

Apoio a estudos de concentração mineral por meio de flotação

Support to studies of mineral concentration by flotation

Carlos Henrique Bezerra Joaquim
Bolsista PCI, Téc. em Petróleo e Gás

Hudson Jean Bianchini Couto
Supervisor, Eng. Químico, D. Sc.

Resumo (300 palavras)

O projeto da qual este trabalho faz parte visa a dar apoio aos estudos de flotação empregados na concentração e recuperação de partículas finas de minerais valiosos (flotação convencional ou em coluna) do setor. A recuperação de diversos minérios, ou lamas de minérios, tem sido estudada no âmbito da coordenação de processos minerais (COPMI) e neste trabalho serão apresentados os estudos de recuperação de nióbio (pirocloro e bário-pirocloro) presente na corrente de rejeito de flotação de apatita realizado anteriormente por esta mesma coordenação. Nos melhores resultados da flotação de nióbio foram obtidos teores de Nb_2O_5 de 22% e 33% no concentrado final, mas com recuperação metalúrgica global de 15% e 5%, ainda baixa para o processo, mostrando a necessidade de realização de mais estudos para melhoria do processo.

Palavras chave: flotação; rejeito, pirocloro

Abstract

The aim of this work is gives support for flotation studies used in the concentration and recovery of fine particles of valuable minerals (conventional or column flotation) in the sector. The recovery of several ores or tailings from ores, has been studied in the coordination of mineral processes (COPMI) and in this work will be presented the recovery studies of niobium (pyrochlore and Ba-pyrochlore) present in the flotation tail stream apatite previously performed by this same coordination. In the best results of the niobium flotation, Nb_2O_5 grades of 22% and 33% in the final concentrate were obtained, but with a 15% and 5% overall metallurgical recovery, that can be consider low for the process, showing the necessity for further studies for improvement the process.

Key words: flotation; tailings, pyrochlore

1. Introdução

O processo de flotação vem sendo utilizado desde o início do século XX na separação seletiva de minerais, e mais recentemente, no tratamento de efluentes de diversos setores industriais. Esse processo consiste na adesão de bolhas de ar introduzidas no sistema à fase dispersa (partículas), sendo o conjunto formado bolha-partícula carregado para a superfície da célula de flotação onde ocorre a recuperação das partículas.

A flotação em colunas ganha espaço nos processos de beneficiamento mineral da atualidade, devido à sua versatilidade operacional, que permite a recuperação de minérios de granulometria muito fina, até pouco tempo considerados como rejeitos, contribuindo para a sustentabilidade na mineração. O CETEM dispõe de uma Mini Planta Piloto de flotação convencional e um circuito piloto de flotação em colunas (3 colunas com diâmetros de 2", 4" e 6" e 6 metros de altura), para desenvolvimento de projetos tecnológicos e inovadores de aproveitamento de minérios marginais e de rejeitos de processos.

Especificamente, na área de processamento mineral existe um grande interesse na recuperação de finos, principalmente daqueles perdidos na corrente de descarte de circuitos de flotação convencional, constituindo um dos principais problemas desse processo. Um dos principais motivos para isso é que os equipamentos de flotação convencional geram bolhas na faixa de 600 – 2500 μm , consideradas grandes para a separação efetiva de partículas finas. A ausência de bolhas pequenas e médias (10 – 600 μm) em células convencionais de flotação é o principal motivo da ineficiência na recuperação de finos por esse processo, levando a consideráveis perdas, especialmente para partículas menores que 13 μm (Rubio et al., 2002; Rubio et al., 2003; Sivamohan, 1990). No decorrer do ano de 2016 o CETEM desenvolveu um estudo em escala piloto com amostra de lama de minério de fosfato proveniente da planta de concentração da CMOC localizada em Ouvidor cujo objetivo principal foi o de desenvolver um projeto conceitual para concentração da apatita contida nesta fração. Após finalizado o estudo de concentração de apatita, foi identificado pela equipe técnica da CMOC Brasil a possibilidade de concentração do pirocloro contido nos rejeitos de flotação, visto que após a concentração de apatita, o teor de Nb_2O_5 contido na amostra aumenta de em torno de 0,6% para valores da ordem de 0,9%.

