabalhos, D.G.G.N, TOMO 32, pp. 65-75. Porto – Portugal.

Peroni, Rodrigo (2003). Mineralogia - Estudo dos Minerais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Departamento de Engenharia de Minas, Geologia de Engenharia I.

Pita, Fernando Antunes Gaspar (2000). Processamento por Flutuação do Caulino de Olho Marinho. Contribuição Para o Estudo do Fenómeno de Arrastamento em Flutuação de Polpas com Partículas de Calibre Muito Fino. Tese de Doutoramento, FCTU.

Pita, Fernando Antunes Gaspar (2004). Disciplina de Concentração e Diagramas. Departamento de Ciências da Terra - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra – Portugal, 110-191.

Shen, W.Z et al., (1998). Effect of Collectors, Conditioning pH and Gases In the Separation of Sphalerite from Pyrite. Minerals Engineering, Vol. II, No. 2, pp. 145-158. Publicado por Elsevier Science Ltd.

Tapley B. e Yan , D. (2003). The selective flotation of arsenopyrite from pyrite - Technical Note. Minerals Engineering 16, pp. 1217–1220. Publicado por Elsevier Ltd.

Teague, A.J. et al., (1999). A Conceptual Model for Gold Flotation. Minerals Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 1001-1019. Publicado por Elsevier Science Ltd.

Yan, D.S e Hariyasa (1997). Selective Flotation of Pyrite and Gold Tellurides. Minerals Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 327-337. Publicado por Elsevier Science Ltd.

Zheng, X. e Manton, P (2010). A potential application of collector less flotation in a copper/gold operation. Minerals Engineering 23, pp. 895–902. Publicado por Elsevier Ltd.

6. Bibliografia

Sítios consultados na Internet

EDM - Empresa de Desenvolvimento Mineiro. [Online]
http://www.edm.pt/html/proj_8minascentro_a.htm

Geology.com - News and information about Geology. [Online]
<http://geology.com/minerals/sphalerite.shtml>, <http://geology.com/minerals/galena.shtml>.
Visitado pela última vez em Junho de 2013

Galleries.com. [Online] <http://www.galleries.com/Acanthite>;
<http://www.galleries.com/Arsenopyrite> ; <http://www.galleries.com/Pyrite>. Visitado pela
última vez em Junho de 2013

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia. [Online] <http://www.lneg.pt/>. Visitado
pela última vez em Junho de 2013

UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". [Online]
<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/grm.html>. Visitado pela última vez em Junho de
2013

Wikipedia – A Enciclopédia Livre. [Online] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Calcopirita>. Visitado
pela última vez em Junho de 2013

ANEXOS

Anexo A - Condições de realização dos ensaios na célula de flutuação.

Ensaio	PH	Regulador de PH	Activador	Colectores		Espumante
		NaOH	CuSO4 (g/t)	PAX (g/t)	Aerofina 3418A (g/t)	MIBC (g/t)
1	10	NaOH a 10%	45 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
2	10	NaOH a 10%	45 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	706 g/t
3	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
4	10	NaOH a 10%	45 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
5	10	NaOH a 10%	45 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
6	10	NaOH a 10%	45 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
7	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
8	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
9	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
10	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
11	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
12	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	55 g/t e TC = 4 min	565 g/t
13	10	NaOH a 10%	180 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
14	10	NaOH a 10%	180 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	706 g/t
15	10	NaOH a 10%	180 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	55 g/t e TC = 4 min	706 g/t
16	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	55 g/t e TC = 4 min	706 g/t
17	10	NaOH a 10%	sem activador	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
18	10	NaOH a 10%	sem activador	25 g/t e TC = 8 min	55 g/t e TC = 4 min	565 g/t
19	10	NaOH a 10%	sem activador	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
20	10	NaOH a 10%	sem activador	50 g/t e TC = 8 min	55 g/t e TC = 4 min	706 g/t
21	10	NaOH a 10%	45 g/t e TC = 12 min	12 g/t e TC = 8 min	13.75 g/t e TC = 4 min	565 g/t

Processamento por Flutuação de Material da Escobreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

Anexo A (Continuação) - Condições de realização dos ensaios na célula de flutuação

Ensaio	PH	Regulador de PH	Activador	Colectores		Espumante
		NaOH	CuSO ₄ (g/t)	PAX (g/t)	Aerofina 3418A (g/t)	MIBC (g/t)
22	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
23	10	NaOH a 10%	sem activador	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
24	10	NaOH a 10%	270 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
25	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 8 min	sem colector	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
26	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	12 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
27	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	75 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
28	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 8 min	25 g/t e TC = 4 min	sem colector	565 g/t
29	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	13.75 g/t e TC = 4 min	565 g/t
30	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	82.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
31	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 14 min	50 g/t e TC = 10 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
32	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 16 min	50 g/t e TC = 12 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
33	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 8 min	25 g/t e TC = 4 min	sem colector	565 g/t
34	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	13.75 g/t e TC = 4 min	565 g/t
35	10	NaOH a 10%	360 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	706 g/t
36	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	100 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
37	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	110 g/t e TC = 4 min	565 g/t
38	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
39	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 18 min	50 g/t e TC = 14 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
40	7.4	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
41	8	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
42	9	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
43	11	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
44	12	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t

Anexo A (Continuação). Condições de realização dos ensaios na célula de flutuação

Ensaio	PH	Regulador de PH	Activador	Colectores		Espumante
		NaOH	CuSO ₄ (g/t)	PAX (g/t)	Aerofina 3418A (g/t)	MIBC (g/t)
45	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
46	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	55 g/t e TC = 4 min	565 g/t
47	10	NaOH a 10%	180 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
48	10	NaOH a 10%	45 g/t e TC = 12 min	25 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
49	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
50	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	75 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
51	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 10 min	50 g/t e TC = 6 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
52	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 20 min	50 g/t e TC = 16 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
53	7.4	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
54	8	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
55	9	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
56	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 10 min	50 g/t e TC = 6 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
57	10	NaOH a 10%	90 g/t e TC = 20 min	50 g/t e TC = 16 min	27.5 g/t e TC = 4 min	565 g/t
58	5	H ₂ SO ₄ a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	1171 g/t
59	6	H ₂ SO ₄ a 10%	90 g/t e TC = 12 min	50 g/t e TC = 8 min	27.5 g/t e TC = 4 min	1171 g/t

Processamento por Flutuação de Material da Escobreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

Anexo B - Resultados das análises por espectrometria de fluorescência de raios-X.

