

**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS  
DE CONSELHEIRO LAFAIETE  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DOSAGEM DE REAGENTE EM COLUNA DE  
FLOTAÇÃO PARA O AUMENTO DA RECUPERAÇÃO METALÚRGICA**

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE DOSAGE OF FLOTATION  
COLUMN REAGENT FOR THE INCREASE OF METALLURGICAL  
RECOVERY**

Júlio Cesar de Paiva Domiciano

Jussara Fernandes Leite

Rodovia MG 482 - Gigante, Conselheiro Lafaiete - MG, 36400-000 – Brasil  
181-002979@aluno.unipac.br, jussara.leite@unipac.br

**Resumo:**

A flotação é um dos processos de concentração mais utilizados na indústria mineral, possibilitando o aproveitamento de minérios complexos e/ou de baixo teor de forma econômica e com rendimentos satisfatórios. O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise técnica sobre a viabilidade de implementação de parametrização de dosagem de reagente em um circuito de flotação em colunas (estágio recleaner), com o foco em aumentar a recuperação metalúrgica do processo atual de concentração. Nesse sentido, esta pesquisa é um estudo de caso realizado em uma empresa de mineração na região do Alto Paraopeba em Minas. Ela é caracterizada como uma pesquisa bibliográfica, descritiva e exploratória. Com base no desenvolvimento do estudo, observou-se que a faixa ideal para se trabalhar na dosagem de reagente na flotação em coluna é acima de 1000g/t de amido e 40g/t de amina no qual se obteve os melhores resultados, houve uma boa performance atingindo recuperações acima de 84,0% de Recuperação metálica das partículas.

**Palavras-chave:** Flotação. Dosagem de reagente. Amido. Amina.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta muitas reservas de minério com alto teor de ferro. Entretanto, com o aumento da produção das mineradoras, muitas reservas perdem na qualidade. Isso faz com que

haja a necessidade de recuperar a qualidade dos produtos finais e muitas empresas buscam alternativas e estudos para resolver esse problema.

Vários são os processos existentes dentro de uma empresa de mineração, como extração, beneficiamento e expedição. Dentro do processo de beneficiamento encontra-se o processo de flotação, que é um subprocesso que busca melhorar a qualidade do produto.

Um dos grandes desafios das empresas de mineração é melhorar a eficiência do processo de flotação, isto é aumentar a recuperação metalúrgica de um processo de concentração. A melhoria desse processo é essencial pois reflete no aumento de capacidade de produção e qualidade dos produtos. O objetivo desse processo é aumentar a produção de carga metálica por unidade de minério alimentado.

Desta forma, constata-se a necessidade de pesquisa e desenvolvimento de novas condições de dosagens de reagentes (amina/amido), para obter-se aumento da recuperação metalúrgica, tal que seja traduzida em maior margem de lucro sem que se perca qualidade final do produto.

Para melhor entendimento, na empresa onde foi realizado esta pesquisa, o concentrado final (Pellet Feed - PF) é proveniente de dois fluxos, o concentrado do separador magnético proveniente dos finos do processo de deslamagem (7% da produção do PF) e o concentrado do processo de flotação em colunas (93% da produção do PF). Diante da grande contribuição do processo de flotação na produção, este projeto visa aumentar o desempenho desta etapa.

Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo realizar uma análise técnica sobre a viabilidade de implementação de parametrização de dosagem de reagente em um circuito de flotação em colunas (estágio recleaner), com o foco na melhoria do desempenho do processo atual.

A importância desse trabalho se dá pela necessidade de aumentar a recuperação metalúrgica do processo de concentração, predizendo a dosagem de reagentes ótima para a máxima recuperação, mantendo-se como premissas os teores de ferro (Fe) e sílica (SiO<sub>2</sub>), melhor aproveitamento dos recursos minerais disponíveis, possibilitar o aumento da capacidade produtiva, redução na produção de rejeitos e maior flexibilidade operacional.

## **2 COLUNAS DE FLOTAÇÃO**

As colunas de flotação foram patenteadas pelos canadenses Remy Tremblay e Pierre Boutin, em 1961. Os primeiros ensaios em escala-piloto foram realizados por Boutin e Wheeler em meados de 1960. No Brasil essa novidade chegou em 1991, na Mina de Germano (Mariana, MG), da Samarco Mineração para a flotação do quartzo de minério de ferro. Porém, a flotação em coluna aplica-se na concentração de diversos minerais como nióbio, chumbo, cobre, zinco, prata, fosfatos, grafite, entre outros (CHAVES, 2013).

Queiroz (2003) citado por Santana (2007, p. 36) esclarece que este modelo de equipamento aplica-se a diversos tipos de minério e sua importância pode ser observada através das melhorias significativas dos concentrados obtidos nas colunas em diversas unidades industriais. Devem ser considerados, também, as melhorias no desempenho metalúrgico, uma economia nos custos de capital e de operação. Fatores como esses tem sido de extrema relevância para que as colunas em processos de flotação sejam aplicadas, tanto para novos projetos como para expansões industriais.

Entre uma grande diversidade de modelos, o modelo que mais se destaca nas indústrias é conhecido como coluna canadense. Neste equipamento é importante considerar dois territórios distintos, a zona de limpeza e a zona de coleta ou recuperação. Segundo Takata & Valle (2013 *apud* Gonçalves (2016, p. 19) o objetivo da zona de coleta ou zona de recuperação é realizar a coleta das partículas hidrofóbicas. Essa zona situa-se entre a interface polpa/espuma e o sistema de aeração. Já a zona de limpeza ou camada de espuma situa-se entre a interface polpa/espuma e o transbordo e pode ter ou não a presença da água de lavagem. Na Figura 1, pode ser observado o funcionamento de coluna de flotação.

