



**Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP**  
**Escola de Minas**  
**Departamento de Engenharia Metalúrgica e de**  
 **Materiais**  
**Campus Morro do Cruzeiro**  
**Ouro Preto – Minas Gerais – Brasil**



**ESTUDOS PRELIMINARES PARA APLICAÇÃO DE FLASH  
FLOTATION EM UMA PLANTA DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO  
DE NÍQUEL SULFETADO**

**Mateus Sousa Mendes**

**Ouro Preto**  
**2022**

**Mateus Sousa Mendes**

**ESTUDOS PRELIMINARES PARA APLICAÇÃO DE FLASH FLOTATION EM UMA  
PLANTA DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE NÍQUEL SULFETADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Metalúrgico.

Área de concentração: Beneficiamento de Minérios.

Orientador: Prof. Dr. Vladmir K. Alves

**Ouro Preto  
2022**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M538e Mendes, Mateus Sousa.

Estudos preliminares para aplicação de Flash Flotation em uma planta de beneficiamento de minério de níquel sulfetado. [manuscrito] / Mateus Sousa Mendes. - 2022.  
21 f.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Kronemberger Alves.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Metalúrgica .

1. Metalurgia - Flash Flotation. 2. Flotação. 3. Níquel - Níquel Sulfetado. 4. Beneficiamento de minério - Pentlandita. I. Alves, Vladimir Kronemberger. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 669.01

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

TCC - Mateus Sousa Mendes

**Estudos preliminares para aplicação de *flash flotation* em uma planta de beneficiamento de minério de níquel sulfetado**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Metalúrgica

Aprovada em 04 de novembro de 2022

### Membros da banca

[Doutor] - Vladimir Kronemberger Alves - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Mestre] - Jacinto Tchipa Daniel Cumena- (Ipê Mineração)

[Engenheiro Mecânico] - Tonimar Mendes de Oliveira - (Consultor independente)

Vladimir Kronemberger Alves, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 29/11/2022



Documento assinado eletronicamente por **Vladimir Kronemberger Alves, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/11/2022, às 14:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0434068** e o código CRC **631EE321**.

## RESUMO

A Flash Flotation é um processo para flotar instantaneamente partículas já liberadas antes do processo de remoagem, evitando assim, que essas partículas sejam cominuidas a granulometrias que dificultam o processo de flotação posterior. Esse trabalho analisará os resultados de testes de cinética em escala de bancada, realizados no laboratório de processos em uma planta de beneficiamento de minério de níquel sulfetado em amostras representativas de minérios de níquel sulfetado coletados no underflow do hidrociclone do circuito industrial. Nos resultados, percebe-se que o concentrado obtidos nos ensaios de laboratório, tem potencial de atender aos teores exigidos para alimentação de um forno flash.

**Palavras-chave:** Flash Flotation, Flotação, Níquel Sulfetado, Pentlandita.

## LISTA DE FIGURAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1 - Circuito de moagem.....</b> | <b>14</b> |
|---|-----------|

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Gráfico 1 – Resultados dos Testes de Flotação .....</b> | <b>22</b> |
|--|-----------|

## LISTA DE TABELAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabela 1 – Teores de Níquel em Fornos.....</b>          | <b>17</b> |
| <b>Tabela 2 – Dados dos Testes de Flotação.....</b>        | <b>23</b> |
| <b>Figura 3 – Recuperação Metalúrgica dos Testes .....</b> | <b>23</b> |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 11 |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....   | 12 |
| 2.1 Objetivo Geral .....   | 12 |
| 2.2 Objetivos Específicos .....                                      | 12 |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                                 | 13 |
| 3.1 Cominuição do Minério de Níquel Sulfetado .....                  | 13 |
| 3.2 Flotação .....   | 14 |
| 3.3 Flotação de Sulfeto de Níquel .....                              | 15 |
| 3.4 Coletores .....  | 15 |
| 3.5 Ativadores .....   | 15 |
| 3.6 Flash Flotation .....  | 16 |
| 3.7 Concentrado de Níquel .....                                      | 17 |
| 3.8 Determinação da Densidade de Polpa e Percentual de Sólidos ..... | 17 |
| <b>4 METODOLOGIA</b> .....   | 19 |
| 4.1 Preparação das amostras .....                                    | 20 |
| 4.2 Análise Granulométrica .....                                     | 20 |
| 4.3 Recuperação em Massa .....                                       | 20 |
| 4.4 Equipamentos e Parâmetros .....                                  | 21 |
| 4.5 Teste de Flotação em Bancada .....                               | 21 |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....                               | 21 |
| <b>6 CONCLUSÕES</b> .....  | 24 |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                              | 25 |