Ensaio	1º Flutuado							2º Flutuado						
	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	Peso	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	Peso
1	3.19	2.32	3.4	0.174	0.048		17.14	4.11	0.68	1.37	0.0654	0.015		6.93
2	2.86	2.19	2.94	0.152	0.058	0.026	19.37	2.1	0.617	1.125	0.0516	0.013		7.07
3	5.1	5.13	7.32	0.322	0.1	0.059	6.29	3.75	1.28	2.17	0.096	0.024		10.41
7	5.23	5.48	7.9	0.41	0.111	0.052	10.38	4.2	0.479	0.98	0.052	0.012		7.12
11	4.9	5.53	8.78	0.468	0.127	0.038	8.92	4.93	0.72	1.29	0.0705	0.016		9.13
12	5.19	4.99	7.55	0.369	0.114	0.058	10.28	3.4	0.564	0.919	0.0497	0.016	0.012	11.21
13	4.36	5.12	7.9	0.422	0.112		11.1	2.51	0.464	0.599	0.0527	0.01		7.41
14	4.54	4.77	8.32	0.367	0.094		11.39	2.72	0.247	0.312	0.0311	0.006		9.17
15	3.63	3.48	5.79	0.297	0.076		14.76	2.95	0.537	0.609	0.0458	0.012		8.78
16	4.91	3.8	5.97	0.328	0.083		14.8	3.1	0.345	0.56	0.0417	0.007		7.93
17	5.63	6.91	6.7	0.484	0.138	0.066	7.73	2.38	0.793	1.72	0.0709	0.015		8.82
18	5.21	4.66	5.79	0.417	0.105	0.027	11.08	2.83	0.644	1.33	0.0576	0.02		7.01
19	4.95	4.99	5.68	0.551	0.141		11.1	3.09	0.319	0.971	0.0441	0.007		8.1
20	4.89	3.55	4.42	0.372	0.097		13.89	3.03	0.708	1.04	0.053	0.015		8.61
21	3.93	3.12	4.69	0.394	0.114	0.013	13.11	1.4	0.226	0.374	0.0298	0.007		13.38
22	3.52	1.022	2.28	0.129	0.048		14.13	2.76	1.54	2.42	0.193	0.054		18.67
23	3.31	2.15	2.67	0.268	0.075		19.37	1.15	0.093	0.318	0.024	0.003		14.65
24	3.18	3.01	5.23	0.4	0.108		16.08	2.07	0.092	0.077	0.0294	0.002		16.44
25	3.01	2.26	3.5	0.28	0.082	0.01	18.93	1.56	0.087	0.175	0.0147	0.002		20.05
26	3.01	2.58	3.71	0.345	0.092	0.01	16.72	1.63	0.118	0.202	0.0239	0.003		9.9
27	4	2.94	4.56	0.386	0.094		17.32	2.54	0.115	0.228	0.0179	0.003		10.6
28	3.56	3.82	5.26	0.422	0.116	0.015	11.98	2.15	0.217	0.687	0.0464	0.006		8.35
29	2.44	3.34	3.61	0.355	0.119	0.01	17.43	1.72	0.155	0.22	0.0213	0.005		16.3
30	4.2	2.3	4.57	0.274	0.071		18.39	1.84	0.356	0.485	0.0415	0.01		11.9
31	3.59	3.1	4.83	0.386	0.107		16.52	1.79	0.097	0.234	0.0165	0.002		11.39
32	3.62	3.33	4.93	0.41	0.116	0.012	15.56	1.41	0.124	0.279	0.0191	0.004		16.74
33	3.21	3.68	4.44	0.467	0.139	0.014	12.77	1.5	0.124	0.353	0.0179	0.004		11.32
34	3.63	3.52	4.7	0.401	0.131	0.026	14.03	1.89	0.211	0.333	0.0255	0.007		15.08
35	3.57	2.56	4.6	0.321	0.088	0.017	16.8	2.58	0.138	0.163	0.0418	0.004		9.5
36	3.79	2.22	3.89	0.314	0.08	0.022	21.4	2.22	0.232	0.328	0.0368	0.008		12.1
37	2.17	0.629	0.99	0.07	0.025	0.006	50.43	1.36	0.422	0.666	0.056	0.016		14.54
38	3.38	3.14	4.87	0.391	0.101	0.014	15.12	1.85	0.112	0.462	0.0313	0.003		13.5
39	3.19	3.16	4.58	0.387	0.125	0.077	15.74	1.99	0.208	0.542	0.0394	0.007		9.7
40	5.61	3.54	5.97	0.51	0.129	0.019	14.89	2.05	0.273	0.34	0.0433	0.008		8.05
41	4.6	3.06	5.86	0.484	0.101	0.024	16.25	1.65	0.177	0.18	0.033	0.009		7.32
42	3.17	3.08	4.91	0.463	0.112	0.019	14.55	1.71	0.151	0.474	0.0434	0.005		10.16
43	4.25	3.56	5.8	0.543	0.13	0.03	12.91	2.71	0.105	0.446	0.0364	0.003		9.88
44	2.77	3.69	5.44	0.506	0.134		11.24	1.67	0.192	0.712	0.0457	0.007		10.83