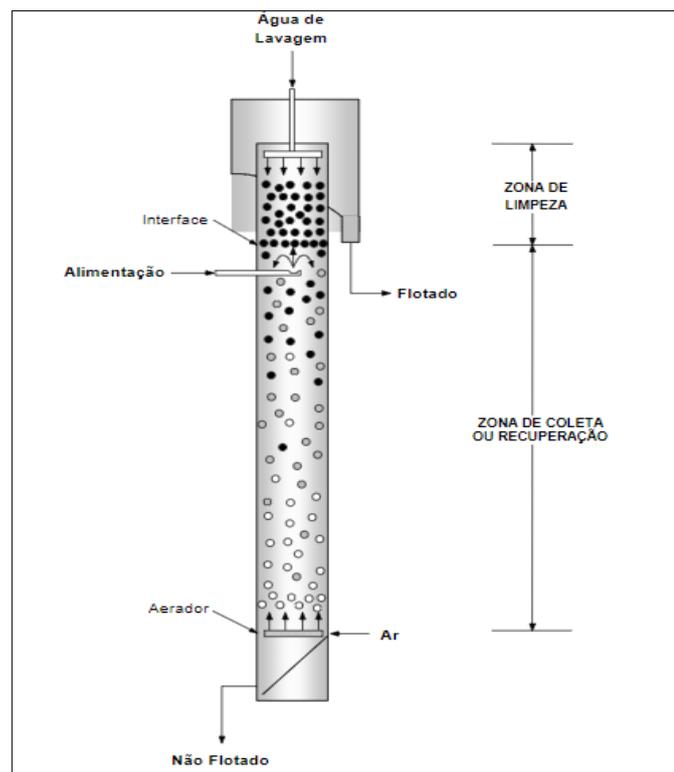


Figura 1 – Representação esquemática de uma coluna de flotação

Fonte: Youg (1982)

Um parâmetro industrialmente importante e que podemos caracterizar como fundamento do processo da flotação em coluna é a recuperação de partículas hidrofóbicas (ITYOKUMBUL *et al.* 1995 *apud* REIS, 2015, p. 07).

De acordo com Aquino e Oliviera (2006, p. 46) *apud* Alves (2015, p. 17), as partículas minerais interagem com as bolhas de ar ascendente, introduzido na base da coluna, resultando no processo de coleta das partículas hidrofóbicas. O agregado partícula-bolha formado é então transportado até a seção de limpeza, onde é contatado em contracorrente com a água de lavagem introduzida no topo da coluna. A água de lavagem tem o objetivo de promover a estabilidade e limpeza da espuma, eliminando as partículas carreadas por arraste mecânico. As partículas minerais hidrofóbicas coletadas constituem a fração flotada, sendo separadas das partículas hidrofílicas, que saem pela base da coluna e constituem a fração não flotada.

Reis explica que ao realizar uma comparação entre a célula mecânica e a coluna de flotação notam-se diferenças em diversos aspectos como a geometria (relação altura/diâmetro), presença de água de limpeza na camada de espuma, ausência de agitação mecânica e sistema de geração de bolhas. Conclui-se que a concentração nas colunas de flotação é mais eficiente por possibilitar uma flotação simples e autolimpante.

## **2.1 Reagentes**

Os reagentes são essenciais para que os resultados no processo de flotação sejam eficientes. Baltar (2008) conceitua-os como compostos orgânicos e inorgânicos (composição química) que podem ser classificados em coletores, espumantes e modificadores ou reguladores (função no processo). Esses compostos têm como objetivo controlar as propriedades das interfaces envolvidas no processo para que ocorra um alto índice de seletividade propiciando, por exemplo, o controle da molhabilidade dos minerais, a aglomeração, a dispersão de partículas e a estabilidade das bolhas. Segundo ainda esse autor, a forma da bolha é variável:

- Esférica, no caso de um sólido hidrofóbico;
- Espalhada parcialmente na superfície do sólido, no caso desse ser menos hidrofóbico;
- Completamente espalhada como uma fina camada de água, no caso de partículas hidrofílicas.

### **2.1.1 Coletores**

Os coletores são substâncias orgânicas que têm como função alterar a superfície mineral que passa de condição hidrofílica para hidrofóbica. Esses reagentes atuam na interface sólido/líquido e apresentam composição molecular complexa constituída por uma parte polar (hidrocarboneto) e outra apolar (CHAVES, 2013).

Baltar (2008) relata em seus estudos que a função da parte polar da molécula é interagir com a superfície da partícula mineral de maneira que ocorra a adsorção. A polaridade da molécula

possui afinidade com o sólido e com a água, respectivamente e é o principal responsável pela seletividade do processo e pela intensidade da ligação com a superfície. A parte molecular que não apresenta polaridade pode ser dividida em aerofílica (afinidade pelo ar) e hidrofóbica (aversão à água), constituindo assim uma cadeia hidrocarbônica que tem como objetivo promover a hidrofobicidade da superfície.

Analisando o contato bolha de ar/superfície do mineral em um sistema com a presença e a ausência desse reagente observa-se que no sistema em que o coletor não foi inserido, as bolhas de ar formam um ângulo de contato ( $\theta$ ) pequeno com a superfície do mineral, ou seja, a adsorção não ocorre de maneira significativa. No sistema em que foram adicionados um agente coletor, forma-se um ângulo de contato significativo ( $\theta$ ), permitindo que as condições para que ocorra uma flotação eficiente aconteçam (DOW, 1981 apud LUZ et al., 2010, p. 496). A Figura 2 ilustra essa situação.

