



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEMIN - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**



**AVALIAÇÃO DE REAGENTES COLETORES NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE
CHUMBO E ZINCO**

**OURO PRETO - MG
2022**

RAFAEL PEREIRA DAS DORES

**AVALIAÇÃO DE REAGENTES COLETORES NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE
CHUMBO E ZINCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção de Grau em Engenharia de Minas.

Orientadora: Ma. Mariana Caroline Andrade Silva

**OURO PRETO - MG
2022**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

D695a **Dores, Rafael Pereira das.**

Avaliação de reagentes coletores na flotação de minério de chumbo e zinco. [manuscrito] / Rafael Pereira das Dores. - 2022.

35 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Ma. Mariana Caroline Andrade Silva.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Flotação. 2. Chumbo. 3. Zinco. 4. Flotação - Reagentes - Coletores.
I. Silva, Mariana Caroline Andrade. II. Universidade Federal de Ouro Preto.
III. Título.

CDU 622.765

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Rafael Pereira das Dores

Avaliação de reagentes coletores na flotação de minério de chumbo e zinco

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

Aprovada em 07 de novembro de 2022

Membros da banca

M. Sc. Mariana Caroline Andrade Silva - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto

M. Sc. Flávio Luiz Martins - Universidade Federal de Ouro Preto

M. Sc. Karine Fernandes Rodrigues - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral (Universidade Federal de Ouro Preto)

Mariana Caroline Andrade Silva, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 05/12/2022



Documento assinado eletronicamente por **Mariana Caroline Andrade Silva**, **TECNICO EM MINERACAO**, em 05/12/2022, às 13:25, 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, informando o código verificador **0437375** e o código CRC **F199CD46**.

Aos meus pais, Marco Aurélio Toledo das
Dores e Vanessa Cristina Pereira das Dores,
pelo apoio, amor e carinho imensurável.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por guiar meus passos e ser luz em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, Marco Aurélio Toledo das Dores e Vanessa Cristina Pereira das Dores, vocês são a melhor parte de mim.

Ao meu irmão, Marco Aurélio Pereira das Dores, pela cumplicidade e parceria.

Ao meu amor, Bruna Isabelle Santos Pimenta, que com todo carinho, cuidado e paciência tornaram as dificuldades diminutas e os caminhos muito mais fáceis de serem trilhados.

À minha orientadora, Mariana Caroline Andrade Silva por todo apoio e conhecimento transmitidos.

Aos meus grandes amigos Pedro Lucas, Vinícius Ibraim, Luan Martins, Luana Christina, Rafael Nonato e Gustavo Ferreira, entre outros, pelo apoio e cooperação durante toda trajetória acadêmica.

Ao professor Carlos Alberto Pereira e aos alunos de pós-graduação Karine e Thiago pela coordenação no desenvolvimento da parte experimental.

À Universidade Federal de Ouro Preto e à Escola de Minas, pela indiscutível qualidade de ensino e dignificação dos seus estudantes.

“Peçam, e será dado; busquem, e encontrarão; batam, e a porta será aberta.”

(Mateus 7:7)

RESUMO

Muitas usinas de concentração de minérios de chumbo e zinco foram projetadas para concentrar a galena como mineral-minério de chumbo. Entretanto, devido à heterogeneidade dos depósitos, surgiu a necessidade de adaptar o processo para a flotação da piromorfita enquanto mineral-minério portador do chumbo. Neste trabalho foi avaliada a ação de diferentes ácidos graxos das marcas *Clariant* e *Pietsch Chemicals* quanto à recuperação da piromorfita em testes de flotação em escala de bancada. As etapas preliminares do trabalho, que antecedem os ensaios de flotação de bancada, consistiram na preparação da amostra a partir de etapas de britagem e moagem, bem como a caracterização física do minério (determinação da densidade e distribuição granulométrica). O minério apresentou massa específica igual a $3,7087 \text{ g/cm}^3$ e P_{80} de $4620 \mu\text{m}$. O reagente Flotisor 1682 se mostrou mais adequado, apresentando melhores valores de recuperação metalúrgica de chumbo (37,9), recuperação metalúrgica de zinco (22,9), recuperação mássica (33,08) e teor de chumbo no concentrado (0,4).

Palavras-chave: Flotação; Chumbo; Zinco; Coletores.

ABSTRACT

This research presents the development of a methodology for the physical characterization of a sample of lead-zinc ore, as well as the evaluation of the efficiency of collector reagents of Pb, Zn and Ag ore minerals using the results obtained from bench flotation tests performed in the laboratories of the Department of Mining Engineering of the Federal University of Ouro Preto. In this work, with the objective of evaluating possible correlations that contribute to the increase of lead recovery in the flotation process, the action of different types of collectors as a function of their respective dosages was studied. The preliminary stages of the work, which preceded the bench flotation tests, consisted of sample preparation from the primary crushing and physical characterization of the ore. As a result of the study, it was observed that the ore had a specific mass value equal to 3.7087 g/cm³ and P80 of 4620 μm. Besides this, the reagents supplied by Clariant and Pietsch Chemicals were satisfactory according to the specifications adopted. Thus, in possession of the results, the reagent Flotisorb 1682 proved to be more efficient, as it showed much higher values of lead metallurgical recovery (37.9), zinc metallurgical recovery (22.9), mass recovery (33.08) and lead content in the concentrate (0.4). In addition, the use of sulfuric acid in this experiment as a pH modulator and possible depressant of the carbonate minerals in the sample should also be considered. Furthermore, two variables analyzed showed great significance in the system, the use of the foaming agent and the chemical nature of the collector.

Keywords: Flotation; Lead; Zinc; Collectors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rota de beneficiamento de sulfetos de chumbo e zinco	16
Figura 2 - Mecanismo de ação do espumante	17
Figura 3 – Região de contato entre superfície mineral e bolha de ar em sistemas com e sem a utilização de coletor.....	18
Figura 4 - Distribuição granulométrica da amostra de minério de chumbo, zinco e prata.....	26
Figura 5 - Distribuição granulométrica da amostra utilizada para alimentação da flotação (em azul: a curva padrão fornecida pela empresa; em vermelho: a curva da amostra utilizada)	27
Figura 6 - Gráfico comparativo da recuperação mássica de todos ensaios de flotação.	31
Figura 7 - Gráfico comparativo da recuperação metalúrgica do Pb e do Zn de todos os ensaios de flotação.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros operacionais do picnômetro a gás.	20
Tabela 2 - Abertura das peneiras para análise granulométrica via peneiramento a úmido.	21
Tabela 3 - Parâmetros operacionais para moagem a úmido.	22
Tabela 4 - Distribuição da carga de bolas para moagem a úmido.	22
Tabela 5 - Descrição dos reagentes utilizados para os testes de flotação em escala de bancada.	23
Tabela 6 - Condições sugeridas pela Clariant.	23
Tabela 7 - Condições sugeridas pela Clariant.	23
Tabela 8 - Condições sugeridas pela <i>Pietsch Chemicals</i>	24
Tabela 9 - Condições sugeridas pela <i>Pietsch Chemicals</i>	24
Tabela 10 - Valores de massa específica medidos pelo método da picnometria.	26
Tabela 11 - Resultados do ensaio de teste padrão.	28
Tabela 12 - Resultados do ensaio do teste para Flotisor 1682 80 g/t.	28
Tabela 13 - Resultados do ensaio do teste para Flotigan 5806.	29
Tabela 14 - Resultados do ensaio do teste para Flotimax PRP.	29
Tabela 15 - Resultados do ensaio do teste para Flotimax AP29-L10.	30

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Caracterização mineralógica	14
3.2 Flotação	15
3.2.1 Reagentes	16
3.2.1.1 Espumantes	16
3.2.1.2 Coletores	17
3.2.1.3 Dispersantes	18
3.2.1.3.1 Depressores	18
3.3 Flotação de minérios de chumbo-zinco	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 Caracterização da amostra	20
4.1.1 Determinação da massa específica.....	20
4.1.2 Análise granulométrica	20
4.1.3 Cominuição	21
4.2 Ensaio de flotação em bancada	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5.1 Determinação do peso específico	26
5.2 Análise granulométrica	26
5.2 Cominuição	27
5.3 Flotação	27
5.4 Análise dos resultados da flotação de bancada	30
6. CONCLUSÕES	33
7. REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

O beneficiamento de minérios sulfetados fonte de zinco, chumbo e prata normalmente é realizado pelo método de flotação. Inicialmente são coletados os minerais de chumbo e prata pela adição de amil xantato de potássio, reagente indicado para a coleta de sulfetos devido à sua ação efetiva de interação com a superfície de minerais contendo enxofre, promovendo, assim, a recuperação satisfatória de galena (FIGUEIREDO, 2020).

