

CARACTERIZAÇÃO E ESTUDOS DE FLOTABILIDADE DE UM CONCENTRADO DE MOLIBDENITA

TIAGO TEOTONIO DA SILVA

Bolsista de nível médio do *Programa de Capacitação Institucional*. PCI/MCT

ttsilva@cetem.gov.br

PAULO FERNANDO ALMEIDA BRAGA

Orientador, Engenheiro Químico, M.Sc.

pbraga@cetem.gov.br

Resumo

A molibdenita recuperada pelo processo de flotação por pequenos mineradores da Serra de Carnaíba foi caracterizada tecnologicamente com objetivo de avaliar a qualidade do seu concentrado. Neste estudo ficou comprovado que o concentrado tem um teor de 77% de MoS₂ e, para as especificações internacionais, deve apresentar 90% de MoS₂ para ser comercializado. Os estudos mineralógicos indicaram a presença de talco, flogopita e clinoclóro no concentrado de molibdenita. Esses minerais, por terem características hidrofóbicas como a molibdenita, são flotados no processo de recuperação. Estudos adicionais de medida de potencial zeta e ensaios de flotabilidade em célula Partridge & Smith mostraram que a recuperação da molibdenita é influenciada pelo tamanho da partícula e pelo pH do meio.

1. INTRODUÇÃO

A molibdenita da Serra de Carnaíba é obtida como um subproduto da atividade garimpeira de esmeraldas, por meio de escavações subterrâneas. Os acessos aos veios mineralizados são feitos por meio de galerias (grunas) (MOREIRA e SILVA, 2006).

Após a lavra do minério de molibdenita, o mesmo é submetido a uma pré-concentração por catação manual realizada por pequenos mineradores, que vendem (ou partilham) este pré-concentrado de molibdenita para outros garimpos que efetuam o seu beneficiamento, recebendo ao final do processo, e após apuração da produção do concentrado de molibdenita, o preço combinado.

Na recuperação da molibdenita contida nos rejeitos de garimpagem é utilizado o processo de flotação, sendo produzidos concentrados com baixo teor, resultando um produto de baixo valor econômico. O concentrado de molibdenita produzido na Serra de Carnaíba apresenta teor de ~80% de MoS₂, inferior ao produto comercializado internacionalmente, que é de 90% MoS₂ (mínimo). (BRAGA 2013)

O talco é um mineral naturalmente hidrofóbico (não possui afinidade por água) como a molibdenita, desta forma, no beneficiamento por flotação, o talco é flotado com a molibdenita, resultando na obtenção de um concentrado final de (molibdenita) com baixo teor. (FUERSTENAU e HAN 1973)

2. OBJETIVO

O presente estudo tem por objetivo realizar uma caracterização tecnológica do concentrado de molibdenita produzido na região da Serra da Carnaíba com a utilização de novos métodos que, combinados aos métodos já utilizados, puderam resultar em um concentrado de com teor dentro das especificações comerciais.

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais

Para realização deste estudo utilizou-se um concentrado de molibdenita proveniente da Serra de Carnaíba com 77% MoS₂. O talco com 30,7% MgO foi fornecido pela Mineração Paranaense.

3.2. Caracterização mineralógica e química

A caracterização mineralógica e química foi realizada nos laboratórios do CETEM, por meio das técnicas de espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) para análise química, difratometria de raios-X (DRX) para a mineralogia, análise de imagem com auxílio de lupa binocular, microscopia eletrônica de varredura (MEV).

3.3. Reagentes

Utilizou-se o metil isobutil carbinol (MIBC) como reagente espumante na concentração de 100 ppm e hidróxido de potássio e ácido clorídrico como reguladores de pH. O cloreto de potássio foi utilizado na concentração de 10⁻³ moles/L para manter a força iônica durante os ensaios de flotação.

3.4. Métodos

Foram realizados ensaios de flotabilidade na célula Partridge & Smith que tinham por objetivo verificar a influência da granulometria e do pH na flotabilidade dos minerais molibdenita e talco. Para realização dos ensaios de flotabilidade, as amostras dos concentrados de molibdenita e talco foram peneiradas e classificadas nas frações: -150 +74 µm; -74 +37 µm e -37 µm. Os ensaios de flotabilidade com variação do pH foram realizados nos pH's 2, 4, 6, 8, 10 e 12. (ARAUJO 2005)

O pH da suspensão mineral, preparada com 3 g de amostra, era ajustado em um bquer sob agitação magnética. Em seguida, essa suspensão era condicionada com o espumante (MIBC) por mais 5 min.