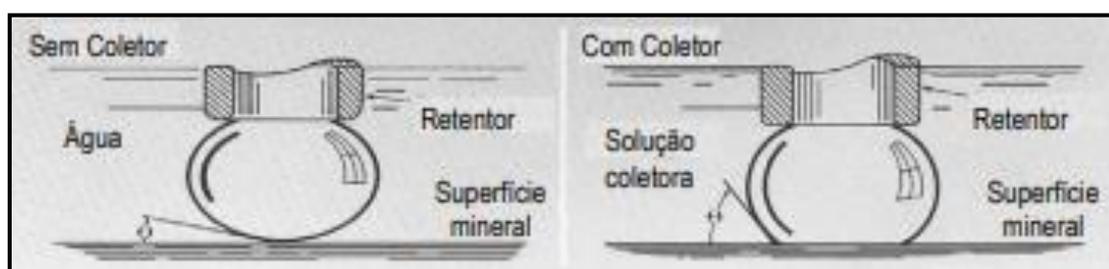


Figura 2 – Contato bolha de ar/superfície do mineral em um sistema com e sem coletor

Fonte: Luz et al. (2010)

Esses reagentes na maioria dos casos são manufaturados a partir de matérias-primas naturais ou subprodutos de processos da indústria química, por esse motivo o seu preço e os custos de operação apresentam características compatíveis para o processo de flotação.

Luz et al (2010, p. 496) explica que “os coletores são distinguidos em função da sua carga iônica, podendo ser aniônicos ou catiônicos, conforme a carga elétrica do grupo polar, resultante da ionização da molécula”.

A Figura 3 caracteriza os coletores utilizados na flotação, de maneira geral, em função da carga iônica da parte polar do grupo solidófilo (parte da molécula que se absorve na superfície do mineral) (BULATOVIC, 2007).

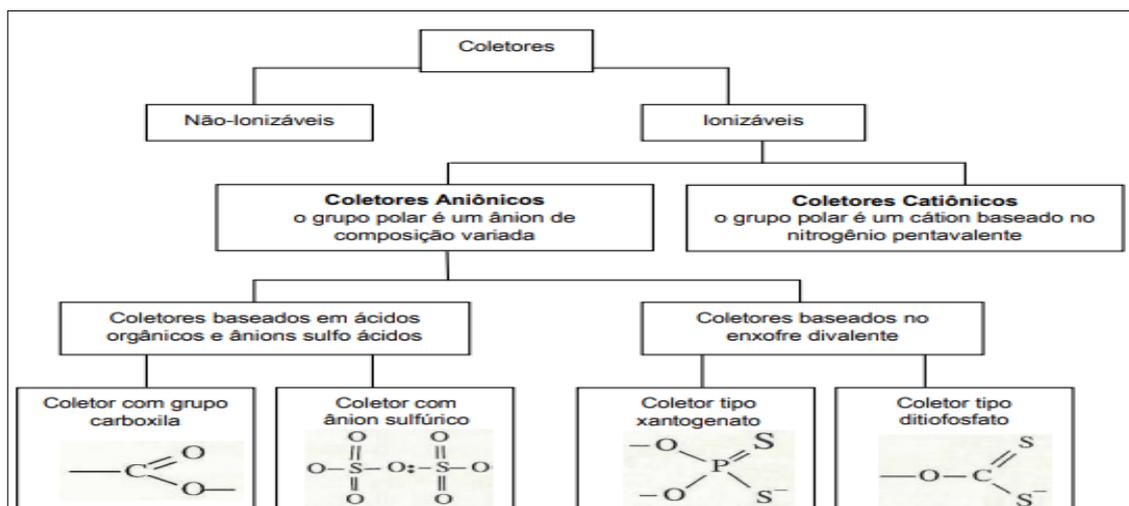


Figura 3 – Classificação geral dos coletores

Fonte: Bulavotic (2007)

### 2.1.2 Aminas

As aminas e seus derivados são os maiores representantes do grupo catiônico e podem ser classificadas em primárias, secundárias, terciárias e até quaternárias em função da quantidade de números de radicais hidrocarbonetos ligados ao átomo de nitrogênio (BALTAR, 2008; LOPES, 2013). Esses coletores são derivados da amônia (NH<sub>3</sub>) e suas estruturas químicas são apresentadas no Figura 4.

Coletor	Estrutura	Forma
Amina primária	R-NH <sub>2</sub>	Sólida
Diamina primária	$\begin{matrix} \text{H} \\   \\ \text{R-N-C-C-CN} \\   \\ \text{H} \end{matrix}$	Sólida
Éter amina	R-O-C-C-C-NH <sub>2</sub>	Líquida
Éter diamina	$\begin{matrix} \text{H} \\   \\ \text{R-O-C-C-C-N-C-C-CN} \\   \\ \text{H} \end{matrix}$	Líquida
Condensado	$\begin{matrix} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   \\ \text{R-C-N-C-C-N-C-C-N-C-R} \\    & &    \\ \text{O} & & \text{O} \end{matrix}$	Sólida

Figura 4 – Estruturas químicas dos coletores catiônicos

Fonte: Prasad (992) *apud* Nascimento (2010, p.35)

Ferreira (2015) informa que a obtenção das aminas ocorre a partir de álcoois e ácidos graxos. As que possuem grande aplicação estão compreendidas entre seis e vinte carbonos. As de cadeias inferiores a seis não apresentam atividade superficial suficiente para se adsorverem nas partículas e aquelas com cadeias superiores a vinte carbonos são excessivamente insolúveis em água.