2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é realizar ensaios de flotação em bancada e colunas em escala contínua para avaliar a possibilidade de concentração do pirocloro contido no rejeito da etapa de flotação de apatita.

3. Material e Métodos

3.1. Amostra de estudo (rejeito *rougher* da flotação da apatita)

Para a execução dos ensaios de flotação em coluna deste projeto foi recebido no CETEM, em outubro de 2017, 5 bombonas de rejeito da flotação de apatita contendo cerca de 5000 L de polpa a ~45% do sólidos, com uma massa total de aproximadamente 3200 kg de minério (base seca).

3.2. Caracterização física, química e mineralógica.

As análises químicas das amostras da alimentação do processo e dos fluxos gerados no processo de flotação foram caracterizadas quanto à distribuição do tamanho de partículas - DTP, caracterização química para quantificação dos óxidos e caracterização mineralógica. A DTP das amostras de estudo foi determinada pela técnica de difração laser, também conhecida por espalhamento de luz, no setor de caracterização tecnológica - SCT do CETEM. Foi utilizado para este propósito o equipamento da *Malvern*, modelo *Master sizer 2000 SM*, capaz de analisar partículas na faixa de diâmetro entre 0,1 – 1000 μm .

As análises químicas foram realizadas através da técnica de Fluorescência de Raios-X no laboratório da CMOC em Ouvidor - GO. Foram realizadas determinações para os seguintes óxidos: BaO, CaO, MgO, MnO₂, P₂O₅, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, Nb₂O₅, Ta₂O₅, ThO₂, TiO₂ e U₃O₈.

Alguns ensaios de hidrociclonagem também foram realizados visando espessar o rejeito da flotação de sílica (alimentação da flotação de pirocloro), utilizando diferentes configurações de *vortex finder e apex* do hidrociclone de 40 mm da Weir (modelo CAVEX® 40CVX). O principal objetivo desta etapa foi o espessamento da polpa de rejeito da flotação de sílica, até valores de porcentagem de sólidos entre 35 - 40%, visando o condicionamento de reagentes que precede a flotação de pirocloro.

3.3 Reagentes

A Tabela 1 apresenta a lista de reagentes, fabricante, função e modo de aplicação, utilizados nos estudos de flotação. Para ajuste de pH na flotação foram utilizadas soluções de ácido fluorssilícico. A água utilizada nos estudos de flotação foi a água de abastecimento do CETEM em misturas variadas com a água de processo que compõe a amostra de lama enviada ao CETEM para esse estudo.

Tabela 1. Lista dos reagentes, fabricante, função e modo de aplicação utilizados nos estudos de flotação

Reagente	Fabricante/Fornecedor	Função	Modo de aplicação
Amido Stargill 6172	Cargill Fornecido pela CMOC	Depressor	Após gelanitização com NaOH (Solução entre 0,5-1,0%)
Acetadamin T50	Kao Chemicals Fornecido pela CMOC	Coletor catiônico de pirocloro	Solução 1:3 do coletor/umectante a 1%
Flotisor WA 7032	Clariant Fornecido pela CMOC	Umectante	Solução 1:3 do coletor/umectante a 1%
RV-418	Fornecido pela CMOC	Controle de espuma	Emulsão entre 0,1 e 0,3%
Ácido Fluorssilícico	Vetec e Quirios	Regulador de pH e ativador do pirocloro	Solução entre 10% e 30%

Os estudos de flotação em bancada de pirocloro foram realizados na coluna de flotação de 3", sem a seção intermediária, conforme Figura 1(a) a seguir. Os ensaios foram realizados com 3 L de polpa a 35% (cerca de 1,4 kg de sólidos em base seca), após espessamento ou deslamagem em hidrociclone da polpa para retirada de partículas ultrafinas e reagente residual da etapa de flotação anterior de silicatos, principalmente de amina. Inicialmente a polpa era transferida para a coluna de flotação e, em seguida, o ar e a água de lavagem eram alimentados para os valores pré-estabelecidos. Todos os ensaios foram realizados com re-circulação da polpa para a alimentação, com auxílio da bomba de rejeito, até a camada de espuma ser praticamente extinguida, quando a interface polpa-espuma alcançava a borda de transbordo da coluna. Neste momento encerrava-se o ensaio com a coleta de toda a espuma de concentrado e bombeava-se a polpa remanescente da coluna para um balde, sendo este produto o rejeito da flotação.