Anexo B (Continuação) - Resultados das análises por espectrometria de fluorescência de raios-X

Ensaio	1º Flutuado						2º Flutuado							
	As (%)	Pb (%)		As (%)	Pb (%)		As (%)	Pb (%)		As (%)	Pb (%)		As (%)	Pb (%)
45	3.41	3.09	5.09	0.46	0.135		14.15	2.18	0.121	0.494	0.0358	0.004		7.46
46	4.29	4.18	6.99	0.605	0.167	0.034	11.05	2.15	0.268	0.621	0.054	0.008		8.5
47	4.1	3.83	6.76	0.49	0.137	0.014	12.14	2.22	0.374	0.522	0.0638	0.013		8.22
48	4.41	3.53	6.08	0.565	0.138	0.013	10.84	2.01	0.466	1.28	0.0816	0.063		7.5
49	3.53	3.85	5.09	0.537	0.147		14.88	2.57	0.106	0.394	0.0328	0.004		10.05
50	4.15	3.59	6.09	0.537	0.145	0.018	13.61	2.19	0.185	0.559	0.0455	0.008		8.18
51	4.77	4.23	7.15	0.658	0.164		10.48	2.16	0.149	0.757	0.0428	0.005		7.42
52	3.51	4.05	5.76	0.651	0.157		11.27	2.39	0.281	0.78	0.0557	0.009		8.86
53	4.9	3.38	6.24	0.542	0.136	0.015	13.95	2.21	0.185	0.191	0.0361	0.007		8.22
54	3.99	3.55	6.54	0.555	0.159	0.035	13.3	1.93	0.157	0.245	0.0354	0.006		10.14
55	3.7	3.83	6.06	0.602	0.169		13.86	2.06	0.155	0.49	0.0388	0.005		8.99
56	3.57	3.26	5.94	0.52	0.149	0.047	13.64	2.36	0.182	0.491	0.0376	0.004		10.28
57	3.99	3.96	6.6	0.555	0.15	0.021	11.94	1.71	0.128	0.349	0.0366	0.005		9.22
58	6.11	3.29	7.31	0.569	0.15	0.05	13.47	3.46	0.272	0.3032	0.0637	0.01	0.007	11.29
59	2.55	2.99	5.67	0.414	0.122	0.016	11.82	1.88	0.272	0.223	0.0531	0.009		10.36

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

Anexo C - Resultados das análises por espectrometria de absorção atômica.

