

ESTUDOS DE CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO BAUXÍTICO POR FLOTAÇÃO REVERSA EM COLUNA

BAUXITE ORE CONCENTRATION STUDIES BY FLOTATION BY COLUMN REVERSE FLOTATION

Lorena Tomaz de Aquino Pereira

Aluna de Graduação em Química com Atribuições Tecnológicas

6º período, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Período PIBITI/CETEM: fevereiro de 2024 a julho de 2025

lorenatomazda@gmail.com

Elves Matiolo

Orientador, Engenheiro de Minas, D.Sc.

ematiolo@cetem.gov.br

Bárbara Monsores Simioni

Coorientadora, Tecnóloga em Processos Químicos

barbara.monsores@outlook.com

RESUMO

O processamento convencional da bauxita geralmente é composto por etapas como britagem, classificação por hidrociclones e separação magnética para enriquecer o teor de alumina. Porém, essas técnicas frequentemente encontram dificuldades na remoção eficiente de contaminantes como sílica reativa e compostos ferrosos, que prejudicam a qualidade do produto final. Perante essas limitações, a técnica de flotação reversa tem se mostrado uma alternativa para o beneficiamento do minério de bauxita. Nesse cenário, observa-se uma tendência crescente no interesse pela aplicação da flotação reversa em minérios de bauxita, com foco na redução de impurezas, como caulinita, que afetam negativamente a produção de alumina no processo Bayer. O presente estudo buscou atingir as seguintes especificações: teor de Al_2O_3 aproveitável $>$ de 50%, SiO_2 reativa $<$ de 4% e uma razão $\text{Al}/\text{Si} >$ que 10. O teor de Al_2O_3 variou entre 39,9 a 47,1% para recuperações de 43,3 a 99,2%. O teor de SiO_2 variou de 3,9 a 7,9% para recuperações de 22,8 a 95,7%. Com base nos resultados obtidos, sugere-se a continuidade de estudos futuros em busca do equilíbrio entre teor e recuperação metalúrgicas razoáveis.

Palavras chave: Bauxita, flotação, coletores alternativos.

ABSTRACT

Conventional bauxite processing generally consists of steps such as crushing, hydrocyclone classification and magnetic separation to enrich the alumina content. However, these techniques often encounter difficulties in efficiently removing contaminants such as reactive silica and ferrous compounds, which impair the quality of the final product. Given these limitations, the reverse flotation technique has proven to be an alternative for processing bauxite ore. In this scenario, there is a growing trend in interest in the application of reverse flotation in bauxite ores, with a focus on reducing impurities, such as kaolinite, which negatively affect alumina production in the Bayer process. The present study sought to achieve the following specifications: usable Al_2O_3 content $>$ 50%, reactive $\text{SiO}_2 <$ 4% and an Al/Si ratio $>$ 10. The Al_2O_3 content varied between 39.9 to 47.1% for recoveries of 43.3 to 99.2%. The SiO_2 content varied from 3.9 to 7.9% for recoveries of 22.8 to 95.7%. Based on the results obtained, it is suggested that future studies continue in search of a balance between reasonable metallurgical content and recovery.

Keywords: Bauxite, flotation, alternative collectors.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta cerca de 2,7 bilhões de toneladas de bauxita e, se encontra entre os cinco maiores detentores desse minério no mundo. Apesar da grande reserva, a participação brasileira no mercado mineral ainda é pequena, representando 1,9% do faturamento do setor no primeiro trimestre de 2024 (IBRAM, 2024). Contudo, o país vem ampliando sua presença no cenário internacional, com um aumento de 40,4% nas exportações de bauxita em relação a 2023, impulsionado principalmente pelos depósitos na região Norte.

Atualmente o processamento do minério de bauxita faz o uso de operações unitárias como método de concentração, empresas como a Mineração Rio do Norte adota processos de lavagem e deslamagem no beneficiamento de bauxita, enquanto a Mineração Santa Lucrécia emprega a técnica de separação em meio denso, utilizando equipamentos como o separador *Dinawhirlpool* (MASSOLA, 2009).

