

Estudos de concentração de minérios de fosfato brasileiros

Brazilian phosphate ores concentration studies

Ernande João Alvarenga dos Santos

Bolsista PCI, Técnico em Químico, Colégio Mercúrio

Elves Matiolo

Supervisor, Engenheiro de Minas, D.Sc.

Resumo

Para melhorar o aproveitamento de rocha fosfática é fundamental o desenvolvimento de pesquisa visando otimizar os circuitos de beneficiamento de fosfato com ganga carbonatada, que apresentam dificuldades na separação por flotação devido à semelhança das suas propriedades químicas de superfície. Neste contexto, o CETEM vem desenvolvendo estudos com o minério de Santa Quitéria, composto por 39% de ganga carbonatada (calcita), visando desenvolver uma nova rota de beneficiamento. O circuito atualmente em estudo considera a retirada apenas da lama natural sem a retirada da lama oriunda da etapa de moagem (lama gerada), diferente dos circuitos atualmente empregados nas plantas industriais de concentração de apatita que fazem a retirada de ambas as frações de lama do circuito. Após a deslamagem, o circuito contempla a flotação de calcita utilizando-se um ácido óleo de coco saponificado e injeção de gás carbônico. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do processo de flotação utilizando CO₂ em escala de bancada (coluna de 3") para os fluxos denominado grossos, P₈₀ de 106 µm (após moagem) e finos P₈₀ de 80 µm considerando apenas a retirada da lama natural. Os resultados mostraram que a rota de beneficiamento proposta neste trabalho, retirada apenas da lama natural e flotação com o uso de gás carbônico é uma alternativa potencial para a concentração do minério de Santa Quitéria. Os resultados obtidos para o fluxo de grossos, indicam que houve seletividade na separação entre a calcita e apatita (RCP de 1,6), e a necessidade de adicionar etapas de limpeza (*cleaner e/ou recleaner*) para reduzir a perda de P₂O₅ (<24%). Para o fluxo de finos os resultados mostraram que não houve seletividade na separação (RCP 2,1), indicando a necessidade de ajustes nos parâmetros da coluna (J_w e J_{co2}) e também testes de flotação para o fluxo de finos em célula mecânica.

Palavras chave: flotação, calcita, apatita, lama natural, gás carbônico

Abstract

In order to improve the use of phosphate rock, it is essential to develop research aimed at optimizing phosphate beneficiation circuits with carbonated gangue, which present difficulties in flotation separation due to the similarity of their surface chemical properties. In this context, CETEM has been developing studies with the Santa Quitéria ore, composed of 39% of carbonated gangue (calcite), aiming to develop a new beneficiation route. The circuit currently under study considers the removal of natural slime only without the removal of slime from the milling stage (generated slime), unlike the circuits currently used in the apatite concentration industrial plants that remove both fractions of slimes from the circuit. After desliming, the circuit includes calcite flotation using a

saponified coconut oil acid and carbon dioxide injection. The aim of this work was to evaluate the performance of the flotation process using bench scale, injecting CO₂ (3" column) for coarse fraction, P₈₀ 106 μm (after milling) and fine fraction P₈₀ 80 μm considering only removal of natural slime. The results showed that the new beneficiation route proposed in this work, taken only from natural slime and flotation with the use of carbon dioxide is a potential alternative for Santa Quitéria ore concentration. The results obtained for the coarse fraction indicate that there was selectivity in the separation between calcite and apatite (RCP 1.6), and the need to add cleaning steps (cleaner and/or recleaner) to reduce the loss of P₂O₅ (<24%). For the fines fraction the results showed that there was no separation selectivity (RCP 2.1), indicating the need for adjustments in the column parameters (Jw and Jco2) and also flotation tests for the fines fraction in a mechanical cell.

Key words: flotation, calcite, apatite, natural slime, carbonic gas.

