

PAULO FERNANDO ALMEIDA BRAGA

**CARACTERIZAÇÃO E BENEFICIAMENTO DA MOLIBDENITA DA
REGIÃO DE CAMPO FORMOSO - BA**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Doutor em Engenharia.

São Paulo
2013

PAULO FERNANDO ALMEIDA BRAGA

**CARACTERIZAÇÃO E BENEFICIAMENTO DA MOLIBDENITA DA
REGIÃO DE CAMPO FORMOSO - BA**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Doutor em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Mineral

Orientador:
Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves

São Paulo
2013

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

São Paulo, de junho de 2013.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Braga, Paulo Fernando Almeida
Caracterização e beneficiamento da molibdenita da região
de Campo Formoso-BA / P.F.A. Braga. -- versão corr. --São
Paulo, 2013.
147 p.

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

1.Caracterização tecnológica de minérios – Campo Formoso
(BA) 2.Processamento mineral – Campo Formoso (BA)
3.Molibdenita I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

Para Ursula e Geovana com o carinho do papi.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Arthur Pinto Chaves, pela orientação da pesquisa e leitura crítica do texto e a confiança depositada ao me aceitar como seu orientando.

Ao Dr Adão Benvindo da Luz, co-orientador e idealizador deste projeto, sempre objetivo nos seus comentários.

A Dra Sílvia França pelo apoio, incentivo e disposição para discutir os resultados obtidos, bem como, pela visão crítica deste trabalho, também uma co-orientadora.

Ao grande Técnico Tiago Teotônio, meu braço direito, em todas as etapas desta jornada.

A Márcia Moura, brilhante secretária, pela paciência, presteza e educação na ajuda para resolver pequenos e grandes problemas.

A Natasha Li pela editoração, revisão, diagramação e pesquisa de parte desta tese.

Ao Dr João Sampaio, grande crítico, porém vibrante com os resultados alcançados.

A direção do CETEM, pela infraestrutura disponibilizada, bem como, pela liberação para conclusão desta tese.

Ao colega Reiner Neumann pela ajuda na caracterização mineralógica dos minerais estudados.

A Dra Marisa Monte, Juan Guerrero e Débora Sanches pelas medidas de ângulo de contato, determinação do potencial zeta e determinação do peso molecular de polímeros no Laboratório de Química de Superfície do CETEM.

Aos colegas da COAM, Arnaldo, Nelma (*in memorian*), Gaspar, Sandra, Antonieta, Thais, Jaqueline e Josimar pelas análises químicas e minerais diversas contidas nesta tese.

Ao Tio Zé e ao Sr Moisés pela cessão de amostras de molibdenita e minérios da região de Pindobaçu, Bahia, necessárias ao desenvolvimento desta pesquisa.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho e, que por ventura, tenha esquecido de citar, o meu muito obrigado.

RESUMO

Neste trabalho foram abordados aspectos da cadeia do molibdênio e da molibdenita nos mercados internacional e nacional, mostrando as ocorrências e suas principais aplicações. Atualmente, no Brasil, a única opção de aproveitamento econômico desse bem mineral é o minério de molibdenita gerado como coproduto ou subproduto da mineração artesanal de esmeraldas, na região de Campo Formoso e Pindobaçu, BA.

A caracterização tecnológica de minérios, produtos e do processo utilizado na recuperação da molibdenita de Campo Formoso mostrou que entraves de natureza tecnológica, com destaque relacionado ao concentrado produzido, geram produtos de baixo teor e, conseqüentemente, de pequeno valor econômico. Isto é devido, principalmente, à presença de outros minerais hidrofóbicos, como o talco, com propriedades físico-químicas semelhantes às da molibdenita e que são co-flotados no processo de beneficiamento.

Detectado o problema, e após uma revisão bibliográfica sobre o assunto, realizou-se um estudo fundamental, em escala de laboratório, sobre a separação molibdenita/talco por flotação, com a utilização de diferentes depressores empregados, usualmente, em operações de tratamento de minérios. Dentre os depressores utilizados, a dextrina e o quebracho promoveram janelas de separabilidade entre os minerais molibdenita e talco de 63 e 68%, respectivamente.

Os resultados alcançados nesses estudos fundamentais motivaram um aumento de escala, passando dos testes de microflotação em célula Partridge & Smith, para testes de flotação em bancada em célula Denver, com as dosagens dos reagentes calculadas em termos de gramas de reagente por tonelada de alimentação à flotação (concentrado de molibdenita).

