

# **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](mailto:ttsilva@cetem.gov.br)

**PAULO FERNANDO ALMEIDA BRAGA**

Orientador, Engenheiro Químico, M.Sc.

[pbraga@cetem.gov.br](mailto: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 MoS<sub>2</sub> e, para as especificações internacionais, deve apresentar 90% de MoS<sub>2</sub> para ser comercializado. Os estudos mineralógicos indicaram a presença de talco, flogopita e clinocloro 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 MoS<sub>2</sub>, inferior ao produto comercializado internacionalmente, que é de 90% MoS<sub>2</sub> (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% MoS<sub>2</sub>. 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<sup>-3</sup> 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-eletroforese, 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  $\text{MoS}_2$  inferiores a 90%, que é o valor mínimo aceitável para o comércio internacional.

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

Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>MoS<sub>2</sub></b>	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0,15	3,9	4,1	10,0	1,5	0,43	2,4	<b>77,3</b>	0,15

Na caracterização mineralógica, foi realizada uma separação em líquido denso (bromofórmio,  $d = 2,89$ ) do concentrado de molibdenita, na fração  $-150 +74 \mu\text{m}$ . 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.

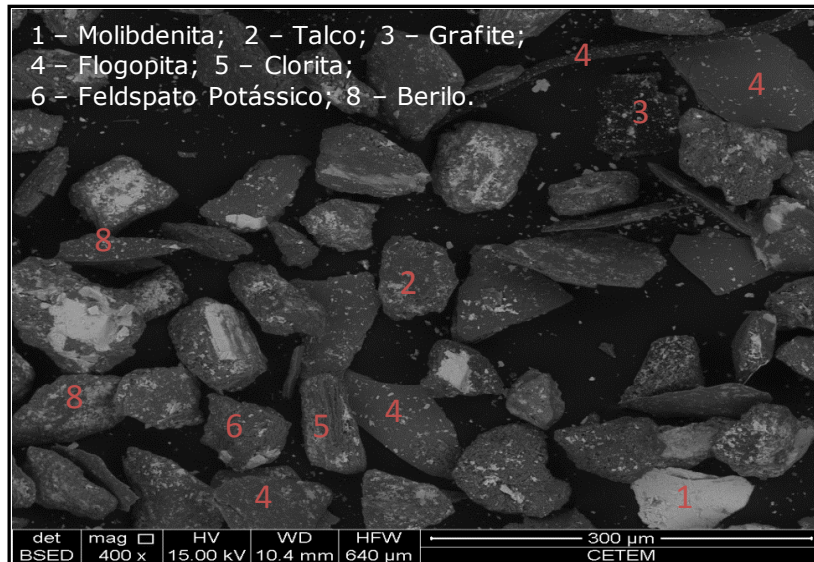


Figura 2- Imagem de MEV dos minerais de ganga flutuados em bromofórmio

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.