1. Introdução

A flotação é a tecnologia mais amplamente empregada para a produção de concentrados fosfáticos. Depósitos de origem sedimentar e ígnea são tratados eficientemente por flotação quando a ganga é constituída basicamente de minerais silicatados (10-37%) e óxidos/hidróxidos de ferro (30-51%) com menos de 5% de ganga carbonatada. Entretanto, a separação entre os sais (apatita) e a ganga carbonatada (calcita/dolomita) é difícil dada a semelhança entre as propriedades químicas superficiais desses minerais (ELGILLANI e ABOUZEID, 1993, SIS e CHANDER, 2003a). O minério utilizado neste trabalho é proveniente do depósito fósforo-uranífero de Santa Quitéria (CE). Sob o ponto de vista tecnológico, o processamento do minério apresenta o desafio da separação entre calcita e apatita por flotação. O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) foi responsável pela maioria dos estudos de processo de concentração e nos anos 80 desenvolveu a rota de flotação atualmente considerada nas avaliações econômicas do projeto, que compreende a flotação *bulk* de calcita e apatita com ácido graxo como coletor em pH alcalino, seguida de flotação de calcita utilizando H₃PO₄ como depressor de apatita (AQUINO e FURTADO, 1985). Embora este conceito seja eficiente do ponto de vista da separação entre apatita e carbonatos, o uso intensivo de ácidos inorgânicos (>15 kg/t) causa acúmulo de íons na água do processo, especialmente Ca²⁺ e PO₄³⁻ o que leva a problemas no desempenho da flotação e também ambientais.

Como alternativa o CETEM vem estudando uma nova rota de processo para o minério de Santa Quitéria que considera a retirada apenas da lama natural sem a retirada da lama gerada, seguido da flotação de calcita utilizando-se um ácido graxo de cadeia curta como coletor (óleo de coco saponificado) e injeção de gás carbônico no sistema de geração de bolhas, atuando como regulador de pH (MATIOLO et al., 2015, MELLO et al., 2018). Os estudos preliminares desenvolvidos mostram que essa tecnologia tem grande potencial de aplicação para a concentração da apatita do minério de Santa Quitéria (MATIOLO et al., 2015). E os resultados obtidos por Mello et al. (2018) mostraram que a alteração no circuito de preparação previamente à flotação do minério de Santa Quitéria levou a uma perda de 3,5% de P₂O₅ na retirada da lama natural (<10μm) na etapa de deslamagem, valor este consideravelmente inferior quando comparado com o resultado obtido por Matio

(2015) que considera a retirada da lama natural e gerada na etapa de deslamagem, levando a perda de P_2O_5 nas lamas ($<10\mu m$) de 16,5%. Considerando o circuito de processo otimizado por Mello et al. (2018), este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho da flotação de calcita do fluxo dos “grossos” e “finos” utilizando a coluna de 3” considerando a alteração na sequência das operações unitárias. O produto da alimentação de flotação de “grossos” é o oversize da classificação por peneiramento a $106\mu m$ seguido do processo de moagem, atingindo P_{80} de $106\mu m$, e a alimentação da flotação do fluxo de “finos” é o undersize da classificação por peneiramento a $106\mu m$ seguido da etapa de deslamagem para a retirada da lama natural ($<10\mu m$).

2. Objetivo

Avaliar, em escala bancada, o impacto desta mudança no circuito de preparação sobre o desempenho do processo de flotação de calcita através da injeção de CO_2 utilizando a coluna de 3” associada ao uso de ácido graxo de coco saponificado como coletor na flotação dos fluxos denominados de “grossos” e “finos”.

3. Materiais e Métodos

Foi utilizada uma amostra de minério proveniente do depósito de Santa Quitéria/CE. O circuito de beneficiamento proposto incluiu as etapas de britagem, moagem, deslamagem e separando os fluxos em “grossos” e “finos”. O teor dos principais óxidos no *Run of Mine* é de 18% de P_2O_5 , 48% de CaO, 8% de SiO_2 e 3% de Al_2O_3 . Neste trabalho foi utilizada a amostra que corresponde à alimentação da etapa de flotação denominado fluxo de “grossos” e “finos”. Na alimentação da flotação de “grossos” o teor de P_2O_5 é de 19%, P_{80} $106\mu m$ e a amostra apresentou 48% passante em $38\mu m$. O teor P_2O_5 no fluxo de “finos” é de 16%, P_{80} $80\mu m$ e a amostra apresentou 30% passante em $20\mu m$. O detalhamento do circuito de processo aplicado para preparação da amostra e outros dados de caracterização podem ser encontrados em Mello et al. (2018).