## 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que os minérios de níquel encontrados na natureza estão na forma de dois minérios, os lateríticos e os sulfetados (MUDD, 2010; FARROKH PAY *et al.*, 2019). As maiores reservas minerais de níquel no mundo, são de minérios de níquel lateríticos (USGS, 2022)., porem, a maior produção de níquel vem dos minérios sulfetados ( DALVI *et. al.*, 2004)).

Neste estudo, trabalhou-se com minério de níquel sulfetado que segundo Crundwell *et al.*( 2010) é encontrado na natureza, muitas vezes, com teores inferiores a 1%, insuficientes para servir de matéria prima para um forno “*flash*”. Logo, é necessário realizar uma etapa de flotação por espumas, com objetivos de concentrar o níquel a teores mais elevados anteriormente aos processos pirometalúrgicos.

A *Flash Flotation* é um processo de flotação rápida, com o objetivo de retirar um concentrado de qualidade adequada da carga circulante do circuito de moagem, evitando assim, a remoagem dessas partículas já liberadas (NEWCOMBE, BRADSHAW E WIGHTMAN; 2012). Geralmente a célula unitária de *Flash Flotation* é instalada de modo a flotar o *underflow* de um hidrociclone, evitando que essas partículas já liberadas entrem novamente no circuito de moagem .

## 2 OBJETIVOS

Os seguintes objetivos foram estabelecidos para desenvolver esse trabalho de pesquisa.

### 2.1 Objetivo Geral

Estes estudos preliminares tem como objetivo principal a obtenção de um concentrado, através de ensaios de flotação em escala de bancada utilizando-se de uma amostra de polpa retirada diretamente do *underflow* do hidrociclone instalado em uma planta da beneficiamento.

### 2.2 Objetivos Específicos

Realizar análise dos dados da composição química do concentrado obtido através de um ensaio de flotação em escala de bancada de uma amostra retirada do *underflow* do hidrociclone da planta industrial, de modo a estimar em escala de laboratório, o potencial de utilização de uma célula *flash*.

Comparar os dados do concentrado amostrado do *underflow* do hidrociclone com os resultados da planta no dia da coleta da amostra.

Verificar se o concentrado obtido de ensaios de “*flash flotation*” em escala de bancada, recebendo com alimentação amostras do *underflow* do hidrociclone que classifica o produto do moinho de bolas industrial, atende as especificações encontradas na literatura para alimentar um forno “*flash*”.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

<sup>1</sup>Neste capítulo pretende-se realizar uma breve revisão bibliográfica sobre o processo e concentração de minério de níquel sulfetado e suas especificidades.

#### 3.1 Cominuição do Minério de Níquel Sulfetado

Os baixos teores de níquel nos minérios sulfetados faz com que seja necessário etapas de concentração, neste caso, flotação por espumas. O minério deve ser fragmentado em pequenas partes para que seja concentrado, passando por etapas de britagem e moagem, liberando assim, a pentlandita para o processo de flotação. A granulometria do minério do processo de cominuição deve ser otimizado, pois, caso as partículas sejam grandes demais, a pentlandita pode manter-se associada a pirrotita e a outros minerais de ganga dificultando o processo de concentração. Problemas também aparecem quando a pentlandita é excessivamente quebrada, fazendo com que as bolhas no processo de flotação, arrastem as partículas muito finas para o lado, evitando o contato da coleta do reagente com o mineral de interesse (CRUNDWELL et al., 2011).