Na região de Vazante, a maioria dos circuitos de flotação foram dimensionados para concentrar a galena como mineral-minério de chumbo. Entretanto, devido à heterogeneidade dos depósitos, surgiu a necessidade de explorar a piromorfita que, por sua vez, apresenta características consideravelmente distintas da galena, o que impede bons índices de recuperação em circuitos de flotação (FIGUEIREDO, 2020).

Por fim, os aspectos descritos até aqui são motivadores importantes para a abordagem em questão, que através dos ensaios de caracterização física, flotação de bancada e análises dos parâmetros operacionais dos testes, avaliaram os resultados dos procedimentos e reagentes utilizados, a fim de colaborar com o gargalo operacional da recuperação mássica e recuperação metalúrgica de chumbo nos casos em que a alimentação no circuito de beneficiamento exija a flotabilidade da piromorfita e não, galena, para obtenção do metal.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência diferentes ácidos graxos como reagentes coletores de piromorfita (Flotisor 1682, Flotigan 5806, Flotimax PRP, Flotimax AP29-L10) em diferentes dosagens (determinadas com base em recomendações dos fabricantes).

2.2 Objetivos específicos

- i) Caracterizar uma amostra de minério de chumbo-zinco a partir da determinação do peso específico e distribuição granulométrica;
- ii) Avaliar o desempenho dos coletores Flotisor 1682, Flotigan 5806, Flotimax PRP, Flotimax AP29-L10 comparados ao reagente padrão Amil Xantato com base na análise química dos produtos e, conseqüentemente, nos parâmetros: recuperações mássica e metalúrgica do Pb, índice de seletividade e relação de enriquecimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em função da possibilidade de mapeamento das diversas fácies que compõem a formação aflorada na região nordeste do estado de Minas Gerais, Dardenne & Freitas-Silva, (1998) elevou esta unidade à categoria de Grupo Vazante dividindo-o, da base para o topo, nas seguintes formações: Santo Antônio do Bonito, Lagamar, Serra do Garrote, Serra do Poço Verde, Morro do Calcário e Serra da Lapa.

Esse grupo possui várias características que se encaixam nos modelos já existentes, como exemplo, o fato da mineralização estar hospedada em rochas carbonáticas, principalmente, metadolomíticas, além do controle estrutural, deposição do minério associada à mistura de fluidos e a temperatura dos fluidos mineralizantes que seria compatível com a temperatura dos modelos de depósitos de zinco hidrotermais já existentes (MONTEIRO, 2002).

Lemos (2011) afirma que os depósitos de zinco dessa região se caracterizam por rochas pertencentes às formações Serra de Garrote e Serra do Poço Verde do Grupo Vazante. A primeira é representada quase que exclusivamente por filitos, localmente associados a níveis de silxito e de quartzitos e blocos de hematita, além de blocos com aspecto brechóide enriquecidos em sílica e ferro. A associação mineral primária do minério da Mina de Vazante é composta por willemita (50 a 70%) e ganga de dolomita, siderita, quartzo, hematita, clorita, barita, franklinita e zincita. Esfalerita e galena podem estar presentes subordinadamente (MONTEIRO *et al.*, 2006).

3.1 Caracterização mineralógica

Segundo Neuman *et al.* (2004), o sucesso dos estudos de caracterização é potencializado se houver, também, um bom conhecimento dos processos de concentração e/ou de extração que podem ser aplicados ao minério em estudo, bem como noções sobre as especificações dos produtos desejados. Para Bulatovic (2007), a escolha e definição dos parâmetros dos circuitos de concentração e beneficiamento de zinco e chumbo são dependentes das características dos minerais a serem concentrados, principalmente de suas propriedades superficiais.

Estudo realizado por Figueiredo (2020) utilizando o minério de zinco, chumbo e prata provenientes do grupo geológico Vazante, reforçou a predominância de dolomita, willemita, hematita e quartzo no minério. Ainda assim, o estudo confirmou a predominância de zinco,

chumbo e prata nas frações mais finas do minério (38,57% do Zn, 44,74% do Pb e 39,23% da Ag) existentes na amostra.

Ainda de acordo com o autor, os minerais de chumbo deste minério são predominantemente oxidados. A análise química evidenciou esta condição ao determinar a piromorfita como mineral de chumbo de maior teor, com 446 ppm, enquanto a galena possuiu teor de 209 ppm.

Entre os minerais portadores de zinco e chumbo com viabilidade de exploração industrial destacam-se os sulfetos, como a esfalerita (ZnS) e a galena (PbS). Em alguns casos, há ainda a exploração de óxidos de zinco, como a willemita (Zn_2SiO_4) e a hemimorfita $Zn_4Si_2O_7(OH)2H_2O$ (VALERIANO, 2019).

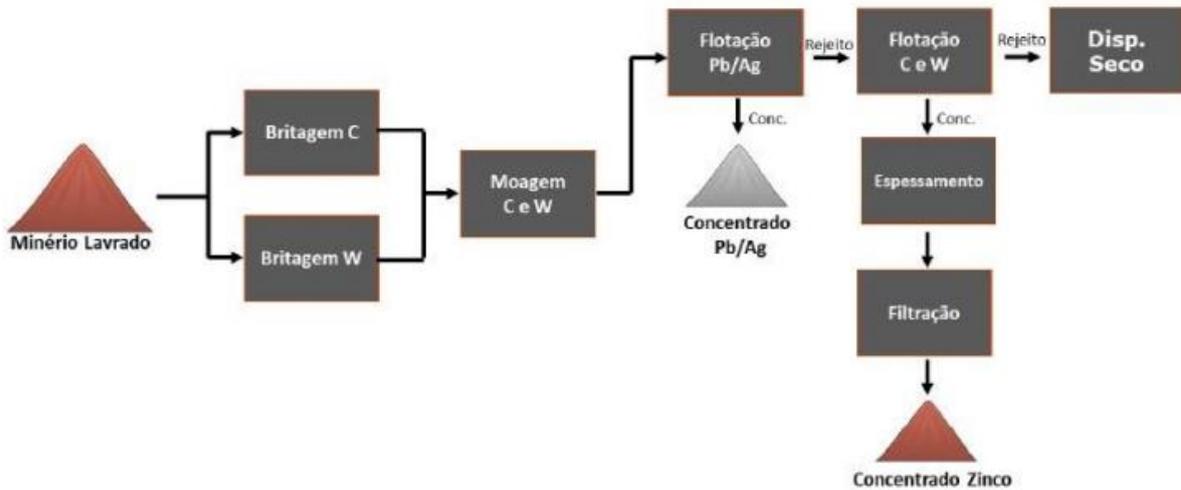
3.2 Flotação

O processo de flotação baseia-se na característica de que alguns minerais apresentam superfície polar e têm afinidade com a água, enquanto outros, com superfície apolar, tem maior afinidade com a fase gasosa (BALTAR, 2008). Um dos fatores determinantes para a efetiva separação dos diferentes tipos de grupos minerais requeridos é o grau de hidrofobicidade.