3.1. Estudos de flotação de calcita em coluna de 3”

Os testes de flotação em coluna de 3” foram realizados como objetivo de avaliar o desempenho da flotação em coluna *batch* com a configuração *rougher* e *rougher/cleaner* considerando amostras provenientes do fluxo de “grossos” e “finos” respectivamente. A Figura 1 apresenta o fluxograma simplificado adotado nos estudos de flotação em coluna de 3” de diâmetro interno e 1,3 m de altura, com o borbulhador do tipo tubo poroso. Para o condicionamento do ácido graxo saponificado na flotação, por cinco minutos (5 min) foi utilizado uma célula mecânica da marca DENVER, modelo D12, equipada com inversor de frequência. Previamente à etapa de flotação foi adicionado o coletor Liacid saponificado que foi condicionado por um tempo de 5 minutos. porcentagem de sólidos no condicionamento foi de 35-40% em peso para o fluxo de finos e de 50% para o fluxo de grossos. O pH da polpa foi de 8,6. Após o condicionamento, a polpa foi diluída para porcentagem de sólidos de aproximadamente 20% e alimentada à coluna de flotação de 3” e. Após o ajuste da porcentagem de sólidos, foi injetado o CO_2 através do tubo poroso (vazão de 3-5 L/min) para geração de bolhas, atingindo pH de 5,8, e a

vazão da água de lavagem foi de 300 ml/min. Durante o ensaio de flotação o afundado *rougher* foi recirculado através de uma bomba peristáltica e a flotação seguiu até a exaustão da espuma. Para o fluxo de “finos”, com fração flotada da etapa *rougher* foi realizada uma etapa *cleaner* (Figura 1).

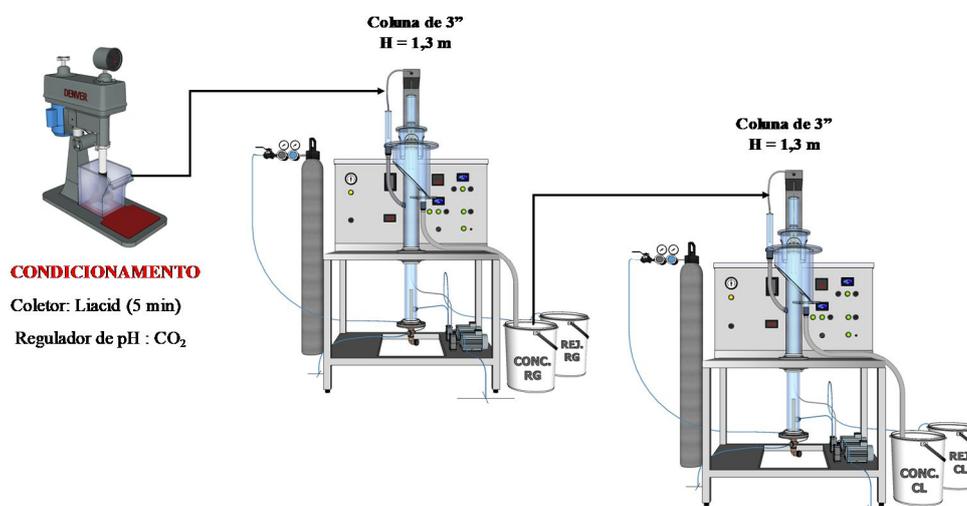


Figura 1. Fluxograma simplificado do circuito aberto empregado nos estudos de flotação *rougher/cleaner*, do fluxo finos em coluna de 3" e também empregado nos estudos de flotação considerando apenas a etapa *rougher* do fluxo de grossos em coluna de 3".