A adsorção desse coletor e seus derivados na superfície mineral ocorre por dois mecanismos (BARBOSA & BALTAR, 2012; (SOMASUNDARAN & RAMACHANDRAN, 1988 apud FURTADO, 2017, p. 23):

- Atração eletrostática: quando a superfície do mineral é negativa e o grupo funcional positivo. As moléculas atuam como contra-íons e as aminas devem estar na sua forma neutra, se posicionando entre as espécies carregadas
- Interações intermoleculares laterais entre as cadeias hidrocarbônicas e que interagem por forças de Van der Waals. Acontece com o aumento da concentração de coletor e formação de hemimicelas. Este tipo de interação complementar o filme hidrofóbico formado na interface da partícula mineral.

Segundo Monte e Peres (2004) *apud* Ferreira (2015, p. 35) a solubilidade não depende apenas do tamanho da cadeia e da presença do grupo éter, mas também da neutralização parcial da amina. As aminas primárias e as éter aminas apresentam grau de neutralização variável. O ácido acético, por razões econômicas, é o mais utilizado para realizar a neutralização resultando em acetatos das aminas. Normalmente os produtos industriais são comercializados com graus de neutralização de 25 a 30%. Embora a neutralização seja necessária para melhorar a solubilidade do coletor, graus de neutralização elevados podem reduzir o índice de remoção de quartzo na espuma.

As aminas primárias por serem bases fracas sofrem grande influência da ação do pH. Em determinadas faixas de pH este reagente dissocia-se na forma iônica ou molecular, como mostra a Figura 5.

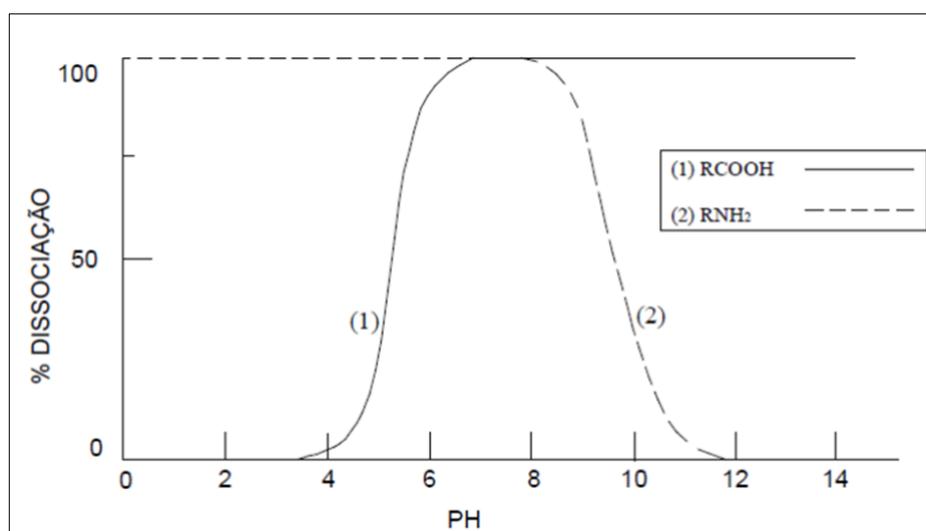


Figura 5 – Curvas de dissociação (esquemáticas) para amina

Fonte: Peres (2012) *apud* Viana (2013, p.27)

Verifica-se que até o valor de pH 9,0 as amins estão sob a forma iônica ( $\text{RNH}_3^+$ ). Esta forma é responsável pela adsorção na superfície dos minerais. Na faixa de pH 9,0 a 11,0 existem tanto a forma iônica quanto à forma molecular ( $\text{RNH}_2$ ). Nesta situação é possível a coleta dos minerais através da forma iônica e a formação de espuma através da adsorção da amina molecular na interface líquido/gás.

### 2.1.3 Modificadores ou Reguladores

Os modificadores ou reguladores são reagentes que atuam tanto na interface sólido/líquido como no seio da solução (bulk) e podem ser classificados em (RAO, 2004 apud BROD, 2012, p. 14):

- **Ativadores:** são sais inorgânicos que interagem com a superfície mineral, alterando sua natureza química promovendo sua interação com o coletor;
- **Depressores:** O controle da concentração de depressores é um relevante parâmetro na flotação seletiva. Estes reagentes são sais ou polímeros que alteram a superfície mineral com o objetivo de prevenir ou retardar a ação dos coletores e são exigidos para deprimir certos minerais e, assim, favorecer a flotação seletiva. Neste caso, os depressores competem com o coletor nos sítios da interface sólido/líquido reforçando a hidrofiliabilidade dos minerais que não se deseja flotar;
- **Reguladores de pH:** este reagente inorgânico tem como principal objetivo realizar o controle de pH. Quando os reguladores são adicionados, o coletor somente adsorve nas partículas que são direcionadas para a recuperação do mineral. Quando existe variação dos íons de hidrogênio na polpa, o pH tende a aumentar ou diminuir, ajudando na interação entre o coletor e o mineral e reduzindo a interação entre o coletor e demais minerais indesejáveis;
- **Dispersantes:** dispersa as partículas finas.

Baltar (2008) chegou à conclusão de que a função básica desses compostos é propiciar a mudança na ação do coletor nas superfícies das partículas minerais. Estes compostos químicos são utilizados para aumentar a seletividade na separação, como é o caso dos depressores e reguladores de pH.