Ensaio	1º Flutuado							2º Flutuado						
	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	Peso	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	Peso
1	2.78	3.07	3.58	0.18	0.071	0.033	17.14	3.8	0.88	1.262	0.078	0.031	0.017	6.93
2	4.43	3.42	3.28	0.19	0.076	0.047	19.37	1.13	0.81	1.193	0.067	0.029	0.013	7.07
3	6.59	6.43	6.1	0.38	0.13	0.082	6.29	5.11	1.91	2.772	0.119	0.055	0.03	10.41
7	6.23	7.51	7.59	0.57	0.129	0.09	10.38	5.6	0.93	1.355	0.068	0.023	0.009	7.12
11	6.27	7.29	7.27	0.51	0.087	0.112	8.92	6.18	1	1.797	0.084	0.036	0.018	9.13
12	6.27	7.29	7.27	0.51	0.087	0.112	10.28	4.66	1.05	1.233	0.074	0.032	0.017	11.21
13	6.18	7.16	7.58	0.44	0.162	0.124	11.1	4.05	0.61	0.748	0.049	0.018	0.007	7.41
14	5.54	7.24	7.68	0.49	0.123	0.099	11.39	3.53	0.38	0.421	0.039	0.008	0.004	9.17
15	5.07	5.04	5.79	0.36	0.116	0.087	14.76	3.26	0.98	0.815	0.063	0.026	0.014	8.78
16	5.96	5.76	5.79	0.34	0.045	0.097	14.8	6.59	0.62	0.86	0.056	0.017	0.012	7.93
17	7.34	7.57	6.49	0.51	0.068	0.12	7.73	2.58	1.18	1.897	0.097	0.035	0.022	8.82
18	6.6	8.14	6.46	0.45	0.034	0.108	11.08	4.34	1.13	1.599	0.075	0.028	0.017	7.01
19	8.29	8.14	6.13	0.61	0.095	0.097	11.1	4.16	0.52	1.355	0.053	0.014	0.008	8.1
20	6.48	5.95	5.24	0.34	0.135	0.081	13.89							
23	3.97	3.13	3.71	0.3	0.142	0.056	19.37	1.74	0.16	0.495	0.019	0.003	0.001	14.65
24	5.48	6.03	7.21	0.64	0.192	0.066	16.08	2.7	0.14	0.205	0.018	0.003	0.002	16.44
25	3.87	4.19	4.39	0.4	0.158	0.059	18.93	2.17	0.12	0.283	0.012	0.001	0.001	20.05
26	4.68	5.09	5	0.46	0.064	0.048	16.72	2.08	0.2	0.416	0.014	0.004	0.003	9.9
27	5.18	4.38	3.73	0.4	0.155	0.053	17.32	3.34	0.64	0.725	0.047	0.02	0.008	10.6
30	5.83	4.61	3.59	0.4	0.143	0.063	18.39	2.75	0.81	0.608	0.054	0.025	0.016	11.9
31	5.03	4.82	4.11	0.45	0.184	0.078	16.52	2.56	0.15	0.494	0.008	0.003	0.002	11.39
32	5.77	5.9	5.51	0.55	0.154	0.084	15.56	1.7	0.13	0.446	0.007	0.005	0.003	16.74
33	4.43	6.14	4.3	0.62	0.222	0.071	12.77	2.23	0.22	0.516	0.016	0.006	0.006	11.32
34	5.34	6.37	5.01	0.6	0.202	0.082	14.03	2.37	0.32	0.324	0.018	0.007	0.004	15.08
35	6.68	5.54	5.73	0.5	0.166	0.069	16.8	3.76	0.23	0.331	0.022	0.007	0.005	9.5
36	5.43	4.22	2.3	0.38	0.107	0.048	21.4	3.83	0.51	0.502	0.044	0.017	0.005	12.1
38	6.14	6.45	3.75	0.58	0.192	0.066	15.12	2.56	0.15	0.653	0.013	0.006	0.006	13.5
39	4.86	5.74	5.73	0.57	0.162	0.057	15.74	2.94	0.37	0.829	0.032	0.017	0.011	9.7
40	6.82	5.92	7.05	0.63	0.181	0.056	14.89	3.12	0.6	0.706	0.042	0.015	0.007	8.05
41	6.31	5.49	6.48	0.55	0.165	0.05	16.25	2.24	0.34	0.373	0.037	0.01	0.005	7.32
42	5.26	6.39	5.88	0.6	0.186	0.064	14.55	1.95	0.28	0.463	0.018	0.007	0.006	10.16
43	6.06	6.64	3.61	0.69	0.221	0.078	12.91	4.11	0.14	0.661	0.017	0.004	0.006	9.88
44	4.17	7.56	6.72	0.81	0.249	0.087	11.24	2.45	0.31	1.019	0.035	0.01	0.007	10.83
45	4.95	6.34	5.33	0.73	0.218	0.071	14.15	3.05	0.15	0.609	0.024	0.006	0.007	7.46
46	6.18	7.56	7.8	0.85	0.255	0.096	11.05	3.61	0.42	0.886	0.053	0.016	0.008	8.5
47	6.24	7.2	8.43	0.78	0.232	0.079	12.14	2.59	0.72	0.886	0.083	0.022	0.007	8.22
48	7.08	6.89	6.27	0.77	0.213	0.083	10.84	2.39	0.87	1.465	0.103	0.026	0.011	7.5
56	5.3	6.37	6.36	0.71	0.205	0.059	13.64	3.08	0.24	0.697	0.03	0.01	0.007	10.28
57	5.56	7.07	7.43	0.8	0.245	0.095	11.94	3.13	0.23	0.534	0.037	0.008	0.009	9.22
58	7.45	6.1	7.05	0.71	0.222	0.086	13.47	5.83	0.48	0.421	0.06	0.017	0.015	11.29
59	4.2	5.85	6.98	0.73	0.207	0.058	11.82	3.19	0.55	0.48	0.061	0.023	0.022	10.36

Anexo D - Resultados experimentais dos ensaios considerados para estudar a influência do PAX, Aerofina 3418^a, CuSO₄, pH e Tempo de Condicionamento.

Anexo D.1 - Influência do PAX no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro fluído considerando a fluorescência de raios-X.

Ensaio	PAX (g/t)	Teor					Recuperação					Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	
25	0	3.01	2.26	3.5	0.28	0.08	28	70.9	64.41	53.87	75.24	4.233
26	12.5	3.01	2.58	3.71	0.345	0.092	27.65	79.9	67.43	65.55	85.46	4.18
45	25	3.41	3.09	5.09	0.45	0.132	26.51	81	78.29	72.36	89.8	3.538
38	50	3.38	3.14	4.87	0.42	0.101	28.08	87.9	80.04	72.16	84.84	3.78
27	75	4	2.94	4.56	0.386	0.094	36.92	91.5	83.27	73.69	87.73	4.2
36	100	3.79	2.22	3.89	0.314	0.08	42.48	83.9	86.26	72.79	90.67	5.1

Anexo D.2 - Influência do PAX no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo fluído considerando a fluorescência de raios-X.

Ensaio	PAX (g/t)	Teor					Recuperação					Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	
25	0	1.56	0.09	0.175	0.015	0.002	12.9	2.42	2.863	2.514	1.589	3.763
26	12.5	1.63	0.12	0.202	0.024	0.003	8.866	2.16	2.174	2.689	1.705	2.475
45	25	2.18	0.12	0.494	0.036	0.004	8.936	1.67	4.006	3.035	1.363	1.865
38	50	1.85	0.11	0.462	0.031	0.003	9.86	2.01	4.871	3.45	1.671	2.425
27	75	2.54	0.12	0.228	0.018	0.003	14.79	2.26	2.627	2.156	1.767	2.65
36	100	2.22	0.23	0.328	0.037	0.008	13.67	4.82	3.997	4.688	4.671	2.775

Anexo D.3 - Influência do PAX no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro fluído considerando a absorção atômica.

Ensaio	PAX (g/t)	Teor						Recuperação						Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	
25	0	3.87	4.19	4.39	0.398	0.158	0.059	19.27	63.34	50.22	64.54	64.30	27.53	4.23
26	12.5	4.68	5.09	5.004	0.459	0.064	0.048	23.01	75.99	56.53	73.51	25.72	22.00	4.18
45	25	4.95	6.34	5.33	0.733	0.218	0.071	20.60	80.10	50.96	87.31	74.15	27.52	3.54
38	50	6.14	6.45	3.75	0.582	0.192	0.066	27.30	87.08	38.31	84.29	69.78	27.21	3.78
27	75	5.18	4.38	3.73	0.404	0.155	0.053	25.60	65.70	42.34	65.01	62.60	24.60	4.2
36	100	5.43	4.22	2.3	0.377	0.107	0.048	32.58	76.86	31.70	73.67	52.47	26.68	5.1

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

Anexo D.4 – Influência do PAX no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo flutuado considerando a absorção atômica.