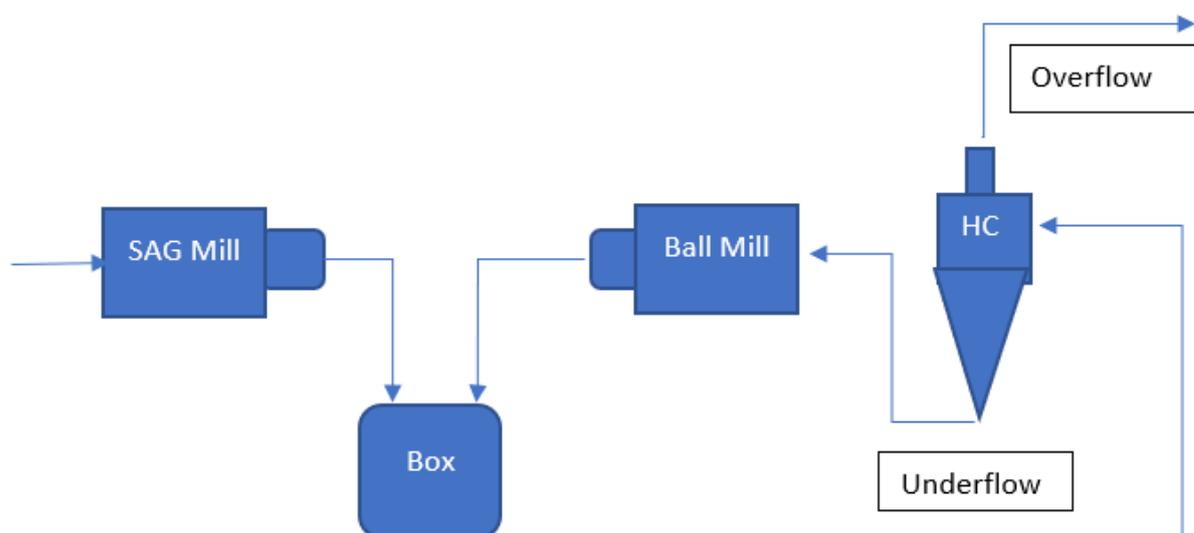
De acordo com Kerr et al. (2003) a faixa de tamanho granulométrico ideal para a pentlandita ser flotada é entre 35-44 $\mu$ m, com uma perda significativa no processo quando as partículas se encontram fora desse intervalo de granulometria.

Após o minério passar pelo processo de cominuição, o controle de tamanho granulométrico que alimentará a flotação é realizado por um hidrociclone, que enviará as partículas mais finas para a etapa de flotação através do seu *overflow*, e as partículas mais grosseiras de volta ao circuito de moagem pelo *underflow* (CRUNDWELL, et al., 2011).

De acordo com Crundwell, et al. (2011) um exemplo circuito de cominuição de uma planta de beneficiamento de níquel sulfetado pode ser um moinho semi-autógeno alimentado com minério oriundo da britagem, o moinho semi-autógeno descarrega em uma caixa de polpa, que por sua vez, alimenta o hidrociclone. O hidrociclone alimenta a etapa de flotação através do seu *overflow* com as partículas finas e o seu *underflow*

alimentando um moinho de bolas com as partículas grosseiras. A figura 3.2 ilustra um possível esquema.

Figura 1 – Circuito de moagem



Fonte: Autoria própria

### 3.2 Flotação

O processo de flotação é realizado nas interfaces, geralmente entre água e ar, com o objetivo de separar minerais de interesse, e a forma mais usada, é a flotação por espumas. Na flotação por espumas os minerais hidrofílicos, são coletados por um reagente ligado a bolhas de ar, mantendo-as na superfície até serem transportadas junto à camada de espuma. Os minerais hidrofílicos, são hidratados e arrastados junto ao fluxo de água na parte inferior da célula de flotação( CHAVES, LEAL FILHO E BRAGA, 2010).

### 3.3 Flotação de Sulfeto de Níquel

Segundo FUERSTENAU, JAMESON E YOON (2007) a flotação por espuma é o principal método para obter-se um concentrado de níquel sulfetado, pois, os minerais de sulfeto, que tendem a ser hidrofílicos, são coletados por reagentes químicos tornando-os hidrofóbicos. A pentlandita, minério de níquel sulfetado, é então aderida a bolhas de ar dentro da célula de flotação e carregada até a superfície. As partículas de ganga, não são ligadas as bolhas, pois suas superfícies são naturalmente hidrofílicas, portanto, ficam na fase aquosa.