A flotação é o método de concentração mais utilizado na indústria mineral por sua eficiência e alta aplicabilidade (PERES & ARAUJO, 2006). Entretanto, de acordo com Siqueira (2013), os minerais oxidados de chumbo, zinco e cobre são mais difíceis de flotar que os seus correspondentes sulfetos. Esta dificuldade está intimamente associada à alta solubilidade dos óxidos minerais e também à extensiva hidratação da superfície de carbonatos, sulfatos e silicatos, devido à interação das moléculas de água com os sítios polares que são criados nas superfícies desses minerais durante a sua fratura.

Frequentemente o teor do concentrado obtido em um primeiro estágio de flotação (primeiro banco de células, etapa "*rougher*") não atinge a qualidade do concentrado final (teor), requerendo etapas de flotação em um ou mais estágios, denominados de estágio de limpeza ("*cleaner*"), e às vezes pode ser necessário mais de um estágio de limpeza ("*re-cleaner*") (TABOSA, 2007). O rejeito do estágio *rougher* é processado em um outro estágio denominado *scavenger*, que resulta em um rejeito final pobre em minerais de interesse e um concentrado que pode, junto com o rejeito *cleaner*, voltar ao estágio *rougher*, pois ainda podem possuir minerais valiosos (CHAVES *et al.*, 2018). Pode observar na Figura 1, de maneira sucinta, a rota normalmente utilizada durante o beneficiamento de sulfetos de chumbo e zinco.

Figura 1 - Rota de beneficiamento de sulfetos de chumbo e zinco



Fonte: Adaptado de Bechir (2019).

Além disso, um dos maiores problemas relacionados ao tratamento de minérios de chumbo e zinco brasileiros é o fenômeno conhecido por *slime coating*, ou seja, recobrimento das partículas maiores pelos finos ou lamas, causados pela presença de lamas dolomíticas na polpa (SILVA, 2006).

No contexto de concentrar determinadas espécies minerais via flotação, torna-se de suma importância considerar suas propriedades interfaciais. A escolha de reagentes específicos que possam atuar nas superfícies dos minerais em questão, permite atingir o sucesso da técnica de flotação (BALTAR, 2008).

3.2.1 Reagentes

Reagentes de flotação são compostos orgânicos e inorgânicos empregados com o objetivo de controle das características das interfaces envolvidas no processo (PERES & ARAUJO, 2006).

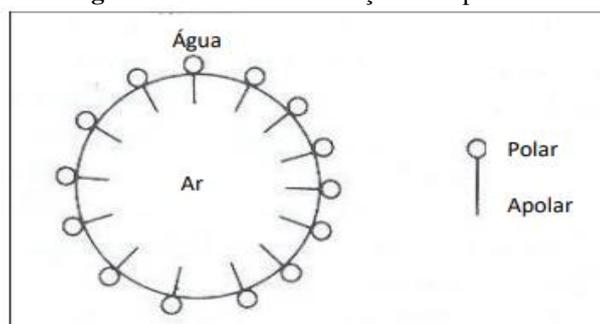
3.2.1.1 Espumantes

Os espumantes são compostos tensoativos heteropolares e possuem uma cadeia hidrocarbônica associada a um grupo polar que, juntos, promovem uma redução na tensão superficial na interface ar-água, criando condições para a formação de espuma, resultando em

maior estabilidade das bolhas, bem como melhores condições de coleta das partículas (BULATOVIC, 2007).

Os espumantes contribuem para manter as bolhas de ar dispersas e evitam a coalescência, fenômeno que ocorre no contato entre duas bolhas de tamanhos diferentes, ocasionando a passagem de ar da bolha menor para maior, gerando grandes bolhas, reduzindo a tensão superficial, conseqüentemente, diminuindo a probabilidade de colisão bolha-partícula (NUNES, 2019). Na Figura 2 pode ser observado o mecanismo de ação do espumante.

Figura 2 - Mecanismo de ação do espumante



Fonte: Adaptado de WILLS (2007).

Os espumantes mais utilizados em flotação de minerais de chumbo são o metilisobutilcarbinol (MIBC) e os ésteres poliglicólicos. O uso de espumantes gera bolhas mais estáveis, garantindo maior adesão com as partículas minerais e, portanto maior taxa de transporte com elevação da recuperação mineral durante flotação (BALTAR, 2008).

3.2.1.2 Coletores

Os coletores atuam na interface sólido-líquido alterando a superfície mineral, impondo uma condição de maior afinidade com o ar e menor afinidade com a fase fluida. Dessa forma e considerando que a maioria dos minerais são naturalmente hidrofílicos, a adição do coletor potencialmente adsorvido por uma das espécies minerais promove seletividade ao processo (PERES & ARAUJO, 2006).

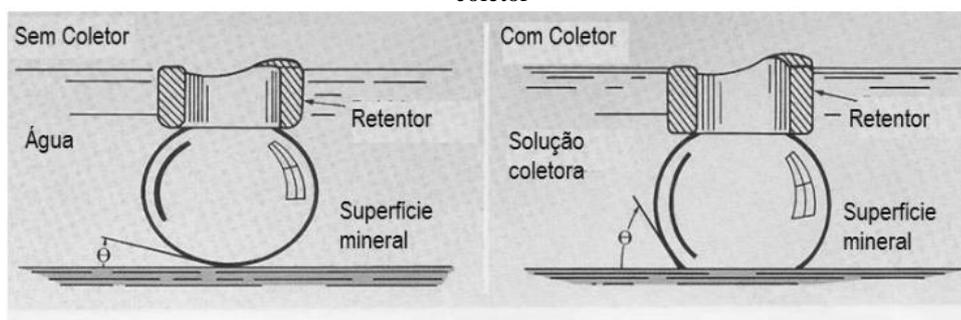
Os coletores são distinguidos em função da sua carga iônica, podendo ser aniônicos ou catiônicos conforme a carga elétrica do grupo polar, resultante da ionização da molécula (CHAVES, *et al.*, 2018).

Os xantatos são os principais reagentes coletores do grupo tiol para a flotação de minerais sulfetados, sendo empregados na grande maioria dos casos. Na flotação utilizando

xantatos, os compostos de potássio e sódio representam as classes mais utilizadas (FIGUEIREDO, 2020).

Outro aspecto importante faz referência ao impacto da utilização do coletor na região de contato entre a superfície do mineral e a bolha de ar. Na Figura 3 pode observar as alterações que ocorrem no sistema: a introdução do coletor aumenta consideravelmente o ângulo de contato entre as superfícies, fato este que favoreceria o possível transporte da espécie mineral pela bolha de ar.

Figura 3 – Região de contato entre superfície mineral e bolha de ar em sistemas com e sem a utilização de coletor



Fonte: Adaptado de Chaves *et al.* (2018).

3.2.1.3 Dispersantes

Os dispersantes são reagentes inorgânicos ou orgânicos capazes de individualizar as partículas minerais agregadas para posterior separação. Geralmente, os dispersantes são utilizados em processos onde existe uma quantidade significativa de finos e/ou lamas (CHAVES *et al.*, 2018).