Após o condicionamento, a suspensão era flotada na célula Partridge & Smith com 250 mL de capacidade, durante 3 min. Para geração das bolhas utilizou-se ar filtrado pressurizado que era introduzido na célula por uma placa porosa na vazão de 1 L/min. (JARA 2006)

Ao final dos ensaios de flotação, os produtos afundados e flutuados eram secos e pesados para avaliação da flotabilidade (relação mássica entre o produto flutuado e a soma dos produtos flotado e afundado), segundo a equação abaixo.

$$Flotabilidade (\%) = 100 \cdot \frac{massa\ flotada}{massa\ flotada + massa\ afundada}$$

Todos os ensaios de flotação foram executados em triplicata e os resultados cujo desvio foi maior do que 5% foram repetidos.

3.5 Determinação do Potencial Zeta

Com o objetivo de verificar a influência do pH sobre o potencial zeta da molibdenita e do talco, foram realizadas medidas do potencial em um medidor Zetasizer Nano-ZS (Figura 1).



Figura 1 - Medidor Zetasizer Nano-ZS

O potencial zeta é medido pela técnica de Laser Doppler Micro-eletoforese, onde um campo elétrico é aplicado a uma dispersão de partículas que se movem a uma velocidade relativa ao seu potencial zeta. A partir desta velocidade, a mobilidade eletroforética e o potencial zeta são calculados. Este equipamento possui um titulador automático acoplado que permite a determinação do potencial zeta em uma faixa ampla de pH, sem a necessidade da troca de amostras (MALVERN, 2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se na Tabela 1 que todos os concentrados analisados produzidos na Região de Campo Formoso/Pindobaçu continham teores de MoS₂ inferiores a 90%, que é o valor mínimo aceitável para o comércio internacional.

Tabela 1 - Análise química do concentrado de molibdenita (%)

Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	MoS₂	Bi ₂ O ₃
0,15	3,9	4,1	10,0	1,5	0,43	2,4	77,3	0,15

Na caracterização mineralógica, foi realizada uma separação em líquido denso (bromofórmio, d= 2,89) do concentrado de molibdenita, na fração -150 +74 µm. Após a separação das fases afundadas e flutuadas, foram analisadas por difratometria de raios-X e microscopia eletrônica de varredura.

A Figura 2 mostra uma imagem do concentrado de molibdenita flutuado no bromofórmio, obtida no microscópio eletrônico de varredura. Como se trata de uma imagem de elétrons retro-espalhados, os níveis de cinza são proporcionais ao número atômico médio da amostra a cada pixel e pesos atômicos mais elevados apresentam-se mais claros. Desta forma, o mineral mais claro é a molibdenita. Nesta amostra de minerais flutuados observa-se pouca molibdenita e a presença de diversos minerais hidrofóbicos como talco, grafite, flogopita, clorita, presença de feldspato potássico (ortoclásio) e de berilo.

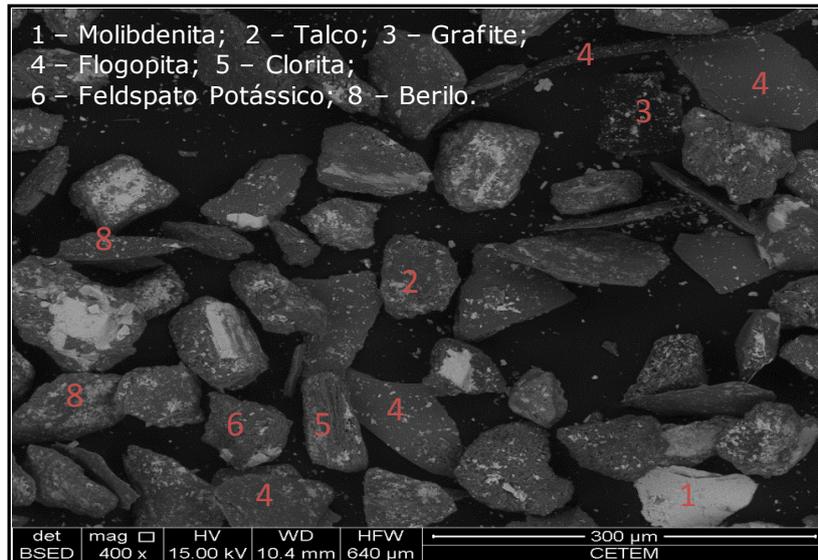


Figura 2- Imagem de MEV dos minerais de ganga flutuados em bromofórmio

A mineralogia do produto flutuado foi determinada por meio da difratometria de raios-X. O difratograma de raios-X da Figura 3 confirmou a presença de talco, flogopita, clinocloro e molibdenita no produto flutuado.