Ensaio	PAX (g/t)	Teor						Recuperação						Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	
25	0	2.17	0.12	0.283	0.012	0.002	0.001	9.61	1.58	4.63	1.67	0.54	0.54	3.76
26	12.5	2.08	0.2	0.416	0.014	0.004	0.003	6.06	1.73	4.48	1.29	0.93	0.68	2.48
45	25	3.05	0.15	0.609	0.025	0.006	0.007	6.69	1.01	4.94	1.76	1.06	1.37	1.87
38	50	2.56	0.15	0.653	0.013	0.006	0.006	7.30	1.33	6.88	1.23	1.33	1.49	2.43
27	75	3.34	0.64	0.725	0.047	0.02	0.008	10.41	6.03	8.35	4.73	4.99	2.39	2.65
36	100	3.83	0.51	0.502	0.044	0.018	0.005	12.63	5.11	6.12	4.70	4.72	1.60	2.78

Anexo D.5 – Influência da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro flutuado considerando a fluorescência de raios-X.

Ensaio	Aerofina 3418A (g/t)	Teor					Recuperação					Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	
33	0	3.21	3.68	4.44	0.467	0.139	22.52	87	61.63	67.77	85.34	3.193
34	13.8	3.63	3.52	4.7	0.401	0.131	27.98	91.5	71.68	63.93	88.36	3.508
45	27.5	3.41	3.09	5.09	0.45	0.132	26.51	81	78.29	72.36	89.8	3.538
46	55	4.29	4.18	6.99	0.605	0.167	26.05	85.5	83.96	75.97	88.72	2.763
30	82.5	4.2	2.3	4.47	0.274	0.085	42.44	78.3	89.35	57.26	75.15	4.598

Anexo D.6 - Influência da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo flutuado considerando a fluorescência de raios-X.

Ensaio	Aerofina 3418A (g/t)	Teor					Recuperação					Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	
33	0	1.5	0.12	0.353	0.018	0.004	9.33	2.6	4.343	2.303	1.981	2.83
34	13.8	1.89	0.21	0.333	0.026	0.007	15.66	5.89	5.458	4.37	4.976	3.77
45	27.5	2.18	0.12	0.494	0.036	0.004	8.936	1.67	4.006	3.035	1.417	1.865
46	55	2.15	0.27	0.621	0.054	0.008	10.04	4.22	5.738	5.216	3.4	2.125
30	82.5	1.84	0.36	0.485	0.042	0.01	12.03	7.85	6.273	5.612	5.712	2.975

Anexo D.7 – Influência da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro flutuado considerando absorção atômica.

Ensaio	Aerofina 3418A (g/t)	Teor						Recuperação						Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	
33	0	4.43	6.14	4.302	0.62	0.222	0.071	16.5	69.53	37.12	75.84	68.15	24.77	3.19
34	13.8	5.34	6.37	5.006	0.603	0.202	0.082	21.9	79.23	47.46	78.05	68.13	31.45	3.51
45	27.5	4.94	6.34	5.33	0.733	0.218	0.071	20.4	79.53	50.96	87.31	74.15	27.52	3.54
46	55	6.18	7.56	7.8	0.854	0.254	0.096	20	74.06	58.24	87.05	67.47	29.11	2.76
30	82.5	5.83	4.61	3.59	0.403	0.143	0.063	31.3	75.16	44.61	68.37	63.22	31.68	4.6

Anexo D.8 - Influência da Aerofina 3418A no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo flutuado considerando absorção atômica.

Ensaio	Aerofina 3418A (g/t)	Teor						Recuperação						Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	
33	0	2.23	0.22	0.516	0.016	0.006	0.006	7.38	2.253	3.947	1.996	1.551	1.742	2.83
34	13.8	2.37	0.32	0.324	0.018	0.007	0.004	10.5	4.337	3.301	3.029	2.683	1.305	3.77
45	27.5	3.05	0.15	0.609	0.025	0.006	0.007	6.65	1	3.07	2.04	1.058	1.201	1.87
46	55	3.61	0.42	0.886	0.053	0.016	0.008	8.97	3.157	5.089	5.028	3.208	1.675	2.13
30	82.5	2.75	0.81	0.608	0.054	0.025	0.016	9.57	8.556	4.889	7.119	7.151	4.491	2.98

Anexo D.9 – Influência do CuSO₄ no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro flutuado considerando a fluorescência de raios-X.

Ensaio	CuSO ₄ (g/t)	Teor					Recuperação					Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	
23	0	3.31	2.15	2.67	0.268	0.075	33.41	73.1	53.31	55.95	68.89	4.593
48	45	4.41	3.53	6.08	0.565	0.138	26.27	70.9	71.64	69.6	74.8	2.71
45	90	3.41	3.09	5.09	0.45	0.132	26.51	81	78.29	72.36	89.8	3.538
47	180	4.1	3.83	6.76	0.515	0.137	27.35	86.1	89.2	71.05	83.16	3.035
24	270	3.18	3.01	5.23	0.4	0.108	28.1	89.6	91.41	73.09	86.83	4.02
35	360	3.57	2.56	4.6	0.321	0.088	32.95	79.6	84	61.28	73.92	4.2

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

Anexo D.10 – Influência do CuSO₄ no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo fluado considerando a fluorescência de raios-X.