De acordo com Lopes *et al.* (2006), uma dosagem correta do dispersante faz com que haja uma melhora no arranjo das partículas em suspensão, permitindo a captura das frações mais grossas e minimizando a proporção de perda de zinco para o rejeito, além de proporcionar pouco arraste de finos, garantindo um concentrado mais seletivo.

3.2.1.3.1 Depressores

Como o próprio nome já diz, esses materiais são sais metálicos que possuem a função de deprimir alguma espécie presente na flotação, tornando a coleta da espécie de interesse mais seletiva. Assim como os demais reagentes, os mecanismos de adsorção dos depressores são influenciados pela carga superficial da partícula mineral (CHAVES *et al.*, 2018).

Para maior seletividade, é recomendada a utilização de depressores, com a aplicação de polímeros aniônicos, que promovem a depressão eficiente de minerais não sulfetados de ganga, sem alterar as propriedades dos minerais sulfetados existentes (BULATOVIC, 2007).

Na rota de concentração de minerais de chumbo, o silicato de sódio pode ser usado como depressor dos minerais carbonatados que compõem a ganga desse tipo minério (FIGUEIREDO, 2020).

3.3 Flotação de minérios de chumbo-zinco

A escolha e definição dos parâmetros dos circuitos de concentração e beneficiamento de zinco e chumbo são dependentes das características dos minerais a serem concentrados principalmente em relação às suas propriedades superficiais. O sistema de reagentes utilizados na flotação de minérios de chumbo-zinco varia consideravelmente dependendo da natureza e da mineralogia do minério. Na maioria dos casos, o sistema depressor de cianeto de sódio e sulfato de zinco é utilizado com xantato e ditiofosfato como coletores. No entanto, para tratamento de minérios sulfetados, um esquema de reagente muito mais complexo torna-se necessário (BULATOVIC, 2007).

As etapas de flotação parametrizadas para recuperação de sulfetos não se aplicam eficientemente em minérios na forma de óxidos, silicatos e fosfatos. Dessa forma em diversas jazidas com tais características, é necessário a aplicação de metodologias diferentes para a flotação de zinco e chumbo, cujo estudo das características do minério se faz essencial (FIGUEIREDO, 2020).

A flotação de minerais sulfetados pode ser influenciada pelos sistemas de reagentes utilizados (principalmente coletores), pela cinética de flotação, pelo potencial eletroquímico da polpa, pela escolha dos gases utilizados na aeração da polpa, modulação do pH de flotação, por pré-tratamentos de ativação e sulfetização e os sistemas de moagem (formação de pares galvânicos entre minerais e corpos moedores ferrosos) (SÃO JOSÉ, 2015).

Ainda de acordo com o autor, sabe-se que o sulfeto de zinco ocorre juntamente com outros minerais sulfetados. Na separação de zinco-chumbo, a galena é flotada antes da esfalerita, isso é possível pois os coletores tióis adsorvem-se eletroquimicamente na superfície desse mineral, na esfalerita por sua vez, é necessário uma ativação para facilitar a ação desse coletor.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo abordará os procedimentos experimentais executados durante o trabalho. A metodologia global consistiu nas seguintes etapas: homogeneização e quarteamento das amostras de minério, ajuste granulométrico, determinação do peso específico, análise granulométrica, ensaios de flotação em bancada e tratamento de dados dos principais resultados obtidos.

4.1 Caracterização da amostra

Os procedimentos de caracterização física foram realizados a partir da amostra de um minério de chumbo, zinco e prata da região de Vazante (MG) e consistiram da determinação do peso específico e análise granulométrica.

4.1.1 Determinação da massa específica

A determinação da densidade foi realizada pela técnica de picnometria a gás, utilizando equipamento da marca Ultrapyc 1200e, pertencente ao Laboratório de Propriedades Interfaciais do DEMIN/UFOP.

Foram retiradas pequenas alíquotas da amostra e a mesmas foram inseridas em uma das câmaras de expansão. O equipamento foi condicionado, inicialmente, conforme os parâmetros apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros operacionais do picnômetro a gás

Descrição	Valor
Massa (g)	8-9
Volume da célula (cm ³)	19,38
Temperatura de análise média (°C)	23,2
Pressão alvo (psig)	17,0
Tempo de purga (min)	4,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.1.2 Análise granulométrica

O lote de amostras para estudos foi, inicialmente, encaminhado para o Laboratório de Tratamento de Minérios do Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN – UFOP), ainda separadas em sacos plásticos (*bags*). As amostras tiveram origem do plano de britagem primária da empresa, subdivididos conforme critérios observados em campo.

O peneiramento foi realizado via úmido, utilizando peneiras de abertura 7930 a 38 μm , conforme apresentado na Tabela 2. O ensaio foi realizado em triplicata.

Tabela 2 – Abertura das peneiras para análise granulométrica via peneiramento a úmido

7930 μm	500 μm
6300 μm	300 μm
4800 μm	212 μm
3400 μm	150 μm
2400 μm	104 μm
1700 μm	74 μm
1200 μm	53 μm
840 μm	38 μm
600 μm	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A fração inferior a 38 μm foi analisada via granulômetro a laser (modelo CILAS 1064, *Particle Size Analyzer*), no Laboratório de Propriedade Interfaciais (DEMIN – UFOP). O equipamento consiste na emissão de feixes raios laser sobre as partículas da amostra, os dados são obtidos a partir da variação angular na intensidade da luz através da interação de feixes com a distribuição das partículas dispersas. O equipamento operou com ultrassom condicionado a 60 segundos e obscuração de 24%.

A distribuição de tamanhos, identificados pela difração a laser, foram convertidas em tamanhos equivalentes de peneira através do cálculo do fator de forma, visando a adequação entre os dois métodos de análise granulométrica adotados.

4.1.3 Cominuição

Para adequar granulometricamente a amostra para os ensaios de flotação foi seguida a distribuição granulométrica proposta pela empresa: apenas 12% da massa do minério deveria ser superior a 100 μm e 50% da massa deve ficar retida na malha de 38 μm .

Para isso, foram realizadas etapas de britagem em britador de rolos com abertura de saída de 5 mm. Em seguida, a amostra de minério foi destinada à moagem via úmida, em moinho de bolas de 20 cm, conforme os parâmetros operacionais descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros operacionais para moagem a úmido

Moagem a úmido	
Massa da amostra	1,3 kg
Massa de água na polpa	1 kg
Tempo de moagem	25 min
Frequência de rotação	40 Hz
%VC	90%
Razão de enchimento	40 %

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Além disto, a massa de corpos moedores de 11,13 kg foi distribuída conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Distribuição da carga de bolas para moagem a úmido

Massa de bolas (kg)	Diâmetro aproximado (mm)
2,1	42
3,6	34 a 38
4,6	27 a 31
0,8	20

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.2 Ensaios de flotação em bancada

Os parâmetros utilizados nos testes de flotação foram baseados com base no processo utilizado pela empresa em questão e são descritos a seguir.

- pH = 9,5;
- 4 etapas *rougher*;
- Rotação: 1500 a 1800 rpm;
- Ar: 8 a 10 L/m;
- % sólidos (em peso): 35% (para o condicionamento e flotação);
- Concentrado final: ponderação dos quatro concentrados.