O processo de concentração de minério bauxítico visa reduzir os teores de impurezas, particularmente sílica reativa e óxidos, que podem comprometer a obtenção da alumina gerada a partir do processo Bayer, seguido do processo Hall-Héroul (Sampaio; Andrade; Dutra, 2005). A presença de caulinita como mineral de ganga é comum nos minérios de bauxita, especialmente naqueles com baixo teor de alumina (inferior a 50% de Al_2O_3). Nesses casos, sua remoção costuma ser realizada por meio da flotação reversa (SUKLA et al., 2019).

A necessidade de métodos mais eficientes e fatores econômicos estimulam o emprego da flotação reversa, uma vez que os coletores a base de hidroxamatos empregados na flotação direta são mais caros que os coletores a base de amina e são consumidos em maior quantidade. Nesse âmbito, pesquisas vêm sendo desenvolvidas no intuito de empregar a flotação reversa como etapa antecedente aos processos metalúrgicos (LIU et al., 2015). Dessa maneira, neste estudo foi avaliado a possibilidade do uso da flotação reversa de caulinita em coluna como método de concentração.

2. OBJETIVO

Esse estudo tem como objetivo analisar a viabilidade técnica de concentração do minério bauxítico por meio da flotação na configuração reversa objetivando atingir as seguintes especificações técnicas:

- Teor de sílica reativa (SiO_2 re) abaixo de 4%;
- Teor de alumina aproveitável (Al_2O_3 ap) acima de 50%;
- Razão Al_2O_3 ap/ SiO_2 re (Al/Si) acima de 10.

3. METODOLOGIA

3.1. Preparação da Amostra

A amostra recepcionada na forma de polpa é proveniente de uma planta de concentração de minério bauxítico, localizada na região norte do Brasil. As amostras foram submetidas ao processo de deslamagem, no qual o *underflow* foi utilizado como alimentação para os ensaios de flotação em coluna. Previamente aos ensaios de flotação, a amostra passou pelas seguintes etapas:

- Caracterização física da amostra da alimentação da flotação (porcentagem de sólidos da polpa, densidade por meio da picnometria a gás hélio e da distribuição granulométrica por difração a laser e peneiramento a úmido);
- Caracterização química da amostra do minério de bauxita;
- Caracterização mineralógica por Difração de Raios X (DRX).

3.2. Ensaios de Flotação

Os ensaios de flotação foram realizados em uma coluna com diâmetro interno de 2", equipada com um borbulhador do tipo poroso, utilizando a configuração do tipo *rougher*. Foram utilizadas de três a quatro células mecânicas para o condicionamento dos reagentes necessários para a flotação. A tabela a seguir apresenta os parâmetros usados em todos os ensaios:

Tabela 1: Parâmetros dos ensaios realizados na flotação de minério.

Parâmetros	RG
Taxa de alimentação média (kg/h)	6,7
% sólidos média no concentrado	20
Tempo de res. médio (min)	6,4
Jar (cm/s)	0,82 e 1,20
Qar (L/min)	1,00 e 1,47
Jal (cm/s)	0,20
Qal (L/min)	0,245

No total foram realizados 10 testes em condições que variaram os reagentes envolvidos e suas dosagens. Esses testes tiveram como objetivo de avaliar o desempenho de diferentes reagentes nesse tipo de flotação, e definir também a dosagem ideal de coletor, de dispersante e de espumante. Os reagentes utilizados foram: Flotinor 16939 (coletor da Clariant), DP-OMC-1827, DP-OMC-1828, DP-OMC-1175 (coletores da Basf), Hexametafosfato de sódio (dispersante da *Vetec*) e Lupromin FF-1908 (espumante da Basf).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da Amostra

A amostra da alimentação da flotação foi caracterizada quanto a sua composição química através do método de Fluorescência de Raios X (FRX), apresentando os teores de Al_2O_3 ap de 42,4% e de SiO_2 re de 6,2%. A análise mineralógica constatou que a alimentação da flotação é composta majoritariamente por 59,9% de gibbsita, 26% de caulinita, 9% de hematita, 4% de goethita, 1% de quartzo e 1% de anatásio.