Dependendo de cada ensaio, foi realizada uma etapa *rougher* e de 1 a 2 etapas de limpeza *cleaner*, sendo as etapas de limpeza adicionais realizadas na máquina de flotação mecânica convencional da marca Denver

(modelo D12), equipada com inversor de frequência e utilizando-se cubas com volumes de 1,8; 3; 6 e 10 litros (Figura 1(b)). O objetivo foi definir melhor as condições de processo, principalmente para dosagem de reagentes, para em seguida utilizar na flotação contínua na coluna de 3", dada a pouca massa disponível para os ensaios contínuos. Após cada ensaio, os produtos da flotação foram filtrados, secos, pesados e preparados para análise química para posterior fechamento dos balanços de massa e metalúrgico do processo.

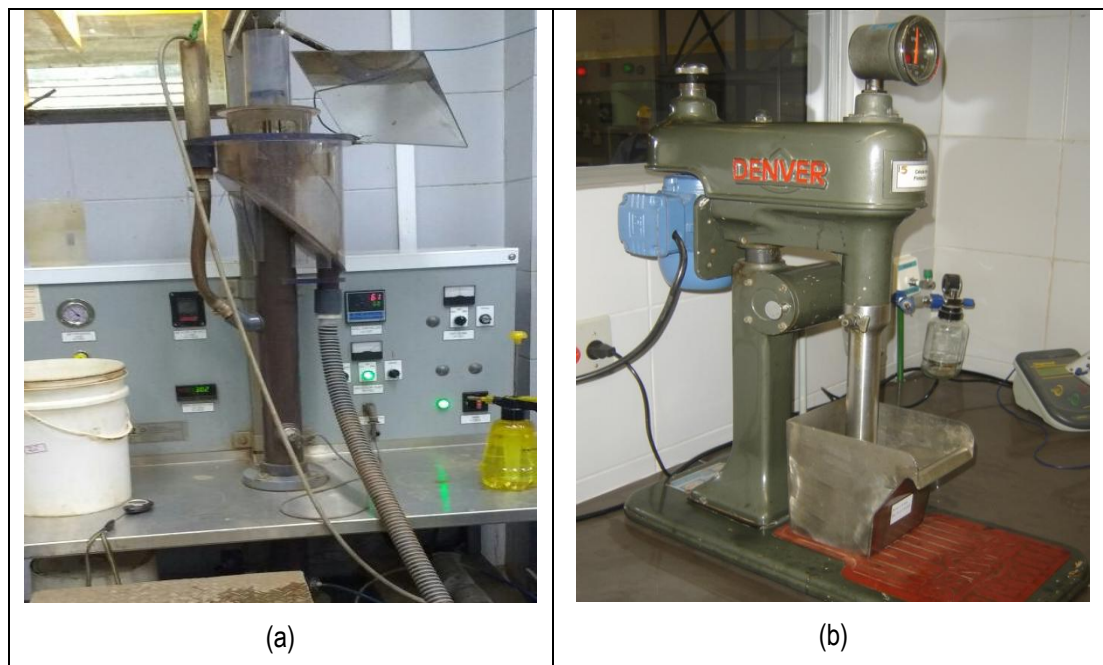


Figura 1. (a) Coluna de flotação de 3" de diâmetro, utilizada nos ensaios de flotação em coluna de bancada e (b) Foto da célula de flotação mecânica Denver utilizada nos ensaios *cleaner* de bancada

4. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta o gráfico da curva de distribuição de tamanho de partículas (DTP) da amostra de estudo determinadas através da técnica de difração de raios *laser*.