Ensaio	CuSO ₄ (g/t)	Teor					Recuperação					Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	
23	0	1.15	0.09	0.318	0.024	0.003	9.257	2.52	5.064	3.995	1.905	3.663
48	45	2.01	0.41	0.88	0.072	0.015	8.283	5.64	7.174	6.102	5.738	1.875
45	90	2.18	0.12	0.494	0.036	0.004	8.936	1.67	4.006	3.035	1.363	1.865
47	180	2.22	0.37	0.522	0.064	0.013	10.03	5.69	4.664	5.96	5.507	2.055
24	270	2.07	0.12	0.145	0.034	0.003	14.15	2.81	1.961	4.806	1.928	3.11
35	360	2.58	0.14	0.163	0.042	0.004	13.47	2.43	1.683	4.513	1.71	2.375

Anexo D.11 – Influência do CuSO₄ no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro fluado considerando a absorção atômica.

Ensaio	CuSO ₄ (g/t)	Teor						Recuperação						Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	
23	0	3.97	3.13	3.71	0.304	0.142	0.056	21.3	50.97	46.05	51.52	62.71	28.26	4.59
48	45	7.08	6.89	6.27	0.77	0.213	0.083	22.4	66.21	45.92	77.03	55.56	24.72	2.71
45	90	4.95	6.34	5.33	0.733	0.218	0.071	20.5	79.53	50.96	95.68	74.15	27.6	3.54
47	180	6.24	7.2	8.42	0.777	0.232	0.079	22.2	77.49	69.07	87.02	67.7	26.35	3.04
24	270	5.48	6.03	7.21	0.639	0.192	0.066	25.8	85.96	78.34	94.79	74.22	29.16	4.02
35	360	6.68	5.54	5.73	0.501	0.166	0.069	32.8	82.51	65.04	77.65	67.04	31.85	4.2

Anexo D.12 - Influência do CuSO₄ no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo fluado considerando a absorção atômica.

Ensaio	CuSO ₄ (g/t)	Teor						Recuperação						Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	
23	0	1.74	0.16	0.495	0.019	0.003	0.001	7.45	2.052	4.9	3.074	1.021	0.523	3.66
48	45	2.39	0.87	1.465	0.103	0.026	0.011	5.24	5.805	7.424	8.647	4.597	2.308	1.88
45	90	3.05	0.15	0.609	0.025	0.006	0.007	6.65	1	3.07	2.04	1.058	1.373	1.87
47	180	2.59	0.72	0.886	0.083	0.022	0.007	6.23	5.261	4.921	7.624	4.327	1.671	2.06
24	270	2.69	0.14	0.205	0.018	0.003	0.002	9.78	1.5	1.723	2.527	0.837	0.615	3.11
35	360	3.76	0.23	0.331	0.022	0.007	0.005	10.4	1.929	2.125	2.354	1.576	1.227	2.38

Anexo D.13 - Influência do pH no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro fluído considerando a fluorescência de raios-X.

Ensaio	pH	Teor					Recuperação					Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	
58	5	6.11	3.29	7.31	0.569	0.15	37.9	68.8	89.71	64.24	76.98	2.823
53	7.4	4.9	3.38	6.24	0.542	0.136	37.56	87.3	94.62	75.61	86.24	3.488
54	8	3.99	3.55	6.54	0.555	0.159	29.16	87.4	94.55	73.82	88.11	3.325
55	9	3.7	3.83	6.06	0.602	0.169	27.57	96.2	89.32	81.63	95.49	3.39
38	10	3.38	3.14	4.87	0.42	0.101	28.08	87.9	80.04	72.16	86.77	3.78
43	11	3.75	3.56	5.8	0.543	0.13	26.6	85.1	81.39	79.66	83.92	3.228
44	12	2.77	3.69	5.44	0.506	0.134	17.11	76.8	66.46	64.63	75.31	2.81

Anexo D.14 - Influência do pH no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo fluído considerando a fluorescência de raios-X.

Ensaio	pH	Teor					Recuperação					Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	
58	5	3.46	0.27	0.303	0.064	0.01	21.46	5.69	3.718	8.172	6.523	2.823
53	7.4	2.21	0.19	0.191	0.036	0.007	9.981	2.82	1.707	3.372	3.151	2.055
54	8	1.93	0.16	0.245	0.035	0.006	10.75	2.95	2.7	4.079	3.155	2.535
55	9	2.06	0.16	0.49	0.039	0.005	10.18	2.58	4.788	3.964	2.015	2.248
38	10	1.85	0.11	0.462	0.039	0.003	13.72	2.8	6.779	6.044	2.325	3.375
43	11	2.31	0.11	0.446	0.036	0.003	12.54	1.92	4.79	4.087	1.537	2.47
44	12	1.67	0.19	0.712	0.046	0.007	9.937	3.85	8.381	5.624	3.744	2.708

Anexo D.15 - Influência do pH no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro fluído considerando a absorção atômica.

Ensaio	pH	Teor						Recuperação						Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	
58	5	7.45	6.1	7.05	0.709	0.222	0.086	24.7	61.05	53.64	76.67	60.49	26.72	2.82
40	7.4	6.82	5.92	7.05	0.629	0.181	0.056	28	73.21	66.27	84.05	60.94	21.5	3.49
41	8	6.31	5.49	6.48	0.554	0.165	0.049	24.7	64.73	58.08	70.58	52.96	17.94	3.33
42	9	5.26	6.39	5.88	0.599	0.186	0.064	21	76.82	53.73	77.8	60.87	23.96	3.39
38	10	6.14	6.45	3.75	0.582	0.192	0.066	27.3	86.46	38.21	84.29	70.06	27.26	3.78
43	11	6.06	6.64	3.61	0.69	0.221	0.078	23	76	31.41	85.32	68.86	27.71	3.23
44	12	4.17	7.56	6.72	0.81	0.248	0.087	13.8	75.33	50.9	87.21	67.27	26.91	2.81

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

Anexo D.16 - Influência do pH no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo fluado considerando a absorção atômica.