Segundo Bulatovic (2007), os reagentes modificadores também podem ser classificados como inorgânicos (ácidos, álcalis e sais de metais) e modificadores orgânicos (polímeros orgânicos e ácidos orgânicos), como mostra a Figura 6.

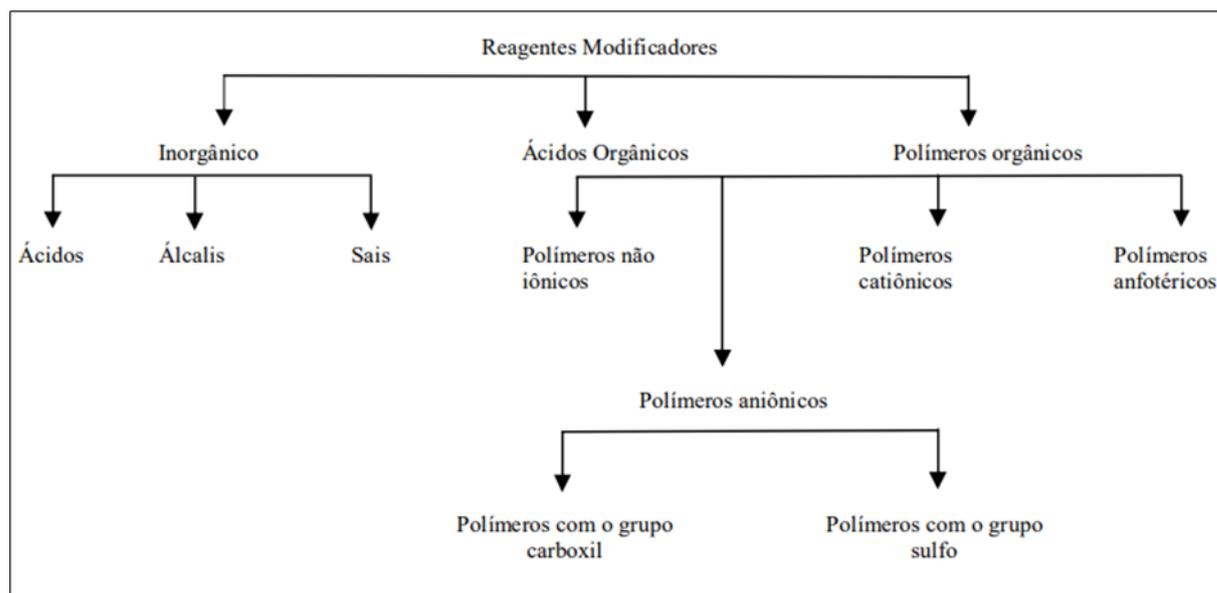


Figura 6 – Classificação dos reagentes modificadores

Fonte: Bulatovic (2007)

No processo de concentração de minérios de ferro por flotação o amido é o reagente depressor mais utilizado na indústria, por razões econômicas e por sua eficácia.

#### 2.1.4 Amido

Ferreira (2015) conceituou o amido como um depressor orgânico que possui grande aplicação na indústria para óxidos de ferro, na flotação catiônica reversa, devido a sua eficiência e disponibilidade. Este reagente pode ser extraído de vegetais como milho, arroz, mandioca, batata, trigo entre outras fontes. Consiste exclusivamente de glicopirranoses que é formada por duas frações principais:

- Amilose: polímero linear com disposição helicoidal;
- Amilopectina: polímero com estrutura ramificada que pode diferir de acordo com a maneira em que o amido é produzido.

Segundo Bulatovic (1999) citado por Andrade (2010, p. 33), o amido só se torna útil à flotação quando são introduzidos em sua cadeia modificadores no momento da fabricação (aldeídos e álcoois terminais) que tem como objetivo indicar o nível de oxidação e o tipo de agente oxidante deste amido. Quando esse reagente não sofre nenhuma modificação a solubilidade fica extremamente baixa em água fria não sendo eficiente para o processo. Para que esse depressor possa ser utilizado obtendo resultados significativos é necessário que ocorra a gelatinização, que

consiste na capacidade que os grânulos de amido possuem de absorver água quando molhados ou expostos à umidade.

Esse processo de gelatinização é realizado por efeito térmico ou por adição de soda cáustica. Quando são aquecidos os grânulos de amido em excesso de água, rompem à estrutura cristalina. As moléculas de água formam pontes de hidrogênio entre a amilose e amilopectina, expondo seus grupos hidroxil. Como consequência ocorre um aumento no inchamento, potencializando a solubilidade do reagente (SINGH et al., 2003 apud FURTADO, 2017, p. 25).

No processo com soda cáustica, é necessário adicionar a soda em uma quantidade que parte fique em solução e a outra parte seja adsorvida pelo amido em certa concentração (BOBBIO & BOBBIO, 1995).

### **3 MÉTODOS**

Esta pesquisa é um estudo de caso realizado em uma empresa de mineração na região do Alto Paraopeba em Minas. Ela é caracterizada como uma pesquisa bibliográfica, descritiva e exploratória com o objetivo de realizar uma análise técnica sobre a viabilidade de implementação de parametrização de dosagem de reagente em um circuito de flotação em colunas (estágio recleaner), com o foco em aumentar a recuperação metalúrgica do processo atual de concentração sem que ocorra perda de qualidade do produto final. O estudo foi desenvolvido período de fevereiro a outubro de 2022.

A análise técnica foi realizada por meio de testes de bancada em laboratório, simulando a rota de flotação de minério de ferro. Após a liberação dos resultados químicos das amostras analisadas foram verificadas as recuperações metálicas alcançada com as dosagens pré-estabelecidas.