Na flotação em escala de bancada, os melhores resultados foram obtidos com uso da dextrina como depressor da molibdenita, na dosagem de 100 g/t, para um circuito com cinco etapas de limpeza, foi possível obter um concentrado de molibdenita com 93,4% de MoS_2 , o qual encontra-se dentro dos requisitos exigidos pelo comércio internacional.

ABSTRACT

In this scientific and technological contribution, the aspects of the molybdenum and molybdenite chain in the domestic and international markets were discussed, showing the occurrences and their main applications. Currently, in Brazil the only option for the economic exploitation of this mineral resource is the molybdenite as a co-product or by-product of emeralds small-scale mining, at the region of Campo Formoso and Pindobaçu, BA.

The technological characterization of ores, products and the process used in the recovery of molybdenite from Campo Formoso has shown that barriers of technological nature, with emphasis on the produced concentrate, generate products of low molybdenite grade and, therefore, of low economic value. This is due to the presence, in particular, of other hydrophobic minerals, such as talc, with physical-chemical properties similar to those of molybdenite and are co-floated in the beneficiation process.

Once detected the problem, and after an extensive literature survey on the subject, a fundamental study was carried out, in lab-scale, to separate molybdenite from talc by froth flotation, by testing different depressants conventionally used in actual mineral processing operations. Among the tested depressants, dextrin and quebracho promoted separation gaps between the molybdenite and talc minerals of 63 and 68%, respectively.

The achieved results in that fundamental study has motivated an scale up from micro-flotation tests, in Partridge & Smith cell, to bench scale flotation tests in a Denver cell, reagents additions were calculated according to the ore (molybdenite concentrate) throughput into the industrial flotation circuits.

In the bench scale flotation tests, the best results, in terms of molybdenite recovery, were reached by using dextrin as molybdenite depressant, at a dosage of 100 g.t^{-1} , for a circuit with five cleaner steps. It was possible to get a molybdenite concentrate with 93.4% of MoS_2 , which is within the requirements of the international trade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Balança comercial para o molibdênio brasileiro	18
Figura 4.1 - Molibdenita encaixada em micaxisto da Serra de Carnaíba	26
Figura 4.2 - Reservas Mundiais de Molibdênio.....	27
Figura 4.3 - Produção mundial de molibdênio no ano de 2011	28
Figura 4.4 - Distribuição setorial das principais aplicações do molibdênio	30
Figura 4.5 - Cotação do molibdênio de 2002 a 2012.....	34
Figura 4.6 - Curvas de oferta e demanda mundiais do molibdênio	35
Figura 4.7 - Diagrama de blocos da cadeia produtiva do molibdênio (processos e produtos)	36
Figura 4.8 – Circuito de Flotação do molibdênio em Chuquicamata, Chile	38
Figura 4.9 - Química do molibdênio e seus compostos.....	42
Figura 4.10 - Importação de produtos de molibdênio no ano de 2011	43
Figura 4.11 - Quantidade e preço de importação de molibdenita ustulada	45
Figura 4.12 - Mapa de Localização dos Garimpos na Serra de Carnaíba, BA	48
Figura 4.13 - Poço de acesso às galerias	49
Figura 4.14 - Catação manual de molibdenita em garimpos da Serra de Carnaíba	49
Figura 4.15 - Britador de mandíbulas (A); Moinho de martelos (B); Células de flotação (C); Processo de flotação (D)	50
Figura 4.16 - Fluxograma de beneficiamento utilizado na recuperação de molibdenita de Campo Formoso, BA	51
Figura 4.17 - Imagem de MEV da molibdenita intercrescida com clorita e flogopita	51
Figura 4.18 - Fluxograma geral da Pima Mining (adaptado de PARKINSON, 1976).....	55
Figura 4.19 - Fluxograma utilizado pela Anaconda Co. (circuito aberto e fechado)	57
Figura 4.20 - Estrutura do cristal de molibdenita, MoS_2	60
Figura 4.21 - Estrutura do cristal de talco, $\text{Mg}_3 \text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	61
Figura 4.22 - Classificação dos reagentes modificadores	65
Figura 4.23 - Monômero básico da goma guar.....	66
Figura 4.24 - Monômero básico do amido e da dextrina	68
Figura 4.25 - Estrutura da carboximetil celulose (CMC)	70
Figura 4.26 - Efeito da concentração de ácido húmico e do pH na recuperação da molibdenita (adaptada de LAI; STONE; RIMMSCH, 1984)	72
Figura 4.27 - Estruturas da amilose e da amilopectina.....	74