Para cada ensaio de flotação foi utilizada uma amostra de 1,3 kg com granulometria adequada (após etapas de britagem e moagem). Este material, juntamente com a água do processo, constituíram uma polpa com 35% de sólidos, a polpa foi colocada em uma cuba de 3800 ml, na qual foram realizados os ensaios em uma célula de flotação CDC. Feito isso, a polpa foi condicionada por 3 minutos, de modo a se obter homogeneização do material. Os ensaios são descritos em etapas: *rougher 1*, *rougher 2*, *rougher 3* e, finalmente, *rougher 4*, cujas descrições são listadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Descrição dos reagentes utilizados para os testes de flotação em escala de bancada

Baterias de testes	Denominação do reagente	Função	Natureza química	Dosagem (g/t)
Teste padrão	Amil Xantato	Coletor	Xantato	50
1ª bateria	Flotisor 1682	Coletor	Ácido graxo	80
2ª bateria	Flotigan 5806	Coletor	Ácido graxo	40 – 160
3ª bateria	Flotimax PRP	Coletor	Ácido graxo	25 – 50
4ª bateria	Flotimax AP29-L10	Coletor	Ácido graxo	40 – 160

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na primeira bateria de testes, o coletor foi preparado conforme recomendações operacionais do fornecedor. A dosagem, a concentração do reagente e o pH da polpa são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Condições sugeridas pela Clariant

Dosagem (g/t)	Concentração do reagente (%)	pH
80	1-5	9,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Por conseguinte, a dosagem, o percentual de NaOH para a saponificação e o pH utilizados na segunda bateria de testes são listados de acordo com a Tabela 7. O silicato de sódio foi utilizado como agente depressor dos minerais de ganga do minério. Desse modo, a dosagem utilizada para este depressor foi de 500 g/t. O coletor utilizado nessa seção foi adicionado nos processos de forma estagiada.

Tabela 7 - Condições sugeridas pela Clariant

Dosagem (g/t)	Concentração do reagente (%)	pH	Saponificação (% NaOH)
40-160	1-5	9-10	15

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

No que se diz respeito a terceira bateria de testes, o coletor foi diretamente adicionado na polpa, sem preparo prévio de solução. Também foi sugerido pelo fabricante, que o coletor fosse adicionado de forma estagiada, sendo 50% da dosagem adicionado na primeira etapa da flotação e, os outros 50% restante, nas etapas posteriores.

A dosagem e o pH são listados de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 - Condições sugeridas pela *Pietsch Chemicals*

Dosagem (g/t)	pH
25-50	9-10

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Por fim, o processo de saponificação do Flotimax AP29-L10 na quarta bateria de testes, foi realizado de forma análoga ao processo de saponificação dos coletores expostos anteriormente. A dosagem de silicato de sódio utilizada também foi de 500 g/t.

O reagente também foi adicionado de forma estagiada, em que 50% da dosagem foi adicionada na primeira etapa de flotação e os outros 50% nas demais. A Tabela 9 apresenta a dosagem e o pH sugeridos.

Tabela 9 - Condições sugeridas pela *Pietsch Chemicals*

Dosagem (g/t)	pH
40-160	9-10

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os resultados foram avaliados a partir das análises químicas dos concentrados. De posse dos teores, foram quantificados os seguintes parâmetros: recuperação mássica (Eq. 1), recuperação metalúrgica (Eq. 2), índice de seletividade – IS (Eq. 3) e enriquecimento (Eq. 4).

A recuperação mássica foi calculada utilizando as massas do concentrado e da alimentação recalculada.

$$Rec. mássica = \frac{C}{A} * 100 \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

- Rec.mássica: recuperação mássica (%)
- C: massa do concentrado (g)
- A: massa de alimentação recalculada (g)

A recuperação metalúrgica foi calculada utilizando as massas do concentrado, da alimentação e dos teores de chumbo nas duas etapas.

$$Rm = \frac{C \cdot c}{A \cdot a} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

- R_m : recuperação metalúrgica (%)
- c : teor de chumbo no concentrado (%)
- a : teor de chumbo na alimentação (%)

O índice de seletividade (IS) foi calculado levando em consideração a recuperação metalúrgica do elemento de interesse e do elemento de ganga. Neste caso, chumbo e cálcio, respectivamente.

$$IS = \sqrt{\frac{R_{m. \text{ útil}} (1 - R_{m. \text{ ganga}})}{R_{m. \text{ ganga}} (1 - R_{m. \text{ útil}})}} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:

- IS: índice de seletividade
- $R_{m. \text{ útil}}$: recuperação metalúrgica de chumbo
- $R_{m. \text{ ganga}}$: recuperação metalúrgica de cálcio

Por fim, foi calculada a razão dos teores de chumbo no concentrado e alimentação para cada um dos testes.

$$Re = \frac{c}{a} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

- Re: razão de enriquecimento
- c : teor de chumbo no concentrado
- a : teor de chumbo na alimentação

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos após a aplicação dos ensaios e métodos descritos no capítulo anterior bem como as discussões pertinentes foram compilados nesse capítulo.

5.1 Determinação do peso específico

Na Tabela 10 podem ser observados os valores referentes aos três ensaios realizados para determinação da massa específica da amostra pelo método da picnometria a gás.

Tabela 10 - Valores de massa específica medidos pelo método da picnometria

Ensaio	Peso específico (g/cm ³)
1	3,7006
2	3,7123
3	3,7132

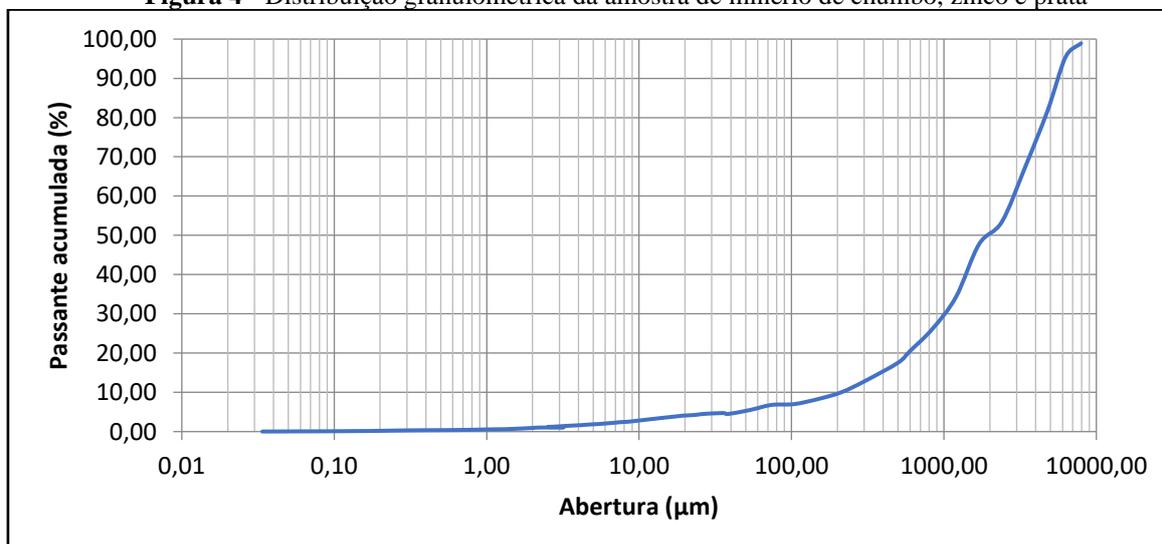
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A média dos três ensaios correspondeu a 3,7087 g/cm³. A densidade é compreendida pela alta densidade do óxido de chumbo provavelmente majoritário na amostra e a baixa densidade dos minerais de ganga. Ainda assim, o valor corrobora dados apresentados por Figueiredo (2020) que, ao caracterizar uma amostra também da região de Vazante (MG), obteve massa específica de 3,71 ± 0,007 g/cm³.