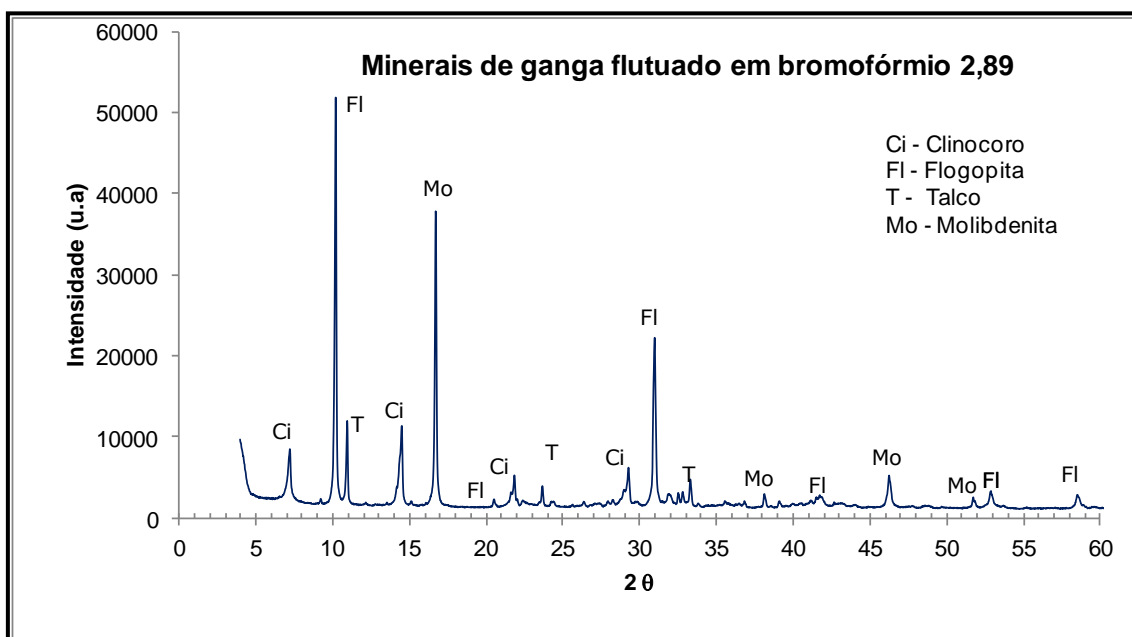


Figura 3 - DRX da amostra dos minerais de ganga flutuados em bromofórmio

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  $\text{MoO}_3$  a  $\text{HMoO}_4^-$  e  $\text{MoO}_4^{2-}$ , tornando a superfície mais eletronegativa.

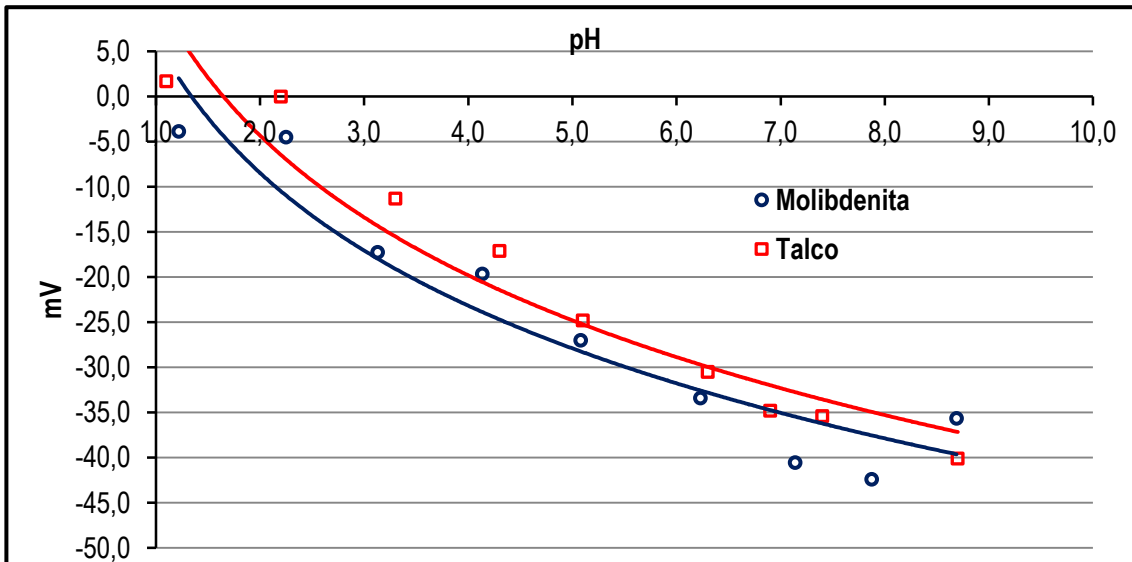


Figura 4 – Curva de potencial zeta do talco e da molibdenita

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  $\text{MoO}_3$  a  $\text{HMoO}_4^-$  e  $\text{MoO}_4^{2-}$ ; 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.