4.2. Ensaios de Flotação

A Figura 1 apresenta teor *versus* recuperação metalúrgica de Al_2O_3 ap para todos os testes realizados. O coletor Flotinor 16939 atingiu o maior teor de Al_2O_3 ap (47%) para uma recuperação metalúrgica de 43%. Os testes que empregaram o coletor DP-OMC-1827 apresentaram teores de em média de 43% de Al_2O_3 ap com recuperações de 96%. O DP-OMC-1828, por sua vez, apresentou teores que variam de 41 a 43% para recuperações que oscilaram de 87,5 a 99,2%. Por fim, foram realizados três testes com o DP-OMC-1175 onde os dois primeiros testes sem dispersante e em um teste foi utilizado o dispersante. Os testes sem dispersante apresentaram um teor médio de 43% de Al_2O_3 ap para recuperações de 95 a 98%. O teste que empregou o dispersante apresentou uma queda brusca na recuperação metalúrgica, a qual atingiu o valor de 43% e uma leve redução no teor de alumina aproveitável que atingiu um teor de 40%. O Flotinor 16939 atingiu o menor teor de SiO_2 re de 3,9% para uma recuperação metalúrgica de 23%. Os demais reagentes atingiram teores de SiO_2 que variaram de 4,5 a 8%, para recuperações de 50 a 95%.

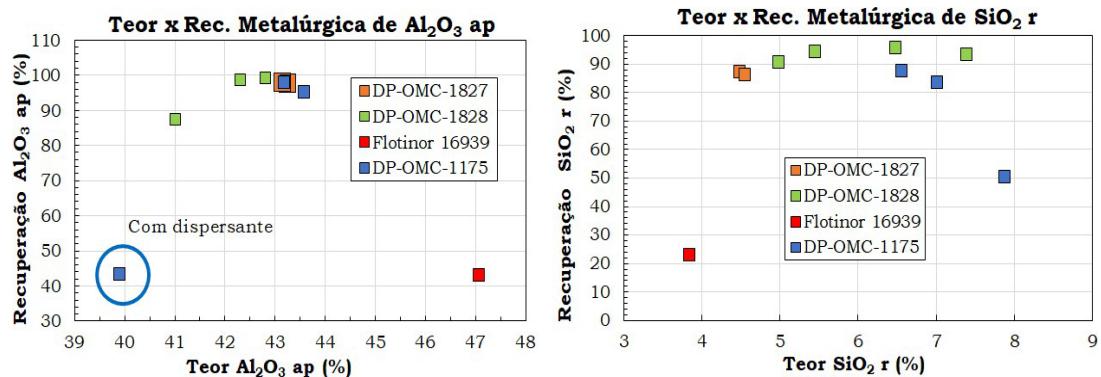


Figura 1: Gráficos Teor x Rec. Metalúrgica de Al_2O_3 ap e SiO_2 re.

A partir da tabela 2 é possível avaliar todos os resultados obtidos durante os testes. A tabela 2 apresenta um resumo das condições e dos resultados de cada teste. O teste com o Flotinor 16939 e o dispersante apresentou um teor de SiO_2 re e de Al_2O_3 ap de, respectivamente, de 3,9 e 47,1% para recuperações metalúrgicas de 43,1% para o Al_2O_3 ap e de 22,8% para a SiO_2 re. Além de atingir a maior razão Al/Si (12,2). Os testes com o DP-OMC-1827 apresentaram uma razão de alumina/sílica próxima de 10, ou seja, de 9,55 em média. Os demais testes apresentaram uma razão abaixo de 9. Em relação aos demais parâmetros, os testes que empregaram o Flotinor 16939 e o DP-OMC-1175 associados com o uso do dispersante apresentaram as recuperações mássicas mais baixas de, respectivamente, 39,1% e 45,5%.

Tabela 2: Tabela resumo dos ensaios.