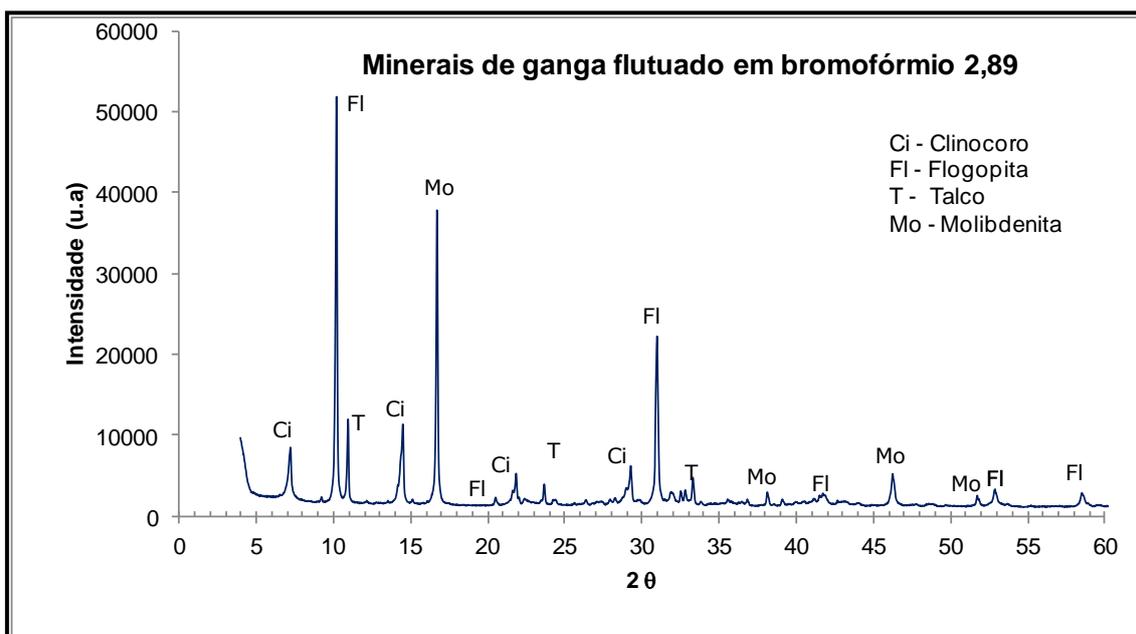


Figura 3 - DRX da amostra dos minerais de ganga flutuados em bromofórmio

As curvas de potencial zeta da molibdenita e do talco (Figura 4) mostram que as superfícies de ambos os minerais estão carregadas negativamente em quase toda a extensão de pH, com pontos isoeletrônicos localizados em pH menor que 2. Também está claro que a partir de pH 6 existe um aumento mais acentuado na eletronegatividade da superfície da molibdenita, que se deve, possivelmente, à oxidação e hidrólise do MoO_3 a HMoO_4^- e MoO_4^{2-} , tornando a superfície mais eletronegativa.