4. Resultados e Discussão

4.1. Flotação de calcita em fluxo “finos”

A Figura 2 apresenta o efeito da dosagem de coletor sabão de ácido graxo de coco para dosagem entre 50 g/t e 260 g/t sobre a recuperação em massa, perda e teor de P₂O₅ nos concentrados (flutuados) de calcita da fração “finos” do minério. Para a flotação realizada em coluna de 3" a recuperação em massa no concentrado de calcita variou entre 12% e 54%, o que corresponde a perdas de P₂O₅ entre 6% até um máximo de 58% para a dosagem de 260 g/t de coletor.

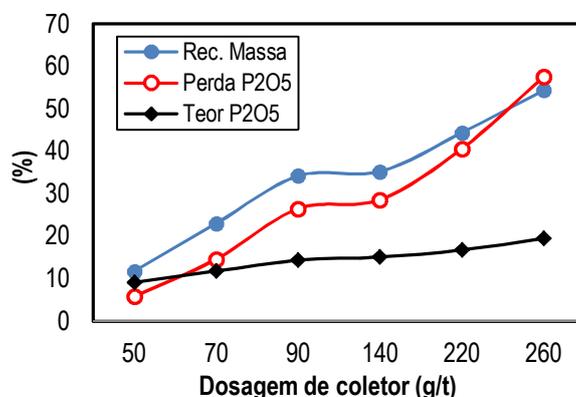


Figura 2. Efeito da dosagem de coletor sobre a recuperação em massa, perda e teor de P₂O₅.
 Configuração *rougher/cleaner*.

Observa-se que quanto maior a dosagem do coletor, maior foi a recuperação mássica e o teor de P_2O_5 e, consequentemente maior a perda P_2O_5 . Os resultados obtidos, dentro da faixa de dosagem de coletor testada, indicam que não foi atingido a seletividade necessária para separação entre a calcita e apatita na flotação em batelada na coluna de 3" visto que o valor alcançado de RCP foi em média de 2,1 e o teor de P_2O_5 de 12-17 % para a dosagem de 70 a 220 g/t, indicando que ainda há muito calcita remanescente no afundado.

Portanto, foi observado que os ensaios realizados em coluna de 3" para a flotação de finos não alcançaram condições otimizadas, visto que não atingiram as especificações necessárias para que o afundado de calcita fosse considerado um produto. Faz-se necessário estudos para otimizar os níveis das variáveis de processo, tais como, velocidade superficial de gás e de água de lavagem e também, acrescentar mais uma etapa de limpeza (*re-cleaner*) para, assim reduzir a perda de P_2O_5 .

4.2. Flotação de calcita fluxo "grossos"

A Figura 3 apresenta o efeito da dosagem de coletor sabão de ácido graxo de coco para dosagem entre 100 g/t e 600 g/t sobre a recuperação em massa, perda e teor de P_2O_5 no concentrado (flutuado) de calcita da fração "grossos" do minério. Observa-se que há uma tendência crescente clara, quanto maior a dosagem do coletor, maiores são a recuperação mássica e teor de P_2O_5 e, consequentemente, maior a perda P_2O_5 . Para a flotação realizada em coluna de 3" a recuperação mássica no flutuado de calcita variou entre 45% e 68%, o que corresponde a perdas de P_2O_5 entre 11% até um máximo de 41% para a dosagem de 600 g/t de coletor.

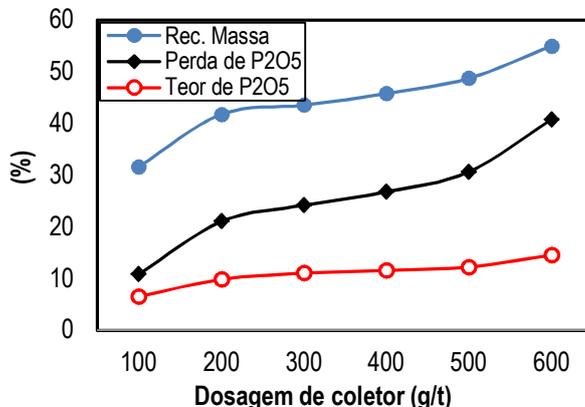


Figura 3. Efeito da dosagem de coletor sobre a recuperação em massa, perda e teor de P_2O_5 no flutuado de calcita. Configuração *rougher*. Condições fixas: $J_W = 0,11 \text{ cm.s}^{-1}$ e $J_{CO_2} = 0,73 \text{ cm.s}^{-1}$