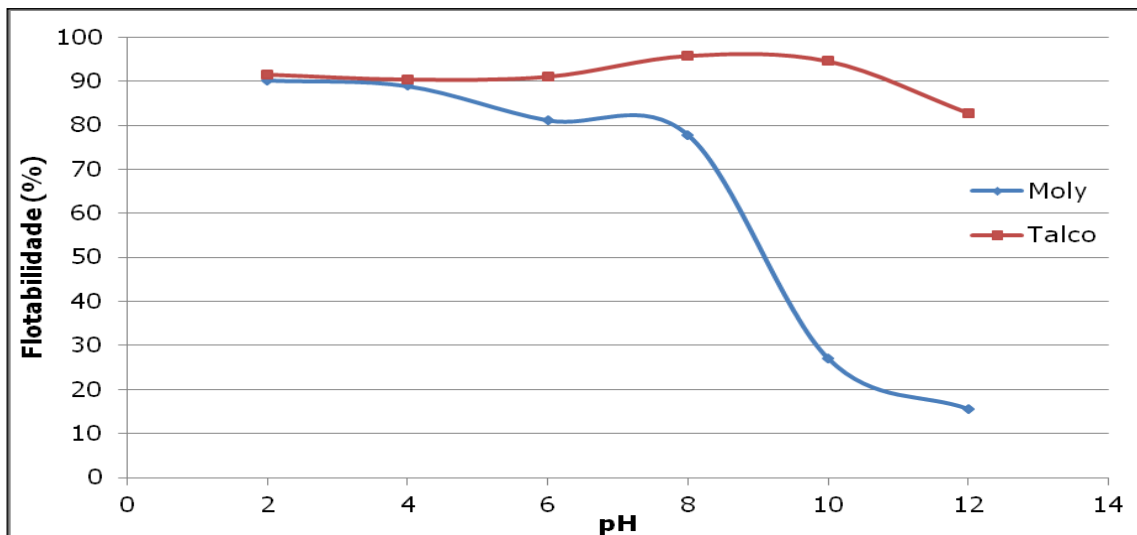


Figura 5 – Flotabilidade de talco e molibdenita em função do pH

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)

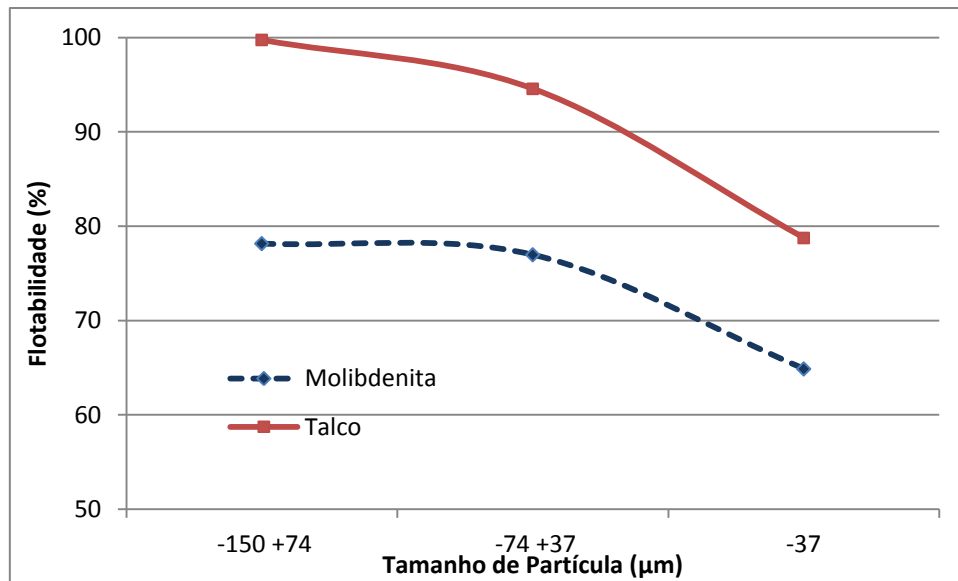


Figura 6 - Flotabilidade de talco e molibdenita em função do tamanho de partícula.

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  $\text{MoS}_2$  e teores elevados de  $\text{MgO}$  e  $\text{SiO}_2$ , 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