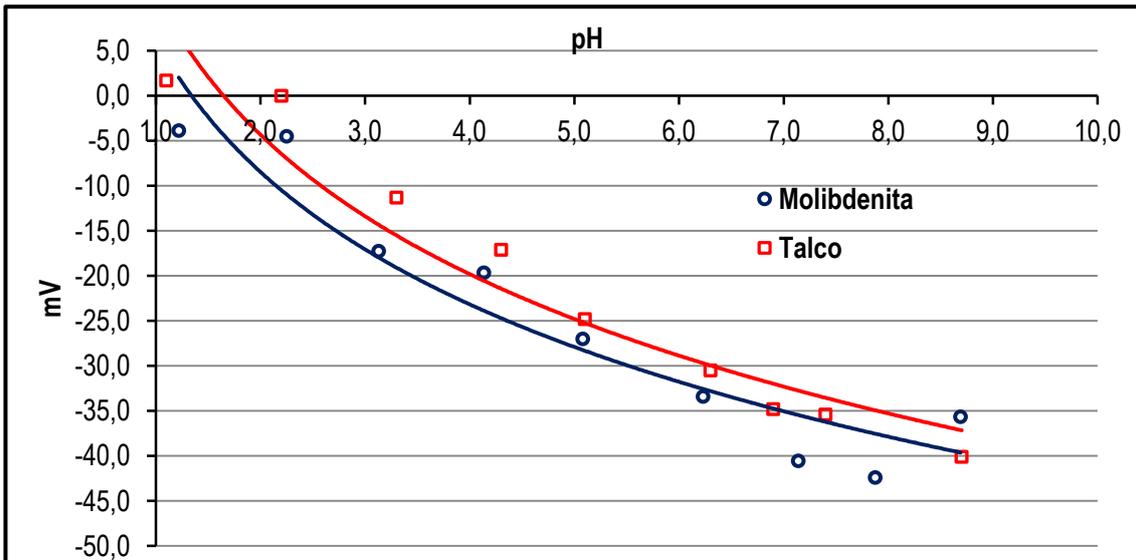


Figura 4 – Curva de potencial zeta do talco e da molibdenita

Os gráficos de flotabilidade da molibdenita e do talco em função do pH estão apresentados na Figura 5. Verifica-se que a flotabilidade da molibdenita é influenciada e reduzida na região alcalina, devido à presença de cargas elétricas contidas nas bordas da molibdenita, originadas da oxidação e hidrólise do MoO_3 a HMoO_4^- e MoO_4^{2-} ; por outro lado, a variação do pH não exerce efeito depressor sobre a superfície do talco, mantendo estável sua hidrofobicidade natural e, conseqüentemente, sua flotabilidade. Esses resultados encontram-se alinhados com o estudo realizado por Rath; Laskowski, e Subramanian (1997) onde ficou evidenciado que a recuperação por flotação do talco independe do pH.

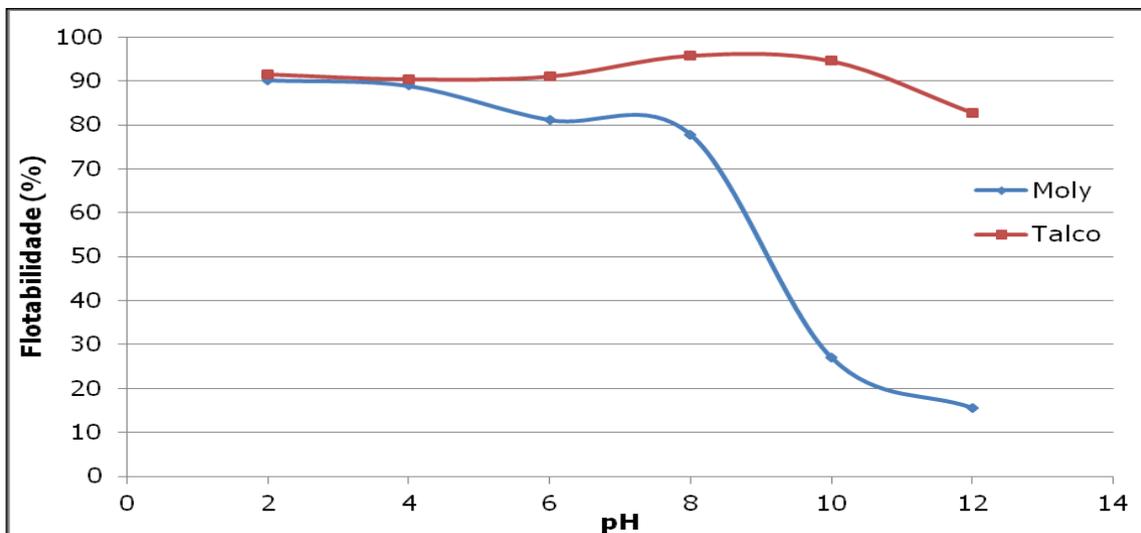


Figura 5 – Flotabilidade de talco e molibdenita em função do pH

Os gráficos de flotabilidade da molibdenita e do talco em função do tamanho da partícula estão apresentados na Figura 6. Verifica-se uma diminuição na flotabilidade (recuperação), cerca de 20%, tanto para a molibdenita quanto para o talco, para as três faixas granulométricas estudadas. (BALTAR 2010)