Os dados da pesquisa são de natureza qualitativa e quantitativa. Os dados qualitativos foram utilizados para descrever e explicar o processo de análise. Já os dados quantitativos foram obtidos nos resultados dos testes, esses foram tratados por meio de estatística descritiva. Para isso foi utilizado o sistema MINITAB, que é um software de tratamento de dados estatísticos.

Por fim, foi realizada uma análise de conteúdo para obter as conclusões do estudo.

## **4. O ESTUDO**

A linguagem de programação escolhida para o desenvolvimento do teste foi o software MINITAB, por se mostrar eficiente quanto aos recursos necessários à realização e apresentação dos cálculos referentes a melhor dosagem a ser utilizada para alcançar a maior recuperação metalúrgica.

### **4.1. Planejamento Fatorial – DOE**

O design de experimentos (DOE) é definido como um ramo da estatística aplicada que lida com o planejamento, a condução, a análise e a interpretação de testes controlados para avaliar os fatores que controlam o valor de um parâmetro ou grupo de parâmetros. O DOE é uma poderosa ferramenta de coleta e análise de dados que pode ser usada em diversas situações experimentais.

Ele permite que vários fatores de entrada sejam manipulados, determinando seu efeito em uma saída (resposta) desejada. Ao manipular várias entradas ao mesmo tempo, o DOE pode identificar interações importantes que podem ser perdidas ao experimentar um fator por vez. Todas as combinações possíveis podem ser investigadas (fatorial completo) ou apenas uma parte das combinações possíveis (fatorial fracionário).

Nesse processo, uma ferramenta que a empresa utiliza é o sistema MINITAB para gerar os valores de combinação a serem avaliados.

### **4.2. Execução dos testes**

Os testes foram realizados no laboratório em escala de bancada onde é possível simular as colunas de flotação. Os reagentes amina e amido, foram preparados dosados conforme o planejamento DOE.

#### **4.2.1 Ensaio de Flotação em Bancada**

Adicionou-se cuba com volume útil de flotação em bancada 2500g de minério de tal forma que 100% passante em peneira de 150 mesh. Adicionou-se aproximadamente 1230 ml de água para que o percentual de sólidos em massa seja em torno de 65%. Agitou-se por 2 minutos. Adicionou-se em seguida 1000 g/t de depressor (amido de milho) ou 83,33 gramas da solução do depressor. Inseriu a solução de soda cáustica a 50% até pH da polpa estar entre 9,80 - 10,0 e deixou-se condicionar por 5 minutos. Adicionou-se 45 g/t de coletor ou 3,21 gramas. Condicionou por mais 1 minuto. Em seguida inseriu água até o limite da cuba, de modo que o percentual de

sólidos fique próximo de 50%. Adicionar solução de soda cáustica a 50% até pH da flotação estar entre 9,80 - 10,0. Em seguida foi aberto o fluxometro em 3 L/min, flotar por 6 minutos conforme figura 7. Esta etapa chamamos de rougher. Coletar este flutuado denominado de rejeito rougher. O afundado rougher é o que chamamos de concentrado. Secar os produtos, pesar e enviar para análise química.

A Figura 7 ilustra célula de flotação em bancada.



Figura 7 – Ensaio de flotação

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Verifica-se por meio da Foto posicionada a esquerda da figura 7, que ao adicionar os reagentes, o concentrado cor mais marrom, apresentando maior concentração de ferro.

#### **4.2.2 Preparação de Reagentes**

Nessa etapa, apresentam-se o amido, amina como reagentes do processo flotação.

##### **4.2.1.1 Amido**

Preparou-se o depressor em uma relação Amido x Soda (NaOH) de 6:1, ou seja, a cada 6g de amido 1g de Soda a 100%. Ele é gelatinizado na concentração de 10%, mantendo agitação por 10 minutos e em seguida diluído para 3%.

#### 4.2.1.2 Amina

Preparou-se o coletor a uma concentração de 3,5%, e agitou-se manualmente com auxílio de uma espátula, até diluição completa em água.

#### 4.2.1.3 Análise de experimento fatorial

Experimento Fatorial para avaliar a melhor combinação entre amina-amido para alcançar melhor recuperação de ferro, foram gerados uma combinação de 9 testes, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Experimento Fatorial

+	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	OrdemPad	OrdemEns	TipoPt	Blocos	Amina	Amido
1	6	1	1	1	60	600
2	4	2	1	1	40	1000
3	7	3	1	1	60	800
4	1	4	1	1	40	400
5	8	5	1	1	60	1000
6	2	6	1	1	40	600
7	3	7	1	1	40	800
8	5	8	1	1	60	400

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Através das análises de dados, otimizando as respostas de recuperação metalúrgica e mássica (mantendo a qualidade do concentrado), chegou-se na melhor combinação de fatores, conforme a Figura 8.