### 3.4 Coletores

No caso o processo de concentração de minério de níquel sulfetado, os coletores são os reagentes químicos usados no processo de flotação para gerar hidrofobicidade na superfície dos minerais de interesse. A moléculas desses coletores são heteropolares (FUERSTENAU, JAMESON E YOON; 2007). Em uma ponta, a molécula do coletor tem um comportamento apolar e na outra, um comportamento polar.

### 3.5 Ativadores

Com o objetivo de acelerar a flotação da pentlandita, usa-se sulfato de cobre como um reagente ativador. O sulfato de cobre tende a revestir a superfície das partículas, fazendo com que a pentlandita se comporte cineticamente próxima com um mineral de cobre.

A reação que mostra o sulfato de cobre, principal ativador utilizado no processo de concentração de minério de níquel sulfetado, agindo com a partícula de sulfeto de níquel é a seguinte (CRUNDWELL, et al., 2011):



Segundo Kerr(2002), o sulfato de cobre também trabalha para ativar a pirrotita, cobrindo sua superfície e fazendo-a flotar, levando consigo cobre e os sulfetos juntos.

Esse ativador é muito importante na flotação do tipo “*bulk*”, que tem o objetivo flotar todos os sulfetos no processo.

### **3.6 Flash Flotation**

Uma célula de *Flash Flotation* é utilizada no circuito de moagem, de modo a receber material oriundo do *underflow* do hidrociclone, com a finalidade de flotar rapidamente partículas já liberadas, em um único estágio de flotação (NEWCOMBE, BRADSHAW E WIGHTMAN; 2012). A célula *flash* recebe um material mais grosseiro e com um percentual de sólidos bem mais alto comparado a uma célula de flotação convencional.

De acordo com NEWCOMBE, BRADSHAW E WIGHTMAN(2012), uma célula de *flash flotation* possui uma construção que permite que o material mais grosseiro e com alto percentual de sólidos, passe adiante para o *underflow* da célula, enquanto que as partículas de menor granulometria, fiquem suspensas, com um percentual de sólidos menor e mais favorável a flotação em seu topo. Uma célula de flash flotation instalada no *underflow* do hidrociclone, tem o potencial de flotar partículas já liberadas e prontas para serem coletadas que iriam retornar para o circuito de moagem e reduzirem sua granulometria a níveis que prejudicariam sua coleta.

### **3.7 Concentrado de Níquel**

Sabe-se que o concentrado de níquel tem como destino alimentar um forno *flash*, e segundo (CRUNDWELL, et al., 2011), a relação de teores de níquel para alimentar forno *flash* varia de 5% a 15%. A Tabela 1, mostra os teores de níquel do concentrado que alimenta os fornos *flash* em diferentes lugares no mundo.

Tabela 1 - Teores de Níquel em fornos

| <b>Empresa</b> | <b>Localização</b>      | <b>Ni %</b> |
|----------------|-------------------------|-------------|
| BHP Billiton   | Kalgoorlie, Austrália   | 15          |
| BCL            | Selebi Phikwe, Botswana | 5           |
| Votorantim     | Fortaleza, Brasil       | 7           |
| Xstrata        | Falconbridge, Canada    | 12          |
| Vale           | Sudbury, Canada         | 10          |
| Vale           | Thompson                | 14          |
| Jinchuan Group | Jinchuan, Gansu, China  | 9           |
| Boliden        | Harjavalta, Finland     | 14          |
| Norilsk        | Nadezda, Russia         | 12          |
| Norilsk        | Norilsk, Russia         | 5           |
| Norilsk        | Pechenga, Russia        | 9           |

### 3.8 Determinação de Densidade de Polpa e Percentual de Sólidos

Para determinar a densidade de sólido foi utilizado o método do picnômetro (SAMPAIO E SILVA, 2010). Um picnômetro é um balão volumétrico de vidro que é utilizado em conjunto a uma balança de precisão com no mínimo duas casas decimais. A fórmula utilizada para determinar a densidade de sólidos é:

$$ds = \frac{(A2) - (A1)}{(A4 + A2) - (A1 + A3)}$$

Sendo:

ds: Densidade dos sólidos;

A1: Massa do Picnômetro;

A2: Massa do Picnômetro + amostra; A3:

Massa do Picnômetro + Amostra + Água A4:

Massa do Picnômetro + Água.