Figura 4.28 - Efeito do tipo de amido na recuperação de chumbo em concentrados <i>rougher</i> de cobre (adaptado de BULATOVIC; 1999).....	75
Figura 4.29 - Estrutura aproximada do quebracho, n=1–200 (PEARSE, 2005)	76
Figura 5.1 - Diagrama em blocos do processo de preparação das amostras	80
Figura 5.2 - Sistema de flotação com célula Partridge & Smith.....	86
Figura 5.3 - Medidor Zetasizer Nano-ZS	87
Figura 5.4 - Tensiômetro Krüss K100.....	88
Figura 5.5 – Diagrama do processo de flotação em bancada	93
Figura 6.1 - Difratoograma de raios-X do minério (ROM) GP	96
Figura 6.2 - Difratoograma de raios-X do minério (ROM) GM	96
Figura 6.3 - Difratoograma de raios-X do minério (ROM) GF	97
Figura 6.4 - Difratoograma de raios-X do rejeito ALL	98
Figura 6.5 - Distribuição granulométrica dos rejeitos de flotação ALL, TZ e SE.....	99
Figura 6.6 - Imagem de MEV da amostra do concentrado de molibdenita afundado no bromofórmio	100
Figura 6.7 - DRX da amostra da molibdenita afundada no bromofórmio.....	101
Figura 6.8 - Imagem de MEV dos minerais de ganga flutuados em bromofórmio.....	102
Figura 6.9 - DRX da amostra dos minerais de ganga flutuados em bromofórmio	102
Figura 6.10 - Curva de DTA/TG do concentrado de molibdenita.....	104
Figura 6.11 - Curva de distribuição granulométrica da alimentação e dos produtos	105
Figura 6.13 - Imagem de MEV da amostra de talco	106
Figura 6-14 - Distribuição granulométrica das amostras de molibdenita e talco.....	107
Figura 6-15 - Cinética de flotação da molibdenita e do talco para um tempo de 240 s	108
Figura 6-16 - Flotabilidade em função do tamanho da partícula.....	109
Figura 6-17 - Influência do pH na flotabilidade natural da molibdenita e do talco.....	110
Figura 6-18 – Diagrama de Pourbaix para o molibdênio (adaptada de CHANDER; FUERSTENAU, 1972).....	112
Figura 6-19. - Imagens de MFA em diferentes áreas da face da molibdenita nos tamanhos 10x10, 6X6, 5x5 e 2x2 μm (LÓPEZ-VALDIVIESO et al., 2012).....	113
Figura 6-20 - Influência do pH na flotabilidade da molibdenita e do talco na presença de CMC	114
Figura 6-21 - Influência do pH na flotabilidade da molibdenita e do talco na presença de goma guar	115

Figura 6-22 - Influência do pH na flotabilidade da molibdenita e do talco na presença de amido	116
Figura 6-23 - Influência do pH na flotabilidade da molibdenita e do talco na presença de ácido húmico	117
Figura 6-24 - Influência do pH na flotabilidade da molibdenita e do talco na presença de silicato de sódio.....	118
Figura 6-25 - Influência do pH na flotabilidade da molibdenita e do talco na presença de dextrina	118
Figura 6-26 - Flotabilidade da molibdenita e do talco em diferentes concentrações de dextrina e pH 8.....	119
Figura 6-27 - Curva de potencial zeta da molibdenita com e sem dextrina	121
Figura 6-28 - Curva de potencial zeta do talco com e sem dextrina.....	121
Figura 6-29 - Influência do pH na flotabilidade da molibdenita e do talco na presença de quebracho	122
Figura 6-30 - Flotabilidade da molibdenita e do talco em diferentes concentrações de quebracho a pH 8.....	123
Figura 6-31 - Curva de potencial zeta da molibdenita com e sem quebracho	124
Figura 6-32 - Curva de potencial zeta do talco com e sem quebracho.....	124
Figura 6-33 - Ângulos de contato da molibdenita condicionada em diferentes concentrações de dextrina.	126
Figura 6-34 - Ângulos de contato da molibdenita condicionada em diferentes concentrações de quebracho	127
Figura 6-35 – Determinação do peso molecular da dextrina	128
Figura 6-36 – Determinação do peso molecular do quebracho	129
Figura 6-37 - Distribuição granulométrica do concentrado de molibdenita	130
Figura 6-38 – Flotação em bancada, célula Denver D12	131
Figura 6-39 - Teor do concentrado final de molibdenita com diferentes dosagens de dextrina	132
Figura 6-40 - Teor dos principais contaminantes nos concentrados de molibdenita com diferentes dosagens de dextrina	132
Figura 6-41 – Curva de purificação da molibdenita por lixiviação com HF (5% p/v).....	133

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