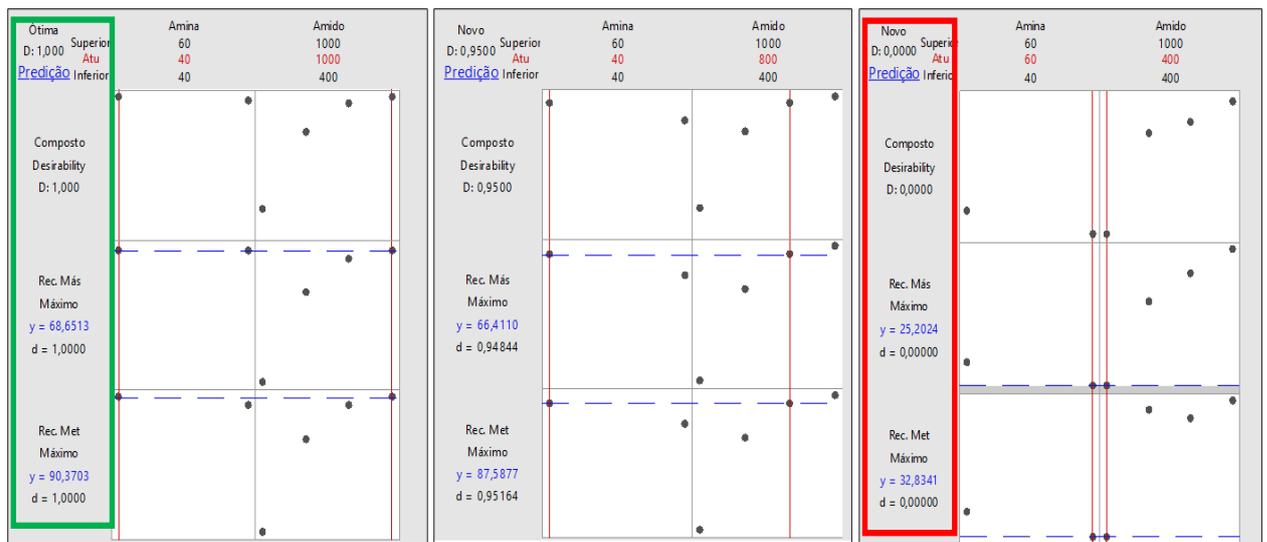


Figura 8 – Combinação de Fatores

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A cada 100 g/t de redução na dosagem, se perde aproximadamente de 2 a 3% de recuperação metalúrgica, faixa ótima de dosagem: 840 a 1000 g/t.

#### 4.2.1.4 Caracterização Química

Os resultados das análises químicas das amostras utilizadas nos testes apresentados na Quadro 2.

Quadro 2 – Composição química amostra da alimentação

Pilha	Fe (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Mn (%)	P (%)	CaO (%)	MgO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	PPC (%)
P08	42,82	36,18	0,84	0,041	0,026	0,025	0,000	0,088	0,84
P09	41,18	36,56	0,86	0,068	0,033	0,026	0,004	0,085	1,14
P10	39,43	40,60	0,76	0,162	0,028	0,030	0,002	0,103	1,08
P11	40,29	38,87	0,78	0,076	0,025	0,024	0,000	0,076	0,94
P12	45,92	30,80	1,21	0,062	0,033	0,021	0,016	0,109	1,34
P13	43,05	37,63	0,87	0,168	0,027	0,024	0,018	0,111	1,36

Fonte: Dados pesquisa (2022)

### 4.3 Resultados e Discussões

Foi realizado estudo em escala de bancada, onde o entregável do trabalho foi um modelo para prever a dosagem ótima de reagentes para obtenção da máxima recuperação, mantendo-se como premissa os teores de Fe(%) e SiO<sub>2</sub> no concentrado em que se trabalhava apenas com dosagens padronizadas. Conforme mostrado na Quadro 3.

Quadro 3 – Dosagem de reagente – Antes do Estudo

Dosagem de Amido	<b>700</b>	g/ton
Dosagem de Amina	<b>40</b>	g/ton alim.

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O Gráfico 1 apresenta os valores obtidos nos cálculos das recuperações metalúrgicas com as dosagens padrão.

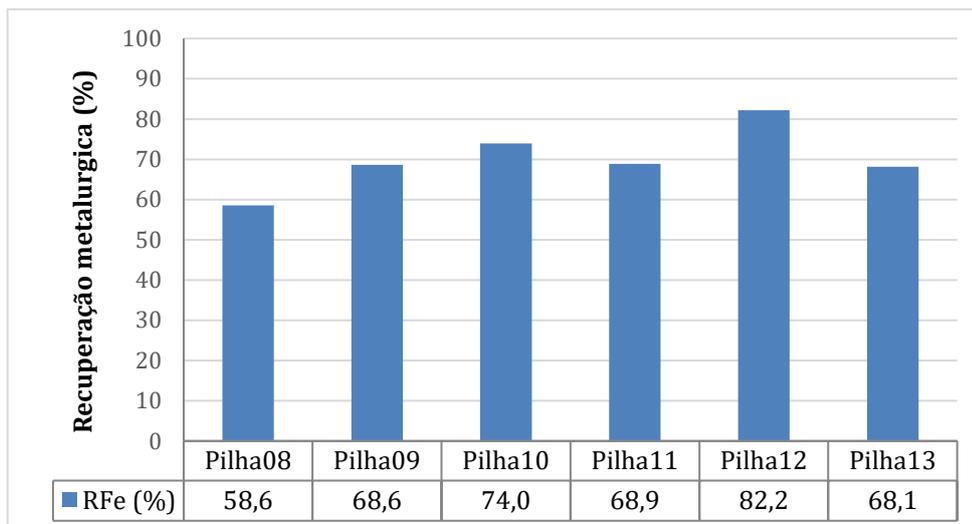


Gráfico 1 – Rec\_Metalúrgica Antes da alteração de dosagem

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

#### 4.3.1 Resultados dos testes em escala de bancada com dosagens pré-definidas

Levando em consideração os teores de ferro e sílica para se calcular a quantidade para melhor performance, obteve-se as melhores dosagens conforme demonstrados na Quadro 4:

Quadro 4 – Dosagem de reagente – Após Estudo

Dosagem de Amido	<b>1000</b>	g/ton
Dosagem de Amina	<b>40</b>	g/ton alim.