5.2 Análise granulométrica

A curva de distribuição granulométrica obtida para o minério em estudo é apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Distribuição granulométrica da amostra de minério de chumbo, zinco e prata



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

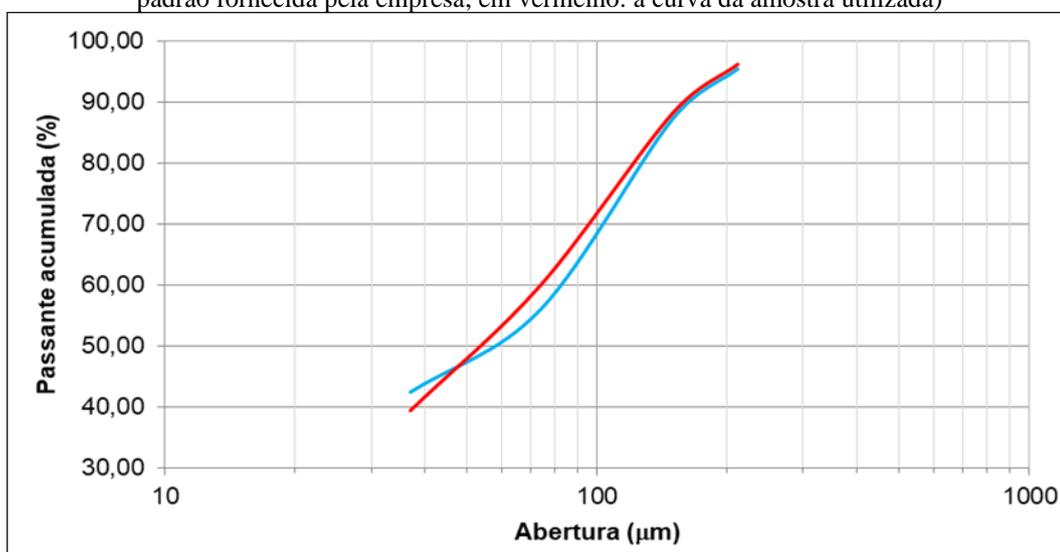
A partir da interpolação da curva, obteve-se P_{80} igual a 4620 μm , enquanto, o valor de P_{50} encontrado foi de 1980 μm .

5.2 Cominuição

A granulometria do material cominuído, através das etapas de britagem e moagem, está apresentado através da curva de distribuição granulométrica da Figura 5.

Os dados obtidos foram plotados e comparados com a curva de distribuição granulométrica fornecida pela empresa.

Figura 5 - Distribuição granulométrica da amostra utilizada para alimentação da flotação (em azul: a curva padrão fornecida pela empresa; em vermelho: a curva da amostra utilizada)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O processo de cominuição realizado, como britagem e moagem, estabelece que a granulometria da amostra seja adequada conforme especificações da empresa e, deste modo, garanta confiabilidade dos ensaios de flotação.

5.3 Flotação

Os resultados das análises e suas especificações referentes a cada teste serão expostos abaixo.

I - Teste padrão

Pode-se observar na Tabela 11 os resultados de recuperação metalúrgica do chumbo e do zinco, de recuperação mássica, teor de chumbo da alimentação e concentrado, teor de

zinco no concentrado, índice de seletividade e enriquecimento. Os resultados apresentados se referem ao teste padrão.

Tabela 11 - Resultados do ensaio de teste padrão

Teste	Descrição	pH	Rec. Metal. Pb	Rec. Metal. Zn	Rec. Massa	Teor Pb (Alim.)	Teor Pb (Conc.)	Teor Zn (Conc.)	IS	Enr.
P11 - P20	Xantato 50g/t	9,5	6,75	3	3,74	0,35	0,64	7,63	2,3	1,8

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

II - Primeira bateria de testes

Nesta etapa foi avaliado o coletor Flotador 1682, fornecido pela empresa Clariant.

A Tabela 12 corresponde aos resultados a partir do uso do Flotador 1682.

Tabela 12 - Resultados do ensaio do teste para Flotador 1682 80 g/t

Teste	Descrição	pH	Rec. Metal. Pb	Rec. Metal. Zn	Rec. Massa	Teor Pb (Alim.)	Teor Pb (Conc.)	Teor Zn (Conc.)	IS	Enr.
E1 - E5	Flotador 1682 80g/t + Mibicol 40g/t	9,5	37,9	22,9	33,08	0,34	0,39	6,2	2	1,14
E6 - E15	Flotador 1682 80g/t	9,5	10,4	5,3	8,42	0,36	0,42	5,79	2,1	1,2
F16 - F20	Flotador 1682 80g/t + Ácido sulfúrico	5,8	17,36	7,3	13,45	0,35	0,45	5,05	2,7	1,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Foi verificada uma grande quantidade de formação de espuma durante a realização do ensaio com o espumante Mibcol. Por outro lado, foi possível verificar que o espumante promoveu um aumento médio de 82% na recuperação metalúrgica de chumbo e 173% na recuperação metalúrgica de zinco em comparação aos outros testes da mesma bateria em que não foi utilizado o espumante, possivelmente devido ao arraste. Em contrapartida, sem a adição de Mibcol, a massa flotada reduziu pela metade em todas etapas.

Portanto, ao manter a dosagem constante em todos os testes (80 g/t), o fator determinante para melhora da recuperação mássica e metalúrgica de Pb foi a utilização do espumante.

III - Segunda bateria de testes

Nesta etapa, buscou-se avaliar o desempenho do coletor Flotador 5806, fornecido pela empresa Clariant. Como o coletor é um ácido graxo, fez-se necessário efetuar o processo de

saponificação do reagente, sendo executado de acordo com as instruções fornecidas pela empresa. A Tabela 13 corresponde aos resultados a partir do uso de Flotigan 5806.

Tabela 13 - Resultados do ensaio do teste para Flotigan 5806

Teste	Descrição	pH	Rec. Metal. Pb	Rec. Metal. Zn	Rec. Massa	Teor Pb (Alim.)	Teor Pb (Conc.)	Teor Zn (Conc.)	IS	Enr.
T3	Flotigan 5806 40g/t + Silicato de sódio	9,5	3,9	2,0	3,2	0,37	0,45	5,88	1,98	1,2
T4	Flotigan 5806 80g/t + Silicato de sódio	9,5	5,2	2,4	4,1	0,37	0,46	5,46	2,25	1,25
T5	Flotigan 5806 160g/t + Silicato de sódio	9,5	7,5	2,3	5,2	0,35	0,51	4,29	3,4	1,44

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Ao analisar o desempenho do coletor Flotigan 5806, é possível determinar que em sua maior dosagem (160 g/t), há melhoria de 42% na recuperação mássica e 65% na recuperação metalúrgica de Pb em comparação aos demais testes da mesma bateria.

IV - Terceira bateria de testes

Nesta etapa de testes analisou-se o reagente Flotimax PRP fornecida pela empresa *Pietsch Chemicals*. A Tabela 14 corresponde aos resultados a partir do uso de Flotimax PRP.

Tabela 14 - Resultados do ensaio do teste para Flotimax PRP

Teste	Descrição	pH	Rec. Metal. Pb	Rec. Metal. Zn	Rec. Massa	Teor Pb (Alim.)	Teor Pb (Conc.)	Teor Zn (Conc.)	IS	Enr.
T6	Flotimax PRP 50g/t + Silicato de sódio	9,5	2,9	2,08	2,2	0,37	0,47	8,5	1,4	1,29
T7	Flotimax PRP 25g/t + Silicato de sódio	9,5	2,3	1,6	1,8	0,36	0,45	7,9	1,5	1,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Deste modo, foi possível constatar que apesar de dobrar a dosagem do reagente (de 25 para 50 g/t), não foram observadas alterações consideráveis quanto aos valores de recuperação mássica e metalúrgica de chumbo e zinco. O índice de seletividade e enriquecimento também permaneceram bem próximos.