Ensaio	pH	Teor						Recuperação						Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	
58	5	5.82	0.48	0.421	0.06	0.017	0.015	19.2	4.859	2.815	7.672	4.496	4.599	2.82
40	7.4	3.12	0.6	0.706	0.042	0.015	0.007	7.5	4.411	3.693	3.923	2.976	1.584	2.06
41	8	2.36	0.34	0.373	0.037	0.009	0.005	7	3.069	2.24	4.263	2.202	1.395	2.54
42	9	1.95	0.28	0.463	0.018	0.007	0.006	5.13	2.239	3.207	1.839	1.519	1.484	2.25
38	10	2.56	0.15	0.652	0.013	0.006	0.006	10.1	1.844	5.874	1.994	1.955	2.229	3.38
43	11	4.11	0.14	0.661	0.017	0.004	0.006	11.9	1.217	4.513	1.92	0.954	1.631	2.47
44	12	2.44	0.31	1.02	0.035	0.009	0.007	7.73	3.017	6.732	4.307	2.352	2.086	2.71

Anexo D.17 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro fluado considerando a fluorescência de raios-X.

Ensaio	pH	Teor					Recuperação					Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	
56	6	3.57	3.26	5.64	0.52	0.145	26.76	82.3	83.62	70.93	82.41	3.41
38	8	3.38	3.14	4.87	0.42	0.101	28.08	87.9	80.04	72.16	86.77	3.78
31	10	3.59	3.1	4.83	0.41	0.107	32.59	94.8	86.73	76.97	92.06	4.13
32	12	3.62	3.23	4.93	0.41	0.116	30.55	91.9	82.31	71.56	89.09	3.84
39	14	3.19	3.15	4.68	0.397	0.125	27.59	91.8	80.07	71.01	89.43	3.935
57	16	3.99	3.96	6.6	0.555	0.13	26.18	87.6	85.66	75.3	77.61	2.985

Anexo D.18 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo fluado considerando a fluorescência de raios-X.

Ensaio	pH	Teor					Recuperação					Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	
56	6	2.36	0.18	0.491	0.038	0.004	13.33	3.46	5.13	3.865	1.885	2.57
38	8	1.85	0.11	0.462	0.031	0.003	13.72	2.83	6.779	5.282	2.378	3.375
31	10	1.79	0.1	0.234	0.016	0.002	11.2	2.05	2.897	2.335	1.246	2.848
32	12	1.7	0.12	0.279	0.019	0.004	12.85	3.05	4.173	3.285	2.408	3.44
39	14	1.89	0.2	0.512	0.039	0.007	12.15	4.36	6.511	5.733	3.51	2.925
57	16	1.71	0.13	0.349	0.036	0.005	10.59	2.67	3.997	4.08	2.874	2.818

Anexo D.19 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do primeiro flutuado considerando a atômica de raios-X.

Ensaio	pH	Teor						Recuperação						Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	
56	6	5.3	6.37	6.36	0.71	0.205	0.059	21.1	77.03	58.46	89.67	67.87	21.97	3.41
38	8	6.14	6.44	3.75	0.58	0.192	0.066	27.1	86.32	38.21	81.2	70.46	27.27	3.78
31	10	5.03	4.82	4.11	0.448	0.184	0.078	24.3	70.59	45.75	68.53	73.78	35.61	4.13
32	12	5.77	5.9	5.51	0.547	0.154	0.084	25.9	80.34	57.03	77.8	57.41	35.61	3.84
39	14	4.86	5.74	5.72	0.57	0.162	0.057	22.4	80.1	60.67	83.07	61.89	24.83	3.94
57	16	5.56	7.07	7.43	0.797	0.245	0.095	19.4	74.84	59.78	88.11	71	31.36	2.99

Anexo D.20 - Influência do tempo de condicionamento no teor, rendimento em peso e recuperação dos metais do segundo flutuado considerando a atômica de raios-X.

Ensaio	pH	Teor						Recuperação						Rp (%)
		As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	As (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ag (%)	Au (%)	
56	6	3.08	0.24	0.697	0.03	0.01	0.007	9.26	2.187	4.828	3.442	2.395	1.949	2.57
38	8	2.56	0.53	0.652	0.013	0.006	0.006	10.1	6.343	5.931	2.228	4.372	2.077	3.38
31	10	2.56	1.5	0.492	0.008	0.003	0.002	8.53	15.15	3.776	1.139	1.78	0.751	2.85
32	12	1.7	1.29	0.446	0.007	0.005	0.003	6.84	15.74	4.135	1.238	3.371	1.058	3.44
39	14	2.94	0.37	0.829	0.032	0.017	0.011	10.1	3.786	6.536	4.709	8.935	3.632	2.93
57	16	3.12	0.23	0.53	0.037	0.008	0.009	10.3	2.318	4.025	4.215	4.339	2.694	2.82

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

Anexo D.21(continuação) – Teores dos Sulfuretos (primeiro flutuado) considerando os resultados da espectrometria de fluorescência de raios-X.