Segundo Sampaio e Silva ( 2010), após a determinação da densidade de sólidos, pode-se utilizar a Balança Marcy para obter a densidade de polpa, e conseqüentemente, o percentual de sólidos presente na amostra em circuitos industriais.

## 4 METODOLOGIA

Este capítulo tem o objetivo de expor os materiais e métodos utilizados durante os testes de flotação em escala de bancada realizados no Laboratório de Processo de uma planta de beneficiamento de minério de níquel sulfetado. Os testes foram realizados com o objetivo de analisar o concentrado retirado do local de onde normalmente é instalada uma célula de *Flash Flotation*. Inicialmente foram coletadas amostras do *underflow* do hidrociclone da planta de beneficiamento para então, serem classificadas em uma peneira de 300µm de abertura. Com o material passante, foram realizados os ensaios de flotação em escala de bancada.

### 4.1 Preparação das amostras

As amostras de polpa coletadas do *underflow* do hidrociclone, foram peneiradas em uma peneira de 300µm de abertura devido ao fato das células de *flash flotation* terem por característica de flotar as partículas mais finas enquanto o material mais grosseiro é passado diretamente pela parte inferior, para então, alimentarem os moinhos.

Como todos os reagentes são adicionados antes da etapa de alimentação do hidrociclone, não foi adicionado nenhum reagente para os testes, e a água usada no peneiramento a úmido retirada da moagem, deixando amostra de polpa decantar por alguns minutos e então sifonando a água. O tempo de residência foi reduzido (30 e 60 segundos), com o objetivo de simular um teste de *Flash Flotation*. A configuração da máquina de flotação foi de 900 rotações por minuto e a vazão de ar de 10 Litros por minuto.

Foram retiradas amostras representativas para análise química da polpa antes de ser peneirada, e também do material passante que foi flotado. Após o processo de flotação, também foram para análise química amostras do concentrado obtido e do rejeito da flotação, tornando possível calcular a recuperação metalúrgica a partir dos teores obtidos pela análise química e pelo peso total das amostras.

## 4.2 Análise granulométrica

Como o ensaio de flotação é realizado apenas no material passante da malha de 300µm, é preciso retirar uma amostra representativa da amostra global para que seja realizado uma análise granulométrica, de modo a determinar o percentual de material passante da malha de 300µm. Assim é possível calcular a recuperação em massa do ensaio.

A amostra a ser peneirada é filtrada e seca em uma estufa. Após a amostra estar seca, é pesada em uma balança de precisão, então, é peneirada a seco por 30 minutos, de modo a determinar o passante da malha de 300µm.

## 4.3 Recuperação em massa

Para calcular a recuperação em massa ( $R_m$ ), necessita-se pesar à amostra antes do teste de flotação na cuba, pesar à amostra do concentrado e também do rejeito. Também é preciso ter o percentual de passante da malha 300µm. Segue a equação usada para calcular a recuperação em massa do ensaio.

Equação 1 – Recuperação Mássica Global (  $R_m$ )

$$R_m = \frac{(M_c)}{\left(\frac{M_p}{\%p}\right)}$$

$R_m$ : Recuperação mássica Global.

$M_c$ : Massa do Concentrado.

$M_p$ : Massa de polpa na cuba antes da flotação.

$\%p$ : Percentual de material passante na malha de 300µm.

#### 4.4 Equipamentos e Parâmetros

Foi utilizado a célula WEMCO, com uma cuba de 3,6 L, 900 RPM e a taxa de ar em 10 Litros por minuto. O tempo de flotação foi fixado em 30 segundos, exceto na amostra do Teste 2, onde foi realizado um teste com 60 segundos de flotação.

#### 4.5 Teste de Flotação em Bancada

O tempo de flotação do concentrado foi de 30 segundos. Seguem os passos para realização dos testes.

- I. Amostragem do *underflow* do hidrociclone da planta em um balde de 20 L.
- II. Amostragem para análise química e granulométrica.