V - Quarta bateria de testes

Para tal seção, buscou-se avaliar o desempenho do coletor Flotimax AP29-L10, fornecido pela *Pietsch Chemicals*. A Tabela 15 corresponde aos resultados a partir do uso do coletor Flotimax AP29-L10.

Tabela 15 - Resultados do ensaio do teste para Flotimax AP29-L10

Teste	Descrição	pH	Rec. Metal. Pb	Rec. Metal. Zn	Rec. Massa	Teor Pb (Alim.)	Teor Pb (Conc.)	Teor Zn (Conc.)	IS	Enr.
T10	Flotimax AP29-L-10 40g/t + Silicato de sódio	9,5	1,97	0,9	1,5	0,37	0,47	5,4	2,15	1,29
T11	Flotimax AP29-L-10 80g/t + Silicato de sódio	9,5	4,6	1,7	3,3	0,36	0,49	4,68	2,73	1,37
T12	Flotimax AP29-L-10 160g/t + Silicato de sódio	9,5	17,5	6,1	12,9	0,37	0,50	4,25	3,30	1,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Ao utilizar o coletor Flotimax AP29-L10 foi possível observar que em sua maior dosagem (160 g/t) há um aumento médio significativo de 400% na recuperação mássica e da recuperação metalúrgica de Pb. Enquanto, para as outras dosagens avaliadas (40 e 80 g/t) os valores de recuperação mantiveram-se próximos.

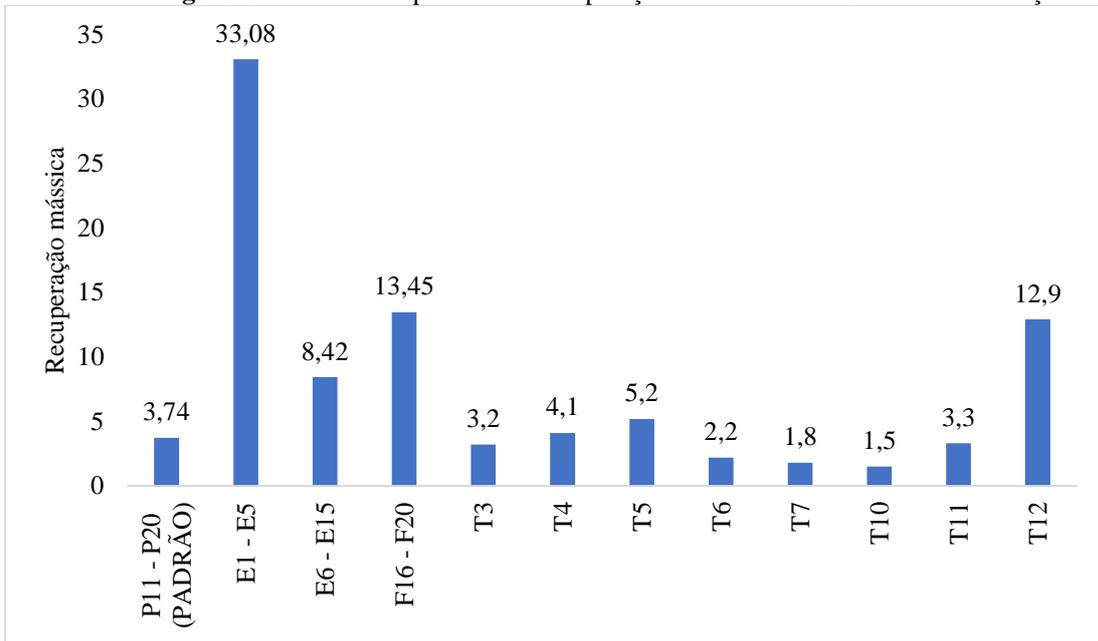
Por fim, verificou-se na primeira etapa a formação excessiva de espuma.

5.4 Análise dos resultados da flotação de bancada

De modo a sintetizar os resultados obtidos, de acordo com as análises químicas, esta seção busca apresentar gráficos comparativos. Tais resultados são comparados com condições de testes similares, traçando, portanto, um modelo de representação para a recuperação em massa, recuperação metalúrgica do Pb e Zn dos respectivos reagentes apresentados no trabalho.

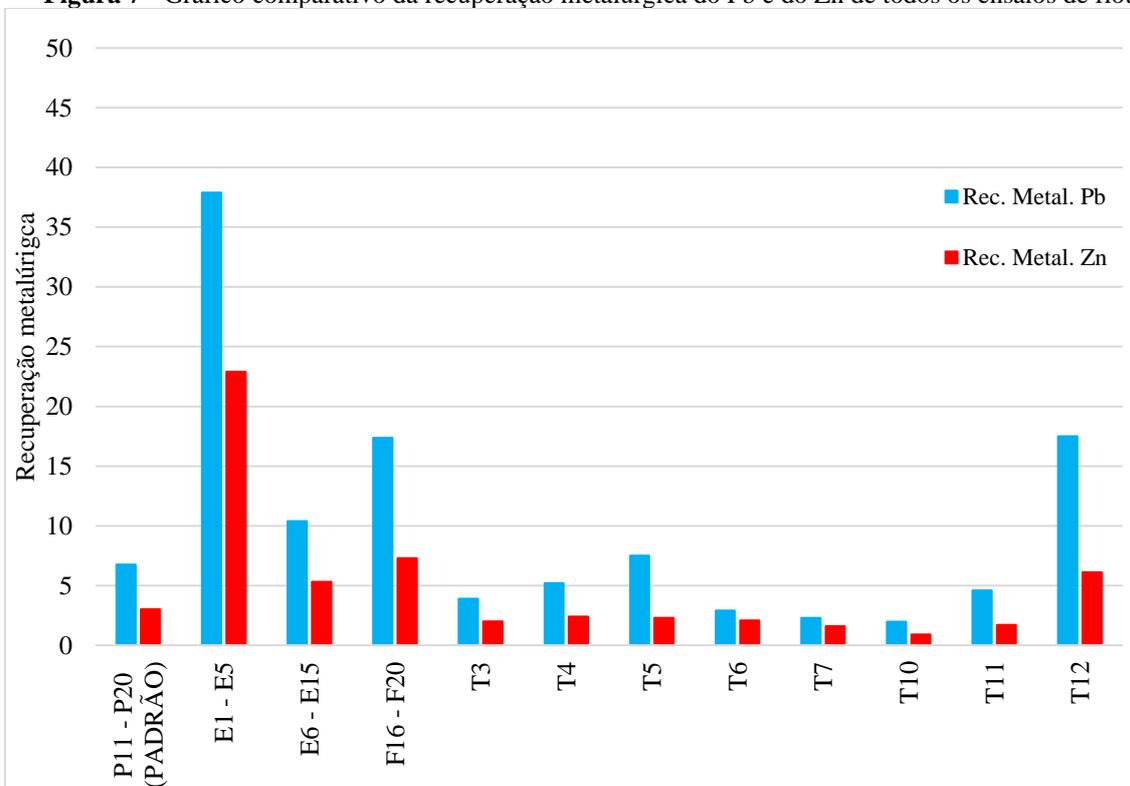
Na Figura 6 pode ser observada a recuperação mássica em cada teste de flotação. Em contrapartida, na Figura 7 observa-se os valores de recuperação do metal chumbo e do metal zinco, também obtidos em todos os testes de flotação.