Teste	Reagentes			Q Alim (Kg/h)	t res. afundado (min)	Al/Si	Rec. Máss. (%)	Concentrado final - Afundado			
	Coletor	Espumante	Dispersante					Teor (%)	Rec. Met. (%)		
	Tipo de Coletor	Dosagem (g/t)	Dosagem (g/t)					Al_2O_3 ap	SiO_2 r	Al_2O_3 ap	SiO_2 r
1	DP-OMC-1827	192	15	0	6,3	5	9,6	96,1	43,2	4,5	97,8
2	DP-OMC-1827	223	14	0	6,7	5	9,5	96,1	43,1	4,6	98,0
3	DP-OMC-1828	542	14	0	6,9	5	8,7	96,7	43,2	5,0	98,4
4	DP-OMC-1828	439	14	0	6,8	5	7,9	98,0	42,8	5,5	99,2
5	Flotinor 16939	177	0	442	6,8	13	12,2	39,1	47,1	3,9	43,1
6	DP-OMC-1175	330	14	0	6,7	6	6,2	91,9	43,6	7,0	95,2
7	DP-OMC-1175	267	14	0	6,7	6	6,6	95,2	43,2	6,6	98,0
8	DP-OMC-1175	334	14	451	6,6	8	5,1	45,5	39,9	7,9	43,3
9	DP-OMC-1828	453	14	453	6,6	5	5,5	88,9	41,0	7,4	87,5
10	DP-OMC-1828	564	15	0	6,6	5	6,5	97,5	42,3	6,5	98,8

5. CONCLUSÕES

Com base no exposto acima, o Flotinor 16939 (reagente da Clariant) apresentou o maior teor de alumina aproveitável de 47,1% e o menor teor de sílica reativa, de 3,9%. Porém este reagente apresentou uma recuperação metalúrgica de 43,1% para o Al_2O_3 ap. O Flotinor 16939 atingiu a maior razão de alumina/sílica, a qual foi de 12,2 e atingiu a especificação da razão acima de 10. Em contrapartida, o DP-OMC-1827 associado com o uso do espumante apresentou teores de 43,15 em média de Al_2O_3 ap e 4,55% em média de SiO_2 re, para recuperações metalúrgicas de em média 97,9% para a alumina aproveitável. Apesar da sua razão alumina/sílica não ser superior a 10, os valores obtidos, de 9,55 em média, foram próximos do almejado. Os testes com o DP-OMC-1828 e o DP-OMC-1175 não se demonstraram promissores, apesar de apresentarem teores médios de Al_2O_3 ap em torno de 43% e altas recuperações metalúrgicas de Al_2O_3 ap, os teores de sílica reativa obtidos foram elevados, ou seja, acima de 4%.

Dessa forma, é necessário avaliar quais condições se adequam melhor as especificações. Por um lado tem-se um teste que prioriza o teor (com o Flotinor) e testes que priorizam a recuperação metalúrgica (com o DP-OMC-1827). Por fim, sugere-se a continuidade de estudos futuros em busca do equilíbrio entre teor e recuperação metalúrgicas razoáveis.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos orientadores, Elves Matiolo e Bárbara Monsores. Agradeço também ao CETEM pela estrutura. Sou grata ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por conceder a bolsa de iniciação tecnológica, a qual foi fundamental para este trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. Dados Ibram – Setor mineral - 1º tri de 2024. 2024. Disponível em: <<https://ibram.org.br/publicacoes/>>. Acesso em: 05 jun. 2024.

LIU, J.; WANG, X.; LIN, C.; MILLER, J.D. Significance of particle aggregation in the reverse flotation of kaolinite from bauxite ore. *Minerals Engineering*, [S.l.], v. 78, p. 58–65, jul. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.04.009>>.

MASSOLA, C.P. Caracterização tecnológica da bauxita da Mineração Santa Lucrécia para aplicação no processo Bayer. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2009.

SAMPAIO, J.A.; ANDRADE, M.C.; DUTRA, A.J.B. Bauxita. In: LUZ, A.B. et al. *Rochas e minerais industriais*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. p. 279-303.

SUKLA, L.B.; PATTANAIK, A.; PRADHAN, D. Advances in Beneficiation of Low-Grade Bauxite. In: CHESONIS, C. (ed.). *Light Metals 2019. The Minerals, Metals & Materials Series*. Springer, Cham, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05864-7_1>.