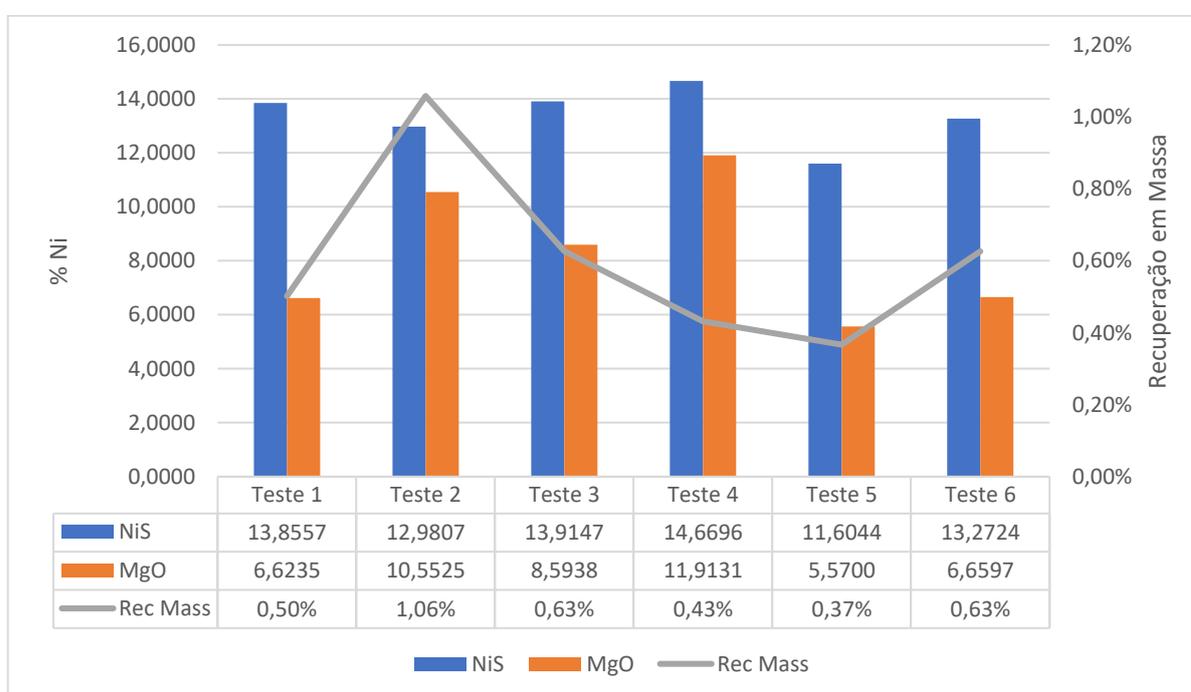
Peneiramento a úmido na peneira de 300 $\mu$ m, usando água retirada da moagem

- III. Homogeneização da amostra realizada na célula de flotação, com o rotor ligado a 700 RPM, para então, retirada da amostra do material passante de 300 $\mu$ m para análise química.
- IV. Transferir a polpa homogeneizada em uma cuba de capacidade de 3,6 L até a marca de 3,2 L. Então, obter a massa de polpa que será flotada.
- V. Realizar o ensaio de flotação por 30 segundos, sem tempo de condicionamento.
- VI. Obter o peso do rejeito e do concentrado obtido no teste.
- VII. Retirar uma amostra do rejeito da flotação para análise química.
- VIII. Retirar uma amostra do concentrado para análise química.
- IX. Filtrar, secar, pulverizar e prensar todas as amostras retiradas para em seguida serem enviadas para análise química.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguem, no gráfico 1, os resultados dos 6 testes de flotação em escala de bancada com amostras de polpa coletadas no *underflow* do hidrociclone da planta industrial de processamento.

Gráfico 1 - Resultados dos testes de flotação



Nota-se na tabela 2, detalhes dos testes realizados, como tempo de flotação, percentual de sólidos e datas de coleta das amostras. Nota-se que no teste 2, o tempo escolhido de flotação foi de 60 segundos, ocasionando em uma maior recuperação mássica, logo, em um menor teor de níquel e um maior teor de óxido de magnésio.