Considerando o melhor resultado obtido na flotação em coluna (3") da fração de "grossos", relacionando recuperação metalúrgica no afundado e perda de P_2O_5 foi obtido um afundado com teor de P_2O_5 da ordem de 26,8% e uma perda de 24% no concentrado de calcita para dosagem de coletor de 300 g/t (Tabela 1). Apesar de alcançar valor de RCP no afundado de 1,6 indicando que houve a remoção de calcita, a perda de P_2O_5 para o concentrado *rougher* foi elevada, no valor de 24%. Este resultado indica que houve seletividade na separação

entre a calcita e apatita na flotação em batelada na coluna de 3" porém faz-se necessário a adição de mais uma etapa de limpeza (etapa *cleaner*) ou até de mais uma etapa de limpeza (*recleaner*), para a diminuir a perda de P_2O_5 no flutuado final.

Tabela 1. Resultados de recuperação em massa; teores de CaO, P_2O_5 , SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 fração flutuada e afundada. Configuração *rougher*.

Fluxo	Recuperação (%)		Teores (%)			
	Massa	P_2O_5	P_2O_5	CaO	SiO_2	Fe_2O_3
Afundado	56,4	75,8	26,8	43,0	12,7	2,8
Flutuado	43,6	24,2	11,1	47,6	2,9	1,1

5. Conclusão

Os resultados mostraram que a rota de beneficiamento proposta neste trabalho, retirada apenas da lama natural e flotação com o uso de gás carbônico é uma alternativa potencial para a concentração do minério de Santa Quitéria. Os resultados obtidos para o fluxo de grossos em escala bancada, utilizando a coluna de 3", indicam que houve seletividade na separação entre a calcita e apatita (RCP de 1,6), porém a perda de P_2O_5 para o concentrado *rougher* foi elevada, no valor de 24%. O que leva a necessidade de adicionar mais uma etapa de limpeza (etapa *cleaner*) ou de até uma segunda etapa de limpeza (*recleaner*), para a diminuir a perda de P_2O_5 no flutuado final. Já os resultados obtidos em coluna de 3", configuração *rougher/cleaner* em escala bancada, para a flotação de finos não alcançaram condições otimizadas, visto que não atingiram as especificações necessárias para que o afundado de calcita fosse considerado um produto, apresentando RCP de 2,1. Este resultado mostra a necessidade de realizar mais testes para otimizar os níveis das variáveis de processo da coluna, tais como, velocidade superficial de gás e de água de lavagem e também, realizar testes de flotação para o fluxo de finos utilizando célula mecânica.

6. Agradecimento

Agradeço o meu supervisor Dr. Elves Matiolo e a Engenheira Amanda Soares de Freitas pelo apoio e ao CETEM/MCTIC pela infraestrutura. Agradeço ao CNPq pela concessão da bolsa PCI e ao suporte financeiro via Projeto CT Universal (N° 426023/2016-1).

7. Referências Bibliográficas

AQUINO, J.A.; FURTADO, J.R.V. Flotação reversa aplicada ao minério fósforo-uranífero de Itataia - CE. In: **XI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, 1985, Natal - RN.

ELGILLANI, D.A., ABOUZEID, M. A-Z. Flotation of carbonates from phosphate in acidic media. **International Journal of Mineral Processing**. n. 38, p. 235-256, 1993.

MATIOLO E.; GONZAGA L.M.; GUEDES A.L. Flotação reversa com o uso de gás carbônico aplicada ao minério fósforo-uranífero de Santa Quitéria. In: **XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, 2015, Poços de Caldas.

MELLO, S.M.F. Estudo de otimização do circuito de beneficiamento para o minério fósforo-uranífero de Santa Quitéria. In: **XXVI Jornada de Iniciação Científica e II Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**, 2018, Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral.

SIS, H.; CHANDER, S. Improving froth characteristics and flotation recovery of phosphate ores with nonionic surfactants. **Minerals Engineering**, v. 16, p. 587-595, 2003b.