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O Gráfico 2 apresenta os valores obtidos nos cálculos das recuperações metálgicas com as dosagens padrão.

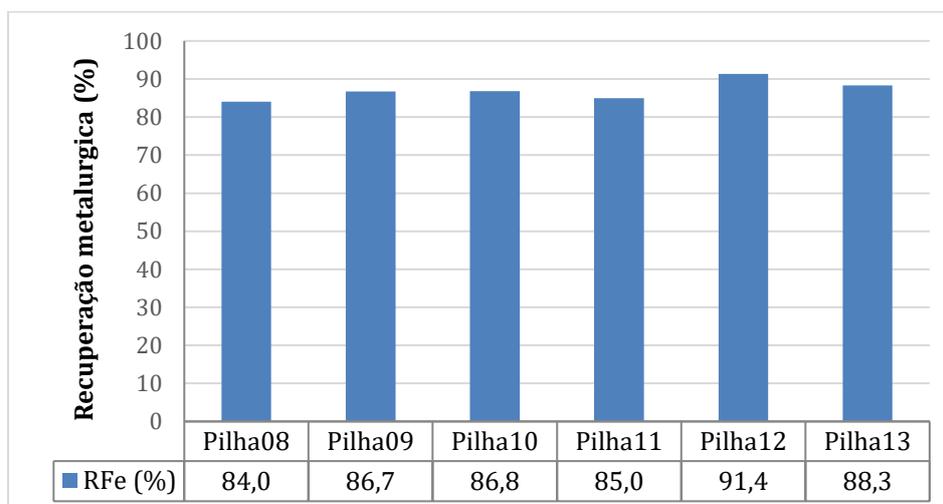


Gráfico 2 – Rec\_Metalúrgica com dosagens predefinidas

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Considerando a faixa de trabalho ideal que se encontra entre o patamar de 84% de recuperação, observou-se que a melhor faixa de trabalho é 1000g/t de amido e 40g/t de amina, alcançado meta desejada de recuperação metalúrgica.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Realizou uma análise técnica sobre a viabilidade de implementação de parametrização de dosagem de reagente em um circuito de flotação em colunas (estágio recleaner), com o foco em aumentar a recuperação metalúrgica do processo atual de concentração.

Com base nos estudos observou-se que a faixa ideal para ser trabalhar na dosagem de reagente é acima de 1000g/t de amido e 40 g/t de amina no qual se obteve os melhores resultados. Com destaque para P12 com teor de ferro 45,92% que apresentou 91,4% de recuperação metalúrgica.

Nos ensaios que foram executados na faixa de dosagem compreendida 700g/t de amido e 40g/t de amina e onde a dosagem padrão não se alcançou uma boa recuperação metálica.

Conclui-se que nos testes realizados com dosagem 1000g/t de amido e 40 g/t de amina houve uma excelente performance atingindo o patamar acima de 84,00% de Recuperação metálica das partículas.

Em função das características distintas dos tores, sugere-se avaliação de processos de flotação, verificando-se se o retorno econômico e viável, uma vez que gasto com reagentes irão aumentar.

## **REFERÊNCIAS**

ALEXANDRINO, J. S.; BUSSULAR, D. P. et al. **Influência de reagentes de flotação no potencial zeta da galena e esfalerita**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA. n. 23. 2003. Gramado, Rio Grande do Sul. p. 377-383.

ALMEIDA, C. M. R. **A flotação de minérios de ferro de baixo teor no Brasil: uma revisão**. 2013. 28p. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BALTAR, C. A. M. **Flotação no tratamento de minério**. Recife: [s.n.], 2008.

BARBOSA, J. L. O; BALTAR, C. A. M. **Influência do tamanho da partícula na flotação com amina**. Pernambuco: Universidade Federal de Pernambuco, HOLOS, 2012. Vol. 5. p. 93-100.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 2 ed. São Paulo: Varela, 1995. p. 151.

BULATOVIC, S. M. **Handbook of flotation reagents: Chemistry, theory and practice; flotation of sulfide ores**. Amsterdam: Elsevier, 2007. Vol. 1. 446 p.

CHAVES, A. C. **Teoria e prática do tratamento de minérios: A flotação no Brasil**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. Vol. 4. 511 p.

FERREIRA, C. R. N. **Métodos de flotação de minério de ferro**. 2015. 52p. Monografia, Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

FURTADO, R. M. **Estudo acerca dos reagentes na flotação catiônica reversa de minério de ferro: Recirculação de amina e degradação do amido**. 2017. 54p. Monografia - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2017.

LOPES, G. M. **Coletores potencialmente seletivos na separação de apatita, calcita e dolomita**. 2013. 162p. Tese de Doutorado, Tecnologia Mineral - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios**. 5 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 932 p.

REIS, A. S. **Estudo da geração de bolhas de diversos tamanhos em coluna de flotação**. 2015. 112p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

SANTANA, R. C. **Análise da influência do tamanho da partícula na flotação da apatita em coluna**. 166p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SILVA, A. Q. N. **Modelagem da relação teor-recuperação da célula de flotação pneumática**. 2015. 121p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SILVA, C. A. **Aminas na flotação de minério de ferro**. 2013. 60p. Monografia - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

WILLS, B.A., NAPIER-MUNN, T. J. **Mineral Processing technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007, p. 267–352.

Wheel,donald J (2000) Understanding Variation:The Key To Managing Chaos.SPC Press – Planejamento fatorial.