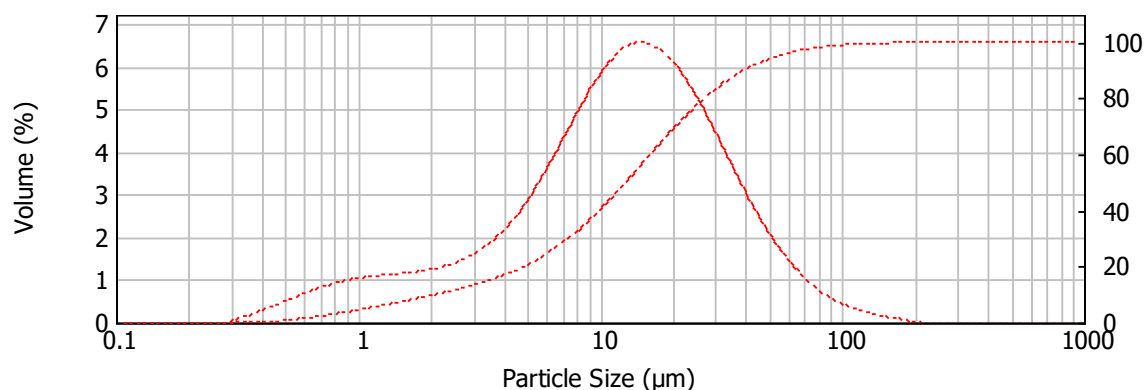


Figura 2. Curva de DTP da amostra (alimentação do processo)

Os tamanhos característicos D_{32} , D_{10} , D_{50} e D_{90} da distribuição granulométrica determinada no Malvern da amostra de alimentação de silicatos, foram respectivamente de 5,0 µm, 2,1 µm, 12,7 µm e 40,0 µm.

Os resultados da análise química da amostra de rejeito *rougher* de fosfato (alimentação da flotação de silicatos), mostraram que o teor médio de Nb₂O₅ foi de 0,92%, de CaO 9,7%, de P₂O₅ 9,9% de Al₂O₃ 2,9%, de BaO 2,2%, de Fe₂O₃ 27,6%, de MgO 2,6% e de SiO₂ 23,3%.

A deslamagem do rejeito da flotação de silicatos (alimentação da flotação de pirocloro), foi realizada para a retirada do excesso de água, juntamente com reagentes residuais e partículas ultrafinas. Foi utilizando um hidrociclone da Weir de 40 mm de diâmetro da parte cilíndrica, *vortex finder* de 10 mm e *apex* de 5,5 mm. A recuperação em massa para o fluxo do *underflow* foi de 82,7% e a recuperação metalúrgica de Nb₂O₅ de 81,7.

A Tabela 2 apresenta os resultados de flotação em bancada *rougher* e *cleaner* de pirocloro realizados na coluna de 3" e na célula Denver. Na Figura 3 são apresentados os resultados de recuperação metalúrgica *versus* teor de Nb₂O₅ para as etapas de flotação *rougher* e *cleaner* de pirocloro realizados nesta etapa, com o material deslamado e não deslamado.

Tabela 2. Resumo dos resultados da flotação em batelada *rougher* e *cleaner* de pirocloro.

Teste	Reagentes (g/t)					Rec. Massa (%)	Nb ₂ O ₅ (%)				
	Amido	Silicato de Sódio	Coletor	Umec.	Anti-Esp.		Alim.	Teor Conc.	Rec. Met. Conc.	Teor Rej.	Rec. Met. Rej.
1	0	0	718	1860	372	3,7	1,00	2,71	9,91	0,89	73,11
2	0	0	718	1436	287	0,6	0,95	6,16	3,61	0,80	63,73
3	0	0	601	1201	240	7,7	0,92	2,24	18,65	0,82	68,11
4	0	0	466	933	187	0,3	0,91	7,96	2,94	0,77	56,12
5	0	1195	597	1195	239	0,1	0,85	14,10	1,45	0,70	66,56
6	0	1178	589	1178	236	0,2	0,89	12,56	2,65	0,70	60,66
7	0	0	577	1153	231	0,1	0,91	32,75	5,28	0,72	69,85
8	0	1194	597	1194	239	0,7	0,95	18,47	14,42	0,73	63,76
9	0	1058	529	1584	212	0,6	0,97	22,80	15,28	0,70	54,36
10	3159	1312	656	1963	394	1,5	1,23	7,08	8,36	1,05	52,32
11	0	849	424	1270	255	0,5	0,92	19,87	9,81	0,64	54,93