Tabela 2

Tabela 2 – Dados dos Testes

| Teste | Tempo [s] | % Sólidos | Data   |
|-------|-----------|-----------|--------|
| 1     | 30        | 48        | 26/abr |
| 2     | 60        | 40        | 29/abr |
| 3     | 30        | 50        | 10/mai |
| 4     | 30        | 40        | 10/mai |
| 5     | 30        | 52        | 11/mai |
| 6     | 30        | 50        | 26/mai |

Na tabela 3, apresenta-se a recuperação metalúrgica atingida foi calculada realizando a razão entre a quantidade em massa de níquel no concentrado encontrado e a quantidade de níquel encontrada na amostra flotada dividido pelo percentual de material passante na malha de 300  $\mu\text{m}$  em cada teste:

Tabela 3 – Recuperação Metalúrgica dos Testes

| Teste | Recuperação Metalúrgica (%) |
|-------|-----------------------------|
| 1     | 20,85                       |
| 2     | 40,71                       |
| 3     | 28,01                       |
| 4     | 20,32                       |
| 5     | 16,02                       |
| 6     | 46,50                       |

## 6 CONCLUSÕES

Nota-se que de acordo com a literatura, os teores de níquel obtidos no concentrado de níquel nos testes em escala de bancada, estão próximos dos teores alimentados nos fornos *flash* de níquel em vários locais do mundo.

Mais testes em escala de bancadas serão necessários, para assim, obter-se uma comparação com os resultados obtidos na planta e prever o potencial de concentrado "*flash*" obtido por "*flash flotation*".

Com mais testes de flotação em escala de bancada, será mais efetivo planejar testes em escala de planta piloto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALTAR, C. A. M. **Flotação no Tratamento de Minérios**. 2. Ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2010, 238 p.
- CETEM/MCT. Tratamento de Minérios. In: SAMPAIO, J. A.; SILVA, F. A. N. G.; **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais**. 5. Ed. Rio de Janeiro: [s,n], 2010. Cap 2, p.35-51.
- CHAVES; A. P. LEAL FILHO, L. De S.; BRAGA, P. F. A. **Flotação**. In: LUZ, A. B. FRANÇA, S. C.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento e Minérios**. 6. ed. Rio de Janeiro. CETEM/MCT, 984 p., 2018.
- CRUNDWELL, F. K.; MOATS, M. S.; RAMACHANDRAN, V.; ROBINSON, T. G.; DAVENPORT, W. G. **Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metals**. Amsterdam: Elsevier, 2011. 587p.
- DALVI, A. D.; BACON, W. G.; OSBORNE, R. C. The past and the future of nickel laterites. In: **PDAC 2004 International Convention, Trade Show & Investors Exchange**. Toronto: The prospectors and Developers Association of Canada, 2004. p. 1-27
- FAROKH PAY, S.; FILIPPOV, L.; FORNASIERO, D. Pre-concentration of nickel in laterite ores using physical separation methods. **Minerals Engineering**, v. 141, p. 105892, 2019.
- FUERSTENAU, M. C.; GRAEME, J.; YOON, R. H. **Froth Flotation: a century of innovation**. SME, 2007. p.891.
- GLEMBOSKI, V. A.; KLASSEN, V.I.; PLAKSIN, I. N. **The action of collector reagents in rendering mineral surfaces water – repellent**. Flotation, Place, Publishers. Moscou. p. 69-163.
- HEISKANEN, K., KIRJAVAINEN, V.; LAAPAS, H. **Possibilities of collectorless flotation in the treatment of pentlandite ores**. Amsterdam. International Journal of Mineral Processing, 33 ( 1991) Elsevier Science Publishers B.V.; p. 263-174
- KERR, A.; BOUCHARD, A.; TRUSKAWKI, J.; LABONTÉ, G. The Mill Redesign Project at Inco 's Clarabelle Mill. **CIM Bulletin**, v.96, n.1075, p 58-66, 2003.
- MUDD, G. M. Global trends and environmental issues in nickel mining: Sulfides versus laterites. **Ore Geology Reviews**, v. 38, n. 1-2, p. 9-26, 2010
- NEWCOMBE, B.; BRADSHAW, D; WIGHTMAN, E. Development of a Laboratory Method to Predict Plant Flash Flotation Performance. **Minerals Engineering**, v. 39, p.228-238, 2012.
- PERES, A. E. C. & ARAÚJO, A. C. **A flotação como operação unitária no tratamento de minérios**. In: CHAVES, A. P. (Ed.) Teoria e Prática do Tratamento de Minérios volume 4, 2ª edição: A Flotação no Brasil. Signus Editora, São Paulo, p. 129, 2009.