Figura 6 - Gráfico comparativo da recuperação mássica de todos ensaios de flotação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 7 - Gráfico comparativo da recuperação metalúrgica do Pb e do Zn de todos os ensaios de flotação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Nesse sentido, nas Figuras 6 e 7 é possível observar a eficácia da bateria de testes E1-E5 no que se diz respeito à recuperação mássica e recuperação metalúrgica de chumbo e zinco em relação aos outros testes. No que se diz respeito a recuperação mássica, tal bateria de testes obteve resultados de 33,08, 37,9 para recuperação metalúrgica de chumbo e 22,9 para recuperação metalúrgica do zinco. Possivelmente esses valores estão associados ao arraste promovido devido à presença do espumante. Ainda assim, de todos os outros testes realizados e apresentados nos gráficos, o que de fato, mais se aproxima dos resultados apresentados anteriormente da bateria E1-E5, é o F16-F20. Entretanto, os valores de recuperação mássica e recuperação metalúrgica de chumbo e zinco deste último teste representam, em desempenho, média de 40% da bateria E1-E5.

Dentre os doze testes realizados, o teste padrão (P11-P20) corresponde ao sexto melhor desempenho para recuperação mássica e recuperação metalúrgica do chumbo e zinco. Nesse sentido, vale ressaltar que os reagentes utilizados no teste padrão possuem o intuito de flotar, essencialmente, o mineral galena e, não, piromorfita. Tal fato justifica a baixa eficiência do coletor xantato perante os demais testes. Comparando o mesmo teste com o ensaio que obteve melhor resultado para os mesmos parâmetros (E1-E5), os resultados do teste padrão equivalem apenas a 11% da recuperação mássica e 15% da recuperação metalúrgica dos metais de interesse.

No que se diz respeito a eficiência de recuperação mássica da bateria E1-E5, é válido evidenciar que houve geração excessiva de espuma durante a execução do teste. Portanto, os altos índices de recuperação mássica e metalúrgica dos metais de interesse também podem estar sob a ótica deste aspecto. Portanto, é importante que novas baterias de testes sejam realizadas com o mesmo coletor, paralelamente à utilização de menores dosagens do espumante a fim de avaliar os impactos do fenômeno de arraste no teste executado.

Os valores de índice de seletividade são relativamente baixos (entre 1,4 e 3,4) em razão do alto teor de dolomita na amostra. Além disso, apesar dos cuidados ao longo das etapas de cominuição e de flotação, a polpa esteve suscetível a fenômenos sem solução atual. Ainda que os resultados apresentados se adequem ao esperado, indicam a necessidade de possíveis testes utilizando ativadores alternativos associados à emulsão como coletor.

6. CONCLUSÕES

As características físicas principais do minério foram determinadas. Nesse sentido, a massa específica definida para o minério foi de $3,7087 \text{ g/cm}^3$. Por outro lado, no que se diz respeito a distribuição granulométrica do material, os valores de P_{80} e P_{50} resultantes foram, respectivamente, $4620 \mu\text{m}$ e $1980 \mu\text{m}$.

Ademais, a variação dos parâmetros operacionais dos ensaios de flotação de bancada foi de suma importância para análise e, posteriormente, otimização do processo. O teste E1-E5, em que foi utilizado 80 g/t do reagente Flotisor 1682 e 40 g/t do espumante, obteve a melhor *performance* dentre todos os testes realizados neste estudo. Os resultados do teste padrão, em comparação com este último, corresponderam apenas a 11% da recuperação mássica, 18% da recuperação metalúrgica de chumbo e 13% da recuperação metalúrgica de zinco.

7. REFERÊNCIAS

- BALTAR, C. A. M. **Flotação no Tratamento de Minérios**. Recife: Departamento de Engenharia de Minas/ UFPE, 2008.
- BECHIR, J. L. C. **Avaliação do impacto da granulometria e da liberação na flotação do minério de zinco da mina de Vazante**. 2019. Dissertação. Mestrado em Ciências., Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. 144 f.
- BULATOVIC, S. M. *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ores*. Amsterdam: Elsevier, 2007. 446 p.
- CHAVES, A. P.; LEAL FILHO, L. S.; BRAGA, P. F. A. **Flotação**. In: Tratamento de minérios. 6.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. Cap.10, p.405-459.
- DARDENNE, M. A. & FREITAS-SILVA, F. H. 1998. **Modelos Genéticos dos depósitos de Pb–Zn nos Grupos Bambuí e Vazante**. Workshop Depósitos Minerais Brasileiros de Metais Base, Salvador, CPGG-UFBA/ADIMB, p.86 – 93.
- FIGUEIREDO, T. D. **Caracterização do Minério da Mina Extremo Norte e do Mineral Piromorfita**. Orientador: Carlos Alberto Pereira. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia de Minas. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral, Ouro Preto, 2020.
- LE MOS, M.G. **Caracterização geológica e tecnológica do minério de zinco do Extremo Norte da Mina de Vazante, Minas Gerais**. 2011. 193 f. Dissertação (Mestrado).
- LOPES, M.M.; LOPES, L.M.C.; MARTINS, E.L.C.; METSAVAH, V.; REZENDE, L.M.; BECHIR, J.L.C.; OLIVEIRA, C.A.M.; MELO, J.M.C.; LIMA, I.A. **Influência do dispersante AGLP na flotação, sedimentação e filtração do concentrado de zinco silicatado de Vazante – ABM week**, 2016.
- MONTEIRO, L.V.S., 2002. **Modelamento metalogenético dos depósitos de zinco de Vazante, Fagundes e Ambrósia, associados ao Grupo Vazante, Minas Gerais**. Tese de Doutorado, IG - Universidade de São Paulo.
- MONTEIRO, L.V.S; BETTERN COURT, J.S.; JULIANI, C.; OLIVEIRA, T.F. 2006. *Geology, petrography, and mineral chemistry of the Vazante non-sulfide and Ambrósia and Fagundes sulfide-rich carbonate-hosted Zn-(Pb) deposits*, Minas Gerais, Brazil. Ore Geology Reviews, 28(2): 201-234.
- NEUMAN, R.; SCHNEIDER, C.L., NETO, A.A. **Caracterização Tecnológica de Minérios**. Tratamento de Minérios. 4ª edição CETEM. 2004. p. 55-109.
- NUNES, T. C. **Otimização dos parâmetros da flotação de minério de ferro utilizando metodologia de superfície de resposta**. 2019. Dissertação. Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá. Itabira, 2019.

PERES, A. E. C. & ARAUJO, 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. 1 -29, 2006.

PERES, A.E.C; PAROLINI, L.A. **Influência de sulfetos de ferro na flotação de sulfetos de zinco com xantatos**. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia. Proceedings do VII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia; 1980 Nov 11; Recife, Brasil. (ENTMME; vol. 110). p. 2.

RAO, S. R. *Surface Chemistry of Froth Flotation*: Volume 1: Fundamentals. 2. ed. Ney York: Springer Science business Media, LLC, 2004. 744 p.

SÃO JOSÉ, F. **Estudo da flotação coletiva de sulfetos de zinco-chumbo**. 2015. 87 f. Dissertação .Mestrado em Engenharia Mineral - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

SILVA, T.A.V. 2006. **Estudos de Reagentes na Flotação de Minério de Zinco**. Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

SIQUEIRA, J.S. **Recuperação De Sulfetos Em Minério De Zinco Predominantemente Silicatado**. Dissertação. Mestrado em Metalúrgica, Materiais e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2012. 98f.

TABOSA, E. O. **Flotação com reciclo de concentrados (FRC) para recuperação de finos de minérios: fundamentos e aplicações**. Dissertação Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Porto Alegre, 2007.

VALERIANO, C. M. Zinco e Chumbo. In: SOARES, A. C. P. et al. **Recursos minerais de Minas Gerais** - 2018. Belo Horizonte, MG: CODEMGE, 2019.

WILLS, B. A. *Mineral processing technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral*. 7th edition, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. 444p.