Nota-se da Figura 3 que os resultados foram muito melhores para o material submetido a deslamagem em hidrociclone, apresentando com a curva recuperação x teor de Nb₂O₅ bem deslocada para à direita, ou seja, com teores de Nb₂O₅ muito melhores para uma mesma recuperação. Isto mostra que uma etapa de adensamento da polpa, via hidrociclonagem, antes da etapa de flotação de pirocloro, é imprescindível para a configuração do processo em estudo. Foi realizada a composição mineralógica de um concentrado de pirocloro obtido dos ensaios de flotação em coluna de bancada (Teste 9), utilizando o método de Rietveld para refinamento das fases minerais. Os três minerais mais abundantes na amostra são bário-pirocloro, com teor de 28%, seguido de goethita com 23% e ortoclase com 10%, perfazendo 61% do total da composição da amostra. Os demais minerais identificados na amostra foram a calcita (9%), pirocloro (5%), clorita (5%), dentre outros.

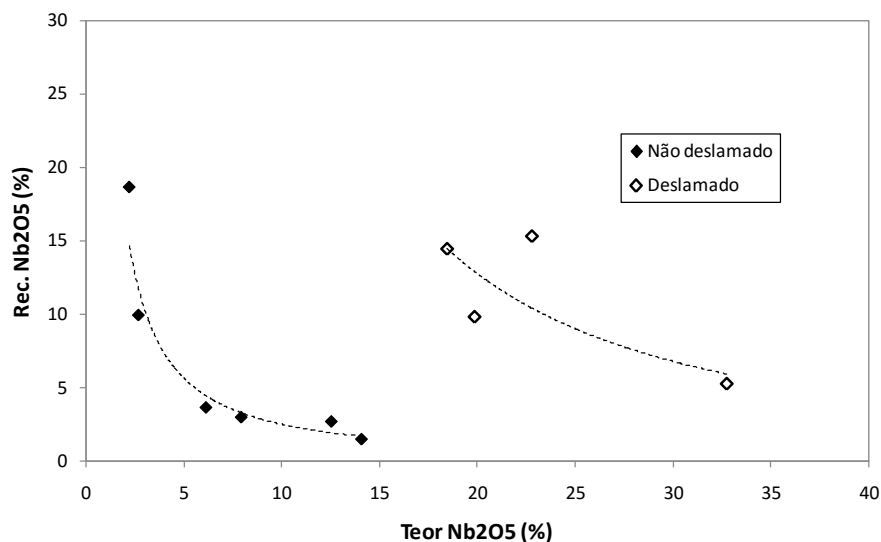


Figura 3. Recuperação versus teor de Nb₂O₅ para as etapas de flotação *rougher* e *cleaner* de pirocloro.

5. Conclusão

Nos ensaios de flotação de pirocloro em escala contínua (coluna de 3"), considerando os ensaios realizados sem deslamagem, mas com sifonagem do sobrenadante para espessamento da polpa, foi obtido um teor de 10% de Nb₂O₅ no concentrado final (CL4) com recuperação metalúrgica de 16% para esta etapa e de apenas 0,3% global, considerando todas as perdas desde o rejeito *rougher* de apatita (alimentação do circuito de Nb). Para os ensaios realizados com deslamagem da polpa em hidrociclone, os teores de Nb₂O₅ no concentrado final (CL4) ficaram entre 3,8 – 4,3%, mas com recuperação metalúrgica em torno de 90% para esta etapa e de 16% global, sugerindo a necessidade de mais etapas de limpeza para o aumento do teor de nióbio.

6. Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa concedida e ao CETEM pela infraestrutura.

7. Referências Bibliográficas

RUBIO, J., CAPPONI, F., MATIOLO, E., NUNES, D. G., GUERRERO, C. P., BERKOWITZ, G., Advances in flotation of minerals fines, **Proceedings XXII International Mineral Processing Congress**, Cape-Town, África do Sul, 2003, p. 1002-1014.

RUBIO, J., SOUZA, M.L., SMITH, R.W., Overview of flotation as a wastewater treatment technique. **Minerals Engineering**, 15, p. 139–155, 2002.

SIVAMOHAN, R., The problem of recovering very fine particles in mineral processing – a review. **International Journal of Mineral Processing**, v. 28, n. 3-4, p. 247-288, 1990.