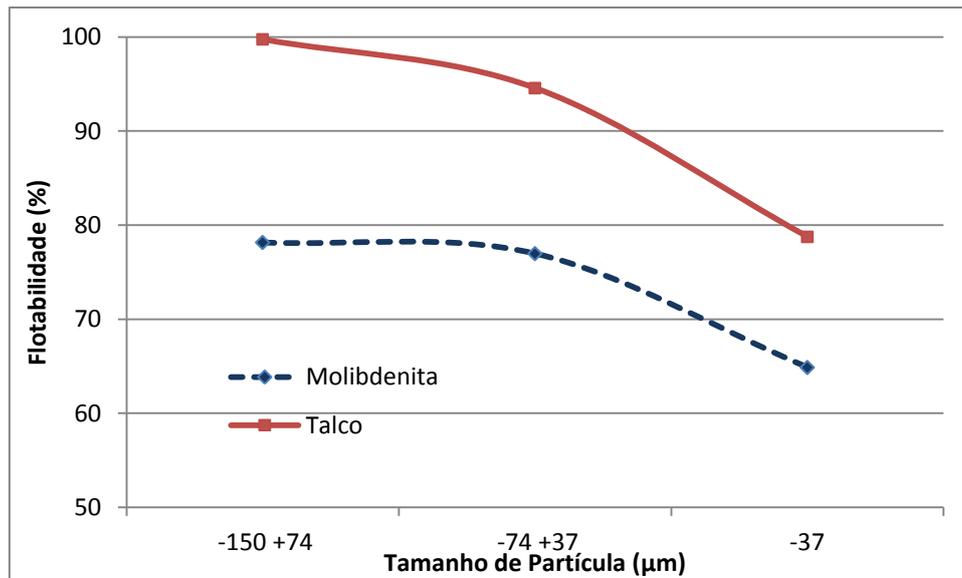


Figura 6 - Flotabilidade de talco e molibdenita em função do tamanho de partícula.

A redução da flotabilidade dos minerais em função da granulometria é devido à diminuição da relação faces:bordas. Tanto a molibdenita quanto o talco possuem superfícies anisotrópicas, onde as faces têm características hidrofóbicas (devido ao rompimento de ligações de van der Waals) e as bordas características hidrofílicas (devido ao rompimento de ligações covalentes).

5. CONCLUSÕES

A análise química do concentrado de molibdenita apresentou baixo teor de MoS_2 e teores elevados de MgO e SiO_2 , indicativos da presença de talco, flogopita, clorita e clinocloro. A presença de contaminantes implica em um concentrado de baixo valor agregado.

A presença de diversos minerais hidrofóbicos como talco, grafite, flogopita, clorita, reduzem o teor do concentrado final por serem flotados juntamente com a molibdenita.

A diminuição do tamanho da partícula de molibdenita influencia de maneira negativa a flotabilidade tanto da molibdenita quanto do talco, principal contaminante, devido à diminuição da relação entre faces:bordas.

A partir do pH 8, abre-se uma janela de separabilidade dos minerais talco e molibdenita.

As curvas de potencial zeta da molibdenita e do talco mostraram que esses os minerais possuem propriedades de superfície semelhantes.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao MCTI/CNPq pela bolsa concedida, ao CETEM pela infraestrutura, à COAM pelas análises químicas e mineralógicas, ao meu orientador Paulo Fernando Almeida Braga e à estagiária Natasha Li Vieira pela ajuda na parte experimental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JARA, C.; CASTRO, S.; **Depresión de Molibdenita por Reactivos Floculantes**. In: IV INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING WORKSHOP, Santiago, Chile, 2006.

FUERSTENAU, M.C.; HAN, K.N.; **Principles of Mineral Processing by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration**, Inc.1973

BALTAR, C.A.M.; **Flotação**, 2.ed. Editora Universitária UFPE, 2010. 232p.

BRAGA, P.F.A. **Caracterização e beneficiamento da molibdenita da região de Campo Formoso – BA**. 2013. 146p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Brasil).

RATH, R.K.; SUBRAMANIAN, S.; LASKOWSKI, J.S. **Adsorption of Dextrin and Guar Gum onto Talc – A Comparative Study**. In: Langmuir. v.13, p. 6260-6266, 1997.

ARAUJO, A.C; GALERY, R; VIANA, P.R.M; ARENARE, D.S. **Revisitando as Técnicas de Avaliação de Flotabilidade: uma Visão Crítica**. XXI ENTMMME, Natal, RN, 2005.

MOREIRA, M. D; SILVA, R. W. S. **Esmeralda de Carnaíba, Bahia: Geologia e Desenvolvimento de Garimpo**. In: Série Arquivos Abertos, Companhia Baiana de Pesquisa Minerária. Salvador, 2006

MALVERN. Zetasizer Nano Series – User manual. U.K.: Malvern Instruments Ltd, 2009