Ensaio	Arsenopirite (%)	Galena (%)	Esfalerite (%)	Calcopirite (%)	Argentite (%)
1	6.93	2.68	5.07	0.50	0.11
2	6.22	2.53	4.38	0.44	0.13
3	11.08	5.92	10.91	0.93	0.23
7	11.37	6.33	11.77	1.18	0.25
11	10.65	6.39	13.08	1.35	0.29
12	11.28	5.76	11.25	1.07	0.26
13	9.48	5.91	11.77	1.22	0.26
14	9.87	5.51	12.40	1.06	0.21
15	7.89	4.02	8.63	0.86	0.17
16	10.67	4.39	8.90	0.95	0.19
17	12.24	7.98	9.98	1.40	0.32
18	11.32	5.38	8.63	1.20	0.24
19	10.76	5.76	8.46	1.59	0.32
20	10.63	4.10	6.59	1.07	0.22
21	8.54	3.60	6.99	1.14	0.26
22	7.65	1.18	3.40	0.37	0.11
23	7.19	2.48	3.98	0.77	0.17
24	6.91	3.48	7.79	1.16	0.25
25	6.54	2.61	5.22	0.81	0.19
26	6.54	2.98	5.53	1.00	0.21
27	8.69	3.40	6.79	1.11	0.22
28	7.74	4.41	7.84	1.22	0.27
29	5.30	3.86	5.38	1.03	0.27
30	9.13	2.66	6.81	0.79	0.16
31	7.80	3.58	7.20	1.11	0.25
32	7.87	3.85	7.35	1.18	0.27
33	6.98	4.25	6.62	1.35	0.32
34	7.89	4.07	7.00	1.16	0.30
35	7.76	2.96	6.85	0.93	0.20
36	8.24	2.56	5.80	0.91	0.18
37	4.72	0.73	1.48	0.20	0.06
38	7.35	3.63	7.26	1.13	0.23
39	6.93	3.65	6.82	1.12	0.29
40	12.19	4.09	8.90	1.47	0.30
41	10.00	3.53	8.73	1.40	0.23
42	6.89	3.56	7.32	1.34	0.26
43	9.24	4.11	8.64	1.57	0.30
44	6.02	4.26	8.11	1.46	0.31
45	7.41	3.57	7.58	1.33	0.31
46	9.32	4.83	10.42	1.75	0.38

Anexo D.21 (continuação) – Teores dos Sulfuretos (primeiro flutuado) considerando os resultados da espectrometria de fluorescência de raios-X.

Ensaio	Arsenopirite (%)	Galena (%)	Esfalerite (%)	Calcopirite (%)	Argentite (%)
47	8.91	4.42	10.07	1.41	0.31
48	9.58	4.08	9.06	1.63	0.32
49	7.67	4.45	7.58	1.55	0.34
50	9.02	4.15	9.07	1.55	0.33
51	10.37	4.89	10.65	1.90	0.38
52	7.63	4.68	8.58	1.88	0.36
53	10.65	3.90	9.30	1.57	0.31
54	8.67	4.10	9.75	1.60	0.37
55	8.04	4.42	9.03	1.74	0.39
56	7.76	3.76	8.85	1.50	0.34
57	8.67	4.57	9.83	1.60	0.34
58	13.28	3.80	10.89	1.64	0.35
59	5.54	3.45	8.45	1.20	0.28

Processamento por Flutuação de Material da Escombreira da Antiga Mina de Ouro da Escadia Grande (Região de Góis)

Anexo D.22 (continuação) – Teores dos Sulfuretos (primeiro flutuado) considerando os resultados da espectrometria de absorção atômica.

Ensaio	Arsenopirite (%)	Galena (%)	Esfalerite (%)	Calcopirite (%)	Argentite (%)
1	6.05	3.55	5.28	0.51	0.16
2	9.62	3.95	5.88	0.56	0.17
3	14.33	7.42	11.06	1.11	0.30
4	13.54	8.67	12.92	1.66	0.30
11	13.64	8.41	12.54	1.48	0.20
12	13.64	8.41	12.54	1.48	0.20
13	13.44	8.26	12.32	1.26	0.37
14	12.04	8.36	12.45	1.43	0.28
15	11.01	5.82	8.67	1.03	0.27
16	12.96	6.65	9.91	0.97	0.10
17	15.96	8.74	13.02	1.49	0.16
18	14.35	9.40	14.00	1.30	0.08
19	18.02	9.40	14.01	1.77	0.22
20	14.07	6.87	10.24	0.98	0.31
23	8.62	3.61	5.38	0.88	0.33
24	11.90	6.96	10.37	1.85	0.44
25	8.42	4.84	7.21	1.15	0.36
26	10.18	5.88	8.76	1.33	0.15
27	11.26	5.05	7.53	1.17	0.36
30	12.67	5.32	7.93	1.17	0.33
31	10.94	5.57	8.29	1.29	0.42
32	12.55	6.82	10.16	1.58	0.35
33	9.63	7.09	10.57	1.79	0.51
34	11.61	7.35	10.96	1.74	0.46
35	14.52	6.40	9.54	1.45	0.38
36	11.81	4.88	7.27	1.09	0.25
38	13.34	7.44	11.09	1.68	0.44
39	10.56	6.62	9.87	1.64	0.37
40	14.82	6.84	10.18	1.81	0.42
41	13.72	6.34	9.45	1.60	0.38
42	11.44	7.38	11.00	1.73	0.43
43	13.17	7.67	11.43	2.00	0.51
44	9.07	8.73	13.01	2.34	0.57
45	10.75	7.32	10.91	2.12	0.50
46	13.44	8.73	13.02	2.47	0.59
47	13.56	8.31	12.39	2.24	0.53
48	15.38	7.95	11.85	2.22	0.49
56	11.52	7.36	10.97	2.05	0.47
57	12.08	8.16	12.16	2.30	0.56
58	16.20	7.05	10.50	2.05	0.51
59	9.13	6.75	10.06	2.11	0.48

